

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ЦЕНТР ДОСЛІДЖЕНЬ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО
ПОТЕНЦІАЛУ І ІСТОРІЇ НАУКИ ІМ. Г.М.ДОБРОВА**

На правах рукопису

Корнієнко Олександр Миколайович

УДК 681.2.091 (4Укр) (09)

**СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА
В УКРАЇНІ У СВІТОВОМУ КОНТЕКСТІ
(70-ті роки ХІХ ст. – 50-ті роки ХХ ст.)**

07.00.07 – історія науки і техніки

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора історичних наук

Науковий консультант
доктор фізико-математичних наук, професор

Храмов Юрій Олексійович

Київ 2009

ЗМІСТ

Скорочення, символи і умовні позначення	7
Вступ	11
Розділ 1. Історіографія, джерельна база та стан досліджень з історії зварювання	24
1.1. Аналіз літературних і архівних джерел	25
1.2. Стан дослідження історії зварювання в СРСР	30
1.3. Аналіз закордонних досліджень зі зварювання	34
1.4. Джерела, що характеризують історичний фон	39
Висновки до розділу 1	40
Розділ 2. Вибір напрямку досліджень і методика досліджень	42
2.1. Недоліки відомих досліджень з історії зварювання і основні помилки попередніх дослідників	43
2.1.1 Деякі аспекти дослідження зварювання.	43
2.1.2. Державне-політичне відношення до досліджень історії техніки	44
2.2. Основні методи досліджень	45
2.2.1. Комплексний системний аналіз	45
2.2.2. Методи історичного аналізу розвитку промисловості і техніки	46
2.2.3. Специфіка вивчення історії технологій	49
2.3. Методи оцінки значущості винаходів і виявлення перших винаходів	50
2.3.1. Виявлення і оцінка суттєвих ознак і побудова ієрархічних схем	50
2.3.2. Оцінка патентної інформації при історичних дослідженнях	52
2.4. Складові зварювального виробництва і особливості досліджень історії їхнього розвитку	55
2.5. Джерельна база досліджень	55
2.6. Методи періодизації і визначення періодів розвитку зварювання	57
Висновки до розділу 2	67
Розділ 3. Виникнення технологій зварювання на засадах практичного досвіту і наукових досягнень. Вирішення проблем розвитку промисловості	69

3.1. Генезис перших способів зварювання. Наукові відкриття і технічний досвід створення нових технологій металообробки.	69
3.1.1. Холодне зварювання і зварювання з використанням біопалива.	69
3.2. Джерела електричного зварювання.	76
3.2.1. Відкриття і вивчення електрики	76
3.2.2. Початок роботи М.М.Бенардоса в галузі електричного зварювання	78
3.2.3. Вирішення М.М.Бенардосом основних проблем зварювальної техніки	80
3.2.4. Розповсюдження та впровадження способу М.М.Бенардоса	82
3.3. Розвиток дугового зварювання наприкінці ХІХ – на початку ХХ сторічч	92
3.3.1. Життя і роботи М.Г.Славянова по зварюванню плавким електродом.	92
3.3.2. Внесок у розвиток дугового зварювання винахідників Німеччини і США	96
3.3.3. На шляху створення покритих електродів і порошкового дроту.	100
3.3.4. Життя, творча й організаційна діяльність О.Къельберга	104
3.4. Виникнення і розвиток контактного зварювання.	106
3.4.1. Життя і діяльність Е.Томсона	107
3.4.2. Роботи компанії ДЕ по створенню нових способів зварки	108
3.4.3. Розвиток і впровадження стикового зварювання.	112
3.4.4. Винайдення і впровадження точкового, роликового і рельєфного зварювання.	113
3.5. Виникнення і розвиток газового зварювання.	119
3.5.1. Відкриття і роботи А.Муассана і ряду інших вчених і винахідників з виробництва палива.	119
3.5.2. Розробка газозварювального обладнання.	120
3.5.3. Автогенне зварювання і різання в промисловості.	123
3.6. Термітне зварювання	127
3.6.1. Відкриття М.М. Бекетова в основі термітного зварювання.	127
3.7.2. Термітне зварювання металів великої товщини.	128
Висновки до розділу 3.	129
Хронологія створення науково-технічних основ і видів зварювання в період екстенсивного розвитку	132

Розділ 4. Зварювання в період економічної депресії в капіталістичних країнах і індустріалізації СРСР	135
4.1. Газоелектричне зварювання	136
4.1.1. Відкриття і винаходи І.Ленгмюра.	136
4.1.2. Атомно-водневе зварювання	138
4.1.3. Спосіб П.Александера. А. Сефериан (Франція), Г. Мюнтер	140
4.2. Удосконалення електродів і технології дугового зварювання	143
4.3. Розвиток і впровадження термітного зварювання.	152
4.4. Розвиток і впровадження контактного зварювання.	153
4.5. Зварювання в суднобудуванні.	157
4.5.1. Перехід від ремонтних технологій до способів виготовлення зварних конструкцій.	157
4.5.2. Життя і діяльність В.П. Вологдіна	160
4.5.3. Розгортання зварного суднобудування.	164
4.6. Зварювання в авіабудуванні.	168
4.7. Зварювання у виробництві сухопутного транспорту	169
4.8. Зварювання в мостобудуванні і промисловому будівництві	176
Висновки до розділу 4	190
Хронологія розробок електродів для дугового зварювання	192
Розділ 5. Автоматизація зварювання в системі еволюції машинного виробництва	196
5.1. Розробка джерел живлення й систем керування процесами електрозварювання.	197
5.1.1. Перші конструкцій джерел постійного струму	197
5.1.2. Джерела енергії перемінного струму і керування процесами дугового зварювання.	202
5.1.3. Джерела живлення і системи керування контактним зварюванням.	205
5.2. Механізми регулювання, подачі й переміщення при дуговому зварюванні	210
5.3. Підвищення якості металу шва. Досвід впровадження автоматичного зварювання.	222

5.4. Автоматизація зварювального виробництва у 1940 роки	234
Висновки до розділу 5.	249
Хронологія розвитку автоматичного зварювання	252
Розділ 6. Науково-технічні об'єднання, наукові школи і розвиток наукових засад зварювання.	254
6.1 Діяльність науково-технічних об'єднань, дослідницьких і навчальних центрів зі зварювання в Росії і СРСР	254
6.1.1. Діяльність Імператорського Руського технічного товариства	254
6.1.2. Робота товариства “Електрогефест	259
6.1.3. Робота Всесоюзного науково-інженерно-технічного товариства працівників зварювальної справи (ВНІТТЗ).	260
6.1.4. Український автогенний трест і початок діяльності Є.О. Патона у зварювальної галузі.	262
6.2. Умови і необхідність об'єднання зварників у промислово розвинутих закордонних країнах	263
6.2.1. Виникнення і діяльність Американського зварювального товариства	263
6.3. Виникнення і діяльність товариств зварників у Європейських країнах і Японії.	268
6.4. Початок дослідно-навчальної діяльності.	271
6.4.1. Навчання основам зварювання в Росії.	271
6.4.2. Початок навчання професії зварника за кордоном.	272
6.5. Перехід зварювання на наукові основи	273
6.6. Комплексна програма дослідження і розвитку зварювання Є.О.Патона.	286
6.7. Життя і творча діяльність провідних дослідників зварювальних процесів.	291
6.8. Життя і діяльність К.К. Хренова. Його наукова школа.	295
6.9. Розгортання наукових досліджень. Створення спеціальних сталей.	298
6.10. Засновник найкрупнішою вітчизняної школи електрозварювання.	306
Висновки до розділу 6	310
Хронологія створення наукових засад і розвитку зварювання	312
Розділ 7. Зварювання у виробництві зброї, відбудові промисловості України,	

внесок зварювання в науково-технічний прогрес.	315
7.1 Зварювання в виробництві зброї в СРСР в роки Великої Вітчизняної війни.	315
7.2. Зварювання у виробництві зброї в закордонних країнах у роки Другої світової війни	320
7.3. Роль зварювання у відновленні промисловості УРСР	323
7.4. Зварювальні й наплавочні матеріали	330
7.5. Електрошлакове зварювання і наплавлення.	330
7.6. Зварювання в будівництві і ведучих галузях промислового виробництва.	345
7.7. Зварені труби й магістральні трубопроводи.	359
7.8. ІЕЗ ім. Є.О.Патона – збереження провідного пріоритетного положення у світі.	366
Висновки до розділу 7	372
Хронологія подій в історії організації зварювального виробництва та пріоритетні досягнення в діяльності ІЕЗ ім. Є.О. Патона	375
Хронологія подій історії зварювального виробництва в роки другої світової війни	382
Хронологія розробки і роль зварювання у відбудові та відновленні промисловості УРСР	384
Загальні висновки	388
Література	393
Додатки	477

СКОРОЧЕННЯ, СИМВОЛИ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АН СРСР.	Академія наук СРСР
АН УРСР.	Академія наук УРСР
ВАТ	Всесоюзний автогенний трест.
ВВІАМ	Всесоюзний НДІ авіаційної промисловості ім. проф. М.Є. Жуковського
ВНДІ	Всесоюзний науково-дослідний інститут
ВНДІАавтогенмаш (ВНИИАавтогенмаш)	ВНДІ автогенного машинобудування
ВНДІБТ(ВНИИСТ)	ВНДІ Будівництва трубопроводів
ВНДІЕЗО (ВНИИЭСО)	ВНДІ Електрозварювального обладнання
ВНДІСВЧ (ВНДІТВЧ)	ВНДІ Струмів високої частоти ім. В. П. Вологодина
ВНІТІ	Всесоюзний науково-дослідний і конструкторсько-технологічний інститут трубно́ї промисловості
ВНДІТВЧ	Всесоюзний науково-дослідний інститут струмів високої частоти ім. В.П. Вологодина
ВНІТТЗ	Всесоюзне науково-інженерне технічне товариство зварників
ВПТІТЯЖМАШ	Всесоюзний проектно - технологічний інститут важкого машинобудування
ВУАН	Всеукраїнська академія наук.
ЕФК	Емердженсі фліт корпорейшн
ЖРД	Жидкісний реактивний двигун
ВНДІМетмаш	ВНДІ металургійного машинобудування
ВПТІТЯжмаш	Всесоюзний проектно-технологічний інститут важкого машинобудування
ВУАН	Всеукраїнська академія наук
ГКНТ СРСР	Державний комітет по науке і техніке СРСР

ДКБ	дослідно - конструкторське бюро
ЕФК	Емердженсі фліт корпорейшн
ЗТВ	зона термічного впливу
ІЕЗ ім. Є О Патона	Інститут електрозварювання ім. Є О Патона
ІПТ (ИИЕТ)	Інститут історії природознавства і техніки
ІРТТ	Імператорське руське технічне товариство
КПІ	Київський політехнічний інститут
ІПМ	Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
КПІ, НУТУ «КПІ»	Національний український технічний університет
Л.Е.	Лінкольн Електрик
Л.Л.	Ллойд- Ллойд
МАТІ	Московський авіаційно-технічний інститут ім. К.Е. Ціолковського
МГУ	Московський державний університет
МІЗ	Міжнародний інститут зварки
МЗС	Міністерство закордонних справ
МВТУ	Московське вище технічне училище ім. М.Е.Баумана
МММІ	Московський механіко-машинобудівний інститут ім. М.Е.Баумана
МТУ	Московське технічне училище.
МШС	Міністерство шляхів сполучень
НАСА (NASA)	Національне космічне агентство США
НДІ	Науково-дослідний інститут
НДІТМ	Науково-дослідний інститут технологій машин
НДІХІММаш	НДІ Хімічного машинобудування
НЗА	Німецька зварювальна асоціація
НІАТ, (НИАТ) –	НДІ Авіаційних технологій
НКМЗ	Ново-Краматорський машинобудівний завод

НКШС	Народний комісаріат шляхів сполучення
НКМЗ	Ново-Краматорський машинобудівний завод
НКШС (НКПС)	Народний комісаріат шляхів сполучень
НТУУ “КПІ” -	Київський політехнічний інститут
РТТ	Руське технічне товариство
СРСР	Союз Радянських (Сов'єтських) Соціалістичних Республік
ТКЗ	Таганрогський котельний завод
ТРД	Турбо-реактивний двигун
УАТ	Український автогенний трест.
УДМТУ	Український державний морський технічний університет ім. С.О. Макаренка
Ф.М. (F.M.)	Fiat - Motors Фіат моторс
ХТрЗ	Харцізський трубний (трубопрокатний) завод
ЦДАЖР	(ЦГАОР) – Центральний державний архів Жовтневої революції
ЦДІА (ЦГІА)	Центральний державний історичний архів
ЦІС НКШС	Центральний інститут Народного комісаріату шляхів сполучення
ЦНДІЕлектром	Центральний науково - дослідний інститут електронного машинобудування
ЦНДІЗТ	Центральний науково-дослідний інститут залізничного транспорту
ЦНДІПБК	Центральний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій
ЦНДІТМаш	Центральний науково дослідний інститут технології машинобудування
ЦНДІ ТС «Прометей»	Центральний науково - дослідний інститут технології суднобудування
ЧТПЗ	Челябінський трубопрокатний завод
“D.E.” General Elektrik	фірма Дженерал електрик

DVS	Deutschen Verbandes fur Schweisstechnik
MV.	Metropolitan Viekers
NT.	National Tube – фірма з виробництва зварних труб (США)
S.- -Sarazin	фірма Сарацин (Франція)
TWI	Welding Institute Зварювальний інститут Великобританії
UC CC.	Union Carbide and Carbon Corporation

Актуальність теми. Однією з задач, що виникли в наслідок отримання Україною державної незалежності є чітке визначення її внеску в скарбницю світового науково-технічного прогресу. В цей же час економічна політика вимагає необхідність відновлення промислового потенціалу і вихід на рівень технологій, які досягли ведучі промислово-розвинуті країни. Ці та інші фактори обумовлюють потребу в знаннях про розвиток виробничих технологій, окремих галузей техніки й технічних наук, і роль вітчизняних учених, винахідників і значення історичних обставин, що впливали на цей розвиток. В сучасних умовах в вивченні історії науки і техніки необхідно застосовувати новий методологічний підхід, що, зокрема, передбачає висвітлення досягнень конкретних галузей науки, техніки та промисловості України, наукових шкіл і окремих учених і винахідників саме у світовому контексті, у порівнянні з історією відповідних напрямків інших промислово розвинутих країн і науково обґрунтованих доказів на цьому тлі вітчизняних пріоритетів.

Однією з провідних технологій сучасного виробництва є зварювання. З самого початку інтенсивного розвитку зварювального виробництва, з останніх десятиріч XIX століття вітчизняні винахідники і учені роблять помітний внесок у цю галузь техніки. Засновником найбільш поширеного зараз електричного виду зварювання був видатний вітчизняний винахідник М.М.Бенардос. В першій половині XX ст. зварювання відіграла помітну роль в індустріалізації СРСР, в виготовленні зброї в багатьох країнах світу і відродженні промисловості України. К середині сторіччя у Києві формується авторитетна найбільша в світі академічна Патонівська школа зі зварювання і родинних технологій. На світовому рівні виконуються роботи українських зварювальних лабораторій галузевих установ, кафедр навчальних закладів і заводів. Ця їхня історична діяльність і роль в розвитку зварювання досі не досліджувалася у світовому контексті, тому актуальним і престижним є докази пріоритету України в створенні сучасної передової техніки, значного внеску України у науково-технічний прогрес на прикладі розвитку зварювального виробництва. Для утвердження вітчизняних пріоритетів і для їхнього визнання світовою громадою виконані дослідження з історії техніки базуються на безперечних фактах, систематизовані і проаналізовані з використанням сучасних методів.

Зварювання інтенсивно розвивається і має подібні елементи з іншими видами обробки металів, тому при вивченні історії цього комплексу технологічних процесів знаходяться відповіді на актуальні проблеми сучасного розвитку багатьох галузей техніки. Деякі аспекти історії зварювання першої половини ХХ ст. актуальні у наш час ще й тому, що тут можна знайти приклади, що підходять для рішення організаційних і технічних проблем сучасності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження проводились відповідно до наукових програм Координаційної ради з проблем зварювання при Держкомітеті з науки і техніки СРСР 1979-80 рр., відповідно до програми Національного комітету при Міжнародному інституті зварювання № 27-48 від 14.05.1980 р. по захисту вітчизняного пріоритету в галузі дугового зварювання, темам НДР ІЕЗ ім. Є.О. Патона: «Исследовать генезис научно-технического прогресса и разработать концепцию отечественного приоритета в области сварки, металлургии и смежных технологий» №6/22-п 1989 р.; «История становления и развития сварки, спецэлектрометаллургии и смежных технологий в СССР» № 6/25-п 1990 р.; «Разработать принципы идентификации и формулирования терминов пл. сварке и смежным технологиям» № 6/29–п 4.12 1991 р.; «Історико-ретроспективний аналіз стану процесів зварювання та паяння» № 6,38/10-п 2005р. №держреєстрації 0101U004040; «Науковий аналіз і підготовка науково-інформаційних матеріалів до 75-річчя ІЕЗ ім. Є.О.Патона» № 6,38/17-п 2007р. № держреєстрації 0106U0006732; темі НДР НТУУ «КП» № 35/11-м 2004 р. «Дослідження визначення розробок з аерокосмічних технологій» №держреєстрації 056/024U006851; теми ЦДПН ім. Г.М.Доброва «Фундаментальні ідеї і теорії сучасного природознавства: історико-культурний і світоглядний контекст» № держреєстрації 0104U006358.

У виконанні розділів цих тем, що стосувалися розвитку зварювального виробництва здобувач був основним виконавцем; по темі №6/38-п 2007р. - керівником теми.

Мета й завдання дослідження. Відтворення історико-наукової картини виникнення й розвитку зварювального виробництва в економічно розвинутих країнах, у тому числі в СРСР і, зокрема, на теренах України; визначення ролі

вітчизняних винахідників і вчених, пріоритетів України в цьому процесі, значення для розвитку стану прикладних і фундаментальних наук, потреб промисловості, вимог науково-технічного прогресу й інших історичних обставин; визначення іманентних факторів, що обумовлюють розвиток зварювання та споріднених технологій.

У конкретні задачі досліджень входило:

визначити історичну обумовленість виникнення окремих технологій зварювання;

установити причинно–наслідковий зв'язок загально-історичних подій із розвитком зварювання й споріднених технологій;

висвітлити значення впливу й досвіду державного планування й інновацій в окремі технології й галузі промисловості;

розробити періодизацію історії зварювального виробництва;

відтворити історичні умови виникнення й розвитку технічних можливостей основних способів зварювання, встановити пріоритетні винаходи;

вивчити діяльності і встановити внесок конкретних учених й винахідників у створення зварювальних технологій;

порівняти розвиток технологій на прикладах зварювання на теренах України з розвитком аналогічних технологій у провідних капіталістичних країнах, і визначити місце вітчизняної зварювальної техніки у світовому науково-технічному прогресі;

розробити методику оцінки значення окремих наукових досягнень для розвитку техніки, методи систематизації технологій, структур статей із техніки для енциклопедій і тлумачних словників з урахуванням генезису і історії розвитку.

З огляду на те, що історія зварювання у світовому контексті за весь час існування сучасних технологій досліджується вперше, основними задачами були : 1) збір архівних матеріалів і перших публікацій про нові (на визначений час) способи; 2) аналіз генезису і розвитку істотних наукових і технічних елементів способів зварювання; 3) уточнення біографій винахідників і вчених і визначення їхнього конкретного внеску в створення і розвиток технологій; 4) вплив наукових і технічних досягнень на економіку і політику окремих держав. Для вирішення цих задач була розроблена спеціальна методика, яка базується на визначенні і аналізі

подальшого історичного розвитку суттєвих ознак технологій, обладнання, наукових і організаційних ідей окремих діячів або колективів. Причому нами обов'язково беруться до уваги історичні обставини й технічно-економічні можливості. Але в цих дослідженнях увагу приділено й загальним питанням зв'язків розвитку зварювального виробництва та споріднених технологій з політичними і соціальними факторами.

Хронологічні рамки дослідження обрані, виходячи з необхідності скласти уявлення і з'ясувати історію тих технологій зварювання сучасності, що виникли й розвинулися в першій половині ХХ ст. В цей період зварювання повністю замінило клепання і до середини минулого століття стало провідною технологією з'єднання металевих виробів.

Об'єктом дослідження є зварювальне виробництво: наукові дослідження, розробка, техніка й наслідки впровадження.

Предмет дослідження є історія-виникнення й розвитку технологій виробництва та використання зварювання для будівництва інженерних конструкцій; діяльність учених і винахідників, науково-інженерних об'єднань, учбових і науково-дослідних закладів, наукових шкіл, окремих видатних науковців і винахідників, що працювали в цьому напрямку; значення історичних умов, наукових досягнень і технічних можливостей для розвитку, впровадження нових технологій; роль держав і окремих фірм у прискоренні науково-технічного прогресу.

Територіальні межі охоплюють Україну, яка в ті часи була в складі Російської імперії й у складі СРСР, і найбільш промислово розвинуті тоді країни, а саме: США, Великобританію, Німеччину, Францію, Італію, Бельгію й в окремих випадках деякі інші країни.

Методологічні та теоретичні основи дослідження. Для затвердження вітчизняних пріоритетів і для їхнього визнання світовою громадою виконані нами дослідження з історії техніки базуються на безперечних фактах, які систематизовані і проаналізовані з використанням сучасних методів. Основною методологічною лінією є широкий історичний контекст порівняння розробок вітчизняних учених і винахідників з аналогічними роботами закордонних діячів техніки, відмова від комплексу безумовного російського, і радянського пріоритету, але натомість

документальний науково підтверджений доказ створення в Україні значної кількості сучасних технологій зварювання. Розроблено й застосовано принципово новий метод оцінки пріоритету й визначення піонерських винаходів по історії розвитку окремих суттєвих ознак винаходу, значення для подальшого розвитку зварювального виробництва. Складовими багатофакторного аналізу є також об'єктивні чинники: історичні події глобального масштабу, наукові відкриття, потреби науково-технічного прогресу, створення нових конструкційних матеріалів, факти творчої діяльності учених і винахідників, робота наукових шкіл та ін. Для визначення періодів розвитку зварювання проаналізовані технічні можливості і обсяг застосування зварювання у промисловому виробництві.

Джерельна база дослідження. Для історико-порівняльного методу використано данні перших наукових публікацій, патентів, архівних матеріалів, рукописів. Матеріали наукової літератури й публікацій у спеціалізованих періодичних виданнях, у тому числі закордонних, доповнені загальною історичною інформацією з монографій історичного характеру. Вивчення архівів Києва, Москви, С.-Петербургу, Костроми, Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона (ІЕЗ) дало можливість з'ясувати історію створення й розвитку дугового й електрошлакового зварювання, а також увести в широкий науковий обіг нові беззаперечні дані про обставини винайдення провідних видів зварювання. Невживана раніше інформація з теми дисертації була знайдена також у Національній бібліотеці України ім. В.І.Вернадського, Російській державній бібліотеці, Російській політехнічній бібліотеці, Петербурзькій публічній бібліотеці ім. М.Є.Салтикова-Щедрина, у бібліотеках Інституту природознавства і техніки ім. С.І.Вавилова і МВТУ ім. М.Є.Баумана. Були проаналізовані матеріали про винаходи з дугового зварювання, що їх отримано з патентних відомств Франції, Великобританії, Іспанії. У дослідженнях були вивчені документи з історії зварювання за кінець ХІХ ст., що були надіслані з Міжнародного інституту зварювання, Американського зварювального товариства, Німецького товариства зварників, фірм «Дженерал електрик», «Хобарт» (США), «Кьельберг» (Швеція) та ін.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі виконано комплекс досліджень з історії розвитку провідних технологій зварювання в Україні у світовому контексті:

1. Уперше на теренах колишнього СРСР зібрано матеріали з історії зварювального виробництва в провідних у технічному відношенні країнах, достатні для здійснення порівняльного історико-наукового аналізу розвитку зварювання в Україні у світовому контексті.

2. Уперше визначений вплив на характер розвитку зварювальної науки і техніки матеріальних, соціальних та інших умов роботи й особистих якостей винахідників і вчених, традицій наукових шкіл.

3. Уперше виявлено науково-технічні умови, виробнича необхідність і техніко-економічні переваги, які викликали виникнення нових способів зварювання, установлені загальні закономірності для ряду суміжних і подібних технологій, які виникали в період, який розглядається. На відміну від існуючої періодизації в історії зварювання, яка була заснована на хронології політичних подій у історії СРСР, запропонована періодизація по стану промислового використання зварювання, з розподілом на періоди освоєнням нових джерел енергії й принципів їхнього використання. На основі аналізу документального й статистичного матеріалу згідно з новою періодизацією зроблений висновок про загальний характер розвитку зварювання в промислово-розвинутих країнах.

4. Історію зварювання вперше досліджено як історію комплексної технології, що складається з таких окремих наукових напрямків, як фізичні особливості джерел живлення й нагрівання; хіміко-металургійні процеси в матеріалах, що зварюються; проектування й виготовлення зварних конструкцій.

5. Установлено нову дату першого в історії практично реалізованого винаходу в галузі дугового зварювання, що закріпила за вітчизняним винахідником М.М.Бенардосом всесвітній пріоритет на рівні ЮНЕСКО. Установлені нові точні дати низки подій в історії зварювання, створено хронологію розвитку основних видів зварювального виробництва.

6. Установлено впливову роль прогресивних технологій зварювання у загально історичних подіях і вплив на розвиток економіки, у тому числі на масовий випуск

автомобілів у США; на індустріалізацію в СРСР; забезпечення озброєнням країн, що брали участь у Другій світовій війні; відродження промисловості України після фашистської окупації; вирішення проблем паливно-енергетичного комплексу; виготовлення нового класу машин тощо.

7. У дисертації також вирішена наукова методологічна проблема – створення методу дослідження виникнення нових технологічних процесів виробництва та обробки матеріалів, беззаперечного встановлення пріоритету, розроблена оригінальна методика, дослідження історичної значущості відкриттів і винаходів і встановлення новизни технологічних процесів за аналізом динаміки розвитку суттєвих ознак.

Отримані автором результати являються теоретичним узагальненням і рішенням проблеми, яка має важливе історичне, науково-технічне і політичне значення. Сукупність викладених у роботі наукових положень відкриває перспективний напрямок у дослідженнях з історії науки та техніки, у систематизації виробничих технологій, аналізі створення нових технологій і їх впливу на розвиток окремих галузей промисловості.

Практичне значення і реалізація результатів дослідження. Результати дослідження: впроваджено в практику виправлені історичні дати і нові уточнені дані з життя і діяльності вчених і винахідників, що внесені в енциклопедії, довідники, підручники; внесені уточнення термінологічних визначень у енциклопедіях і словниках; використані в науковій і популярній літературі; є основою експозиції ряду музеїв і виставок. Методика визначення суттєвих ознак технологій використана, крім доказів пріоритетів, також при виборі та опису термінів для видань “Большой Советской энциклопедии”, «Политехнического словаря», “Української Радянської енциклопедії”, “Енциклопедії Сучасної України”, Державного термінологічного стандарту України “Терміни зі зварювання” та ін. Матеріали досліджень становили основу для постанов про спорудження пам’ятників і меморіальних дощок М.М. Бенардосу, М.Г.Слав’янову і Є.О. Патону. Результати досліджень реалізовано в поштових марках, ювілейних пам’ятних медалях, у науково-популярних кінофільмах, книгах і статтях. Науково обґрунтована дата

створення електрозварювання, що занесена в «Календар пам'ятних дат ЮНЕСКО», енциклопедії та інші наукові видання після 1980 року.

Розроблена структура меморіальних музеїв винахідників і експозицій з історії технологій; матеріали й результати дослідження використані для створення меморіальних музеїв М.М.Бенардоса в Переяславі-Хмельницькому й Лухі (Російська Федерація), М.Г.Слав'янова в Пермі, Є.О.Патона в Києві, експозицій з історії зварювання в Політехнічних музеях у Москві і Києві, у краєзнавчих музеях Фастова, Іванова та інших.

Методика і результати досліджень використані при викладанні курсу історії науки і техніки в Народному університеті науково-технічного прогресу України, у викладанні окремих навчальних дисциплін у вузах, і складанні методичних посібників, у лекціях у НТУУ “Київський політехнічний інститут”, Івановському енергетичному університеті й інших вузах. З історії зварювання зроблено десять науково-популярних кінофільмів.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові дослідження і положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, розроблені здобувачем особисто. Розробка методів дослідження і доказів пріоритетів, а також гіпотези про обставини винайдення першого способу електрозварювання належать здобувачеві. Основна частина завдання сформульована академіком Б.Є. Патonom. Тема наукової праці та її структура сформульовані разом із науковим консультантом праці Ю.О.Храмовим. У роботі, що виконана разом з академіком К.К.Хреновим, здобувачем написана частина, статті (більш 50%) по матеріалам із розвитку зварювання в дореволюційній Росії, зокрема, про пріоритет вітчизняних винахідників. У роботі, що виконана в співавторстві з В.В.Будяковим, останнім систематизовані знайдені і раніш відомі матеріали про розповсюдження способу зварювання М.М.Бенардоса і громадської діяльності винахідника (менше 25%). У провадженні брав участь представник УРСР у ЮНЕСКО А.М.Зленко, режисер-студії “Укртелефільм” Г.Є.Десятник, співробітники музеїв, кафедр навчальних закладів та інші. Сценарії наукових фільмів і науково-популярні статті написані особисто. Тематико - експозиційні плани музеїв складені здобувачем особисто. Технічні завдання на виготовлення ювілейних і пам'ятних медалей, знаків поштової оплати, на проектування

пам'ятників М.М. Бенардосу в м. Фастові, у смт. Лух, та в с. Мостове (Бенардосівка), пам'ятника М.Г.Славянову у м. Пермі складені здобувачем особисто.

Апробація результатів дисертації:

Результати дослідження доповідалися і опубліковані:

1. Корниенко А.Н. Развитие научных положений и практических достижений Н.Г. Славянова при создании новых дуговых сварочных процессов под флюсом. /А.Н. Корниенко // Материалы научно-технической конференции «Передовые методы сварки». Пермь. – Перм. политехн. ин-т. – 1979. – С.15-18.

2. Корниенко А.Н.. Условия и предпосылки к использованию идей русских изобретателей за рубежом в XIX веке /А.Н.Корниенко. И.С.Хмель // Тезисы научно-технической конференции. – Иваново: НТО Энергетики.– 1981.– С.10–12

3. Корниенко А.Н. Создание Бенардосом первого способа дуговой электросварки /А.Н.Корниенко // Тезисы Всесоюзной конференции по электродуговой сварке. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. – 1981. – С. 5 – 7.

4. Корниенко А.Н. Состояние вопроса, методы и проблемы исследования жизни и деятельности русских ученых XIX века /А.Н.Корниенко // Материалы Всесоюзной конференции “Развитие электродуговой сварки и резки металлов”. – Киев: Наукова думка. - 1982. – С. 59 – 71.

5. Корниенко А.Н. Материалы международных и российских выставок XIX века “Источник информации о достижениях отечественной науки и техники /А.Н.Корниенко //Тезисы Всесоюзной конференции по дальнейшему совершенствованию НТИ по сварке. – Кишинев. – 1983.

6. Корниенко А.Н. Историческая обусловленность создания в XIX веке отечественной электротехники /А.Н.Корниенко //Тезисы научно-технической конференции. – Иваново: ГКНТ СССР. – 1983. – С. 3 – 5.

7. Корниенко А.Н. Некоторые аспекты состояния и перспективы развития дуговой сварки /А.Н.Корниенко //Тезисы Всесоюзной научно-технической конференции. – Иваново: Ивановский энергетический ин-т. - 1985. – С. 38 – 39.

8. Корниенко А.Н., Арсенюк В.В. Сварка в самолетостроении СССР до 1940г. /А.Н.Корниенко, В.В. Арсенюк. // Сб. Тезисы Всесоюзной научно - технической конференции. – Ч. III. – Пермь: Пермский политехнический ин-т. – 1988. – С. 4 – 5

Здобувачем написані розділи, що висвітлюють початок розвитку техніки зварювання.

9. Корниенко А.Н. Возникновение прогрессивных способов электросварки в последней четверти XIX в. /А.Н.Корниенко // Тезисы Всесоюзной научной конференции по истории науки и техники «В.И. Вернадский и отечественная наука». – Киев: Наукова думка. – 1988. – С. 211 – 213.

10. Корниенко А.Н. Исторический опыт управления развитием сварочного производства /А.Н.Корниенко // Сб. Тезисы Всесоюзной научно-технической конференции “Бенардосовские чтения”.15-18 апреля 1989. – Иваново: Ивановский энергетический институт – С. 151 – 152.

11. Корниенко А.Н. Проблемы и методы исследования вклада в развитие техники /А.Н.Корниенко //Тезисы Всесоюзной научно - технической конференции. – Ч. I. – Пермь: ППИ. – 1989. – С. 14 – 19.

12. Корниенко А.Н. История формирования сварочной науки. /А.Н.Корниенко // Тезисы международной научно-технической конференции. 15-19 квітня 1991, Иваново: Ивановский энергетический ин-т. – С.121-124.

13. Корниенко А.Н. Четыре поколения Бенардосов на службе новому отечеству. «Україна-Греція: історія та сучасність». Київ: ІУ, 1993, С. 67-68.

14. Корниенко А.Н. История естествознания – состояние и новые задачи. /А.Н.Корниенко // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: Пороги. – 1994. – С. 92 – 93.

15. Корниенко А.Н. Изобретения Н.Г. Славянова и пути развития дуговой сварки /А.Н.Корниенко // Сб. Тезисы “Славяновские чтения (Сварка XXI века)”. – Липецк. – 1999. – С. 17 – 24.

16. Корнієнко О.М. Деякі сторінки життя Є.О.Патона / О.М.Корнієнко // Сб. матеріалів наукових читань: «Видатні конструктори України: Академік Є.О.Патон». 10-11 квітня 2002.,-К.: КПІ «ЕКМО»,.С.25-32.

17. Корнієнко О.М. Лупаренко Г.В. Внесок Інституту електрозварювання у виробництво танків Т-34. / О.М.Корнієнко, Г.В.Лупаренко // Сб. матеріалів наукових читань: «Видатні конструктори України».25-26 вересня 2002.,- К.: КПІ «ЕКМО»,.С.65-70.

Здобувачем досліджено розвиток шляхів вирішення проблем техніки зварювання.

18. Корнієнко О.М. Шляхи розвитку дугового зварювання в першій половині ХХ ст. / О.М.Корнієнко //Матеріали 2-ї Всеукраїнської наукової конференції “Актуальні питання історії техніки” 23-24 листопада 2003 р.,- К.: 2003.- С.92-94

19. Корнієнко О.М. Історичні передумови формування наукових основ зварювання / О.М.Корнієнко // Матеріали 3-ї Всеукраїнської наукової конференції “Актуальні питання історії техніки”, 21-22 жовтня 2004.-Київ: КПІ, 2004.-С.83-84.

20. Корнієнко О.М. С.П.Тимошенко як історик науки і техніки. /О.М.Корнієнко // Сб. матеріалів наукових читань: «Видатні конструктори України: С.П.Тимошенко – механік ХХ століття.» 20-21 вересня 2004. -Київ: КПІ «ЕКМО»,. С.55-61.

21. Корнієнко О.М., Жадкевич О.М. Вивчення в музейних експозиціях історії технології металів / О.М.Корнієнко О.М.Жадкевич // Матеріали 4-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції “ Український технічний музей: історія, досвід, перспективи “,12-13 травня 2005р.- Київ: КПІ, 2005.-С.110-113

Здобувачем запропоновано концепцію оцінки науково-технічної значущості експонатів.

22. Корнієнко О.М. Розробка технології виготовлення шаруватих конструкцій для ракет і апаратів що спускаються. / О.М.Корнієнко // Сб. матеріалів наукових читань:ДКБ «Південне» 50 років». Киев: КПІ 20-21 травня 2005. – С.67-70.

23. Корнієнко О.М. Государственная политика в СССР и США по ускорению научно-технического прогресса в первой половине ХХ века. / О.М.Корнієнко //Матеріали 4-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії техніки. 20-21 жовтня 2005. Київ – 2005. С.81-83.

24. Корнієнко О.М. Исследование жизни и увековечение деятельности Н.Н. Бенардоса / О.М.Корнієнко // Мат. межд. научно-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологий» 18-20 октября 2006. Иваново: Ивановский энергетический ин-т. - С. 106-113.

25. Корнієнко О.М. Праці Національної Академії наук в галузі космічного матеріалознавства / О.М.Корнієнко //Мат. наукових читань «Дніпровська орбіта-2006» (100-річчю О.М. Макарова). 14-16 вересня 2006. – Дніпропетровськ – С.56-60.

26. Корнієнко О. М. Еволюція досліджень життя та діяльності М.М. Бенардоса / О.М.Корнієнко //Всеукраїн. наукова конф. 12-20 жовт.Київ:-2006.

27. Корнієнко О. М., Жадкевич О.М. Вивчення історії, оцінка напрямків, прогнозування розвитку технології / О.М.Корнієнко О.М.Жадкевич // // Мат. Всеукр. науч.-метод. конф. „Викладання історії науки і техніки в університетах України”. – Харків: Національний технічний університет „ХПІ”, 2007. – С. 136-145

Здобувачем розроблено й викладено концепцію використання фактичних даних з історії науки і техніки для прогнозування подальшого розвитку.

28. Корнієнко О.М. Дослідження життя й увічнення діяльності М.М.Бенардоса /О.М.Корнієнко //М.М.Бенардос, Матеріали наукових читань “Видатні конструктори України”. К.: 2007. “ЕКМО”.-.С.7-18

29. Корнієнко О. М. Пам’ятки техніки- основна складова матеріальної культури людства. / О.М.Корнієнко // Питання науки і техніки. – 2007. - №1. –С. 38-45.

30. Корнієнко О. М. Наша стратегія – збереження і експонування пам’яток науки і техніки. /О.М.Корнієнко //Матеріали. VI й Всеукраїнської наукової конф. «Актуальні питання історії науки і техніки». Коростень. – 16-19 травня 2007. – С.24-29.

31. Корниенко А.Н. Евгений Оскарович Патон – выдающийся учёный в области сварки и мостостроения. /А.Н.Корниенко //Матеріали. Международного семинара «Патоновские чтения». -24-27 вересня 2008.Тбіліси – С.3-19

32. Корнієнко О.М. Особливості формування патонівської школи /О.М.Корнієнко //Матеріали. VII й Всеукраїнської наукової конф. «Актуальні питання історії науки і техніки». Київ. – 2-3 жовтня 2008

Дисертація обговорювалася й схвалена на семінарі в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона (м. Київ, 2007 р.), на розширеному науковому семінарі відділу історії науки ЦДПН ім. Г.М. Доброва (м. Київ, 2008р.), матеріали, що викладені у дисертації, багаторазово обговорювалися на нарадах у директора ІЕЗ ім.Є.О.Патона.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 100 наукових праць, з яких 3 монографії, 40 статей у фахових наукових виданнях, затверджених

«Переліком ВАК України»; 38 публікацій, які додатково відображають результати дисертацій; 32 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, симпозіумів, науково-практичних конференцій, наукових читаннях. У публікаціях відображені основні результати наукових досліджень дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 1.

ІСТОРИОГРАФІЯ ТА ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА З ІСТОРІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Дослідження з історії окремих галузей техніки, технологій, матеріалів як правило починаються тоді, коли цей підрозділ техніки займе «помітне» місце серед споріднених видів техніки і вже впливає на науково-технічний прогрес, відіграє роль в історичних подіях. До того часу техніка, що тільки виникла й ще не дала помітних результатів в більшості цікавить тих, хто займається її розробкою, а до екскурсів у історію за короткий час її існування звертаються при патентних спорах з

метою доведення пріоритету. Дослідження з історії з'єднання металів до ХХ ст. виконували в основному археологи, що вивчали старовинні зразки зброї, реманенту, прикрас. Зварювання, як технологія промислового виробництва почала набувати поширення у першому десятиріччі минулого століття. Майже одразу виник інтерес до історії цієї нової технології, особливо до діяльності винахідників. У першій половині ХХ століття швидко поширилося застосування в виробництві і ремонті металевих виробів зварювання і наплавлення. Ці обставини привернули увагу істориків і техніків до вивчення історії розвитку нових технологій. В 1930-х роках в СРСР і ряді закордонних країн було досліджено обставини створення нових на той час способів зварювання і діяльності винахідників. Але, незважаючи на відносно короткий час, що розділяв дослідників від історичних подій, як вітчизняними, так і закордонними дослідниками були припущені помилки в датах, в оцінці значимості винаходів, в тлумаченні сутності способів, тощо. В першу чергу це можна пояснити недосконалістю методики досліджень, кон'юктурними і навіть політичними настановами. Такий стан історичних досліджень генезису і розвитку зварювання призвів до суперечок про дати й авторів винаходів різних видів зварювання. Так, тільки ґрунтовні незаперечливі документовані дослідження генезису дугового зварювання довели пріоритет вітчизняного винахідника М.М. Бенардоса, що і знайшло підтвердження у календарі ЮНЕСКО [1]. Слід відмітити, що початок історичним дослідженням у галузі зварювання, а саме – автоматичному зварюванню під флюсом, у світовому контексті було покладено в ІЕЗ ім. Є.О. Патона Євгеном Оскаровичем Патоном [2].

1.1. Огляд основних робіт, що присвячені загальним питанням історії зварювання і суміжних технологій.

Історія виникнення електродугового зварювання опинилась в центрі уваги спеціалістів з техніки, особливо електротехніків, наприкінці ХІХ ст., майже одразу, як були практично доведені значні технічні можливості та переваги дугового зварювання перед клепанням. Наукова громадськість того часу не вагалась у визнанні автором першого способу електрозварювання видатного російського винахідника М.М. Бенардоса. На жаль, в жодній з численних публікацій не розкривалися а ні обставини створення першого способу зварювання, а ні

біографічні відомості про винахідника. На початку ХХ ст. історію зварювання ніхто не досліджував. Через 15 років після кончини М.М.Бенардоса його ж сучасник, А.К. Тімірязєв в “Очерках по истории физики в России” відзначав, що технічні заходи і досягнення Бенардоса докладно описані в літературі, але “никаких данных биографического характера о Бенардосе, кроме того, что он был дворянином, найти не удалось. Его способ сварки применяется и донныне” [3, с.85].

Наприкінці 1920-х років в СРСР приступають до індустріалізації економіки. Одночасно починають розгортатися застосування новітніх промислових технологій, серед яких було й зварювальне виробництво. Зварювання почало інтенсивно впроваджуватися в виробництво, прискорювати індустріалізацію СРСР, але дослідженням з історії зварювання не займалися. Із закордонними фірмами було укладено договори на поставку обладнання для машинобудівної галузі, будівництва Дніпрогесу та ін. У цей час у СРСР було організовано інформацію з досягнень у техніці, розгортається вивчення історії техніки, але на історію зварювання увагу й тоді не звертали.

Початок системних досліджень з історії зварювання в СРСР можна віднести до 1935 року, коли К.К. Хренов вперше оприлюднив біографію М.М. Бенардоса, а потім і М.Г. Слав'янова і включив цей матеріал у дисертацію [4, 5]. На протязі наступного десятиліття в вивченні історії зварювання взяли участь В.П. Нікітін та деякі інші спеціалісти в галузі зварювання [6-8]. На жаль, у цих роботах було припущено помилки, в тому числі і в обставинах створення перших способів дугового зварювання. В наступних дослідженнях подібні помилки повторювалися, що дало можливість вагатися в вітчизняних пріоритетах. Зокрема, було невірно вказано міста, де перебував Бенардос в той час, коли винайшов новий спосіб з'єднання, де був і чим займався в останні роки життя. Ця плутанина призвела до того, що через декілька десятиріч у закордонних істориків зварювання з'явилася можливість відкидати пріоритет винаходу Бенардосом електродугового зварювання.

В 1930–х рр. посилюється втручання державних і партійних органів в історичні дослідження, зокрема в дослідження з історії техніки. Зменшуються кількість праць з всесвітньої історії, не даються порівняння з розробками закордонних винахідників, публікації в радянських виданнях відрізняються майже безґрунтовними

голосливими твердженнями про першість вітчизняної техніки і пріоритетах наших винахідників [9-13]. Результати таких досліджень не визнавалися закордонними колегами. Слід відмітити, що і за кордоном в той час не вважали за потрібне об'єктивно висвітлювати історію техніки, всіляко підкреслюючи значення своїх учених і винахідників. З середини того століття за кордоном почали активно досліджувати історію розвитку зварювання і споріднених технологій, було надруковано монографії в США, Канаді, Великобританії, Італії, Японії, але в жодній з них не розкривається внесок радянських учених і винахідників, не досліджені обставини створення окремих способів і діяльність окремих винахідників. Стосовно до дослідження історії зварювання такий стан зберігався майже до кінця минулого сторіччя і кожний з дослідників без документованих порівнянь, аргументів і аналізів спробував довести те, що йому замовляли або було необхідно з тих чи інших потреб. На теренах Росії, СРСР і країн колишнього СРСР виникнення зварювання і діяльність винахідників і фірм за кордоном не досліджували, за винятком роботи А.О. Чеканова з невеликого розділу, а саме – з автоматичного зварювання.

У 1950-70-х роках професійно історією зварювання займалися в Інституті історії природознавства і техніки АН СРСР (А.О. Чеканов) і в Інституті історії України АН УРСР (М.М. Матійко). А.О. Чекановим досліджено життя і діяльність М.М. Бенардоса, М.Г. Слав'янова і Є.О. Патона, історію розвитку дугового автоматичного зварювання у світовому аспекті [14-17]. М.М. Матійко дослідив історію зварювання в Україні і різні аспекти зварювання в СРСР [18, 19].

Дослідження з історії зварювання отримало новий імпульс в 1970-80-х роках. Пояснюється це, перш за все, тим, що впровадження зварювання в машинобудування і промислове будівництво, що почалося за 50 років до того, обумовило інтенсивне вдосконалення основних способів зварювання, створення наукових засад. А разом з тим посилювався інтерес до витоків технологій, які стали провідними в багатьох галузях промисловості. Підводячи підсумки розвитку зварювання за другу половину 1970-х років, Б.Є. Патон писав: «Последние годы характеризуются интенсивным развитием сварочной науки и техники. Созданы новые способы сварки различных материалов, разработано более совершенное оборудование, глубже изучены физико-химические явления при сварке. Вместе с тем усиленное развитие машиностроения,

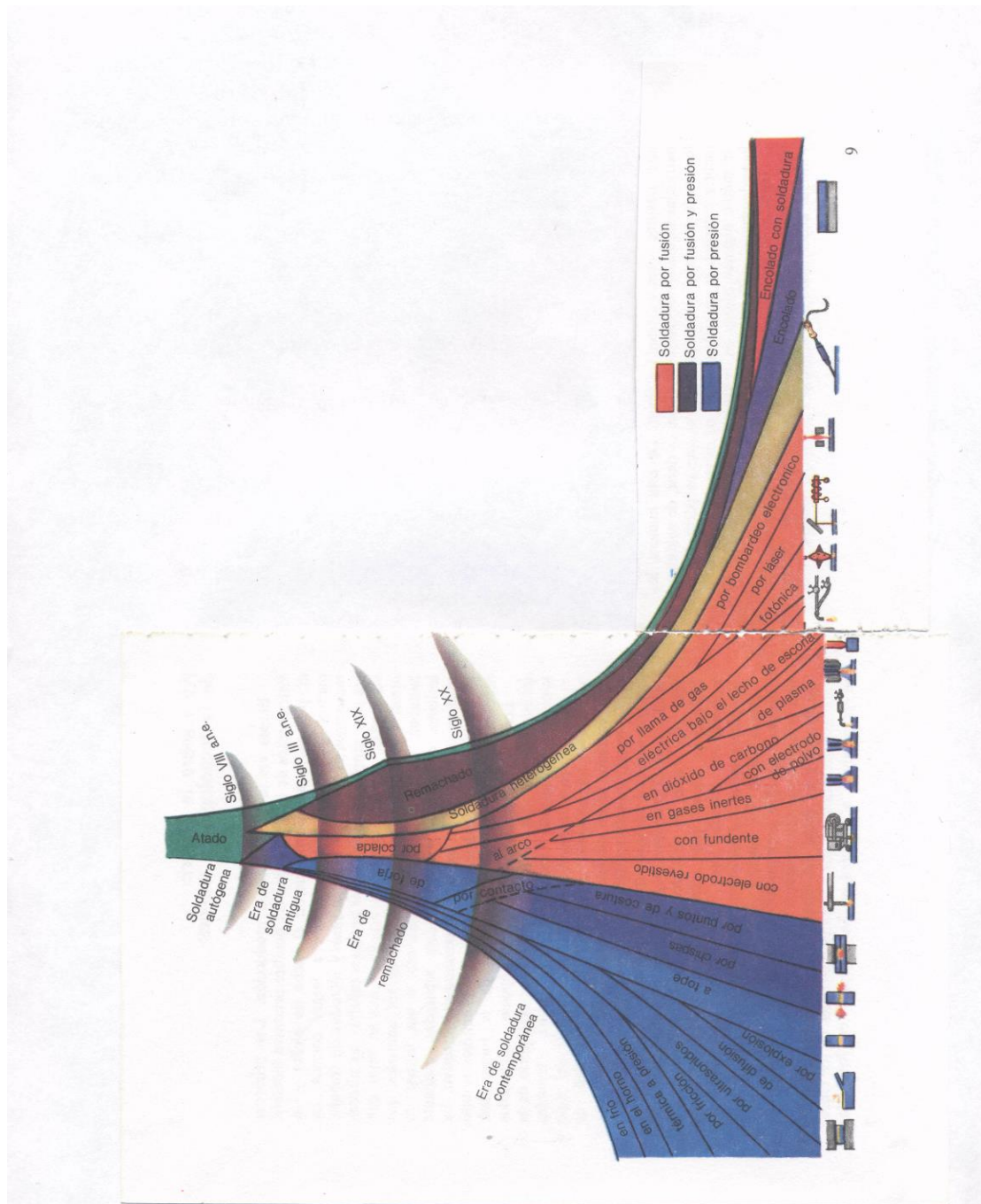
создание новых конструкционных материалов предъявляют к сварочному производству все более жёсткие требования в части повышения надежности и долговечности сварных конструкций. Эти требования могут быть удовлетворены лишь при условии оптимального управления сварочными процессами, при котором предполагается возможность осуществлять количественные прогнозы.» [20, с.4]. Тобто, разом з оцінкою стану зварювального виробництва, Б.Є. Патон підкреслює значення прогнозів, для складання яких, як відомо, необхідно знати минулий стан, динаміку і тенденцію розвитку [20]. Перш за все має бути виконано огляд основних робіт, що присвячені загальним питанням історії зварювання.

В 1976 р. Координаційною радою зі зварювання при Держкомітеті з науки й техніки СРСР було вирішено підготувати велику за обсягом працю з історії розвитку зварювання в країні, розроблено структуру двотомника, вимоги до статей і визначено редакційну колегію і авторів. До складу редакційної колегії ввійшли провідні учені ІЕЗ ім. Е.О. Патона, Інституту історії природознавства і техніки АН СРСР, МВТУ ім. М.Е. Баумана, сектора історії науки і техніки Інституту історії АН УРСР. Авторами цієї роботи (“Сварка в СРСР”), є біля сотні спеціалістів в галузі зварювання, в основному викладачі московських вузів і в меншій частині – провідні спеціалісти ІЕЗ ім. Є.О. Патона, тому матеріал більшості розділів викладено тільки як опис техніки. Але цей великий збірник праць не став монографією, тому що не було обумовлено і пов’язано викладання фактів з періодами в історії розвитку [21]. Матеріал окремих розділів зрідка тільки прив’язувався до загальноісторичних подій у країні. В деякій мірі методи історичних досліджень використовувані в розділах, що написані К.К. Хреновим, А.О. Чекановим і М.М. Матійкой, а один з розділів - у співавторстві нами із К.К. Хреновим. Крім цього, суттєвим недоліком є те, що не описано зварювальне виробництво в таких важливих провідних галузях, як авіаракетобудування, будівництво військових кораблів, вогнепальної зброї та деякі інші. Саме тут було вказано багато пріоритетних дат винаходів, але були припущені і деякі помилки. При порівнянні з архівними і літературними джерелами нами були знайдені помилки – невірні роки, назви підприємств, розбіжності в визначенні способів зварювання і наплавлення.

Значну увагу стану і перспективам розвитку зварювального виробництва і окремим видам зварювання приділяв і приділяє Б.Є. Патон. В ряді його публікацій крім аналізу стану і прогнозів є історичний огляд, дана оцінка минулого шляху розвитку. Як правило, такі публікації присвячені підведенню підсумків за окремий період і ретельне дослідження цих публікацій складає вагомую частину дисертаційної роботи і допомагає пов'язати стан зварювального виробництва з загальноісторичними подіями та станом економіки [22, 23].

До загальноісторичної літератури можна віднести, з деякими обмеженнями, мемуарну, науково-популярну і учбово-методичну літератури, де є відомості з фактичних подій, коментарі до них і аналіз ситуацій, оцінка і значення науково-технічних досягнень, помилок тощо. Так, в науково-популярній книзі «Огонь сшивает металл» [24] авторами дано історичний огляд розвитку зварювання і показано значення технології в розвитку цивілізації. Саме тут вперше наведена схема взаємозв'язку видів зварювання у вигляді «дерева» (рис. 1-1).

Пізніша колективна праця вчених ІЕЗ ім. Є.О. Патона містить статті, що відбивають основні напрямки проведених в інституті досліджень: розробка матеріалів і технологій виробництва труб для магістральних трубопроводів, технології зварювання трубопроводів; створення зварених конструкцій; підвищення несучої здатності й довговічності зварених конструкцій; техніка й технологія спеціальних видів зварювання - плазмового, електронно-променевого, зварювання тертям і обертовою дугою, підводного і зварювальні процеси в космосі. Розглянуто питання зварювання кольорових і високореакційних металів і їхніх сплавів, розробки сталей, що добре зварюються [25].



Життю і діяльності Є.О. Патона, і роботі Інституту електрозварювання (ІЕЗ) присвячені дослідження В.І. Оноприєнка, Л.Д. Кистерської і П.І. Севби [26]. Авторами вперше введено у науковий обіг деякі матеріали з архівів країни; зібрано й проаналізовано великий масив архівного матеріалу, на засадах якого уточнено деякі обставини з життя і діяльності Є.О. Патона, внесок ученого у світовий розвиток мостобудування й зварювального виробництва, встановлено етапи формування науково-інженерної школи й її роль у вирішенні проблем науково-технічного

прогресу. У книзі представлено узагальнюючу схему розвитку зварювальних технологій.

У збірці праць, присвяченій 100-літтю винайдення дугового електрозварювання М.М. Бенардосом, вміщені статті з історії винайдення зварювання, етапів розвитку, сучасного на той час стану, перспективам розвитку окремих технологій і обладнання. Саме тут відмічено значний внесок вітчизняних діячів цієї галузі техніки [27].

До окремого виду досліджень з історії зварювання слід віднести комплексні наукові розробки з теорії зварювальних процесів, де етапи розвитку показані з метою пояснення суті технологій [28]. Комплексну інформацію про стан зварювання, що зафіксована на визначений час, можна знайти в довідково–енциклопедичній літературі [29,30].

1.2. Стан досліджень історії зварювання в СРСР.

Багато фактографічного матеріалу з історії виникнення, розвитку і впровадження в різні галузі промисловості окремих видів і способів зварювання містяться в публікаціях оглядового характеру, ювілейних виданнях і в мемуарній літературі. Збір і аналіз інформації з цих джерел вимагає знань особливостей виробництва конструкцій і конструкційних матеріалів, характерних для галузі, і особливостей технологій зварювання, обладнання і зварювальних матеріалів. Одночасно важливою складовою інформації є історія розвитку різних галузей, на тлі якої відбувається розвиток конкретної зварювальної технології.

Найбільше фрагментарних даних з розвитку джерел живлення для електричних видів зварювання знаходиться в дослідженнях, що відносяться до електротехніки. Перш за все це монографії, що виконані в ІІІТ, Інституті історії АН УРСР, у галузевих установах Л.Д. Белькіндом, М.М. Матійком, та ін. [31-33].

Є.О. Патон деякі з своїх монографій і збірок праць, що їх редагував, починає з історичного огляду. Так, у деяких зі своїх праць Є.О. Патон у перших розділах розглядає історію наукового питання, аналізує шляхи розвитку. Серед основних видань праць відомого вченого-інженера слід відмітити зібрані праці з питань мостобудування - про зварювання мостових ферм металевих мостів з поздовжніми балками [34], а також більш пізні основні праці з електрозварювання, а саме: про

обладнання і технологію швидкісного автоматичного зварювання під шаром флюсу, особливості автоматичного зварювання в суднобудуванні, раціональний вибір сталі для зварних мостів, про суцільнозварні залізничні мости, висвітлено досвід співдружності ІЕЗ з виробництвом та ін. [35]. Ознайомлення з цими працями дає читачу досить широке уявлення про основні напрями наукової та інженерної діяльності Є.О. Патона і, що особливо важливо, – зафіксовано стан зварювальної техніки на період життя ученого [36].

Подібна збірка була випущена в 1988 році до 100-ліття винаходу зварювання за методом Слав'янова. У наступні роки виходило декілька збірок праць, що були присвячені черговим ювілейним подіям в історії зварювання. У збірці праць конференції, присвяченої 150-річчю з дня народження Слав'янова, представлені доповіді з деяких питань не тільки життя й діяльності російського інженера, а й досвіду вивчення нових зварювальних технологій, показано зв'язок робіт винахідника з сучасними технологіями [37].

Важливі фактографічні дані можна знайти в дослідженнях, що присвячені іншим, суміжним або узагальнюючим галузям. Але слід ретельно аналізувати інформацію в монографіях і збірках, присвячених розвитку різних галузей виробництва, що використовують зварювання або виготовляють зварювальні матеріали і обладнання. В деяких розділах монографії “Неорганическое материаловедение в СССР”, згадується про роботи, пов'язані із зварювальним виробництвом [38]. Так, в розділі 3, який присвячений історії і стану розробок і виробництва конструкційних сталей, відмічається, що ІЕЗ ім. Є.О. Патона разом з деякими іншими науково-дослідними інститутами сформулювали вимоги до технологічних якостей і хімічного складу вуглецевих сталей для відповідальних конструкцій [38, с.47]. В цілому, в колективній монографії значення зварювального виробництва для розвитку виробництва металів (розробка вимог до якості, розробка способів обробки, тощо) не висвітлюється.

Значний обсяг досліджень з історії суміжної спорідненої зі зварюванням технології – напилювання покриттів виконано Л.Г. Полонським [39-41]. Ним введено в науковий обіг і досліджено широке коло джерел, здійснено цілісний аналіз розвитку у світовому контексті провідних видів напилювання, знайдено

закономірності вдосконалення техніки від ряду факторів, визначено перспективи подальшого розвитку цієї галузі техніки.

У ряді робіт достатньо глибоко на тлі загальної історії показано історію різних галузей промисловості. Наприклад, дослідження з танкобудування не обмежені рамками танкових проблем і танкових військ; відображені також загальні питання державної і оборонної політики країни у передвоєнні роки, без чого не можна чітко встановити причини перемоги СРСР над фашистською Німеччиною та її сателітами [42-44]. Внеску деяких наукових установ, окремих підприємств, фахівців-зварників, учених, викладачів у розвиток воєнної, будівельної та інших галузей промисловості, що був необхідним для перемоги СРСР у Великій Вітчизняній війні, присвячений збірник робіт деяких російських дослідників до 50-річчя Перемоги [45].

Наприкінці ХХ ст. в багатьох галузевих часописах з'явилися історичні публікації, в яких підводяться підсумки досягнень в окремих галузях зварювального виробництва, окремих напрямків діяльності НДІ і ДКБ, визначається роль керівників і винахідників. Серед таких робіт є дослідження участі ВНДІ Будівництва трубопроводів. Слід підкреслити, що в цій, як і в деяких інших публікаціях російських дослідників зварювання, починаючи з 1990-х років, проявляється суб'єктивний підхід: підкреслюється роль російських учених і керівників виробництва і замовчується роль організації, що була провідною в СРСР на протязі кількох десятиріч – ІЕЗ ім. Є.О. Патона [46, 47]. В той же час, відомі публікації, в яких більш-менш об'єктивно висвітлюється діяльність українських учених в сфері впровадження досягнень науки в виробництво [48,49].

В СРСР, а в останні роки і в Україні вийшли окремі монографії і брошури, присвячені життю і діяльності Є.О. Патона і Б.Є. Патона [50-52]. Відповідну мемуарну літературу можна віднести до невід'ємних джерел, що висвітлюють історичні події з історії техніки. Але при застосуванні цих джерел треба враховувати, що одночасно з можливо багатим фактичним матеріалом, оцінка подій робиться окремим суб'єктом, як правило, з обмеженої точки зору. З документальної повісті про Героя Соціалістичної Праці академіка АН УРСР Є.О. Патона, написаної його помічником, можна довідатися про діяльність і повсякденне життя у період 1945-1953 років. Праця репортажного характеру тільки торкається робіт ІЕЗ ім.

Є.О. Патона [52]. Книга «Рассказы о Патоне» - колективний портрет Євгенія Оскаровича Патона, написаний на основі спогадів 30 ветеранів -патонівців. Вона відтворює не тільки епізоди життя й діяльності Є.О. Патона на основних етапах становлення Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, а й показує стан зварювального виробництва [52].

Вивчення діяльності наукових шкіл в радянській і українській зварювальній історіографії обмежувалося описом досягнень ІЕЗ ім. Є.О. Патона і внеску окремих учених і винахідників. Ці праці не розглядали історію зварювання за кордоном, тут не відзначалося світове значення розробок ІЕЗ ім. Е.О. Патона [53-55]. До загально-історичної літератури можна віднести, з деякими обмеженнями, мемуарну, науково-популярну і учбово-методичну літератури, де є відомості з фактичних подій, коментарі до них і аналіз ситуацій, оцінка і значення науково-технічних досягнень, помилок тощо.

Помилки в датах, назвах міст, установ і підприємств зустрічаються в наукових і науково популярних виданнях, у навчальних посібниках і дотепер. Так, в роботі [56, с.13] вказана дата народження Є.О. Патона «5 березня» (замість 4 березня), «академія наук Української РСР» (замість ВУАН), «Ніжньотагільський вагонзавод» (замість Уралвагонзаводу); невірно вказані обставини початку виробництва танків, час життя Є.О. Патона.

Дослідження історії створення з'єднань, виконані провідними спеціалістами зі зварювання, були розглянуті на Московській конференції з проблем розвитку нових технологій. Визначені основні етапи розвитку зварювання. Спираючись на досвід минулих років, були запропоновані деякі рішення поточних проблем розвитку.

1.3. Аналіз закордонних досліджень зі зварювання

Монографії з історії зварювання надруковані у США, Італії, Канаді, Великобританії, Японії; статті з історії зварювання і споріднених технологій регулярно друкуються майже в усіх закордонних фахових виданнях. Але обсяг публікацій з історії зварювання в СРСР і, зокрема, в Україні відстає від тієї кількості статей і монографій, що видані за кордоном. У другій половині ХХ ст. закордонними вченими було розглянуто майже всі питання, що стосуються генезису провідних технологій і подальшого їх розвитку. Суттєвим недоліком таких досліджень є

відсутність інформації про значну частину робіт, виконаних в СРСР, і, зокрема, в Україні. Так, в колективній монографії істориків Оксфордського університету (Велика Британія) на чолі з П.Хоулдрокфтом, [57] і відомого історика США Р.Д. Симонсона [58] з усіх досягнень радянських учених і винахідників визнаються тільки винаходи ЕШЗ і зварювання в вуглекислому газі. Дещо більше написано в двотомній монографії італійського історика Ф. Манна, який використовував матеріали, що були передані йому нами [59]. Взагалі, навіть фундаментальні закордонні дослідження мають такі недоліки, як тенденційний підбір фактичного матеріалу і суб'єктивна оцінка навіть добре відомих фактів зі світової історії техніки. Прикладом перекручування історичних документів може бути «дослідження» спеціаліста з плазмового зварювання з НАСА (США) А.С. Нуньеса, який зробив спробу відкинути пріоритет М.М. Бенардоса в створенні електрозварювання [60].

Аналіз публікацій у виданнях, що виходять у США показує, що в цій країні історією зварювання й родинних технологій на протязі трьох останніх десятиріч займалися 12 людей у 8 установах (кафедрах, великих фірмах). Серед найбільш відомих істориків-зварників можна назвати Б. Ірвінга (Irving B). Ним детально вивчено історію виникнення, розвитку і впровадження майже усіх видів зварювання на території США. Історії зварювання в інших країнах він майже не торкається. Свій матеріал він викладає спочатку в порівняно невеликих статтях з окремих способів і галузей, а потім дає цей же матеріал у великих узагальнених статтях з більш розширеними коментарями [61]. Великий обсяг фактичного матеріалу з історії наведений у статті, присвяченій 75-річчю Американського зварювального товариства істориком зварювання, редактором журналу “Велдінг джорнал” Б. Ірвінгом [62]. Він розглядає основні події на тлі загальної політичної історії США і подій світових воєн, потреб промислового економічного розвитку і змагання в будівництві мостових конструкцій, трубопроводів, атомних електростанцій і ракетно-космічних систем. Відмічається, що у вирішенні проблем зварювального виробництва свого часу брали участь президенти США В. Вільсон, Ф. Рузвельт і Г. Трумен, створювались державні установи, які керували впровадженням зварювання. Але виклад історії зварювання в США обмежений матеріалами, які стосуються наукових і практичних робіт, пов'язаних з діяльністю АЗТ [62]. В часописах з

проблем зварювального виробництва, що друкуються в США, деяке місце відводиться історичним дослідженням [63-67].

Періодично до початкового періоду історії зварювання звертаються й інші дослідники в США, причому повторюють ті ж самі помилки, не беруть до уваги документальні дані. Наприклад, Н. Stacey пропонує розпочати історію дугового зварювання з дати відкриття електричної дуги, при тому вважає відкривачем Г. Деві. Багато помилок і в визначенні інших подій, зокрема в датах винайдення М.М. Бенардосом електрозварювання, винайдення зварювання плавким електродом М.Г. Слав'яновим або Ч.А. Коффіним та ін. [68].

Історії зварювання приділена увага канадськими спеціалістами [69].

Історія зварювання і суміжних технологій досить часто розглядається і в часописах Німеччини [70]. На тлі досягнень науки і техніки XVIII – початку XX століть розглянуто низку досліджень і винаходів в галузі зварювання; дано перелік патентів у цій галузі за час до 1934 р.[71]. 80-ти річна історія комітету з машинобудування Німеччини (Fusschuß für Anlagentechnik) при VDEh, що функціонує з 1918 року під назвою “Maschinenausschuß“, доповнює фактографічний матеріал з історії зварювання в цій країні [72]. З приводу 100-річного ювілею Німецького зварювального товариства в 1997 році були надруковані матеріали з історії розвитку зварювального виробництва. Підкреслено значний внесок саме німецьких науковців і винахідників в створення карбиду і розробку газового зварювання. Ці події започаткували в 1897 році створення об'єднання «Карбід кальцію – ацетилен» і Німецького товариства по карбиду і ацетилену, але через рік була створена Німецька ацетиленова корпорація (DAV) [72, 73].

Створення електродів в високоякісним покриттям бере початок від розробок шведського інженера О. Кьельберга (O. Kjellberg). Він заснував відому фірму ЕСАБ (ESAB) у Швеції, яка зараз має декілька філіалів у різних країнах світу і займається виробництвом зварювальних матеріалів і обладнання [74].

Виконана велика робота з дослідження основних етапів розвитку і впровадження зварювання з участю АЗТ у промисловість США, починаючи з робіт з лагодження суднових машин у роки Першої світової війни, налагодження виробництва зброї і будівництва суден у 1940-41 рр., широке застосування у післявоєнні роки в різних

галузях промисловості. Описана історія створення наукових основ зварювання, вивчення проблем руйнування зварних з'єднань, пошуку способів захисту зони зварювання та ін. В більшості робіт дослідників США підкреслений внесок саме американських винахідників. Так, на другий план відсуваються роботи М.Г. Слав'янова, а пріоритет у створенні способу зварювання плавким електродом віддається Ч.А. Коффіну, який нібито отримав патент США раніше, ніж російський винахідник, але якісного з'єднання не досяг [75-79].

Пітер Хоулдрокфорт, найбільш відомий дослідник історії зварювання, в одній зі своїх робіт описує історію розвитку і впровадження дугового зварювання в Великобританії, в тому числі, при спорудженні суцільнозварного мосту в 1934 році. Він доводить, що ряд фірм розробили технологію і обладнання для автоматичного зварювання під флюсом, які вперше були впроваджені в будівництві електростанцій. У роки війни на заході було розроблено дугове зварювання в інертних газах магнієвих сплавів і нержавіючих сталей. Огляд основних наукових розробок і впровадження зварювання в промисловість Великої Британії на протязі 60-ти років, починаючи з будівництва у 1933-34 роках суцільнозварного мосту (Billingham Branch). Як один з важливіших етапів в історії зварювання було створення і початок застосування зварювання під шаром флюсу (яке спочатку не визнавали за дугове зварювання). У Великобританії фірми Scotland, Babcock and Wilcox розробили для цього методу механізми подачі дроту, що забезпечували високу швидкість зварювання. Як приклад подальшого вдосконалення способів зварювання дано використання їх у 1941 році при будівництві паропроводів електростанції Battersea [108]. В Австрії досліджено історію автогенного зварювання, скорочено описано впровадження в промисловість і роботи з покращення якості зварювальних матеріалів [80, 81]. Деякий інтерес становлять звіти про розвиток промисловості й, особливо, про впровадження нових технологій у зварювальне виробництво, що їх друкують у закордонних спеціалізованих виданнях [82-88].

Запропоновано історію розвитку зварювання у Франції розділити на 3 періоди: 1930 – 1940 рр., 1940 – 1970 рр. і з 1970 року до сучасності. В перший період розроблені основи технології дугового зварювання і методів контролю якості з'єднання. У другому періоді закладалися наукові основи, рекомендації по

зварюванню, вимоги до кваліфікації зварників, тому що Після другої світової війни активізувалося застосування зварювання в усіх галузях машинобудування і почали створюватися нові процеси, засновані на використанні захисних газів при дуговому нагріванні, стиснутих джерел нагріву. Початок 3-го періоду французькі дослідники пропонують вважати з часів створення Товариства забезпечення якості, яке, зокрема, займається і проблемами зварювання [89].

У праці [90] дані відомості з історії розвитку дугового зварювання, яку автор починає з отримання М.М. Бенардосом європейських патентів. Основний обсяг досліджень присвячений подальшому розвитку дугового зварювання, зокрема створенню різних типів джерел живлення і нових зварювальних матеріалів.

Історія окремих видів зварювання і рішення проблем зварювального виробництва розглядається в роботах, присвячених ювілею діяльності МІЗ. Так, розвитку дугового зварювання під флюсом і в захисних газах, металургії зварювання, автоматизації процесів і стандартизації, значну увагу приділено 45-річному ювілею XII Комісії МІЗ. Коротко історія основних напрямків розвитку зварювання викладена також в окремих доповідях на сесії МІЗ, яка присвячена п'ятидесятиріччю цієї неурядової міжнародної організації [91].

Короткий історичний огляд створення і розробок порошкового дроту в провідних країнах світу виконано в Словенії. Запропоновано провести класифікацію дроту по різним параметрам, перш за все по конструкції, складу наповнювачів, зовнішньому вигляду, тощо [92].

Спорідненою суміжною зі зварюванням технологією є види різання, що засновані на схожих джерелах енергії і способах їхнього прикладання. Історія розвитку від газового різання до свердління електронним променем розглянута в роботі німецького дослідника В. Ваншина (Vanschen W.). Описані етапи конструювання обладнання і розробки технологій, показані схеми пальників, тримачів, електронних гармат, плазмотронів. [93]. Досить значний обсяг розвитку зварювальних процесів виконав співробітник Амстердамського університету Гірлінгс [94]. Зокрема, він підкреслив внесок у створення газового і дугового зварювання західноєвропейських винахідників. Значну увагу приділено саме значенню винаходу О. Кьельбергом високоякісних електродів і застосуванню зварювання в суднобудуванні,

мостобудуванні, сучасних конструкціях морських бурових платформ. Найбільша частина цього історичного дослідження присвячена становленню наукових засад зварювання. Але майже усе дослідження виконано на матеріалах зварювання в Нідерландах, частково в Бельгії, Німеччині, Франції. Деякі аспекти історії впровадження зварювання в суднобудування у 1930-х роках в Японії вивчені істориками Осацького університету[95].

Дослідженням швів виробів, виконаним ковальським зварюванням у середньовіччя, встановлено, що ця технологія забезпечувала достатньо високу якість коліс, ланцюгів цепів підвісних мостів, якорів морських суден. Досліджено історію ковальського зварювання в часи Римської імперії [96].

Історія окремих видів зварювання і рішення проблем зварювального виробництва розглядається в роботах, присвячених ювілею діяльності МІЗ, зокрема, розвитку дугового зварювання під флюсом і в захисних газах, металургії зварювання, автоматизації процесів і стандартизації, значна увага приділена 45-річному ювілею XII Комісії МІЗ. Коротко історія основних напрямків розвитку зварювання викладена в окремих доповідях на сесії МІЗ, яка присвячена п'ятидесятиріччю цієї неурядової міжнародної організації. [97].

Цікаві фактичні дані з історії виготовлення зварних конструкцій наведені у доповіді А. Хоббахера на конференції МІЗ [98]. Короткий огляд дає уяву про основні етапи становлення зварювального виробництва, починаючи з технології зварювання свинцевих пластин, розробленої Леонардо Да Вінчі. Слід відмітити, що німецький історик підкреслив значення для перемоги нових технологій застосування зварювання для лагодження російських суден у період війни з Японією, зварювання конструкцій ДніпроГЕС, автоматичне зварювання бронеконструкцій в роки Великої Вітчизняної війни і спорудження перших суцільнозварних мостів. Аналіз цієї доповіді [98] показує, що основні факти з розвитку зварювання в промислово розвинутих країнах у першій половині ХХ ст. вже наведені в серії наших статей, які були надруковані в журналах “Автоматическая сварка” і “Сварочное производство”.

На протязі багатьох років продовжуються дослідження на основі документальних даних археології про стан зварювання в найбільш розвинутих країнах древнього світу. Так в Німеччині надруковані статті з історії зварювання й паяння в Єгипті,

Греції, Римській імперії. Коротко перелічені основні етапи створення й розвитку видів зварювання плавленням: газо-кисневого, атомно-водневого, дугового під флюсом, у захисних газах) [99].

1.4. Джерела, що характеризують історичний фон

Історики техніки в СРСР недооцінювали два фактори, що суттєво впливають на хід розвитку технологій: 1) політичні і економічні умови; 2) роль видатних діячів і наукових шкіл. Оцінка умов обмежувалася посиланнями на постанови партії і уряду; історичне тло, організаційні умови, що впливали на розвиток промисловості, зокрема – технологій, в СРСР і на пострадянському просторі, не досліджувалися. Згідно з таким підходом до вивчення історії техніки, радянські історики зварювання розділяють історію зварювання на два етапи – дореволюційний і радянський; в свою чергу в останньому відрізняють довоєнний і післявоєнний періоди. Така періодизація не відповідає дійсному стану зварювального виробництва в визначені часи і з нею не можна погодитися [99].

Збірки статей і тез ювілейних конференцій можна розглядати як джерела узагальненого за визначений період розвитку зварювання, і фактографічний матеріал на час проведення конференцій і симпозіумів треба систематизувати відповідно до завдання дисертаційної роботи [100, 101]. Історичний фон, на тлі якого створювалися технології обробки матеріалів, в тому числі – зварювання, в достатній степені описано в наукових роботах, що яки можна віднести до загальних з історії науки та техніки [102-105]. На початку 1950-х років були надруковані біобібліографічні показники праць М.М.Бенардоса, М.Г.Слав'янова, Е.О.Патона [106, 107]. Таки праці є достатньо надійними джерелами для вирішення питань початку науково-пошукових робіт. Разом с тим можна встановити міру дослідження та обсяг робіт, що потребують вивчення.

Висновки до розділу

1. Зварювання, як технологія промислового виробництва почала набувати поширення у першому десятиріччі минулого століття. Майже одразу виник інтерес до історії нової технології, особливо до діяльності винахідників. З того часу

накопичена значна кількість фактографічного матеріалу, що зібраний як в монографіях, так і в окремих статтях, доповідях і звітах.

2. Незважаючи на відносно короткий час, що розділяв дослідників від історичних подій, як вітчизняними, так і закордонними дослідниками були припущені помилки в датах, в оцінки значимості винаходів, в тлумаченні сутності способів, тощо.

3. В СРСР і в пострадянських країнах досі не виконано цілісного історичного дослідження генезису зварювання і процесу розвитку зварювального виробництва в період із найдавніших часів до середини ХХ ст.

4. В СРСР і в пострадянських країнах ніколи не виконувалися цілісні історико-ретроспективні дослідження виникнення і розвитку зварювання у світовому контексті.

5. В деяких економічно розвинутих Західних країнах і Японії досліджено історію зварювального виробництва у світі, але в усіх публікаціях пропущена значна кількість фактичного матеріалу, що стосується окремих розробок винахідників і наукових колективів, що працювали на теренах України.

6. Відсутність в науковому обігу достовірних фактографічних даних українських винахідників, учених, наукових шкіл створює можливість для невірної опису і тлумачення подій з історії техніки, промисловості, економіки як в Україні, так і в інших країнах.

7. Після публікацій в часописах ІЕЗ ім. Є.О.Патона і збірках, що виходять на англійській мові, іноземні дослідники історії зварювання розширили обсяг розділів у своїх статтях, де йде мова про досягнення винахідників і наукових шкіл в Україні.

8. За минуле століття зварювальне виробництво набуло значного поширення серед технологій обробки матеріалів, охопило більшість галузей виробництва і охоплює комплекс різноманітних наукових, конструкторських, технічних, економічних та інших аспектів (Рис.1-2).

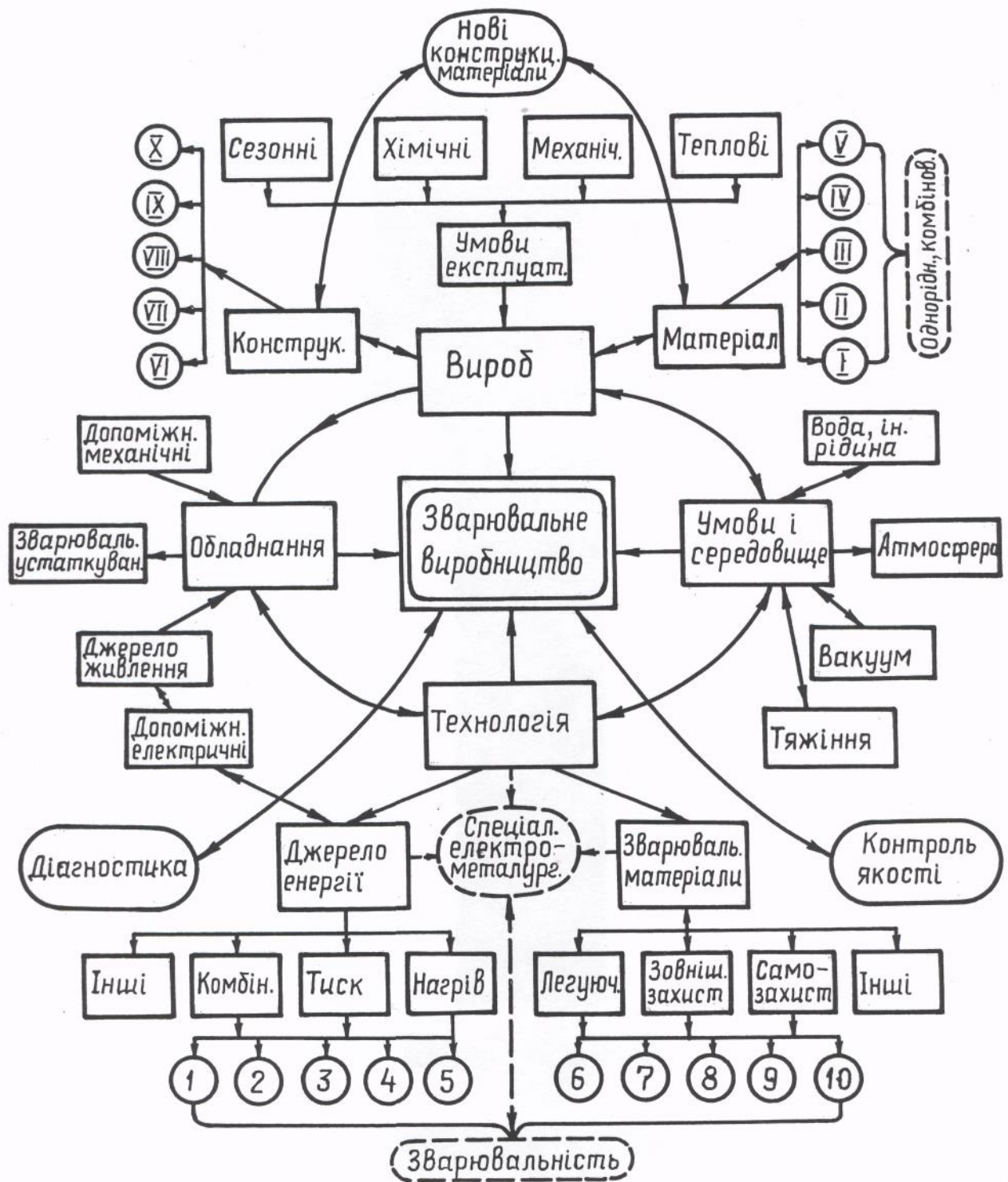


Рис. 1-2. Елементи зварювального виробництва. Позначення: I – Метали і сплави. II. – Біметали. III - Кермети. IV. - Пластмаси. V. – Біотканини. VI. – Піноматеріали. VII. - Типи зеднань. VIII. – Положення у просторі. IX. – Доступність. XI. – Кількість, програма.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Недоліки відомих досліджень з історії зварювання і основні помилки попередніх дослідників.

Виникнення, розвиток і впровадження однакових чи аналогічних способів зварювання в промислово розвинутих країнах проходили майже одночасно, залежало, крім політичних чи організаційних обставин, ще від ряду факторів. Для максимального використання технічних можливостей, для прогнозування подальшого розвитку технологій необхідно з'ясувати всі фактори, що впливали і впливають на цей розвиток.

Але таке завдання вимагає комплексного цілісного дослідження обставин створення способів, порівняння технічних можливостей, що в свою чергу, вимагає розробки методів досліджень. Так, щоб оцінювати фактографічні дані – технології, обладнання, матеріали, які могли змінюватися на протязі століття, треба провести ідентифікацію назв. Справжню класифікацію треба прив'язувати до технічного стану технології, визначати взаємозв'язок з виробництвом і наукою [108].

2.1.1 Деякі аспекти дослідження зварювання. Розвиток техніки зварювання включає декілька аспектів, найголовніші з яких: 1) використання нових схем застосування джерел енергії, необхідних для утворення з'єднань; 2) розробка нових і вдосконалення вже існуючих матеріалів, які застосовуються для захисту зони зварювання або для участі в формуванні з'єднання; 3) використання нової елементної бази для конструювання зварювального обладнання, розробка нового обладнання; 4) створення зварних конструкцій і споруд; 5) контроль якості і стану зварних виробів. Як правило, для досягнення суттєвого технологічного ефекту, економії матеріальних і енергетичних ресурсів, вирішувався увесь комплекс проблем. Ці особливості не враховувались у відомих дослідженнях з історії способів зварювання.

Окрім вивчення історії розвитку технології і з'ясуванні внеску окремих винахідників і учених, в дослідженнях зрідка відмічаються історичні обставини,

зокрема потреби промисловості, організаційні і технічні можливості реалізації пропозицій, а також роль у вирішенні проблем науково-технічного прогресу. Цей останній аспект історичного контексту необхідно розглядати у зв'язку з впливом на виникнення і розвиток наступних способів зварювання. У процесі створення нових технологій мають подолатися протиріччя між потребою, необхідністю, тобто між технічною задачею і технічними можливостями. Причому нове рішення знаходиться в рамках природних явищ незалежно від того, знані і вивчені вони чи використані інтуїтивно і знайдені в процесі практичної діяльності [109].

2.1.2. Державне-політичне відношення до досліджень історії техніки. Необхідно підкреслити, що партійна ідеологія і радянський патріотизм сприяли одностороннім дослідженням – з ухилом в бік перевищення вітчизняних досягнень і переваг над іноземними внесками в розвиток техніки, а також значення народного винахідництва. Як уже відмічалось в аналізі досліджень з різних аспектів історії зварювального виробництва, такий підхід притаманний і закордонним дослідникам. Але в сучасних умовах поширення міждержавних зв'язків на всіх рівнях є нагальна потреба в виправленні методів вивчення історії. Ідея особливого, важливого внеску в розвиток цивілізації, в науково технічний прогрес окремих країн, що її втілюють деякі дослідники з історії науки і техніки, заперечує меті Ради Європи – досягнення єдності країн. Ще 19 грудня 1954 року в Парижі було підписано Європейську Культурну Конвенцію, яка, між іншим, рекомендувала вивчати і висвітлювати позитивні взаємовпливи народів різних країн на історичний розвиток і засудили маніпуляції історією, як несумісні із принципами цивілізованих відносин [110].

Рада Європи рекомендує урядам аналізувати та інтерпретувати інформацію критично й відповідально, через пошук історичних доказів та свідчень, посилити довіру і толерантні стосунки всередині країн і між країнами та гідно зустріти виклик XXI століття. Для цього через знання своєї спільної історичної спадщини у місцевому, регіональному, національному, європейському та глобальному вимірах історичні дослідження та викладання історії мають бути сумісними з фундаментальними цінностями й статусом Ради Європи, який не дозволяє

зловживанню історією, зокрема через: зловживання історичними документами, заперечення або замовчування історичних фактів [111].

На той час радянські історики, дотримуюсь партійної лінії, розписували переважно значення вітчизняних діячів науки і техніки, не враховуючи аналогічні досягнення закордонних колег. Таке ставлення до істини по-суті обеззброїло наших спеціалістів з конкретних галузей техніки, коли вони пізніше почали широко спілкуватися із закордонними колегами і знайомитись з історією фірм, вислуховувати розповіді про тамтешніх винахідників і підприємців. Але матеріали з історії техніки необхідні не тільки технологам і конструкторам, що розробляють і розвивають окремі напрямки в техніці, але й фахівцям в областях науки про планування, охорону навколишнього середовища, систем керування виробництвом і ін.

У підготовці інженерно-технічних кадрів історія техніки має бути важливою складовою гуманізації сучасної науки і техніки. Саме на прикладах минулої руйнівної дії, що сталася при розгортанні добування вугілля, нафти і руди, розвитку металургії, транспорту та будівництва шляхів сполучення, та інших досягнень науково-технічного прогресу, виховується увага до можливих наслідків для довкілля, для пам'яток культури та ін. [112-113].

2.2. Основні методи досліджень.

2.2.1. Комплексний системний аналіз. Одним з методів досліджень з тих, що застосовані нами при вирішенні задач є системний аналіз з використанням діалектичного підходу до розглядання матеріалів. Дослідження генезису і розвитку технології, яка від допоміжної на протязі півстоліття перетворилася на одну з провідних технологій, проводилося також у напрямку оцінки внеску в науково-технічний прогрес і взаємовпливу на деякі історичні події. Причому особливо зважали на: 1) глобальні загально світові події – тенденції науково-технічного прогресу, індустріалізація, озброєння то що, 2) наукові, технічні, економічні можливості країни, регіону, можливості промислових груп, фірм то що, 3) наявність наукових традицій, шкіл, наукових і громадських об'єднань, 4) відношення державних установ, урядів до розвитку техніки, 5) можливість обміну інформацією, інформаційне забезпечення, 6) юридичні умови захисту підприємництва,

інтелектуальної власності, інноваційної діяльності, 7) обставини життя винахідників, їх матеріальні можливості, умови для наукової, виробничої і винахідницької діяльності то що. Комплексний системний аналіз сучасних технологій повинен базуватися на надійній методиці, яка враховує як умови виникнення і використання, так і відмінні суттєві ознаки технології та її технічні можливості. Відсутність такої методики допускала альтернативне тлумачення сутності винаходів, роль їх авторів у створенні і сутність розвитку технологій, більше того, в області зварювального виробництва і ряду аналогічних галузей не були відпрацьовані і до цього часу не узаконені єдині принципи визначення, що перешкоджає не тільки належному інформаційному обміну, але й розумінню сутності способів, створених кілька десятиріч тому, які повертаються у виробництво в тому ж або вдосконаленому вигляді.

При дослідженні в області історії науки і техніки особливе значення набувають документи, які торкаються життя і діяльності винахідників і вчених. Багаторазово підтверджено положення історичного матеріалізму про те, що всякий винахід є продуктом суспільної праці, результатом постійного накопичення технічних рішень. Як правило, до рішення, яке дає помітне зрушення в науці і техніці, відкриває нові можливості, приходять майже одночасно декілька чоловік в різних країнах. Зрозуміло, хтось встигає досягнути фінішу раніше інших. Треба вирішувати проблеми авторства з урахуванням патентного права, економічної зацікавленості, технічних можливостей та інших факторів.

2.2.2. Методи історичного аналізу розвитку промисловості і техніки.

Після листопадового 1930-го року пленуму ЦК ВКП(б) і постанови “О преподавании истории техники” в СРСР почалася розробка навчальних курсів з загальної історії техніки і окремих її галузей. Перед дослідниками і викладачами виникли різнохарактерні труднощі, серед яких були і труднощі методологічного характеру. Переїмати досвід Німеччини, де викладанню історії техніки в вищих навчальних закладах приділялася значна увага, не дозволяли ідеологічні розбіжності, а досвід інших країн був до того ж малодоступний. Було поставлено новаторське завдання – “разработать марксистскую концепцию истории техники, что выдвигало

на передній план проблему теоретического осмысления и практического использования марксистско-ленинского принципа партийности. Этот принцип был в центре внимания во всех методологических работах того времени... Научный уровень эмпирических исследований оценивался прежде всего с точки зрения и с учётом успехов или неудач в его использовании.”[114,с.40]. Далі Г.М. Салахутдинов, один із провідних учених 1970-80-х років з теоретичних проблем дослідження історії техніки, відмічає: “...приступая к проведению историко-технических исследований, историки техники должны были прежде всего глубоко изучить труды К.Маркса, Ф.Энгельса, В.И.Ленина о технике и закономерностях её развития”[114,с.40].

Беручи за методологічну основу історичних досліджень діалектичний матеріалізм, більшість істориків 1930-40-х років виконували історико-технічні дослідження хронікально-описового характеру. На протязі цих років у науковий обіг було введено багато інформації фактичного гатунку. Це стосується і історії зварювання та споріднених технологій. Однак вже з 1950-60-х років приділяється більше уваги вивченню внутрішньої логіки та закономірностей розвитку техніки. Діалектичний метод досліджень почав використовуватися у повній мірі, знадобилися методики спеціалістів із загальної історії: пошук джерел, їхньої критики, періодизації, тощо. Але, як відмічається в роботі [115,с.50] “...заимствование достижений других наук не удовлетворяет историю техники в методологическом (методическом) плане. В практике историко-технических исследований возникают специфические проблемы, требующие для своего решения специального «инструментария». Кроме того, слепой перенос в историю техники методов других наук во многих случаях некорректен и приводит появлению неточностей”[116,с.51].

Один з провідних сучасних дослідників у галузі історії науки і техніки Л.М. Бесов відмічає, що: ”Принципова новизна сучасних досліджень і викладання цієї історії... полягає в якісній зміні підходів шляхом висвітлення досягнень науки і техніки, окремих наукових шкіл і персоналій України на фоні світових здобутків у різні періоди її історичного розвитку”[116].

Як відмічає Л.О. Гріффін: ”У зв’язку з соціоприродною сутністю техніки і історія її розвитку також повинна мати дві сторони. В розвитку техніки точиться не лише боротьба ідей, але й боротьба людей (а то й цілих соціальних груп), що стоять за ними, котра дуже істотно впливає на долю тих чи інших технічних нововведень. З іншого боку, однак, техніка має і власні іманентні закони розвитку, котрі здійснюються незалежно від конкретних людей.” [117].

Признаючи цілком слушною таку оцінку розвитку техніки, нами частина досліджень присвячена діяльності урядових і суспільних інститутів та життю і діяльності в галузі зварювального виробництва видатних учених і винахідників.

Об’єктивно, для створення електрозварювання були розроблені наукові засади та з’явилася нагальна потреба в покращенні металопереробної промисловості, назріли потреби у розвитку транспорту, енергетики. Різко вирости механічні навантаження, температурні умови експлуатації багатьох металлоконструкцій, з’явилась потреба у підвищенні якості з’єднання їх частин. Незважаючи на вдосконалення техніки нагрівання і зростання потужності парових молотів, зварюванням в кузні не вдалось з’єднати деталі великих габаритів. Одним з існуючих недоліків другого методу з’єднання – клепання – була висока його трудомісткість. Серйозні проблеми виникали при ремонті виробу, оскільки для клепання чи зварювання в кузні часто виникала необхідність розбирати складні металлоконструкції. Неминучим було виникнення принципово нового способу з’єднання металів, заснованого на більш ефективному джерелі тепла, яке дозволяло б легко і швидко отримати стійке з’єднання деталей з будь-якого матеріалу, що використовується в промисловості.

Як і в історії науки, в історії техніки основною рушійною силою на сучасному етапі науково-технічного прогресу є наукові школи на чолі з лідером. Вивчення діяльності саме наукових шкіл за критеріями, що їх розробив Ю.О. Храмов, дозволяє об’єктивно визначити пріоритети і значення відкриттів і винаходів у розвитку техніки [118].

Дотепер залишається справедливою оцінка Г.М. Доброва, якій відмічав, що: «По отношению к истории технического творчества справедливо утверждение: чем обширнее история у данного вида техники, тем менее ее практически знают и тем

более настоятельно ее пристальное изучение, ориентированное как на теоретические, так и на прикладные цели» [119, с.50]. Він також посилається на думку американського спеціаліста в галузі інформації, що на сучасному етапі науково-технічного прогресу «для дальнейшего повышения эффективности использования результатов научных исследований очень важно глубокое «мысленное проникновение» в то, что было достигнуто ранее, то есть осуществление ретроспективного поиска информации» [119с.11]..

Там же Г.М. Добров пише: «Начальный этап истории данного вида техники, период пионерных решений, нередко более или менее изучен и в какой-то мере считается известным творцу техники. То же, что лежит за его пределами, - “предистория” основополагающих изобретений является, как правило, плохо разработанной и малоизвестной» [119, с.49].]

2.2.3. Специфіка вивчення історії технологій. Ряд істориків і філософів техніки вважають, що важливим аспектом історичності, її феноменом є обумовленість, зумовленість процесів технізації. Тісна інтеграція розвитку техніки з економічними факторами помічена ще в XVIII в. (Бекман, Лампрехт і ін.). Надалі відзначався "тісний зв'язок історії техніки з культурними традиціями, спеціальними умовами і розвитком, з політичними і соціально-психологічними факторами" [120, с. 54].

Відомі спроби розробити теорію творчості в області техніки і робочу методіку техніки [121]. У промислово-розвинених країнах багато фахівців різного профілю дотримують переконання, що стан науки і техніки впливає не тільки на задоволення матеріальних життєвих потреб, але і на культуру, духовний стан нації [120].

Матеріали з історії техніки необхідні не тільки технологам і конструкторам, що розробляють і розвивають окремі напрямки в техніці, але і фахівцям у областях науки про планування, охорони навколишнього середовища, систем керування виробництвом і ін. Оскільки такі вимоги стосуються і зварювання, як однієї з провідних технологій сучасного виробництва, під час вивчення історії його розвитку нами застосовано системний аналіз фактів. Вивчення історії техніки має значення для прогнозування розвитку окремих галузей. При історико-ретроспективному аналізі необхідно точно встановити суттєві ознаки винаходу і дослідити динаміку

розвитку кожної ознаки, кожної суттєвої складової винаходу. Причому, крім технічних можливостей, необхідно брати до уваги умови діяльності винахідника, потребу промисловості, загально історичну ситуацію і тенденцію її зміни [122,123].

Однак, якщо фахівці–зварники знають сучасні можливості металургії, електрозварники слідкують за дослідженнями в області фундаментальних і прикладних наук, на яких базуються окремі розділи зварювання, то багато схем використання джерел енергії, технічні прийоми, конструкції апаратів невідомі фахівцям, тому що не існує простої і надійної методики пошуку і аналізу винаходів багаторічної давнини. Актуальність цієї задачі полягає у можливості порівняльного аналізу інформації про “втрачені” пропозиції та експерименти, відборі тих з них, які вміщують рішення сучасних проблем, і в наступному вдосконаленні, розвитку і реалізації на моделях або натуральних зразках.[123].

2.3. Методи оцінки значущості винаходів і виявлення перших винаходів

2.3.1. Виявлення і оцінка суттєвих ознак і побудова ієрархічних схем. Для детального вивчення винаходів і визначення пріоритету нами запропонована методика, що складається з розділення конкретного окремого технічного досягнення на суттєві складові частини, дослідження виникнення і розвитку кожної з них, технічної оцінки значення їх для досягнення основного призначення винаходу. Таким чином, подібно дослідженню на патентну новизну, необхідно: 1) розкласти на складові елементи технологічні процеси, апарати, конструкції тощо; 2) проаналізувати взаємодію елементів і значення кожного для реалізації ідеї винаходу; 3) виявити автора кожного з суттєвих елементів і автора комплексу; 4) встановити шляхи розвитку окремих суттєвих ознак, усього винаходу і значення першого винаходу і його елементів для подальшого розвитку техніки.[124] (Рис.2-1).

Цікаво відзначити, який експертний висновок на винахід М.М. Бенардоса дав професор С.-Петербурзького університету доктор фізики О.Д. Хвольсон: “Чтобы в возможно более ясной форме найти и выразить сущность изобретения Бенардоса,

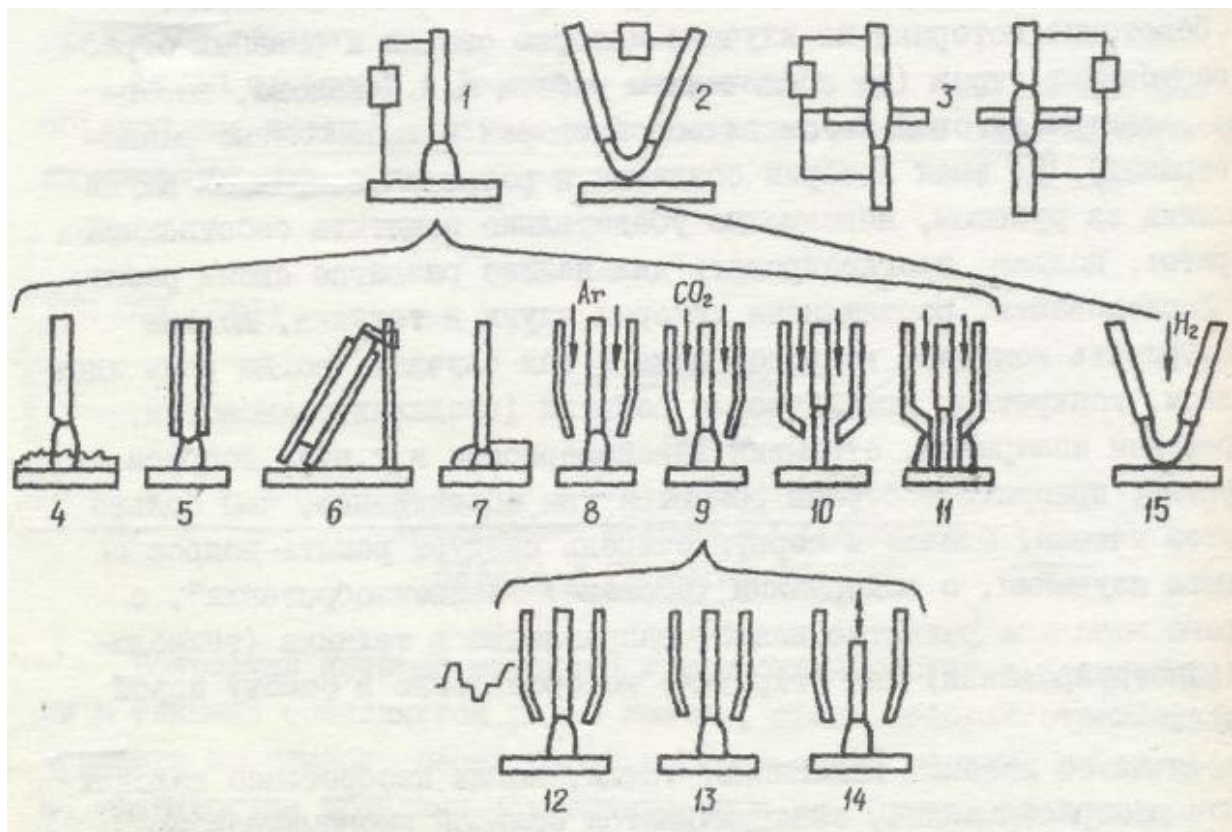


Рис. 2-1. Порядок створення дугового зварювання – 3 рівня винаходів

мы должны выяснить, на какие предыдущие ступени оно упирается, и строго определить, с какого места начинается та новая ступень, которую выражает это изобретение. Оказывается, что в данном случае следует отличать предыдущих ступеней четыре, а именно:..”[125, л.8]. О.Д.Хвольсон пропонує вважати за відомими: 1) “факт существования электрического тока”, на який не можуть бути видані патенти; 2) також усьому людству належить “факт, что электрический ток, проходя через проводники, вызывает нагревание этих последних” 3) “факт существования вольтовой дуги”; 4) “факт, что в вольтовой дуге, вследствие высокой её температуры, происходит плавление всех, даже наиболее тугоплавких металлов». “Пятой ступеню, упирающейся на предыдущие четыре, представляется изобретение Бенардоса. Сущность заключается в применении плавящегося действия вольтовой дуги на металлы для производства целого ряда технически важных манипуляций.» [125, л.9].

Ці оцінки не можна вважати достатньо глибокими, тому що як відомо, навіть піонерний винахід М.М. Бенардоса включав у себе технічні рішення, що були знайдені П.М. Яблочковим (дугове освітлення), В. Сіменсом й іншим (дугове

плавлення). Комплекс технічних рішень першого винаходу дугового зварювання настільки великий, що на протязі ста років ці рішення були розвинути в тисячі самостійних винаходів, кожний з котрих є доповненням чи уточненням ідеї першовинахідника.

.2.3.2. Оцінка патентної інформації при історичних дослідженнях. При вирішенні конкретного питання про винаходи необхідно звертати увагу, крім інших обставин, на особливості патентного законодавства конкретної країни. Відповідно до особливостей патентних прав деяких західноєвропейських країн і США, винахід, захищений патентом, може бути запереченим тим, хто фактично раніше зумів виконати всі напрацювання винаходу і практично вирішити проблему. Авторство і пріоритет у створенні винаходу можуть встановити не з дня подавання заявки, а за офіційно підтвердженим часом реалізації ідеї, технічного рішення (наприклад, за записом у лабораторному журналі, який завірено офіційно).

Патентні закони Росії, а згодом і СРСР, були більш вимогливі. Дату патентування в Російській імперії не можна вважати за дату виникнення винаходу тому, що патентні закони вимагали майже повної реалізації ідеї в дуже обмежений термін. Відповідно до статті 97 “Промышленного Свода Законов, т.ХІ”, необхідно було, “чтобы изобретение было приведено в полное действие не позднее как в продолжении четверти срочного времени, на которое выдана привилегия, и затем в течение месяцев после сего было представлено удостоверение о том, что привилегия приведена в существенное действие, т.е., что привилегированное изобретение введено в употребление.” Таким чином, в той час патенти брали, як правило, не зараз же після створення винаходу, тобто після вирішення технічної задачі, а після налагодження виробництва. До того ж патентування в більшості країн вимагало значних коштів. Якщо експлуатація на протязі недовготривалого строку (1-3 року) не була налагоджена, патент анулювався. Тому винахідники не поспішали зафіксувати свої розробки в формі патенту (привілею). Але і повідомлення в будь-якій формі могло бути визнано експертами як “вже відома річ і тому має належати усім”. [126].

Крім того, при встановленні імені справжнього винахідника, слід знати, що патенти могли видавати без посилання на дійсного автора, часто просто якій-небудь

компанії або анонімному товариству, тому вважати патент за документ, що підтверджує пріоритет або авторство, треба з урахуванням конкретних юридичних законів країни і обставин створення винаходу [126,127].

Бурхливий розвиток промисловості в Росії в другій половині XIX ст. призвів до того, що недосконале патентне право, стало значним гальмом прогресу. Саме в кінці 1870-х – початку 1880-х років багато юристів, промисловців, винахідників критикували існуючі правові органи і вимагали знизити розміри мита, вказувати в патентах дійсних авторів, подовжити строки обов'язкової реалізації [128]. А що стосується можливості патентування громадянами Росії своїх винаходів за кордоном, то тільки в 1883 р. була прийнята Паризька конвенція, яка могла гарантувати захист прав іноземних винахідників і патентовласників. Для того, щоб отримати привілеї Росії чи іноземні патенти, необхідні були кошти. Розмір мита на десятирічний привілей у Росії складав 450 карбованців- сума на той час немала.

Методи сучасного патентознавства мають застосовуватися при оцінці сутності винаходів, особливо у разі вирішення пріоритетних питань. За основу встановлення пріоритету і авторства винаходу нами взяті правила патентної експертизи, що вимагають порівняння (чи протиставлення) аналогічних рішень подібних задач, технічних проблем. Але, щоб оцінювати дійсне значення ідеї, щоб надати їй статус «першовинаходу» треба виконати історико-технічний аналіз розвитку суттєвих технічних складових винаходу. Таким чином, за основу одиниці науково-технічного досягнення нами взято суттєві ознаки ідеї.

Перш за все ця методика була застосована для вирішення проблеми пріоритету в винайденні дугового зварювання і доказів пріоритету вітчизняного винахідника М.М. Бенардоса.

Було перш за все проаналізовано суттєві ознаки як вже виданих патентів О. Мерітана і М.М. Бенардоса, так і первісних заявлених матеріалів. Копії заявок на патенти Франції (що їх доставив нам французький патентний повірений) О. Мерітана і М.М. Бенардоса показали наступне: Відомий французький електротехнік О. Мерітан подав заявку 21.12.1881 р на спосіб паяння свинцевих пластин у замкнутій камері. Не було розкрито технічних рішень, застосовано джерело

живлення, яке не змогло б забезпечити силу струму навіть для розплавлення тонкого листа заліза. Не було описано і технологію зварювання навіть свинцю. Вивчення патентних законів Франції того часу, показало, що для отримання патенту не треба було реалізовувати ідею і що новизна не перевірялася. Сам О. Мерітан спосіб зварювання свинцю мабуть ніде не застосовував і перспектив розвитку нової технології не бачив. Цікаво, що заявка була подана О. Мерітаном після застосування М.М. Бенардосом свого способу в лабораторії М.І. Кабата, де працювали і французькі електрики. Це було відомо і з публікацій того часу [127].

Про те, що Бенардос уже до 1881 року вирішив проблеми дугового зварювання, демонстрував і застосовував цю технологію в 1881 році в Парижі написали свідки – самі французькі електротехніки. Тобто, виходячи з цього положення, вже можна було стверджувати про можливість пріоритету вітчизняного винахідника [128].

При оцінці діяльності винахідників у Росії необхідно враховувати, що деяка кількість російської металообробної промисловості фінансувалась із-за кордону, закордонними капіталістами [129].

Наукоємне обладнання (паросилові і електричні установки, транспорт тощо) замовлялося у закордонних фірм, а вітчизняні винахідники не мали можливості налагодити виробництва зі своїми розробками, їхня ініціатива зрідка знаходила підтримку офіційних кіл і підприємців Росії. Більшість вітчизняних винаходів, що вимагали значних витрат на дослідження і виготовлення обладнання, було з дозволу чи без дозволу авторів вперше впроваджено закордонними фірмами. Закордонні капіталісти бажали залучити до роботи російських учених і винахідників, причому забезпечували для них кращі ніж у Росії умови. Цьому сприяли і закони західноєвропейських країн, зокрема, більш «ліберальні» умови патентування. П.М. Яблочков створив компанію з експлуатації свого винаходу спочатку в Парижі. Там же створив електротехнічну лабораторію «Електрисьон» М.І. Кабат, що приїхав із Петербурга. Саме в цій лабораторії працювали російські винахідники, зокрема М.М. Бенардос, у період підготовки до Міжнародної Електротехнічної виставки 1881 р. [127].

Методика визначення дати винаходу згідно з часом документально обгрунтованої фактичної реалізації, що була розвинута нами і запропонована для визначення пріоритетів і авторів винаходів, знайшла опосередковану підтримку Міжнародного інституту зварювання, який на пропозицію Британського національного комітету провів у 1985 році міжнародну конференцію з нагоди 100-річчя патентування і впровадження М.М. Бенардосом першого способу дугового зварювання [130].

2.4. Складові зварювального виробництва і особливості досліджень історії їхнього розвитку

Розвиток техніки зварювання включає декілька аспектів, найголовніші з яких:

- 1) використання нових схем застосування джерел енергії, необхідних для утворення з'єднань;
- 2) розробка нових і удосконалення вже існуючих матеріалів, які застосовуються для захисту зони зварювання або для участі у формуванні з'єднання;
- 3) використання нової елементної бази для конструювання зварювального обладнання, розробка нового обладнання;
- 4) створення зварних конструкцій і споруд;
- 5) контроль якості і стану зварних виробів (Рис.1-1). Як правило, для досягнення суттєвого технологічного ефекту, економії матеріальних і енергетичних ресурсів, вирішувався увесь комплекс проблем. Ці особливості враховувались у наших дослідженнях усіх провідних способів зварювання.

Окрім вивчення історії розвитку технології і з'ясуванні внеску окремих винахідників і учених, у нашій роботі відмічаються історичні обставини, зокрема потреби промисловості, організаційні і технічні можливості реалізації пропозицій, а також їх роль у вирішенні проблем науково-технічного прогресу. Цей останній аспект історичного контексту запропоновано розглядати у зв'язку з впливом на виникнення і розвиток наступних способів зварювання. Новим методичним підходом є те, що технології вивчаються не як єдине ціле, а як сукупність суттєвих ознак, окремих елементів, вузлів обладнання і компонентів матеріалів [131].

Процес розвитку технологій розглядається нами також в залежності від зовнішніх чинників його протікання, в першу чергу від організаційно-економічних умов, що їх створювали уряди СРСР і західних промислово розвинутих країн в період мобілізації економіки з метою підвищення темпів виробництва.

2.5. Джерельна база досліджень.

2.5.1. Основними джерелами дослідження, незважаючи на багатоплановість і різнохарактерність завдань (встановлення пріоритетів, генезис, закономірність розвитку тощо) були архівні данні, матеріали перших публікацій - наукових статей, повідомлень, хроніки часів, що відносяться безпосередньо до досліджуваних подій, мемуари. Але всі данні цих та інших джерел були критично досліджені згідно з визначеною методикою.

Про досягнення зварювального виробництва можна скласти уяву з розділу «Хроника» часопису «Автогенное дело». Так у 1936 році повідомлялося: «Ленинградский судостроительный завод им. Жданова изготавливает станок для обмазки электродов, применяемых при сварке магнитных сталей. До сих пор такие станки импортировались». [132, с.47-48]. «На міжнародних авіаційних виставках у Парижі і Мілані великий інтерес притягнула стаціонарна машина для точкового електрозварювання конструкції професора Львова, Тарасова і Коровкіна. Ряд закордонних фірм ведуть переговори з придбання патенту на цю машину. З Англії отримана вимога про висилання її у Лондон для випробувань» [132, с.47]. «На міжнародній виставці досягнень автогенної промисловості усіх країн у Лондоні буде організовано відділ СРСР. ВАТ готує на виставку ряд експонатів: пальники, різак, генератори, наконечники, різак для виплавки, і різак для підводного різання що працюють на бензині, бензоріз, напівавтомат СК, автомат АС і універсальну ріжучу машину» [132, с.48.].

В ЦАГІ у 1936 р. для виготовлення літаків була розроблена технологія атомно-водневого зварювання сталей, легованих хромом, молібденом і кременем. Треба підкреслити необхідність звертати увагу на експонати музеїв. Зазвичай за ними прийнято вивчати історію технологій давніших часів. Але в багатьох музеях можуть залишитись унікальні зразки техніки пізнішого часу, за експонатами можна прослідкувати за розвитком техніки, встановити процес вдосконалення [133].

В 1936 р. часопис «Автогенное дело» повідомляв: «При президиуме ВНИТОС создана бригада для пересмотра учебной и производственной литературы по сварке в разрезе решений декабрьского пленума ЦК ВКП(б). Руководитель бригады проф. Г. Николаев. В бригаду входят: акад. Патон, профессора: Хренов, Сахаров, Никитин,

Науман, доценти: Рабинович, Окерблом, Кок, інженери: Клебанов, Кузмак, Огиевецкий, Поплавко, Стерлинг, Левин, Фалькевич, Никитин, Назаров, Нитусов, Дучинский, Крит, Лейкин, Возняк и Алов» [132, с.47].

2.6. Методи періодизації і визначення періодів розвитку зварювання.

Важливим питанням історичної науки є періодизація. Проблемами періодизації в історії окремих областей техніки зайнялися з кінця 1950-х років. В дослідженнях, у яких у тій або іншій мірі розглядаються ці проблеми, думки вчених розійшлися. Так, І.Я. Конфедератів, що займався історією енергетики, для визначення початку кожного періоду бере не винахід або перше застосування нового виду енергетики, а той час, коли даний вид енергії став чільним, основним для виробництва [133,134].

У той же час О.О. Зворикін відзначає: «в історії техніки початком нового етапу варто вважати не перше формулювання тієї або іншої ідеї, а її практичне здійснення» [135,с.169].

Дотепер немає єдиної думки про принципи періодизації розвитку техніки загальної й конкретних окремих областей техніки. Тим часом періодизація має велике значення для виявлення особливостей розвитку науково-технічного прогресу [136]. В період наукових та технічних революцій, у часи стрімкого розвитку окремих галузей науки й промисловості активізуються дослідження й публікації, присвячені науковим і промисловим революціям минулого, творчості видатних учених і експериментаторів. У цей час помітна тенденція до цілеспрямованого збору й публікування інформації про події, які у свій час мало або зовсім не документувалися.

В основу періодизації загальної історії техніки на протязі XIX –XX ст. було запропоновано декілька ознак. Визначення періодів у розвитку техніки має виходити з об'єктивних законів розвитку техніки. За основу періодизації варто брати періодизацію розвитку способів виробництва матеріальних благ. При встановленні періодизації розвитку техніки в цілому (загальна історія техніки) або розвитку техніки в одній якійсь країні, або розвитку окремої області техніки (наприклад, історії металургії), і навіть історії окремої машини необхідно виявити ті характерні для кожного конкретного випадку закономірності, які повинні лягти в основу визначення періодів.

Найбільшого визнання знайшла періодизація на засадах визначення стану виробничих сил і виробничих відносин, що є складовими частками способу виробництва матеріальних благ. Це положення в найбільш досконалому вигляді було розвинуто К. Марксом. Дійти до висновку про те, що життя людства обумовлено засобами виробництва, йому допомогло знання історії техніки. Політична економіка поділяла історію на соціально-економічні формації згідно стану виробничих відносин. Разом з тим, марксистсько-ленінське вчення вважає первинним зміну знарядь праці і енергетики. К. Маркс вказував, що: «Экономические эпохи различаются не по тому, что производится, а по тому как производится и какими средствами труда» [137, с.187].

Професійні історики науки і техніки притримуються кількох принципів періодизації, в першу чергу в залежності від мети і обсягу дослідження. Так, в загальній історії за основу періодизації необхідно брати розвиток способів і методів виробництва матеріальних благ. При складанні періодизації розвитку техніки в цілому (загальної історії техніки), або розвитку техніки в одній країні чи регіоні, або розвитку окремої галузі техніки, зокрема зварювання, і навіть історії окремої машини необхідно встановити критерії (технічні, промислові, економічні та інші) і виявити ті характерні для кожного конкретного випадку закономірності, що лежать в основі визначення періоду. Завданням дослідження є вибір найбільш суттєвого принципу даного явища, котре визначає і впливає на всі інші процеси. Крім того, необхідно, щоб визначенні критерії були головними увесь історичний час. Нова техніка, як правило, починає створюватися в попередньому періоді. Від моменту створення перших зразків до широкого застосування в промисловості проходить деякий час, який іноді трудно визначити. Завдання цих досліджень є визначення часу, коли нова техніка займає провідне місце замість застарілої, коли стає характерною для галузі, викреслити кордони періодів [138-140].

В міру розвитку цивілізації техніка з одного з багатьох факторів, що бере участь у розвитку, перетворилася у фундамент "науково-технічної цивілізації". Ефективність техніки, що підвищилася, і вплив на життя населення, у першу чергу промислово розвинутих країн, змушує переглядати і переоцінювати історичність

розробок і феноменів минулого [141]. Прикладом аналізу й узагальнення матеріалів по історії техніки вважаються роботи К. Маркса, фон Штейна, Пфайфера [142, с. 54].

Як правило, для досягнення суттєвого технологічного ефекту, економії матеріальних і енергетичних ресурсів, вирішувався увесь комплекс проблем. Ці особливості враховувались у наших дослідженнях усіх провідних способів зварювання.

Окрім вивчення історії розвитку технології і з'ясуванні внеску окремих винахідників і вчених, у роботі відмічаються історичні обставини, зокрема потреби промисловості, організаційні і технічні можливості реалізації пропозицій, а також роль у вирішенні проблем науково-технічного прогресу. Цей останній аспект історичного контексту запропоновано розглядати у зв'язку з впливом на виникнення і розвиток наступних способів зварювання. Новим методичним підходом є те, що технології вивчаються не як єдине ціле, а як сукупність суттєвих ознак, окремих елементів, вузлів обладнання і компонентів матеріалів.

Відомо, що категорія техніки (у буквальному значенні) являє собою сукупність засобів праці, що існують і розвиваються в системі суспільного виробництва. Технологія є окремим випадком загального поняття техніки, включає реальний процес видобутку й обробки того або іншого матеріалу, або процес виготовлення конкретного предмета [143,с.5]. Проте, зварювання – одна з провідних технологій сучасності, може бути визначене як технологія виготовлення інженерних конструкцій, елементів і вузлів інших виробів. Для реалізації наукових розробок у галузі зварювання необхідно визначити або спеціально розробити технологію зварювання конкретного матеріалу і складально-зварювальних робіт; сконструювати і виготовити обладнання, створити флюс або забезпечити захист зони зварювання іншими засобами, дотримуватись необхідної технології і правильно експлуатувати обладнання, проконтролювати якість з'єднань і зварного виробу в цілому.

В нашому дослідженні розглядаються усі аспекти зварювання в процесі їх історичного розвитку, як частка подій, що складають історію людства, як складова і водночас рушійна сила науково-технічного прогресу.

Методика визначення дати винаходу згідно з часом фактичного документально обґрунтованого часу реалізації, що була розвинута нами і запропонована для

визначення пріоритетів і авторів винаходів знайшла опосередковану підтримку Міжнародного інституту зварювання, який на пропозицію Британського національного комітету провів у 1985 році міжнародну конференцію з нагоди 100-річчя патентування і впровадження М.М. Бенардосом першого способу дугового зварювання.

Визначення критеріїв періодизації технологій виготовлення виробів, кількісних показників для визначення початку технологій обробки і з'єднання металевих конструкцій, зокрема зварювання та споріднених технологій. Необхідно правильно вибрати підстави для розподілу на характерні періоди розвитку досліджуваного явища в області конкретного виду техніки. Коли предметом дослідження є розвиток окремої конкретної галузі техніки, періодизація, що її прийнято в працях з загальної історії техніки може не співпадати з початком і кінцем використання конкретної галузі. У такому разі необхідно винайти розбіжності й розробити об'єктивні критерії, що характеризують галузь техніки.

Такими критеріями повинні бути найбільш важливі і істотні принципи даної галузі, що визначають її суттєві особливості й значно впливають на технологічні можливості та на всі інші характеристики. Крім того, необхідно, щоб обрані критерії були головними, за увесь час існування галузі, у всіх періодах. Нова техніка, як правило, починає створюватися в попередньому періоді. Від моменту створення цієї нової техніки до її широкого використання минає деякий час. Важко встановити саме момент, коли стара техніка поступається місцем новій, котра з цього часу стає характерною для даного періоду. Але, незважаючи на ці труднощі, при вивченні будь-якого явища в області техніки можливо виділити певні періоди, які будуть характерні для досліджуваного явища, а також установити границі цих періодів. Історія техніки - це історія технічних нововведень, інновацій. Стаючи минулим, винаходи включають в історію техніки свої власні історії, кожна з яких відбиває й особисті долі винахідників, і динаміку історичного контексту – політичного стану суспільства, культури, науки й промисловості; виробничі відносини. Тому історія кожного винаходу, кожної нової технічної ідеї, незалежно від ступеня її реалізації й завершення, становить не тільки особливе, але й загальне відбиття ходу часу, загальних тенденцій науково-технічного прогресу. В якісь історичні часи

відбуваються різкі зміни сутності і форми виробничих процесів, зміна технологій виробництва на більш продуктивні. Ці події, які деякі дослідники називають технічними революціями, становлять найбільший інтерес для вивчення.

Дослідження, присвячені історії науки й техніки, повинні розглядати комплекс питань навіть у таких випадках, коли мова йде про одну, конкретну історичну подію (створення технології, винайдення апаратів, відкриття закономірностей, тощо). Якщо предметом досліджень є розвиток окремої області техніки (історія металургії, транспорту, електротехніки, промислового будівництва, зварювання й т.п.), то періодизація, прийнята в працях із загальної історії техніки, не може бути використана, тому що початок і кінець періоду в досліджуваній області техніки не буде збігатися з початком і кінцем відповідного періоду продуктивних сил. У цьому випадку необхідно розробляти власну періодизацію, стосовно до об'єкта дослідження. Поєднуючи різні думки, можна погодитися з тим, що новим етапом у розвитку окремої області техніки варто вважати широке використання нових технічних засобів, витіснення старих технологій із відповідних галузей виробництва. Виходячи з цього положення, необхідно оцінювати значення винаходів і пріоритет, тобто час їхнього створення.

Складною проблемою є визначення кордонів між минулим і сьогоденням. Є значна небезпека невірно оцінити ще незакінчені події в будь-яких відділах історії. А з іншого боку, віддаленість у часі утруднює реконструювання пройденого. Таким чином у істориків техніки виникають наступні проблеми: вивчити генезис і встановити момент виникнення нового наукового чи технологічного напрямку; встановити динаміку розвитку і момент переходу технології в розряд історичних. Але і оцінка значення конкретної сучасної технології теж має свої особливі ускладнення, а саме – можливість помилково перебільшити або зменшити значення її для майбутнього технічного прогресу.

Історики техніки в СРСР часто-густо недооцінювали два фактори, що суттєво впливають на хід розвитку технологій: 1) політичні і економічні умови; 2) роль видатних діячів і наукових шкіл. Оцінка умов обмежувалася посиланнями на постанови партії і уряду; історичне тло, організаційні умови, що впливали на розвиток промисловості, зокрема – технологій не досліджувалися. Але, разом з тим,

радянські історики зварювання розділяють історію зварювання на два етапи – дореволюційний і радянський; останній, в свою чергу, поділяють на довоєнний і післявоєнний періоди. Така періодизація не відповідає дійсному стану зварювального виробництва в визначені часи і з нею не можна погодитися. Справжню класифікацію треба прив'язувати до технічного стану технології, визначати взаємозв'язок з виробництвом і наукою.

Як правило, початок періоду відраховують від дати винаходу першого виду чи способу цієї технології, який згодом, у недалекому майбутньому, стає основним для інших винаходів, що зроблені на його базі.

Історію зварювання вивчено нами з урахуванням загальної закономірності, що машини, знаряддя праці, способи й методи ведення робіт у своєму розвитку проходять наступні стадії: народження ідеї, розробка нової конструкції (способу), випробування перших зразків, доведення конструкції до працездатної, впровадження у виробництво, широке використання у виробництві, заміна новою технікою. Із цього ясно, що при вивченні історії окремих технологій важливо встановити ті основні стадії, які вони пройшли у своєму розвитку.

Перемога нової техніки над старою не означає, що перша далі не розвивається; навпаки, впровадження нової техніки у виробництво сприяє усуненню недоліків і швидкому вдосконаленню її. Не змінюючи принципів, люди домагаються підвищення всіх параметрів застосовуваної нової техніки. Але надалі й ця нова техніка вже не може задовольнити потреби виробництва, її можливості вичерпуються.

Таким чином, машини, знаряддя праці, способи й методи ведення робіт у своєму розвитку проходять наступні періоди: народження ідеї, розробка нової конструкції (способу), випробування перших зразків, доведення конструкції до працездатної, впровадження у виробництво, широке використання у виробництві, заміна новою технікою, можливо (при потребі) збереження і зайняття застарілою технікою своєї виробничої ніші. (Як це відбувається з ковальським зварюванням чи паянням м'якими припоями, що використовуються з давніших часів дотепер, правда, в обмеженому обсязі).

Для періодизації розвитку зварювання і споріднених технологій нами взято два фактора: 1) концентрація енергії, що прикладається до місця зварювання (наплавлення, паяння), 2) обсяг застосування у порівнянні з іншими технологіями з'єднання і характеристика об'єктів, де застосовується зварювання (Рис. 2-2).

Слід відмітити, що за типом прикладання енергії до деталей, що зварюються, розрізняють «зварювання плавленням» і «зварювання тиском». Енергія для зварювання плавленням завжди подається від локального джерела, що передає тепло і/або генерує його безпосередньо в зоні плавлення. Тепла має бути достатньо для розплавлення крайок деталей, що з'єднуються; після охолодження і застигання рідкого металу зварювальної ванни, створюється монолітний шов, який зв'язує деталі в єдину конструкцію. При зварюванні тиском (давленням) кромки стискають із зусиллям, достатнім для отримання міцного з'єднання. В більшості способів крайки додатково нагрівають для того, щоб облегшити отримання шву. Перший період в історії зварювання характеризується незначною концентрацією енергії. Зварювання плавленням здійснювали за рахунок тепла перегрітого присадного металу, що заливався між крайками. (Цей спосіб було в XIX ст. перетворено в термітне зварювання). Зварювання тисненням з давніших часів була частиною ковальської технології.

Відомо, що технічні засоби, технології у своєму розвитку проходять еволюційні й революційні стадії. Це також стосується розвитку способів з'єднання, до яких належить зварювання. З початку виникнення перших технологій зварювання у первісні часи виробничої діяльності людини декілька століть йшов еволюційний процес поступового вдосконалення технології і обладнання в межах застосування біопалива і механічної енергії. Але індустріалізація промислового виробництва вимагала більш ефективних способів з'єднання, з більшими технічними можливостями виробництва і ремонту металевих конструкцій, ніж ковальське і литтєве зварювання і клепання. Нова стадія розвитку зварювання, що розпочалася з останньої чверті XIX століття, характерна створенням на протязі порівняно короткого часу нових вискоелективних способів на принципах використання електричної енергії і енергії хімічних реакцій на засадах фундаментальних і

прикладних наук, розгортанням автоматизації зварювання і суміжних виробничих процесів, витісненням клепання з виробництва інженерних споруд. Відносно генезису і розвитку зварювального виробництва можна відмітити, що наукові засади зварювання почали формуватися на другій історичній стадії. Остання, сучасна стадія розвитку зварювання і споріднених технологій бере початок з середини ХХ століття і характерна переважним застосуванням висококонцентрованих джерел енергії, розробкою техніки зварювання матеріалів і відповідальних конструкцій новітніх галузей промисловості, а також зварюванням під водою і в космосі.

Принципово нові види зварювання і споріднених технологій (наплавлення, паяння, напилення, термічного різання) почали створюватися на засадах фундаментальних і прикладних наук, що також одночасно розвивалися. У першій половині ХХ ст. розгортається автоматизація зварювання і суміжних виробничих процесів, та інтенсивно витісняється клепання з виробництва інженерних споруд. Останній, сучасний період розвитку зварювання і споріднених технологій бере початок з середини ХХ століття і характерний переважним застосуванням висококонцентрованих джерел енергії, розробкою техніки зварювання матеріалів і відповідальних конструкцій новітніх галузей промисловості, а також зварюванням під водою і у космосі.

Розвиток зварювання в другому періоді почав залежати, в свою чергу, від розвитку не тільки наукових засад, але й від розвитку компонентів, що в різні періоди мали те чи інше значення. Ці компоненти проходили свої стадії розвитку. Одна зі складових технологій, подібних зварюванню, є джерело енергії. Для видів зварювання плавленням – це джерела нагріву. З 1881р. М.М. Бенардосу вдалося знайти перші прийоми зварювання і наплавлення з використанням тепла дуги. Це сталося майже через 80 років після відкриття явища електричного дугового розряду. На протязі ХХ століття зварники в основному самостійно удосконалювали дугові процеси. Основним напрямком було підвищення густини енергії – питома потужність способів дугового зварювання (з урахуванням плазово-дугового зварювання) підвищилася з $1,05 \cdot 10^6$ до 10^{11} Вт/м² (від 1,05 Вт/мм² до 100 кВт/мм²) [144].

Постіндустріальний науково-технічний прогрес другої половини ХХ століття характеризується зокрема швидким розвитком ефективних наукоємких технологій. Нові розділи науки і нові галузі чи нові покоління відомої техніки, такі як ядерна і квантова фізика з ядерною технікою, ядерна зброя і ракети–носії, космічні апарати, мікроелектронна техніка керування, зв'язку та інформації, нові покоління транспортних засобів, хімічного обладнання та інше зобов'язані своєю появою зокрема досягненням прикладних наук і виробничим технологіям. У свою чергу майже всі виробничі технології цього періоду створювалися й створюються на засадах новітніх досягнень фундаментальної науки. Серед них величезне значення мають матеріалознавство і технології виробництва матеріалів з необхідною якістю для техніки, яка експлуатується при підвищених параметрах тиску і швидкості, широкому діапазоні температур, в різних середовищах, тощо. Для виготовлення такої техніки за допомогою зварювання необхідно, щоб вже при розробці нових матеріалів бралися до уваги саме технології з'єднання. У свою чергу, зварювання в цей період інтенсивно просунулося на шляху підвищення густини енергії, що витрачається на отримання з'єднання. За цей третій історично короткий період історії зварювання були освоєні енергія електронного променя, лазерного і світлового променів, енергія вибуху, продовжувалося вдосконалення дугового зварювання, з'явилися гібридні способи зварювання (поєднання лазерного променя і дугової плазми). Потужність нових процесів досягла 10^{13} Вт/м² (10 МВт/мм²). Теоретично можливо підвищити потужність процесів зварювання, застосувавши комбінацію, об'єднавши різні джерела енергії, але при більшій потужності починає привалювати випаровування матеріалу. Таким чином, якщо за основу класифікації брати енергетичний чинник, третій період розвитку зварювання поки що можна вважати завершальним [145].

Але зварювальне виробництво, як комплексна галузь, складається не тільки з технології зварювання. Найважливішими розділами цієї галузі техніки є: зварювальні матеріали, джерела живлення, системи контролю і керування процесами, механізми (апарати, станки, роботи), міцність і раціональне проектування зварних конструкцій, контроль якості зварної конструкції та інше. Кожна з цих складових зварювання пройшла й продовжує проходити в значній мірі

самостійні стадії розвитку, спираючись на наукові і технічні досягнення відповідних розділів техніки. Так, зварювальні матеріали для дугового зварювання пройшли такі стадії розвитку: вугільний і графітовий електроди, металеві присадки, що не забезпечували спеціального захисту від впливу атмосфери, металеві електроди з тонким захисним покриттям, металеві електроди з високоякісним покриттям, що забезпечували додаткове легування металу шва і формування в різних просторових положеннях, вольфрамові неплавкі електроди для зварювання в середовищі водню і в інертних газах, присадкові порошки, порошок дріт і порошкова стрічка для зварювання і наплавлення в захисних газах, дріт з легуючими компонентами для зварювання в активних газах, самозахисні порошок дріт і дріт з активуючими елементами, флюси, активуючі паста та ін. Удосконалення зварювальних матеріалів залежить від розвитку матеріалознавства, металургії, металургійного і металообробного устаткування.

Джерела живлення – обладнання, що призначено для вироблення або перетворення енергії, яка подається до місця введення тепла (в зону зварювання) розвиваються за своїми специфічними законами. Стадії їхнього розвитку залежать, в першу чергу, від наукових відкриттів у фізиці і хімії, винаходів і проектування в галузі електротехніки, електроніки, приладобудування та ін. Так, майже одразу ж після освоєння промислового виробництва перших типів лазерів, це джерело нагріву було застосоване для термічного різання і зварювання. У свою чергу, обладнання для лазерного зварювання складається з технічного лазера, світловодів, пристосувань для переміщення, системи подавання захисного газу та ін. Дещо більше часу знадобилося спеціалістам зварювання, щоб пристосувати і знайти способи використання енергії електронного променя. Для нагріву електрони мали пересуватися з досить великою швидкістю, що вимагало створення спеціальних електронних гармат і високовольтних джерел. Оригінальним вітчизняним досягненням є електрошлакове зварювання металів теоретично необмеженої товщини. У цьому виді зварювання тепло виділяється при проходженні струму через метал і рідку шлакову ванну, а джерелом живлення є спеціальні зварювальні трансформатори. Принципово іншим є обладнання для зварювання і паяння світловим променем, що складається з такого джерела енергії, як Сонце або

потужних ламп, дзеркальних пристроїв і світловодів. Досить складні стадії розвитку пройшли автомати для зварювання і наплавлення – від напівавтоматів, що пересуваються вручну до роботів зі слідкуванням і самонастроюванням на виконання комплексу технологічних процесів.

У хронологічні рамки дисертаційної роботи вписуються історія зварювання на першій стадії, історія усієї другої стадії і початок деяких зі способів, що отримали розвиток на третій стадії.

Висновки:

1. Наслідки сучасної науково-технічної революції привернули увагу до історії виникнення і розвитку техніки, як у контексті загальної історії людства, так і історії окремих галузей техніки.

2. Періодизація має велике значення для виявлення особливостей розвитку науково-технічного прогресу, але немає єдиної думки про принципи періодизації розвитку техніки загальної й конкретних окремих областей техніки.

3. Критеріями періодизації повинні бути найбільш важливі й істотні принципи даної галузі, що визначають її суттєві особливості й значно впливають на технологічні можливості та всі інші характеристики, що були головними за увесь час існування галузі. Розглядаються методичні питання класифікації періодів розвитку виробничих технологій. На прикладі розвитку зварювального виробництва показано, що основним критерієм мають бути істотні технологічні ознаки, які мають місце на всьому протязі існування технології.

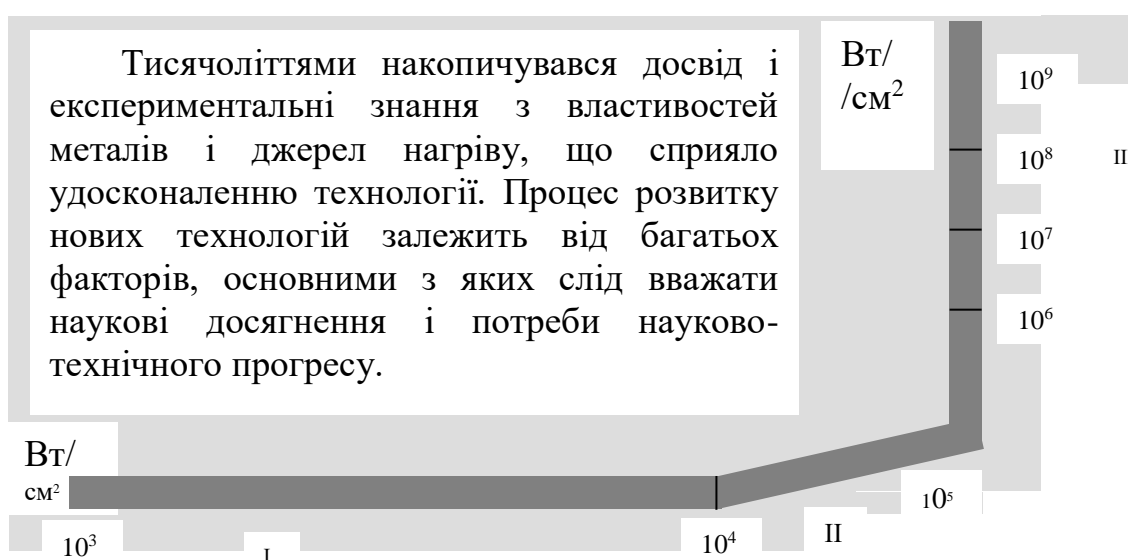
4. Дослідження, що присвячені історії науки і техніки, повинні розглядати комплекс питань навіть у таких випадках, коли мова йде про одну, конкретну історичну подію (створення технології, винайдення апаратів, відкриття закономірностей). При вивченні історії окремих технологій важливо встановити саме основні стадії, які вони пройшли у своєму розвитку.

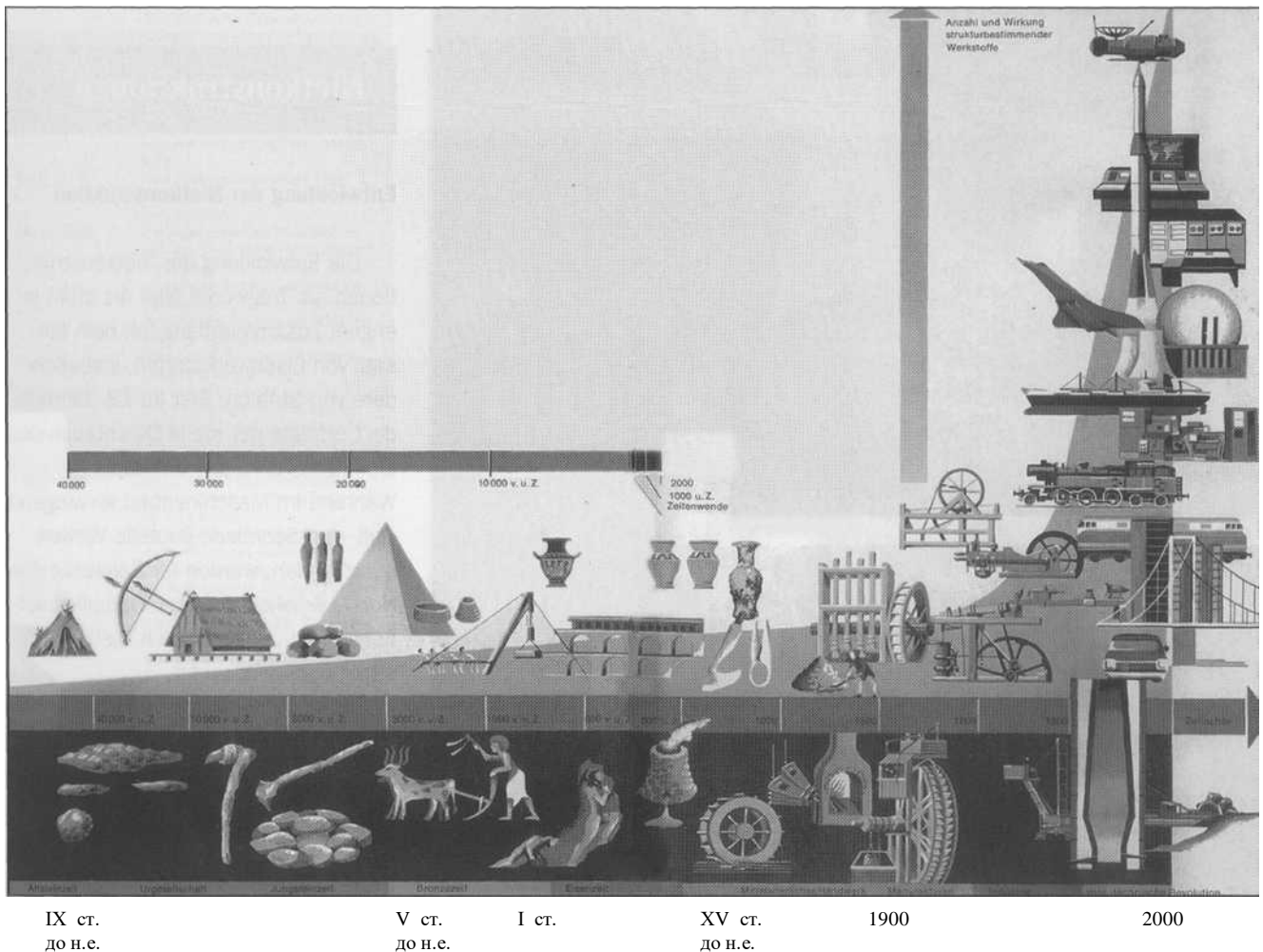
5. Для періодизації розвитку зварювання і споріднених технологій взято два фактори: 1) концентрація енергії, що прикладається до місця зварювання (наплавлення, паяння), 2) обсяг застосування у порівнянні з іншими технологіями з'єднання і характеристика об'єктів, де застосовується зварювання.

6. Помітне значення для науково-технічного прогресу має розвиток зварювання, що розпочався з останньої чверті XIX століття, який визначається створенням на протязі порівняно короткого часу нових вискоефективних видів і способів на принципах використання електричної енергії і енергії хімічних реакцій. Нові види зварювання і споріднених технологій (наплавлення, паяння, напилення, термічного різання) почали створюватися на засадах фундаментальних і прикладних наук, що також одночасно розвивалися (Рис.2-1).

7. У процесі створення нових технологій має подолатися протиріччя між потребою необхідністю, тобто між технічною задачею і технічними можливостями. Причому нове рішення знаходиться в рамках природних явищ незалежно від того, знані і вивчені вони чи використані інтуїтивно і знайдені у процесі практичної діяльності. Відносно генезису і розвитку зварювального виробництва можна відмітити, що наукові засади зварювання почали формуватися на другій історичній стадії.

8. У хронологічні рамки дисертаційної роботи вписуються історія зварювання на першій стадії, історія усієї другої стадії і початок деяких зі способів, що отримали розвиток на третій стадії.





Відповідно до джерел нагріву і деяких особливостей техніки історію розвитку зварювання й паяння поділено на три періоди. З бронзового віку людство почало виготовляти із застосуванням перших технологій реманент, побутові речі, зброю, прикраси. Джерелом нагріву було біологічне паливо. Другий період пов'язаний з застосуванням джерел нагріву із більшою концентрацією енергії, зокрема дугового нагріву, ацетиленокисневого полум'я, електроконтактного і термітного нагріву. Початок третього періоду відноситься до перших десятиріч ХХ ст., коли виникли проблеми з освоєнням техніки з нових металів і їх сплавів – алюмінієвих, титанових, цирконію, вольфраму тощо, високоміцних і жароміцних сталей. Діапазон застосування наукоємких технологій розширився від виробництва мікроелектронних елементів до величезних конструкцій аерокосмічної техніки. Були опановані, електронний, лазерний і світловий промені, дифузійні і контактні реактивні процеси, струми високої частоти тощо. Наприкінці ХХ ст. зварювання стає провідною технологією з'єднання матеріалів.

Рис. 2-1 Розвиток цивілізації, науково-технічний прогрес і періоди в історії зварювання

РОЗДІЛ 3
ВИНИКНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ НА ЗАСАДАХ
ПРАКТИЧНОГО ДОСВІДУ Й НАУКОВИХ ДОСЯГНЕНЬ.
ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОСТІ

3.1. Генезис перших способів зварювання. Наукові відкриття й технічний досвід створення нових технологій металообробки.

3.1.1. Холодне зварювання та зварювання з використанням біопалива. Виникнення зварювання як ремісничої, виробничої технології з'єднання металів відноситься до початку освоєння людиною кольорових і чорних металів. Ще в епоху неоліту, виготовляючи кам'яні знаряддя, людина помітила, що якщо металеві самородки й метеорити сильно вдарити, то вони не розколюються, а деформуються. За певних умов такої операції досить, щоб відбулося нероз'ємне з'єднання тіл. Власне кажучи, це вже було холодне зварювання - зварювання тиском із пластичною деформацією за рахунок механічної енергії (удару) без зовнішнього джерела нагрівання. [146]. Для пластичних металів (самородних міді, срібла, золота), а можливо, і для деяких залізних метеоритів деформацію схоплювання люди могли забезпечити, імовірно, уже в кам'яному віці, наприклад, ударами каменю, збільшуючи тиск за допомогою примітивних важелів. Перші відомі зразки виробів, виконаних холодним зварюванням, належать до більш пізнього періоду - бронзового віку. Це, наприклад, золоті коробочки, що зберігаються нині в Національному музеї в Дубліні (Ірландія) [147]. У той час багато племен уже вміли використовувати теплоту для технологічних цілей: нагрівання металів, виплавки з руд міді, свинцю, олова та їх сплавів, лиття різних виробів. Таким способом майстри "трипільської культури" виготовляли мідні шила, долота, амулети й нашивні бляшки. Подібні вироби археологи знаходили й у інших регіонах планети.

Перші серйозні дослідження в області холодного зварювання почали проводити лише в сучасну епоху. Так, наприклад, у 1948 р. у Великобританії цим способом з'єднували алюміній і його сплави [148]. Потреба в холодному зварюванні алюмінію й міді для галузей промисловості, що розвиваються (електротехніки, авіабудування), було настільки високе, що цим способом зайнялися технологи багатьох країн, у

першу чергу, США, СРСР, Німеччини. Стрибок через тисячоліття, звичайно, разючий. На базі сучасної техніки в ХХ ст. за короткий час створено високоефективне устаткування - від ручних кліщів і настільних верстатів до потужних пресів і машин-напівавтоматів.

Поява бронзи змусила древніх майстрів зайнятися розробкою нових способів нероз'ємного з'єднання деталей. Бронзи - штучно створені сплави міді з оловом і свинцем - відрізнялися незрівнянно кращими експлуатаційними властивостями (більшою твердістю, міцністю й зносостійкістю), ніж вихідні матеріали. Однак пластичні властивості олов'янистих і свинцевих бронз були набагато нижчі, ніж у чистої міді. В результаті холодне зварювання, засноване на пластичному деформуванні, не дозволяло одержувати якісні з'єднання деталей, у тому числі й з підігрівом крайок. Тому тривалий час для з'єднання деталей зі сплавів міді використовували клепання, скручування чи фальцювання. Поряд із цими способами існувало зварювання "залиттям".

Для з'єднання бронзових деталей була використана теплота перегрітого присадкового металу. Крайки деталей заформовували й у порожнину, що утворилася, заливали розплавлену бронзу, що підплавляла заформовані крайки. Цей спосіб з'єднання використовували майстри скіфського періоду в Східній Європі для ремонту виробів із бронзи. Аналіз численних археологічних знахідок показує, що в VII-III ст. до н.е. зварювання "залиттям" застосовували для приєднання ручок до казанів і бронзових рукояток до сталевих лез ножів і мечів, для прихватки крайок стінок казанів, що тріснули [149, 150]. Зразки деталей, що виготовлені способом зварювання залиттям, знайдені на землях колишньої Римської імперії. Це - тонкостінний бронзовий посуд, стінки якого завтовшки 0,5-0,7 мм мають структуру кування, а вздовж твірної ледь помітна стовщена смуга металу з литою структурою. Можна припустити, що в даному випадку обичайка була прокована, згорнута й з'єднана подовжнім швом, утвореним при залитті перегрітого металу. Це підтверджують і незначні відмінності складу сплавів листа й шва, виявлені при спектральному аналізі [151]. Зварювання "залиттям" перегрітого металу для ливарів стало традиційною технологією усунення дефектів виливків і приварювання

деталей. У свій час за допомогою цього способу пропонувалося відремонтувати знаменитий Цар-дзвін, відлитий російськими майстрами батьком І. Ф. Маторіним і сином М.І. Маторіним у 1735 р. Під час пожежі в Московському Кремлі в 1737 р. дзвін тріснув. У 1836 р. його підняли з ями й установили в Кремлі. Вигляд величезного дзвону (масою близько 193 т) зі шматком, що відколовся, не міг не викликати бажання відремонтувати цей зразок ливарного мистецтва. У ХІХ ст. було зроблено кілька пропозицій виконати таку відповідальну й трудомістку роботу. Одне з них - зварювання "залиттям".

Одночасно зі зварюванням розвивалося й паяння - спосіб з'єднання, споріднений зварюванню й, по суті, за багатьма ознаками подібний до зварювання "залиттям". Цей технологічний процес широко використовували вже в ранньому залізному віці. У країнах Древнього Сходу, Єгипті застосовували паяння золота золотим припоєм чи сріблом, сплавом міді зі сріблом. М'які припої ще довго не були відомі. За допомогою паяння були виготовлені багато ювелірних виробів, знайдені в скіфських курганах (золоті бляхи з зображенням пантери й оленя, золота пектораль, золоті сережки, на яких зображена мініатюрна четвірка коней із крилатою богинею в колісниці, а також інші фігури й прикраси, багато деталей яких важко навіть помітити неозброєним оком). У більшості таких випадків паяння було зроблене золотим (рідше) чи срібним припоєм. Однак розвиток паяння, незважаючи на його зв'язок зі спорідненими технологіями, пішов все-таки самостійним шляхом і історія його становить окремий інтерес [152-154].

Прямим продовженням древнього способу холодного зварювання стало ковальське чи горнове зварювання, виникнення якого відноситься вже до залізного віку. Технологія одержання заліза в цей період полягала в тому, що шматки залізної руди нагрівали разом із дере'вяним вугіллям, у результаті чого одержували грудки - криці, в яких знаходилися частки заліза, шлаку й залишки вугілля. Криці проковували в гарячому стані. При цьому острівці шлаку й вугілля видавлювали, а частки заліза з'єднували між собою, тобто зварювали, утворити відносно щільний метал. Таке залізо одержало назву "зварювального". Нагрівання та кування повторювали неодноразово, завдяки чому "зварювальне залізо" ставало чистіше й щільніше. Такі ж технічні прийоми застосовували ще й при ремонті зруйнованих

виробів із заліза, а також коли необхідно було зварювати окремі шматки для виготовлення знарядь праці та зброї.

Кричний (сиродутний) спосіб одержання заліза панував на Європейському, Азіатському й Африканському континентах тисячі років. У багатьох народів ковалів шанували нарівні з князями, шаманами, знахарями. Відповідно до грецької міфології, ковальським (а виходить, і зварювальним) ремеслом займався один з олімпійських богів – Гефест. У багатьох музеях світу зберігаються колекції залізних виробів скіфів, сарматів, кіммерійців, єгиптян, аланів, народів Кавказу й інших племен, що належать до різних епох, починаючи з VIII ст. до н.е.. Серед них зустрічаються довгі леза мечів, що неможливо було виготовити із однієї заготовки. Швидше за все, ковалі змушені були зварювати такий меч із декількох частин. Для підвищення міцності з'єднання кінці, що мають стик деталей виконували з фігурним вирізом у виді "ластівчиного хвоста".

За зразками зброї зі скіфських курганів VI початку V ст. до н.е. можна простежити й за іншими прийомами підготовки деталей і їхнього зварювання. Широко застосовувалися наварювання накладних деталей рукояток мечів; паяння заготовок на конічній оправці і наступному зварюванні внапусток країв втулок списів і дротиків; формування отворів у сокирах і зварювання їх обухової частини. Ще більш складною була технологія виготовлення багатошарових клинків, що складаються із шарів м'якого заліза і сталі, що чергуються, у тому числі із вмістом вуглецю до 0,6-0,7%. Оскільки виплавити таку сталь у печах того часу було неможливо, застосовували науглецювання металу шляхом тривалої витримки його в тліючому вугіллі. Знайдено багатошарові зварені мечі, серпи і сокири різної конструкції. Серед них леза, що самозагострюються, з центральною високовуглецевою сталевією серцевиною і двома бічними смугами з заліза. Сталеві смуги наварювали також із двох країв м'якої центральної смуги двобічно гострого клинка. Сучасними методами металографії встановлено, що один із клинків має одинадцять сталевих і залізних шарів, які чергуються. У древні часи було відоме і загартування сталі з наступним відпуском [155]. Ковалі скіфо-сарматських, алано-булгарських і інших племен користалися різноманітними інструментами й устаткуванням: залізними кувадлами, молотками, спеціалізованими кліщами,

ковальськими і слюсарними зубилами, пробійниками. За допомогою інструменту, конструкція якого зберігається дотепер, вони могли виготовляти високоякісні і складні за конструкцією вироби - від шабель до замків.

Про виробництво і застосування заліза згадується в багатьох древніх пам'ятниках писемності. У XIII ст. у Київській Русі було освоєне виробництво високоякісної сталі, тут збільшували висоту горна печей і підсилили нагнітання повітря міхами. Рідкий шлак міг самостійно стікати по каналах, розташованих по краях підстави печі. Після плавки горн розбирали, витягали з нього злитки металу і проковували їх. У результаті проковування метал ущільнювався, частинки шлаку видавлювалися. Подрібнювання зерен давало металу додаткову міцність. З використанням ковальського зварювання залізних і сталевих заготовок у той час виготовляли досить складні за конструкцією і відповідальні за призначенням предмети. Успішно застосовували ковальське зварювання для з'єднання заліза з високовуглецевою (до 0,9 %) сталлю. Зварювання дозволяло одержувати з'єднання зі смужок заліза і сталі завтовшки 0,8-2 мм, у тому числі при виготовленні замкових пружин, кольчуг, високоякісних частин різних знарядь праці і холодної зброї, що ріжуть чи рубають. Так, для виготовлення мечів і наконечників списів майстри використовували сталь і залізо різного складу. Найчастіше з міцної сталі, наприклад дамаської, виконували тільки ріжучу крайку і наварювали на неї ковальським способом більш м'яку сталь. Така непроста технологія характерна, зокрема, для майстрів Київської Русі і Прибалтики. За допомогою ковальського зварювання майстри навіть таврували свої вироби шляхом нанесення на них своїх ініціалів і інших знаків.

Особливе місце в історії виробництва і зварювання металів займає булатна сталь, з якої виготовляли клинки мечів і шабель. Імовірніше за все, спочатку технологія виробництва булатної сталі була розроблена в Індії, звідки потрапила на Середній Схід, а потім - у Європу (є припущення, що свою іншу назву - "дамаська" - булатна сталь одержала за назвою міста, де виготовляли тканини з візерунками, подібними тим, що проглядалися на клинках). Багдадський учений першої половини XI ст. Аль-Кінді відзначав, що кращі фракійські слиманські клинки виготовляють з дамаської сталі. Арабські вчені Ібн Русту і Ібн Хордадбех вважали, що з дамаською

сталлю були знайомі і руси. Енциклопедист аль-Біруні в трактатах про виробництво металів приводить зведення про багат шарові клинки мечів, якими користалися слов'яни, що жили за Румейским (Чорним) морем. Про булатні мечі згадується в літописах і поемі часів Київської Русі "Слово об полку Ігоревім". Однак технологія виробництва цієї сталі ніде не описана, а збережені зразки дуже різноманітні за складом, структурою і механічними характеристиками.

Зустрічаються булатні клинки з простої низьковуглецевої сталі, легованої азотом і іншими додатками. Їх характеризує незвичайне поєднання високої твердості, гнучкості та пружності, а також наявність різних декоративних візерунків. Саме візерунки свідчать про те, що секрет булатних сталей ховається в технології кування і ковальського зварювання. Можна припустити, що стародавні майстри одержували булат багаторазовим перековуванням заготовки в довгий тонкий прут, з якого чи звивали, чи просто складали багат шарову заготовку. Потім цю заготовку знову піддавали куванню і зварювали в новий брусок, повторюючи ці операції кілька разів. Однак кування й інші операції становили досить складний технологічний процес [156].

Древні й середньовічні ковалі-зварники працювали не тільки над удосконаленням технології зварювання заліза і сталі, але і створили оригінальні зварені конструкції. Одна з них - стволи гармат і пищалей, що виготовляли зі смуг заліза, накручуючи їх на сталеві чи дерев'яні болванки і проковуючи (зварюючи) крайку по твірній циліндра. Щоб одержати довгий ствол, обичайки нарощували, зварюючи їх послідовно. Кільцеві шви являли собою з'єднання внапусток, для чого торці обичайок виковували у формі внутрішнього чи зовнішнього конуса [157]. У XIV-XVIII ст. ця технологія була поширена в ряді країн Європи й Азії. Викувані гармати поряд з литими захищали Московський Кремль. Найбільші гармати цього типу були виготовлені в Індії в XVI-XVII ст. Вони досягали в довжину 9м і важили до 50 тонн.

Основною технологією виробництва металевих скульптур було лиття. Однак можливості його були обмежені, оскільки з багатьох металів і сплавів гарні ливарні властивості мають тільки бронза, чавун, золото і срібло. Розміри металевих скульптур, точніше їхня маса, обмежилися потужністю печей. Тому металеві статуї

великих розмірів виготовляли клепаними, що вимагало спеціальних пристосувань і, крім того, доступу для підтримки заклепок у процесі клепання.

Прикладом застосування зварювання плавленням може служити виготовлення свинцевих труб і покрівельних листів у Древньому Римі. Цю технологію описав Леонардо да Вінчі. Зі зворотного боку з'єднання розташовували формуючу сталеву чи бронзову підкладку, а зверху ставили довгу вузьку жаровню з палаючими вугіллями, теплота від який розплавляла крайки. Шов остаточно формували проковуванням [158].

Поява машинної індустрії і бурхливий промисловий прогрес у XVII-XVIII століттях внесли істотні зміни в технологію й устаткування для ковальського зварювання. Це насамперед потужні прокатні стани, молоти, преси і спеціальні машини, що дозволили значно збільшити розміри виробів, що зварюються, знизити трудомісткість їхнього виготовлення і підвищити якість з'єднань. Ковальське зварювання продовжували вдосконалювати, застосовуючи нові досягнення техніки. Так, у 1870 р. Ф. Фонтіна відкрив водяний (коковий) пальний газ, що утворюється при зрошенні водою розпеченого вугілля і складається з водню й оксиду вуглецю. Півстоліття по тому цей газ почали активно використовувати в багатьох країнах для освітлення, а ще через якийсь час - для нагрівання деталей, що зварюються. У 1880-і рр. водяний газ називали паливом майбутнього, частково пов'язуючи це з перспективами застосування його для зварювання металів. Дійсно, у літературі 1930-40-х рр. "ковальське горнове зварювання" і "зварювання водяним газом" ще відзначені як окремі, самостійні способи. У ті ж роки підтверджувалося, що останнім з цих способів можна зварювати листи завтовшки від 4 до 80 мм за допомогою молота чи рольгангів [159].

Наприкінці XVIII - початку XIX ст. зросла потреба в металі з високими механічними властивостями. Сталеві і чавунні верстати, парові машини, мости й інші вироби швидко руйнувалися під дією динамічних навантажень. Тепер вже інтерес до булатної сталі виявляють не тільки зброярі. Чимало вчених і винахідників працюють над технологією виробництва високоякісної сталі (у їх числі видатні англійський фізик Майкл Фарадей і російські вчені-металурги Павло Аносов, Дмитро Чернов). У процесі пошуку були створені нові процеси переплавлення

металу, закладені наукові основи металографії і термообробки, відкриті структури сплавів, розроблені багато приладів. Але досягти якості виробів, виготовлених зі зразків булатної сталі, не вдавалося. Необхідно було точно знати режими кування (зварювання) і термообробки. Проте, за результатами досліджень були запропоновані різні способи поліпшення якості металу й одержання біметалу ковальським зварюванням [156].

Ковальське зварювання застосовували в основному для зміцнення заготовок, тому особливого впливу власне на мистецтво воно не зробило. Набагато більш ефективною було паяння твердими і м'якими припоями. Багато скульптур, барельєфи, прикраси вже за кілька століть до нашої ери виготовляли шляхом паяння з окремих фрагментів. Своєю красою шедеври древнього ювелірного мистецтва зобов'язані не тільки таланту художників, але й майстерності умільців, що виконували мікропаяння деталей.

Були й інші істотні технологічні рішення, зокрема металургійного характеру. Так, наприкінці XIX ст. Т. Флейтман запропонував спосіб нікелювання, за яким пластини нікелю і заліза нагрівали до зварювальної температури в атмосфері водню і прокочували між валками без доступу повітря [160].

3.1.2. Біля витоків електричного зварювання.

Наприкінці XVIII - початку XIX ст. в історії цивілізації відбувся перехід від мануфактурного виробництва до машинного. Спочатку у Великобританії, потім у Франції, Північно-Американських Сполучених Штатах, Росії, Німеччини, Італії, Іспанії, Скандинавських країнах і Японії швидкими темпами стали поширюватися текстильні, парові, електричні й інші машини. У цей період у світі дозрівав промисловий переворот, що супроводжувався розширенням досліджень у області природничих і прикладних наук, розробкою технологій виробництва і ремонту паровозів, парових котлів і машин, вузлів будівельних конструкцій. Традиційні секрети мистецтва ремісників вже не могли ефективно служити всій техніці, що швидко ускладнювалася. Нові розробки починають спиратися на сучасні досягнення науки, відкриття у фізиці, хімії і металознавстві.

У 1802 р. у С.-Петербурзі В.В. Петров відкрив явище електричного дугового розряду. У книзі "Звістка про гальванівольтівські досліди..." він описав результати

експериментів з дугового плавлення і випаровування металів [161]. Однак зазначена книга й інші повідомлення Петрова публікувалися не відомою в той час мовою науки - латиною, а російською мовою. Тому вони не дійшли до світової наукової громадськості [162]. Не привернула особливої уваги і доповідь, зроблена в 1808 р. Г. Деві, який також відкрив електричну дугу [163]. Практичне використання електрична дуга знайшла тільки через чотири десятиріччя у вигляді ламп [164]. До того як її стали використовувати для з'єднання металів, пройшло ще стільки ж часу. За цей період були відкриті закони електрики, початі спроби нагрівати і плавити дугою метал, створені відповідні устаткування і прилади [165, 166]. Серед знаменних історичних подій цього періоду слід зазначити розробку генераторів постійного струму - особлива роль тут належить Пачинотті (1860 р.) і З.Т. Грамі (1870 р.), - створення акумуляторів Б.П. Тверитиновим, М.М. Бенардосом і П.М. Яблочковим, розробку дугових ламп з електромагнітним регулятором В.М. Чиколевим (1874 р.) і ламп без регуляторів П.М. Яблочковим (1876 р.) [164].

Перші схеми процесів взаємодії дуги і металу мали значну подібність зі схемами, за якими будувалися дугові лампи. У 1815 р. А. Чілдрен розплавив електричною дугою непрямої дії іридій, церій і ряд інших металів. У 1844 р. Д. Нап'єр використовував дугу прямої дії для плавлення металу в тиглі з електропровідним днищем, до якого був підключений негативний полюс. У 1845 р. Депретц сплавив оксиди кремнію з металевими порошками, у 1846-1848 р. У.Е. Стейт розробив ряд технологій нанесення на вугільні електроди металів шляхом випаровування за допомогою дуги й іскри [164].

Одночасно з розробкою схем і способів застосування дуги досліджували і її властивості. Так, у 1847 р. Матеуччі (вдруге, після В.В. Петрова) довів застосовність законів електричних ланцюгів до дугового розряду. З безлічі робіт, присвячених використанню дуги, в наступні два десятиліття слід зазначити винахід Г. Уайльда, що у 1860 р. електричною дугою непрямої дії зварював торці проводів відносно великого діаметру. У 1870 р. Р. Вердерманн запропонував застосувати дугу непрямої дії, що відхиляється струменем пари, газу чи постійним магнітним полем, для різання виробів з діелектриків. Для цілей паяння і плавлення крайок (зварювання) дугу непрямої дії з аналогічним розташуванням електродів, що не плавляться,

використовували В.К. Фишер, В.Р. Лейк; для плавлення в електропечах - Сименс, Дюкрете, Лежей, тощо (1879 р.) [164]. У листопаді 1881 р. О. Меритен (Франція) запатентував пристрій для зварювання дугою прямої дії, що складається з тримача з вугільним електродом, підключеним до плюсового полюсу, і чавунної плити - до від'ємного полюсу. Тримач і плита розміщувалися в камері з ілюмінатором. Меритен обмежився застосуванням цього пристрою тільки для зварювання свинцевих пластин (патент Франції № 146010 від 24 листопада 1881 р.) [42].

Роком раніше російські електротехніки почали підготовку до Міжнародної електротехнічної виставки, що повинна була відбутися в Парижі в серпні 1881 р.[167]. Винахідник електричної дугової "свічі" П.М. Яблочков готував нову експозицію. Монтаж складного устаткування займалися співробітники його фірми, серед яких був і М.М. Бенардос, який застосовував електричну дугу прямої дії, що горить з вугільного електроду, для зварювання деталей акумуляторів, генераторів, комутаційної апаратури [168, 169].

Освітлення дуговими лампами М. М. Бенардос налагодив у своєму маєтку в Костромській губернії ще в 1878 р.[170, 171] Тут він займався виготовленням зразків нових пароплавних коліс, плугів, жниварок і ряду інших металоємких пристроїв [172,173]. Слід зауважити, що М.М. Бенардос займався благодійною діяльністю, побудував школу і аптеку в м. Лух [174-177]. Дугу він використовував і для розігрівання деталей перед тим, як з'єднати їх ковальським зварюванням. Спочатку це була дуга непрямої дії, що горить від звичайної дугової лампи. Бенардос помітив, що іноді при тривалому нагріванні крайки металу оплавлюються, рідкий метал обох крайок зливається в загальну ванну і, застигаючи, утворює монолітне з'єднання навіть без наступного проковування [178,179]. Для того, щоб зробити ванну ширшою та довшою та одержати шов, винахідник замість одного з електродів підключив до генератора сам виріб [179]. Це і була принципова схема способу зварювання дугою прямої дії. В наступні роки винахідник продовжував застосовувати проковування вже виконаного звареного з'єднання для поліпшення його якості. З ковальського зварювання М. М. Бенардос запозичав ще один прийом - посипання крайок металу, що зварюються, піском і мармуровою крихтою.

З часу відкриття дугового розряду неодноразово висувалися ідеї і починалися спроби використовувати дугу для міцного з'єднання металів, однак тільки Бенардосу вдалося розробити спосіб, що мав практичне значення. Для цього довелося працювати над вирішенням кількох задач: енергетичної, що полягає в створенні зовсім нового типу акумулятора, придатного як безпосереднє джерело живлення електроенергією зварювальних апаратів; технологічної, що полягала в розробці методу використання теплоти електричної дуги для з'єднання і роз'єднання металів. Однак генератори були слабкими, не могли давати великий струм і витримувати короткі замикання при порушенні дуги [180].

На той час вже існувало кілька типів акумуляторів. З'єднуючи їх послідовно-паралельно групами в батареї, можна було одержати необхідні значення струму і напруги на дузі. Але відомі тоді конструкції акумуляторів не витримували ударних навантажень режиму зварювання. У зв'язку з цим Бенардос винаходить спеціальний акумулятор. Власне кажучи, він став першим у світі спеціальним джерелом живлення зварювальної дуги, призначеним для зарядження і розрядження сильними струмами [180-181]. Бенардос запропонував виготовляти пластини акумуляторів з гофрованих похилих смужок пористого свинцю. Як відзначав винахідник: "найголовніші переваги акумуляторів запропонованої системи полягають у наступному: зібраний з вищеописаних пластин акумулятор, що має дуже велику поверхню, не жолобиться при роботі на сильних струмах; циркуляція рідини відбувається вільно завдяки отворах, що утворюються гофрами, а тому щільність рідини у всіх точках посудини залишається завжди однаковою; гофри смужок мають, як видно з креслень, похилий напрямок, що істотно полегшує виділення бульбашок газу на поверхню рідини; при машинному виготовленні смужки виходять з дуже правильними і зовсім однаковими гофрами" [182, л.27].

Варто зазначити, що М.М. Бенардос і далі продовжував займатися акумуляторами. Так, у 1899 р. він одержав патент на винахід "Спосіб виготовлення губчатого свинцю для пластин акумуляторів і спосіб ізолювання цих пластин одна від одної" [183]. М.М. Бенардос розробив схему зварювального поста, що складається з потужного комбінованого джерела живлення, комутаторів струму, реостатів, вимірювальних приладів і обладнаного електродотримачами і

зварювальними столами. У складі зварювального поста Бенардос використовував батареї своїх акумуляторів, що живляться слабкострумовим генератором при безупинній роботі. У такий спосіб йому вдалося одержати силу струму до 500 А від 500 елементів (акумуляторів), розташувавши їх у 10 групах і з'єднуючи в кожній по 50 елементів послідовно, а самі групи - паралельно. Створене комбіноване джерело живлення забезпечувало роботу трьох зварювальних постів [184].

Проблема устаткування для ручного дугового зварювання була вирішена Бенардосом до початку 1880-х рр. [169,185-187]. Проте, і в наступні роки винахідник продовжував удосконалювати апаратуру, пальники і пристосування [188-192]. Велику увагу він приділяв механізації процесу зварювання. Велика кількість пристроїв, запропонованих Бенардосом, могли б бути захищені окремими патентами. Розробляючи зварювальну апаратуру, Микола Миколайович вирішив ряд цікавих технологічних задач, пов'язаних з використанням теплоти електричного розряду для з'єднання і роз'єднання металів [193-195]. За суттю, це був комплекс винаходів, кожен з яких у майбутньому розвивався у самостійних напрямках. Про головний з них говорив професор Хемницького університету (Німеччина) Р. Рюльман: "У чому полягає відмінність вирішення Бенардоса від досліджень його попередників і чому вдалося досягти успіхів тільки тоді, коли дослідники пішли зазначеним ним шляхом? Новою є та обставина, що за методом Бенардоса оброблюваний метал сам є електродом, і дуга, що виникає між виробом і вугіллям, служить безпосередньо для проведення процесу. Надзвичайно важливою є та обставина, що виріб є негативним полюсом а вугілля позитивним. Сильні відновні реакції, що відбуваються на негативному полюсі, перешкоджають окислюванню металу. Те, що ця обставина дійсно надзвичайно важлива, можна зрозуміти, якщо поміняти полюси. При цьому у виробі пропалюються отвори, а маса утворених продуктів окислення охоплює дугу щільним шаром, внаслідок чого стає майже неможливим спостерігати за процесом і регулювати його. Найбільш складно на практиці регулювати, наприклад, силу струму, а отже, довжину, переріз і температуру дуги. Наявність сильного джерела електрики недостатньо для того, щоб забезпечити успішне завершення процесу. У керуванні температурою дуги полягає майстерність винахідника" [195, с. 864].

М. М. Бенардос свідомо використовував особливості процесів у дузі і на електродах при зворотній полярності. Іони вуглецю, які переносилися від вугільного електрода в бік ванни, значно зменшували окислення елементів, що входять до складу сталі. Довга (до 30 мм) дуга і її широкий факел грали, крім того, роль захисної атмосфери. Бенардос розробив і спеціальні засоби захисту дуги, запропонувавши вдмухувати в зону зварювання горючі газы, покривати крайки піском і флюсами для паяння. Для стабілізації дуги він застосував магнітні полюси, створювані електромагнітами [196,197].

Винахідник дугового зварювання розробив багато типів зварених з'єднань і форм розділення крайок. Бенардос блискуче використовує можливості зварювання і не тільки заміняє клепані конструкції звареними, але і створює оригінальні вузли і вироби. Наприклад, вже в першому своєму патенті він описує полегшені міцні конструкції, складені з хвилястих аркушів, що утворюють після зварювання чарунки; багатошарові конструкції із зазорами чи без зазору та ін.[187].

Значну увагу Бенардос приділив техніці зварювання, протягом багатьох років удосконалюючи прийоми плавлення крайок, подачі, переміщення і коливання електродного і присадкового металу, заварювання кратера, утримання і формування ванни. У працях і статтях, присвячених його роботам, можна знайти безліч технічних рішень, що надалі послужили основою для багатьох нових способів і прийомів зварювання, наплавлення, різання металів і матеріалів [185-187] (рис. 3-1).

Перше зображення першого способу дугового зварювання металів – гравюру: “М.М. Бенардос за роботою в майстерні у Парижі в 1881 р.” було дано в статті часопису “La Nature” [198]. Цю ж дату як початкову для електрозварювання відмічено і в часописі “Электричество”. [199]. Однак заявки на патенти Бенардос почав подавати лише в 1885 р. Пояснюється це бажанням автора зробити процес досконалим, розробити якнайбільше ідей і поєднати їх в одному патенті. Але була іще одна важлива обставина - бракувало грошей. Патентування винаходів у той час коштувало дорого. За законами багатьох країн, якщо ідея не була реалізована протягом порівняно короткого часу, власник патенту позбавлявся своїх прав на нього.

У 1881-1884 р. Бенардос працював у Росії, Іспанії, Англії і Франції, займаючись монтажем електричного освітлення, вдосконаленням устаткування і технології зварювання. Гарну експериментальну базу він мав на заводі Яблочкова в С.-Петербурзі. 6 червня 1885 р. Микола Миколайович подав прохання про видачу йому патента-привілея Росії на "Спосіб міцного скріплення металевих частин і їхнього роз'єднання безпосереднім впливом електричного струму". Заявку на патент Росії він подав самостійно [179]. Однак, не маючи достатніх засобів на патентування за кордоном і організацію зварювального виробництва, Бенардос змушений був запросити до участі у фінансуванні інженера С.А. Ольшевського. У короткий термін Бенардос підготував матеріали і подав заявки на свій винахід одночасно в усі промислово розвинуті країни Європи і США. Співвласником у закордонних заявках на патенти зазначався С.А. Ольшевський. У 1885 р. Бенардосу й Ольшевському були видані патенти у Франції, Бельгії, Англії, Німеччині, Швеції. Російський привілей він одержав 31 грудня 1886 р. за № 11982. У 1887 р. йому були видані також патенти в Італії, США, Австро-Угорщині, Данії й інших країнах [179]. Спосіб зварювання і різання металів дугою автор дав назву "Електрогефест" на честь давньогрецького бога вогню і ковальського ремесла Гефеста і як пам'ять про своє грецьке походження [200,201].

Слідом за подачею заявок Бенардос зайнявся організацією впровадження зварювання в промислове виробництво. У 1885 р. у С.-Петербурзі було створене товариство "Електрогефест", запрацювали показові майстерні і завод. "Виробництво зазначеного заводу полягає в зварюванні і паянні електрикою, а також у виготовленні приладів для електричного освітлення" - значилося в заявці на одержання від Департаменту торгівлі і мануфактур дозволу на проведення робіт [202, с.5]. У зварювальному цеху працювало до 200 робітників [202, с.3]. Новий технологічний процес металообробки привернув увагу багатьох учених, технологів і в першу чергу інженерів залізничного транспорту. Першими відвідувачами заводу для зварювання металів електрикою способом Бенардоса були відомі електротехніки професори Д.А. Лачинов (Росія) і Р. Рюльман (Німеччина).

У квітні 1887 р. Д.А. Лачинов зробив докладну доповідь про цей винахід на засіданні Російського фізико-хімічного товариства, давши йому позитивну оцінку.

Слідом за цим у журналі "Електричество" з'явилася його стаття під назвою "Електричне паяння металів способом "Електрогефест", в якій описані роботи, виконані способом Бенардоса, - зварювання листів, одержання отворів у товстих металевих листах, плавлення металу під водою і т.д. [199]. Повідомлення про винахід нового способу з'єднання зробив авторитетний французький інженер-електрик М.Ж. Сарсія [203].

Р. Рюльман, переконаний перевагами нового способу, також написав ряд статей про винахід М. М. Бенардоса, опублікованих у багатьох російських і іноземних журналах [204-207]. У них авторитетний учений дав наукову оцінку пропозиції Бенардоса і навів докази його високої компетентності в питаннях металургії. Р. Рюльман також відзначив важливе значення електрозварювання способом Бенардоса для швидкого виправлення дефектів лиття, ремонту зруйнованих виробів. У присутності Р. Рюльмана Бенардосом був відремонтований котел для заводу наждачних кругів Струка в С.-Петербурзі. Один з машинобудівних заводів пропонував полагодити казан приблизно в тритижневий термін. Це означало зупинку заводу на цей термін і відповідні збитки. Бенардос узявся зробити терміновий ремонт за допомогою електрозварювання. За 3 години дефект у казані був заварений, а ушкоджене місце виправлене електричним наплавленням металу. Фотографія російського винахідника за зварюванням цього котла була подана в статті німецького вченого і розійшлася по всьому світу [206].

Технічні журнали, які видавалися в той час, так писали про роботи Бенардоса: "...електричне зварювання є простим, зручним і практичним способом, гідним численних і корисних видів застосування електричного струму, і ми повинні привітати Бенардоса, який одним рухом руки зумів перетворити лабораторію на цілу галузь промисловості, що має велике значення, як у сьогоднішній, так і в майбутньому" [198, с.58]; "...бажаю пану Бенардосу мати багатьох послідовників, які могли б ще більш удосконалити обробку металів електричним шляхом, тому що його винахід - уперше реалізований у техніці - встиг показати, наскільки універсальні і прості роботи за допомогою електрики" [184, с.9745].

Подібні дані про технологічний процес електродугового зварювання і про зварювальне устаткування навів інженер Г.О. Каменський у доповіді, прочитаній у

Київському технічному товаристві в грудні 1887 р. [206] . Доповідач вказав на широкі можливості способу "електрогефест": з'єднання металів електрозаклепками, покриття одних металів іншими. При з'єднанні металів електрозаклепками для виконання даного з'єднання в одному листі пропалювали наскрізні отвори. Потім цей лист накладали на інший і через отвори розплавляли крайки металу.

Цікава стаття під назвою "Електрогефест" була опублікована в журналі "Нижегородський вісник пароплавства і промисловості" у липні 1887 р. У статті, зокрема , відзначалося: "Хто не погодиться після усього викладеного, що винахід М. Бенардоса повинний бути по всій справедливості зарахований до числа найбільших. Він обіцяє, з одного боку, відносно спрощення і прискорення виробництва, а з іншого, відносно збільшення міцності вироблених предметів, однаково величезні вигоди машино- і суднобудуванню, арсеналам і збройовим заводам, а також майже всім металообробним фабрикам і заводам" [209, с.47]. Тільки в 1887 р. про винахід М.М. Бенардоса було опубліковано не менш 16 статей у різних російських журналах. У закордонній періодичній пресі в 1887 р. було опубліковано близько 10 статей вітчизняних і закордонних учених і технологів, що приїжджали в С.-Петербург у майстерню Бенардоса для ознайомлення з його винаходом з метою застосування нового технологічного процесу обробки металів. [210-214].

Товариство "Електрогефест" не тільки приймало замовлення на виконання зварювальних робіт, але і розробляло проекти електрозварювальних установок, зразкові кошториси на необхідне устаткування і приладдя для дугового зварювання і різання металів. Воронежські паровозні майстерні Козловсько-Воронезько-Ростовської залізниці , Рославльські майстерні Орловсько-Вітебської залізниці , Куваевські мануфактури в Івано-Вознесенську, заводи Струве в Коломні, "Лільпоп-Рау Левінштейн і Ко" у Варшаві, Невського механічного товариства, Лесснера в С.-Петербурзі стали піонерами в освоєнні нового технологічного процесу [215].

За проектом Бенардоса у Воронежських паровозних майстернях був організований спеціальний електричний відділ. Роботи вели двома зварювальними апаратами при 350 акумуляторах, а з 1890 р. - одним зварювальним апаратом при 175 акумуляторах.

З 1888 р. по 1892 р. у Воронежських паровозних майстернях за допомогою електрозварювання було покладено близько 800 різних деталей, прибуток майстерень від ремонту зазначених деталей склав 8459 руб. Чотирирічна практика підтвердила доцільність використання електродугового зварювання. За цей час помітно зросла культура виробництва, покращилася технічна оснащеність майстерень.

У 1886 р. почалося практичне застосування дугового зварювання в майстернях залізниць і на інших підприємствах Росії не тільки для ремонту, але й для виготовлення різних металевих виробів. Минуло всього шість років після винаходу М.М. Бенардосом електродугового зварювання металів і два роки після одержання ним патентів у Франції, Бельгії, Англії, Німеччині, Росії й інших країнах, а дугове зварювання одержало широке практичне застосування в промисловості та на залізничному транспорті [215].

З великим успіхом дугове зварювання було застосоване для ремонту паровозних котлів шляхом заварювання пропалів і тріщин у перемичках між отворами для димогарних труб. Подальше вдосконалення полягало в обпаленні деталей після їхнього ремонту зварюванням. Пізніше в Рославльських майстернях зварювання також успішно застосовували при лагодженні бронзових і чавунних деталей. Так, у Рославльських залізничних майстернях був покладений дзвін вагою 350 кг, що мав тріщину довжиною 900 мм.

До середини 90-х рр. XIX ст. новий технологічний процес був упроваджений більш ніж на 100 заводах Західної Європи. У 1895 р. спосіб Бенардоса експлуатували в Німеччині (заводи. Круппа в Ессені, К. Мюллера у Швельме, Ю. Пінча в Берліні, сталеливарний завод товариства "Бохум Гутехоффнусхютте, Ерхард і Гей" у Дюссельдорфі), у Франції (фабрика Крезо і товариство "Комантри" у Шатильоні), в Австро-Угорщині (Витковицький завод у Оставі, заводи Ганца в Будапешті, завод Розі у Відні), у Великобританії (заводи в Бірмінгемі, Шеффілді, Лідфілді, Глазго) та в інших країнах. Деякі заводи Західної Європи і США приступили до систематичних випробувань якості зварених з'єднань. Фундаментальні дослідження в області дугового зварювання були здійснені у Великобританії на заводі компанії "Ллойд-Ллойд" (Бірмінгем) [215-218].

У Франції дослідницькі роботи в цьому напрямку проводили в 1886-1887 р. у майстерні заводу Крейле, організованої братами Ротшильд, що купили ліцензію на "Електрогефест" із правом перепродажу ліцензій на застосування зварювання способом Бенардоса не тільки у Франції, але й у Австро-Угорщині.

У Німеччині була організована дослідна майстерня для ознайомлення німецьких промисловців з особливостями і перевагами винаходу Бенардоса. Право продажу ліцензії на застосування "Електрогефеста" у Німеччині придбала фірма Гартмана в Дрездені. У США правом на експлуатацію способу дугового зварювання користувалася компанія Томсона.

У Великобританії на заводах компанії "Ллойд-Ллойд" до середини 1890-х рр. працювали шість зварювальних апаратів від трьох динамомашин (по 200 А и 150 В кожна) і акумуляторної батареї з 1450 секцій системи Бенардоса. За допомогою цих апаратів приварювали сталеві фланці до залізних труб, проробляли у фланцях отвори, зварювали залізні труби діаметром до 1,8 м, хрестовини резервуарів і т.д. [216].

У Німеччині фірма "К. Мюллер" у порядку випробування поставила товариству "Брати Нобель" труби для свердловин діаметром 2,1 м, зварені способом Бенардоса. Ці труби могли витримувати тиск до 7 мПа. На засіданнях наукових товариств ряду країн Західної Європи і США були зроблені доповіді і повідомлення про винахід Бенардосом способу електродугового зварювання і різання металів. Так, у США в Бостонському технологічному інституті 1890 р. лейтенант ВМС В. Вуд зробив доповідь про застосування електродугового зварювання при виробництві снарядів. Доповідач вказав на відмінні результати випробування артилерійських снарядів, виготовлених за допомогою зварювання, відзначивши економічність і перспективність використання зварювання в цьому виді виробництва. На засіданні членів англійського товариства інженерів-суднобудівників у 1895 р. з повідомленням про спосіб Бенардоса виступив інженер Г. Фостер. Доповідь про виготовлення жарових труб за допомогою цього способу зробив інженер Мак-Карті в Лондонському інституті інженерів-механіків [219].

У період освоєння енергії дуги з'явилися й інші способи її застосування при зварюванні. Один з них, запропонований у 1890 р., полягав у тому, що частини

виробу чи електрод і виріб, підключені до різних полюсів, поміщали в електроліт, де електрод і крайки, що з'єднуються, нагрівали до високих температур, іноді до плавлення, після чого їх спільно проковували, одержуючи з'єднання. Бельгійці С.Г. Гуго й А.С. Лагранж, визнані винахідники способу "гідроелектротермічне зварювання", вважали, що нагрівання відбувається за рахунок малоамперних електричних дуг, що виникли між виробом і шаром електроліту, що примикає до нього. Говорячи про це, доречно згадати й те, що Бенардос у 1896 р. подав заявку на патент, у якій писав: "Особливість і новина мого винаходу - гідроелектроплавлення і розжарення металів - полягає в застосуванні мною струменя чи стовпа рідини, що проводить електричний струм, для плавлення і нагрівання металів за допомогою дуги і без неї; причому стовп рідини буде одним полюсом ланцюга робочого струму, а іншим полюсом буде оброблюваний металевий предмет" [119, с.3]. Але "Електрогефест" і способи, що розвиваються на його основі, виявилися більш ефективними [220].

Російський привілей Бенардоса на спосіб з'єднання і роз'єднання металів безпосередньою дією електричного струму перейшов 1887 р. у власність товариства "Електрогефест". Власники товариства не хотіли витратити кошти на подальше удосконалення процесу електрозварювання і Микола Миколайович сам веде пошук нових шляхів застосування дуги для обробки металів і вдосконалює його.

Безмежно вірячи в можливості винайденої ним дугового зварювання, і, намагаючись одержати велике замовлення, М.М. Бенардос запропонував відремонтувати Цар-дзвін і розробити технологію приварювання шматка, що відокремився, і заварювання тріщин (по термінології винахідника - "запаювання"), розплавляючи крайки дугою, що горить з вугільного електрода і заповнюючи зазор металом бронзового прутка, що вводиться в зону зварювання. У своїй брошурі він писав: "Біля місця, де знаходиться тепер Цар-дзвін, необхідно улаштувати приміщення для спайки дзвону і його оброблення, а також постановки необхідних для того машин і приладів з піччю... Коли покладений дзвін буде зігрітий до необхідної температури, паяння почнеться спершу з розплавлювання країв виїмки внизу її, потім, коли краї сплавляться, у виїмку буде надходити розплавлений метал

при безупинній дії вольтової дуги так, щоб він зливався з розплавленими краями виїмки. Робота ця повинна продовжуватися безупинно, поки не буде завершена і заповнена виїмка по всій довжині. Під час паяння температура дзвону повинна рівномірно підтримуватись до закінчення паяння і потім поступово зменшуватись. Остигання повинне відбуватися дуже повільно" [221, с.12].

Як видно з опису, Бенардос пропонував спочатку заварювати корені швів, тобто частину швів внутрішньої стінки дзвону при порівняно невеликому струмі та вузькому зазорі так, щоб уникнути протікання металу. Виконавши цю операцію по всій довжині швів, можна було заповнювати зазор, не боячись протікання металу. (Слід зазначити, що така технологія набула широкого застосування з 1980-х рр. під назвою "зварювання у вузьке щілинне оброблення".) Маса металу, що одночасно розплавляється, була невелика. Ця технологія припускала мінімальне ушкодження рельєфу. Бенардос не сумнівався в можливості одержання високоякісного з'єднання і виправлення всіх дефектів, і передбачив подальші технологічні операції по доданню дзвону належного зовнішнього вигляду і використанню його за призначенням [222].

Можливості зварювання як самостійної операції в ліпленні розкриваються в технології, описаній у патенті М.М. Бенардоса під назвою "мікролиття" чи "металеве ліплення". Дійсно, ця зварювальна технологія сполучає ніби дві операції виробництва скульптур - ліплення і лиття, крім усіх традиційних проміжних операцій [223].

Бенардос запропонував деякі конструкції зварювальних апаратів з автоматичними регуляторами довжини дуги, заснованих на застосуванні соленоїдів з обмотками, які включено послідовно в зварювальний ланцюг і реагують на зміну сили струму зі зміною напруги при падаючій зовнішній вольт-амперній характеристиці зварювального ланцюга. Така система регулювання була застосована Бенардосом для напівавтоматів (при ручному переміщенні уздовж шва) як для зварювання електродом, що не плавиться, дугою прямої і непрямої дії, так і для зварювання електродом, що плавиться [224].

Розвиваючи ідею керування металургійними процесами в зоні зварювання, Бенардос створив технологію дугового зварювання в захисному газі. Розроблений ним пальник забезпечував подачу пального газу через сопло з кількома каналами, що

оточують електрод. На думку винахідника, використання дуги разом з газами сприяє збільшенню нагрівання і розкислення ванни. Використовуючи цей пальник, Бенардос одержав високоякісні з'єднання масивних чавунних деталей. Для зварювання тонкостінних виробів він розробив пальник із двома електродами, між якими розташовувалася трубка-сопло. Горючий газ, виходячи із сопла, видував стовп дуги непрямої дії й одночасно захищав зону зварювання [120]. Бенардос запропонував декілька конструкцій електродів. У їх числі були трубчасті електроди, наповнені стабілізуючими і шлакоутворюючими компонентами [111].

Першому способу дугового зварювання були притаманні помітні економічні і технічні переваги в порівнянні з ковальським способом, що удосконалювався тисячоліття. Бенардос довів, що дугою можна зварювати технічне залізо, сталь, чавун, мідь, бронзу, тобто майже всі поширені в той час технічні метали. Однак зварювання сталей деяких марок способом Бенардоса не завжди виявлялося вдалим, оскільки в шов потрапляли оксидні включення, у ньому накопичувалась сірка і фосфор.

Першою стаціонарною зварювальною установкою можна вважати пристрій для дво-дугового приварювання фланців до торців труб способом Бенардоса. Вона була створена в 1887 р. Г. Говардом і впроваджена на заводах фірми "Ллойд-Ллойд" у Бірмінгемі. Джерелом зварювального струму служили чотири динамомашини (500 А, 150 В), що приводилися в дію паровою машиною і заряджали 1800 акумуляторів Бенардоса. Дуги жилилися паралельно. У ланцюзі кожної з них був установлений баластовий реостат. Зварювання вели при прямій полярності двома дугами водночас. Наступного року Говард застосував аналогічну схему зварювання трьома дугами на заводах "Кумз Вуд". Зварювальна установка складалася зі станини, візка з тримачами вугільних електродів, кувалди з вогнетривкою плитою і затискачами для виробу, пневматичного молота, електроприводів обертання тримачів і механічних передач переміщення виробу. Завдяки точному дотриманню технологічного процесу, постійної швидкості обертання, двосторонньому нагріванню місця з'єднання і наступному проковуванню шва заводи фірми "Ллойд-Ллойд" і багато інших підприємств Великобританії домоглися високої якості металу шва, що відповідає

вимогам виробництва відповідальних виробів (машин, трубопроводів, котлів). Відзначалося різке підвищення продуктивності праці при виготовленні серійних виробів. У 1890 р. спосіб Бенардоса був застосований для ремонту корабля і для виготовлення корабельного котла [181].

У 1904 р. моряки російського флоту і робітники Балтійського судноремонтного заводу, що знаходилися в обложеному Порт-Артурі, успішно застосовували дугове зварювання вугільним електродом для з'єднання і різання металевих частин при ремонті ушкоджень корпусів кораблів "Севастополь", "Ретвизіан", "Цесаревич", отриманих підчас бойових дій з японським флотом. При цих роботах джерелом живлення дуги були корабельні генератори [119].

У 1982 р. у Великобританії була опублікована наша стаття, присвячена життю і діяльності Бенардоса, зокрема його роботі в Лондоні [188]. Серед відгуків на цю публікацію був лист А. Стиррата, який повідомив, що установку Бенардоса на заводі фірми "Ллойд і Ллойд" використовували ще й у 1929 р. [189].

Відомо, що в 1930-х рр. на Коломенському паровозобудівному заводі ім. В.В. Куйбишева працювала зварювальна установка, змонтована Бенардосом. А зварювання вугільною дугою застосовували і в наступні роки, зокрема при виробництві алюмінієвих цистерн.

Кінець 80-х - початок 90-х рр. XIX ст. стали для М.М. Бенардоса найбільш плідними в його винахідницькій діяльності. У 1887 р. була подана заявка на привілей на удосконалену систему акумуляторів, у грудні 1887 р. - на спосіб виготовлення губчатого свинцю для пластин акумуляторів, у 1889 р. - на тигельне електропаяння, електровідливання і електронашарування металів, у 1893 р. - на спосіб і прилади електропаяння тонких металевих листів і т.д. [120].

Своєрідним звітом про винахідницьку діяльність М.М. Бенардоса в області зварювання стала його експозиція на IV Всеросійській електричній виставці, організованої ІРТТ, що відкрилася в 1892 р. у С.-Петербурзі [225-227].

До моменту відкриття виставки технологія дугового електрозварювання способом Бенардоса була вже досить розроблена. Вперше в світі була висунута ідея і розроблено пристрій для зварювання металевим електродом на змінному струмі,

розроблене зварювання в струмені газу, магнітне керування дугою, зварювання похилим електродом [228, 229]. Бенардос першим у своїх роботах як вугільним, так і металевим електродом став застосовувати різні флюси і закриту дугу, і, нарешті, він став основоположником механізації й автоматизації зварювального процесу. Крім дугового електрозварювання на IV Всеросійській електричній виставці М.М. Бенардосом було представлено п'ять креслень пристроїв для контактного зварювання, розробленого ним у 1887 р. [230, 231].

Винахідник представив на виставці в кресленнях і моделях кілька десятків різних приладів - електродотримачів, пальників і верстатів як для ручного, так і для автоматичного зварювання, а також більше сотні зразків різних видів зварених з'єднань з різних металів. У проспекті виставки було зазначено 15 технологічних процесів, виконуваних за допомогою "Електрогефеста", у тому числі паяння і зварювання великих металевих мас 231, 232. Були представлені експонати, зварені чи відремонтовані за допомогою "Електрогефеста": дзвін масою 350 кг (у якому була заварена тріщина довжиною 900 мм), металеві пластини, труби, посудини й інші металеві предмети. Не можна не відзначити, що на цій виставці М.М. Бенардос демонстрував зварювання не вугільним, а металевим електродом. Демонструючи свої винаходи, він писав: "Роботи виконуються дугою, збудженою між двома металами, один із яких більш-менш розплавляється, а інший, розплавляючись, зливається найвищою мірою з першим" [232, с.8]. М.М. Бенардосу була вручена вища нагорода виставки - золота медаль "за вдале застосування вольтової дуги до спаювання металів і наплавлення одного металу на інший" [233].

Доля М.М. Бенардоса подібна долі багатьох професійних винахідників минулого, ідеї і розробки яких послужили основою для нових напрямків розвитку науки і техніки, а імена збереглися в назвах машин, приладів, технологічних процесів; тих, які ще при житті "розгубились", були знехтувані суспільством, де панував дух підприємництва і наживи. Останні роки життя М.М. Бенардос провів у провінції, про його смерть не повідомила ні одна газета. Тільки у 1956 р Б.М. Ржонсьніцький встановив, що останню свою заявку на патент на винахід М.М. Бенардос посилав з м. Фастова і знайшов у церковній книзі запис про кончину там винахідника. У сімейних архівах нащадків Бенардоса зберігся щоденник, з якого

було відомо про місце знаходження будинку винахідника на хуторі Костяші. У 1980 році тут було проведено археологічні дослідження і знайдено декілька речей, які передані до музею М.М. Бенардоса [234].

3.3. Розвиток дугового зварювання наприкінці XIX – на початку XX сторіч.

3.3.1. Життя і роботи М.Г. Слав'янова зі зварювання плавким електродом. У Росії вдосконаленням дугового зварювання й, у першу чергу, вирішенням задачі одержання високоякісного металу шва займався М.Г. Слав'янов. Причому його, як керівника великого державного машинобудівного заводу в Пермі на Уралі, цікавили не тільки зварені з'єднання, а й сталеві виливки, у верхній частині яких мали місце усадочні раковини і пори [235, 236-238].

Володіючи глибокими знаннями з металургії та електротехніки, М.Г. Слав'янов спроектував і побудував дві потужні на той час динамомашини - генератори постійного струму з приводами від парових машин на номінальний струм 500 А при напрузі на дузі 60-100 В і струмі 1000 А. Ці генератори він застосував для освітлення цехів, а пізніше - для живлення зварювальних дуг, замінивши ними величезні батареї акумуляторів Бенардоса [239, 240].

Слав'янов замість вугільного електрода, що не плавиться, застосував металевий електрод-стрижень, що плавиться, хімічний склад якого відповідав складу виробу, який зварюється. Електрод, підключений до джерела струму, служив одночасно і присадним матеріалом. При цьому зварювальна ванна була захищена шаром шлаку - розплавленого металургійного флюсу. Шви виконували окремими ділянками. Для того, щоб шлак і розплавлений метал не розтікалися, зону зварювання обмежували бар'єром з вугільних пластинок і формувальної землі. [239].

У жовтні 1888 р. на Мотовилихінському заводі в Пермі Слав'янов демонстрував свій спосіб зварювання групі металургів і електротехніків із С.-Петербурга. У 1890 р. він подав заявки на винаходи, а 13 серпня 1891 р. одержав привілей Росії № 8748 на "Спосіб і апарат для електричної виливки металів" і привілей Росії № 8747 на "Спосіб електричного ущільнення металевих виливків", якими була захищена нова технологія електродугового зварювання. Особливу увагу Слав'янов приділяв механізації й автоматизації дугового електрозварювання. Вважаючи, що ручне зварювання електродом, що плавиться, принципово неможливе, він виготовив

зварювальний напівавтомат - "електроплавильник". Напівавтомат Слав'янова складався з диференційного регулятора, коромисла, системи подачі електрода вручну і штанги. На одному кінці коромисла були розташовані дві пари роликів, а на іншому - противага. Середню частину коромисла кріпили за допомогою штанги до регулятора. Регулятор являв собою соленоїд, обмотки якого включали послідовно у зварювальний ланцюг, а осердя з'єднували з коромислом і відтягували пружиною. На коромислі розташовували також гвинт, на кінцях якого встановлювали подавальний приводний ролик і маховик. Напівавтомат підвішували над заформованою ділянкою; у ролики вставляли електрод-стрижень довжиною близько 2 м. Обертанням маховика вручну здійснювали "грубу" подачу електрода і натягали пружину регулятора. При обертанні електрода і збільшенні напруги на дузі зменшувалася сила зварювального струму, пружина починала переборювати силу втягування соленоїда, штанга відхилялася, і кінець коромисла з електродом опускався. Через визначені проміжки часу електрод доводилося спускати вручну за допомогою маховичка, обертаючи ролики [224,239].

Цей "плавильник" був подібний, у принципі, до диференційних регуляторів для дугових ламп, наприклад регулятора В.М. Чиколева. Регулятор підтримує сталість дуги між електродом і оброблюваним виробом. При розробці "плавильника" М.Г. Слав'янову допоміг досвід, отриманий ним при конструюванні дугових ламп для освітлення свого заводу, набутий у перші роки роботи на заводах [164,].

У 1890-1891 р. патенти на "електричну вилітку металів" були отримані Слав'яновим у Франції, Німеччині, Великобританії, Австро-Угорщині, Бельгії і заявлені в США, Швеції, Італії. Право на експлуатацію винаходу Слав'янова придбало Російське товариство електричної обробки металів, що володіло і патентами Бенардоса. На багатьох заводах і в майстернях Росії, а також за кордоном спосіб Слав'янова застосовували для відновлення "невдалих металевих виливків, заливання тріщин і порожнеч у металевих речах, "приливання" відламаних частин металевої речі, а також відсутніх частин, для виправлення зношених поверхонь машинних частин наливанням на них металу, переробки білого твердого чавуну в сірий м'який у бажаному місці".[241, 242].

На пермських заводах, якими керував М.Г. Слав'янов, за його способом з 1890 по 1892 р. було відремонтовано 1631 виріб загальною масою близько 300 т, при цьому витрачено 10 т електродів, розплавлених за 887 годин. Особливо мистецьки ремонтували вироби з чавуна і бронзи. У 1897 р. за проектом Слав'янова були споруджені великі промислові установки на сталеливарному заводі в Катеринославі, на заводі Товариства пароплавства в Севастополі, на заводах Златоуста, Іжевська, Луганська, Сормова, Одеси. Слід зазначити, що Слав'янов, як і Бенардос, розробив проект ремонту московського "Цар-дзвону". "Електровідливання" було особливо ефективним при зварюванні виробів великої товщини [222, 242, 243].

Свій спосіб Слав'янов використовував не тільки для зварювання, але й для наплавки великих злитків, що застигають, зменшуючи усадочні раковини. При цьому у ванну можна було додати легуючі компоненти, а поверхню захистити шаром шлаку, що забезпечувало порівняно високу якість металу, що наплавляється.. Говорячи про інші переваги свого способу, Слав'янов відзначав, що: "Уся теплота, перетворена з електричного струму (крім неминучих втрат від випромінювання), йде на розплавлення металу. Таким чином, очевидно, що, застосовуючи електричний струм однакової сили, ми повинні одержати за допомогою "Електрогефеста" (в залежності від напрямку струму) принаймні у 1,5-3 рази менше розплавленого металу, ніж за допомогою електричного виливання" [121 с.87]. При зварюванні способом Слав'янова для розплавлення визначеної маси металу потрібно менша щільність струму і менша кількість енергії, ніж способом "Електрогефест". Однак, незважаючи на це, при "електровідливанні" шов виходив ширшим [244].

У 1891 р. Слав'янов написав декілька статей і окрему брошуру з викладом суті своїх винаходів, а в 1892 р. видав першу в світі монографію, що стосується дугового зварювання металів, у якій наводяться результати досліджень і рекомендації з технології зварювання різних металів. Своїми дослідженнями він звернув увагу на важливість металургійних процесів, що протікають у зоні зварювання [245]. Книгу було перекладено на англійську, німецьку і французьку мови [246]

М.Г.Слав'янову вдалося одержати високоякісні з'єднання з багатьох металів. Питання якості металу при електричному зварюванні і литті піддавали широкому

обговоренню і вивченню після IV Всеросійської електротехнічної виставки в Петербурзі в 1892 р. Серед експонатів, представлених М.Г. Слав'яновим на виставці, знаходилися вироби, в яких раковини, наскрізні отвори, тріщини були залиті чавуном різної твердості, різними сплавами міді, сталлю тощо. Були також представлені вироби, в яких показане виправлення зношених поверхонь, наплавлення одного металу на іншій, зварювання зламаних і приварювання відсутніх частин. Російське технічне товариство удостоїло М.Г. Слав'янова "за вдале застосування вольтової дуги до виробництва металевих виливків і наступній їхній обробці з метою зміни хімічного складу металу і поліпшення його механічних властивостей" медалі і почесного диплома [233].

У 1893 р. на Всесвітній електротехнічній виставці в Чикаго (США) демонстрували зразок, який був виготовлений Слав'яновим з восьми різних металів, наплавлених один на одного. Його спосіб був відзначений дипломом, а в складі Російської експозиції - бронзовою медаллю. Спосіб Слав'янова демонстрували на Всесвітній виставці в Парижі в 1900 р. [226, 247]. І все-таки спосіб М.Г. Слав'янова відрізнявся значною складністю, вимагав великої майстерності зварника. Часто "електричне виливання металів" вважають прототипом ручного дугового зварювання металевим штучним електродом. У цих двох способів є тільки одна загальна істотна ознака - електрод обмеженої довжини, що плавиться.

Способом М.Г. Слав'янова успішно зварювали чавун і бронзу, сталеві деталі значного перерізу і ремонтували всілякі вироби: сталеві колінчасті вали, парові циліндри, станини парових молотів, рами паровозів і парових машин, зубчасті колеса, золотникові коробки, штоки парових молотів, парові циліндри насосів і повітрорудних машин, ножиці для різання металу, частини пресів, якорі річкових суден, суднові стерна, рами штурвалів тощо. Якість зварювальних робіт була на високому рівні, що підтверджується актами, підписаними представниками замовників. [121, 215].

У 1897 р. за проектом Слав'янова споруджена велика промислова установка дугового зварювання на сталеливарному і машинобудівному заводі в Катеринославі. Зварювання застосовували для виправлення поверхневих дефектів сталевих відливок (у вагонних, тендерних і паровозних центрах колісних скатів). Ця установка мала

велике значення для розвитку промислового застосування дугового зварювання в Росії та в інших країнах [222].

Наприкінці XIX ст. установки "електричного виливання" металів Слав'янова працювали на заводі товариства пароплавства і торгівлі в Севастополі, на Луганському, Златоустівському, Сормовському та Іжевському заводах, в Одеських і Кронштадських портових майстернях. Для зварювання способом Слав'янова, що вимагав високих значень сили струму, часто застосовували імпортовані електричні генератори [248].

Останнє повідомлення про застосування зварювання способом Слав'янова (в Одеських головних майстернях Південно-Західних залізниць) було зроблено в 1911 р.

Необхідно відзначити, що зварювальна дуга наприкінці XIX ст. знайшла застосування й у паянні, точніше при нагріванні паяльників. Дуга невеликої потужності збуджувалася між ізольованим графітовим стрижнем, розташованим у корпусі паяльника, і жалом. Такі паяльники можна було підготувати до роботи набагато швидше, ніж паяльники зі спіралями опору. Паяльники з прямим нагріванням і паяльники системи Церенера (з нагріванням непрямою дугою) випускала в Німеччині фірма "А.Е.Г" [228].

3.3.2. Внесок у розвиток дугового зварювання винахідників Німеччини і США. В міру розширення сфери застосування зварювання вугільною дугою і підвищення вимог до якості з'єднання зростало число фахівців, що займаються усуненням недоліків і вдосконаленням технології дугового зварювання. У Німеччині, де спосіб Бенардоса був упроваджений на ряді великих підприємств (у тому числі на знаменитих заводах Круппа), з 1883 р. вдосконаленням процесу займався Г.Т. Церенер. Німецький інженер шукав можливість зменшити силу струму, щоб спростити джерело живлення й усунути "перегрівання металу". Цим він сподівався зменшити вартість зварювального устаткування, підвищити ударну в'язкість і границю текучості металу швів.

Свою технологію Церенер засновував на застосуванні дуги непрямої дії. Перші варіанти його паяльників нагадували дугові освітлювальні лампи. Для того щоб направити теплові потоки в бік виробу, він впливав на стовп дуги магнітним полем.

Церенер проводив експерименти як з постійним магнітом, так і з електромагнітами, створюючи магнітні поля різної конфігурації досліджував взаємодію дуги та магнітних полів. У патенті Німеччини № 53502 від 3.12.1889 р. він написав: "Коли силові лінії підковоподібного магніту перетинаються перпендикулярно до горизонтальної площини лініями електричної дуги, остання відхиляється перпендикулярно до цієї площини, захоплюючи полум'я, що нагадує вістря"[228, с.117]. Для реалізації цієї ідеї Церенер розробив кілька варіантів пальника, описаних у патенті як "пристрою для утворення дуги між двома вугільними електродами в магнітному полі так, що лінії напруженості магнітних і електричних полів перетинаються і струм проходить в обмотці в напрямку, що відповідає необхідному напрямку вістря полум'я"[228, с.124].

Обидва винахідника як Церенер так і Бенардос для попередження взаємодії розплавленого металу з повітрям пропонували використовувати "світільний" газ. Бенардос подавав його через сопла, розташовані по кільцю навколо електрода, а Церенер вдмухував пальний газ через порожні (трубчасті) вугільні електроди. Однак істотно поліпшити якість з'єднань Церенеру не вдалося [249]. Ще один варіант у 1897 р. запропонував американець У. Перкінс - зварювати метал одночасно газовим і дуговим пальниками. Але через складність керування процесом зварювання ця ідея не знайшло розвитку.

Слід зазначити, що Церенер був першим, хто звернув серйозну увагу на захист очей зварника від випромінювання. Він застосував захисні скельця, що складаються з двох частин: нижньої (з чорного чи темно-зеленого скла світлофільтра), призначеної для спостереження за зоною зварювання і дугою при її регулюванні, і верхньої (з більш прозорого скла) - для підготовчих робіт і спостереження за постом.

Усунути недоліки способу зварювання вугільною дугою намагалися й у США, де в останнє десятиліття XIX століття набули широкого поширення два способи електрозварювання - дугове і контактне стикування. У січні 1889 р. Ч.А. Коффін, менеджер компанії "Америкен електрик" одержав патент США № 395878 на "Процес електрозварювання". По суті, це був пальник для зварювання дугою непрямої дії двома вугільними електродами. Дуга відхилялася під дією магнітного поля, створюваного соленоїдами (як і в голівках Церенера), положення факела і вістря

стовпа дуги регулювалися не тільки положенням соленоїдів, але й зміною за допомогою реостата сили струму, що проходить через них. Показчик положення повзунка реостата був відградуваний безпосередньо по товщині металу, що зварюється.

Американський винахідник Коффін запропонував комбінований процес зварювання: деталі (невеликого перерізу) в місці з'єднання нагрівали дугою непрямої дії до розм'якшення чи до розплавлювання крайок і потім стискали. Здійснювали таке зварювання на верстатах, названих "електричним горном". Деталі затискали в супортах, один із яких переміщували. Зварювальні голівки були двох типів: з горизонтальним чи з вертикальним розташуванням електродів. Голівку кріпили рухомо на кронштейні і підводили до виробу натисканням на важіль.

Коффіну належать ще кілька оригінальних ідей. Серед них і принципово нове взаємне розташування електродів, виробу, що зварюється і дуги. Він запатентував роликівий металевий електрод, що переміщується над поверхнею виробу на ізолюванні від нього каретці. Дуга збуджувалася між обертовим роликівим електродом (позитивний потенціал) і виробом, підключеним під негативний потенціал. Таку ж каретку Коффін використовував для кріплення двох вугільних електродів, розташованих з обох боків від осі шва (Патент США № 401639 від 16.04.1889). Обидві дуги прямої дії горіли між електродами і виробом. Це дозволяло зварювати листову сталь завтовшки до 10 мм без "перевитрат", незважаючи на те, що сумарний струм двох дуг був більшим, ніж у однієї дуги при зварюванні способом Бенардоса. Для заповнення зазору Коффін подавав між електродами присадковий дріт, що розмотувався вручну з котушки [228].

У 1893 р. Коффін запропонував ще одну схему розташування електродів - з обох боків від поверхні листів, що зварюються, підключивши їх до одного полюса джерела струму, а обидва електроди - до іншого. Таке зварювання подвійною дугою дозволяло виконувати з'єднання внапуск завтовшки до (10+10) мм. У іншій схемі замість нижнього електрода з дугою прямої дії для додаткового нагрівання знизу застосовували пальник із двома вугільними електродами, між якими горіла дуга непрямої дії, що видувається магнітним полем. Коффін запропонував подавати дріт

через порожній вугільний електрод, виконуючи, таким чином, зварювання електродами, що плавляться і не плавляться одночасно [249].

Ефективно використавши можливості, що представилися завдяки комбінації дугового і контактного стикового зварювання (що у той час ефективно розвивав його компаньйон Е. Томсон), Коффін розробив схеми, в яких струм проходить з електрода на підкладку з вугільним порошком, де знаходяться крайки металу, що зварюється.

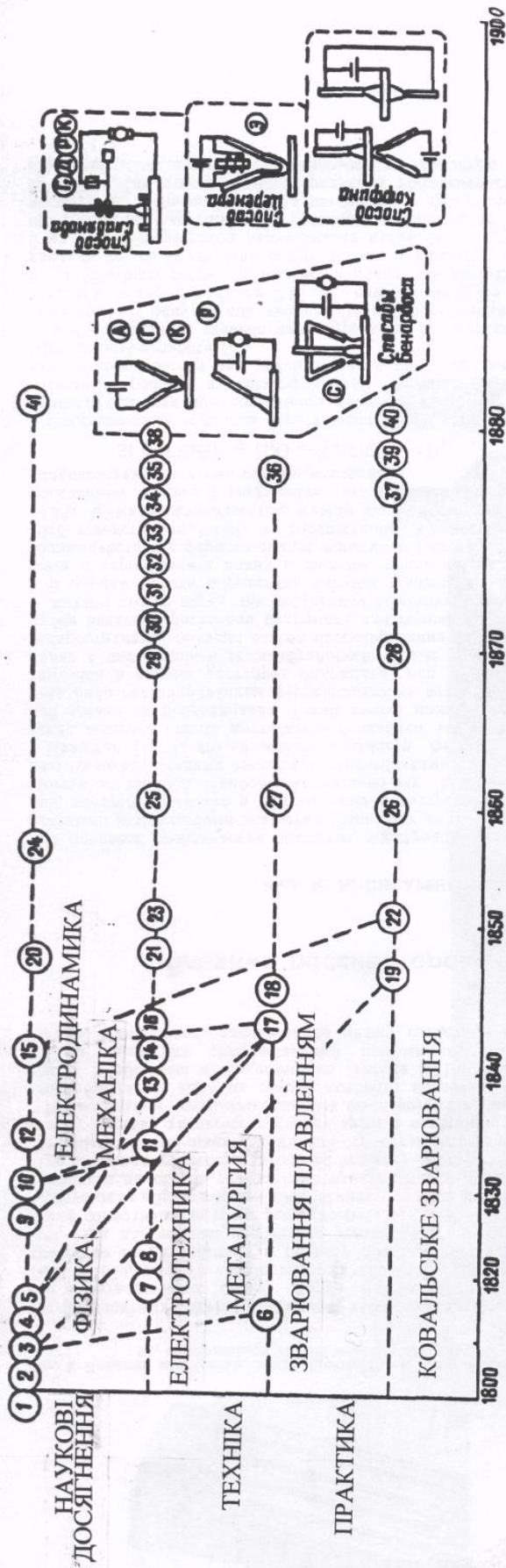
Ще одним досягненням американського винахідника став електромагнітний пальник з обертовою дугою. Пальник складався з двох концентричних вугільних електродів у вигляді трубок, ізольованих одна від одної і включених у зварювальний ланцюг. На зовнішньому електроді закріплювали котушку соленоїда, у магнітному полі якого оберталася дуга, збуджена між електродами. Завдяки цьому значно розширилася зона нагрівання дуги. Такий пальник був застосований для зварювання бандажів коліс. Переміщення дуги в магнітному полі використовували і в інших схемах, наприклад при нагріванні дугою, що горить між трубчастим електродом великого діаметра і стрижневим електродом, що не плавиться, який ексцентрично обертається всередині трубчастого електрода. Для переміщення дуги Коффін застосовував спеціальні комутуючі пристрої [228].

Велику увагу Коффін приділяв зварюванню в захисній атмосфері й у камерах із стисненим повітрям, а також в умовах зниженого тиску і в басейні під водою. У ряді випадків йому вдалося встановити режими, при яких виключалося утворення у шві оксидів і нітридів. Під час використання пересувної камери невеликого об'єму, що оточує зону зварювання, вона швидко наповнювалася паром й оксидами металу, що в свою чергу захищало зварювальну ванну від подальшого окислювання. Тобто кінцю XIX ст. сформулювалися основні принципи взаємодії дугового розряду з матеріалом, який треба зварювати (рис. 3-1, 3-2).

3.3.3. На шляху створення покритих електродів і порошкового дроту. На початку XX ст. людство володіло, крім найдавніших технологій з'єднання металів, ще чотири новими технологіями: дуговим, контактним, газовим і термітним зварюванням. Кожний із зазначених видів зварювання мав свої переваги і недоліки,

які все більше з'ясовуються в міру збільшення обсягів застосування зварювання. Зусилля дослідників були спрямовані на покращення технологічних можливостей способів. Що стосується дугового зварювання, то його доля залежала в основному від можливостей електродів забезпечити задовільну якість металу шва, що багато в чому було обумовлено конструкцією електродів і складами стрижнів і покриттів.

Як відомо, у тексті привілею Росії № 11982 від 32 грудня 1886 р. М.М. Бенардос не обмежував матеріал і конструкцію електрода. Він запропонував не тільки електроди у вигляді стрижнів, у тому числі і таких, що плавляться, але й більш складні конструкції, такі, як вугільні стрижні, що мають по подовжній осі метал або сплав у вигляді прутка чи порошку. Металеві електроди можуть мати форму конуса, кола, сектора чи спіралі. На практиці виправдав себе як обробний електрод оточений металевими стрижнями вугільний штафт. Що стосується



Генезис перших способів дугового зварювання (дати відкриття законів, випробувань і досліджень, що ставляться до дугового зварювання): 1 – 1798 «Про сили електрики»; 2 – 1800: створення «вольтова стовпа»; 3 – 1802: відкриття електричної дуги; 4 – 1808: повідомлення про відкриття дуги; 5 – відкриття методу нагрівання опором; 6 – 1815: розплавлення іридію, церію й інших металів дугою; 7 – 1820: електромагніти; 8 – 1820: ефект дуги вихровим потоком; 9 – 1827: відкриття закону Ома; 10 – 1831: відкриття явища електромагнітної індукції; 11 – 1834: створення електродвигуна; 12 – 1835: відкриття явища самоіндукції; 13 – 1839: вакуумна лабораторна піч; 14 – 1840: «агомер Якобі» (швидко регульований опір); 15 – 1842: відкриття закону Джоуля-Ленца; 16 – 1843: використання гуттаперчі в якості електроізоляційного матеріалу; 17 – 1844: використання електричного струму для плавлення методом опору; 18 – 1845: сплавка оксидів і металу дугою; 19 – 1846: наплавлення металевих порошоків на мідну пластину; 20 – 1847: відкриття закону розгалуженого електричного кола; 21 – 1847: винайдений шприць-прес гуттаперчевої й гумової ізоляції; 22

– 1851: зварювання нагріванням минаючим по намотаному дроті; 23 – 1853: електромеханічний регулятор; 24 – 1855: виявлення вихрових струмів; 25 – 1860 модель електродвигуна з кільцевим якорем; 26 – 1860: сплавка проводів дугою; 27 – 1860: плавка в дуговій печі; 28 – 1870: різання прямою дугою; 29 – 1870: самозбудний генератор з кільцевим якорем; 30 – 1873-1874: перші досвіди передачі електроенергії на відстань; 31 – 1874: створення перших електромашинних регуляторів; 32 – 1876: електрична свіча; 33 – 1877: розробка схеми включення конденсаторів; 34 – 1878: акумулятор з порошокими гофрованими пластинами; 35 – 1878: однофазний трансформатор; 36 – 1879: лабораторна піч опорю; 37 – 1880: зварювання з нагріванням дугою й куванням; 38 – 1880: дугова піч; 39 – 1881: пайка свинцю прямою дугою; 40 – 1881 зварювання свинцю дугою прямої дії; 41 – 1883: відкриття явища термоелектронної емісії; А – акумулятор Бенардоса (див. п. 34); Г – генератор; К – контактор; Р – опір (п.11); З – соплو; Д – диференціальний регулятор (п.23); Е – електромагніт (п.7); Г2 – генератор Славянова.

Рис. 3-1. Генезис дугового зварювання

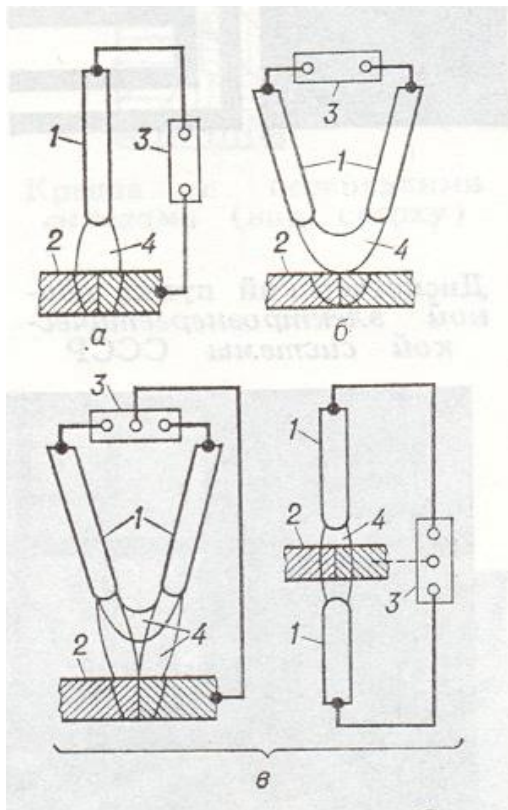


Рис.3-2. Схеми підключення електродів 1 і виробів 2 до джерела живлення при зварюванні електричною дугою: а) дугою прямої дії; б) непрямої дії; в) комбінованої дії

простої заміни вугільного електрода на сталевий (залізний) стрижень-дріт, то процес протікав "важко", відрізнявся незадовільним переносом розплавленого металу, шви були пористі і нерівні. М.М. Бенардос намагався вирішити задачу поліпшення якості металу шва при зварюванні і наплавленні електродом, що плавиться. Для безперервності роботи з металевим електродом він вживав два паяльники, приєднані до одного провідника [121, с.35]. Ще один принцип зварювання електродом, що плавиться, полягав у підведенні струму до металевого бруска (електрода) через вугільний електрод і розплавлення бруска. Первісне місце зварювання нагрівалося вугільною дугою, а коли вже утворився рідкий шар металу, в дугу вводили рукою металевий брусок таким чином, щоб до кінця його доторкався вугільний стрижень, як показано на малюнку. Струм, проходячи по кінцю бруска, плавив його, і, в міру плавлення, вугілля посувалося вище, а брусок опускався вниз підтримуючи дугу.

Таким чином, коли потрібно було одержати значну кількість розплавленого присадкового металу, Бенардос не тільки вводив присадковий метал у вигляді бруска

в зону дуги, що горить між вугільним електродом і основним металом, але і включав брусок послідовно в електричний ланцюг зазначеним прийомом і збуджував дугу між металевим брусом і основним металом, залишаючи в той же час під дією струму значну частину бруска. Таким чином збільшувалася швидкість плавлення бруска за рахунок додаткового підігріву струмом, що протікає. Брусок у цьому випадку вже являв собою металевий електрод, що розплавляється під дією дуги і нагрівання струмом, що протікає.

Очевидно, що техніка виконання таких прийомів ручного зварювання електродом, що плавиться, була складною. Однак спосіб Слав'янова, що підкреслював можливість зварювання тільки при автоматичній подачі електрода, був ще складнішим і застосовували його винятково з метою ремонту. Через необхідність виконувати шов вроздріб і заформовувати невеликі ділянки, "електровідливка" не була придатна для виконання вертикальних і стельових швів. Проте, на багатьох зварювальних ділянках намагалися "приручити" процес - замінити вугільний електрод на сталевий дріт при зварюванні за способом Бенардоса. Були спроби запатентувати таку заміну.

У 1907 р. у США фірма "Зімувд вензель електрик" подала заявку на одержання патенту на дугове зварювання металевим електродом. У цей же самий час інша американська фірма "Ендерлайн велдінг" також намагалася запатентувати технологію зварювання металевим електродом. У виниклій патентній суперечці керівник першої фірми доводила, що її технологія є прямим продовження способу Бенардоса, а вона тільки замінив електрод, що не плавиться, на плавкий, на що і вимагає патент. Однак конкуруюча фірма пред'явила книгу, видану в 1888 р. у Великобританії, у якій розкривалася сутність такого ж способу [250]. У результаті через відсутність новизни в патентному захисті було відмовлено обом фірмам. Ця обставина відкрила дорогу до безперешкодного вдосконалення дугового зварювання металевим плавким електродом і, в першу чергу, до створення нових електродів і генераторів. Фахівці здогадувалися, що електроди, крім металу, повинні містити речовини, подібні до флюсів для зварювання - ковальського чи за способом Слав'янова.

У США розробкою матеріалів для дугового зварювання зайнялися відразу декілька фірм. До роботи з поліпшення електродів приступили фірми "Електрик велдінг" (1908 р.), "Вестингаус" (1909 р.), "Д Е" (1912 р.), "Вільсон велдер енд металз" (1914 р.) й ін. [250].

3.3.4. Життя, творча й організаційна діяльність О. Кьельберга У цей час у Європі розгорнула активну діяльність фірма "ЕСАБ" ("Електрика светснигс-актиен болагет"), заснована в 1904 р. морським інженером Оскаром Кьельбергом (Швеція).

В історію науково-технічного прогресу Кьельберг увійшов як людина, що реалізувала ідею забезпечити зварювальний плавкий електрод безпосередньо речами, що покращують якість зварного шву [251].

Оскар Кьельберг народився в 1870 році в Хагонет Фарм на окраїні Арвики (Швеція). Родина була не багата і вже в дитинстві він сам мав заробляти на прожиття. Інтерес до техніки і природжена кмітливість допомогли Оскару вийти в люди. Він зміг улаштуватись механіком у пароходну компанію в Гетеборгу – великому портовому місті й центрі суднобудування Швеції. В 1903 році він став уже головним інженером пароходної компанії Дон Брострем. І саме тут він зіштовхнувся з проблемою ремонту клепаних конструкцій.

Часто з котлів і корпусів суден, побудованих з використанням клепаного з'єднання, витікала вода. Явище звичайне і боротися з ним просто: в міру того, як клепане з'єднання розхитувалось, його підчеканювали, і на деякий час вода не протікала. Але і цю складну операцію не завжди вдавалось здійснити, оскільки для її виконання необхідно було підтримка з іншого боку, тобто з середини котла чи іншого виробу. Між іншим суднобудівники, як відомо, вже застосовували спосіб Бенардоса при будівництві криголаму "Єрмак" на верфі в Плімуті (Великобританія) [181].

В 1904 р. О. Кьельберг заснував в Геттерберзі фірму "ЕСАБ", збираючись використовувати дугове зварювання на верф'ях Гетебергу для якісного і економічного ремонту кораблів. Необхідно було заварити головку заклепки і заварити крайки листів (замість чеканки). При цьому зварювання необхідно було виконувати з усіх просторових положень. Проте забезпечити задовільну якість

відомими способами не вдалось. Метал шва був крихким, іноді прогорав, оскільки в зону зварювання надходив кисень і азот з повітря. Метод захисту зварювальної ванни згідно технології Слав'янова не підходив, бо ніхто не знав як заформувати шов і утримувати флюс у вертикальному положенні.

Його увагу привернуло цікаве спостереження зварників, які помітили, що якість шва поліпшується в тих випадках, коли електроди чи місця, що підлягають зварюванню, "забруднені" гашеним вапном, що засмічувало площадки після одержання ацетилену з карбїду кальцію. Той же ефект виникав і від забруднення, що залишилося на поверхні дроту після її волочіння, яке проводили з застосуванням вапна [252]. Перед фірмою "ЕСАБ" стояла задача використовувати дугове зварювання на верфі Гетеборга для забезпечення якісного й економічного ремонту кораблів. Було потрібно заварити голівку заклепки і зварити крайки (замість чеканки). При цьому зварювання потрібно було виконувати в усіх просторових положеннях. Стрижні занурювали в пасту, що являла собою суміш порошків мінералів, розведена на воді. Покриття висушували при кімнатній температурі.

У 1907 р. О. Кьельберг одержав патент Великобританії № 16952, у червні 1908 р. патенти Німеччини і Франції. Винахідник захищав ідею покриття металевих електродів "провідниками другого класу" у вигляді оксидів, гідрооксидів і силікатів цирконію, магнію, кальцію, калію, бору, марганцю і т.п. [253].

О. Кьельберг провів дослідження обмазки електродів, підбираючи таку її товщину і склад, щоб покриття плавалося з відставанням від плавлення металевого осердя. При досить товстому шарі обмазки виникав "чохол", у якому знаходилася частина дуги, завдяки чому стабілізувався процес її горіння і забезпечувався спрямований перенос крапель. Це деякою мірою полегшувало зварювання в стельовому положенні і на вертикальній площині. Корисний ефект був наявний. У той час його пояснювали присутністю газового потоку, подібного тому, що захищав ванну і присадковий метал при ацетилено-кисневому зварюванні.

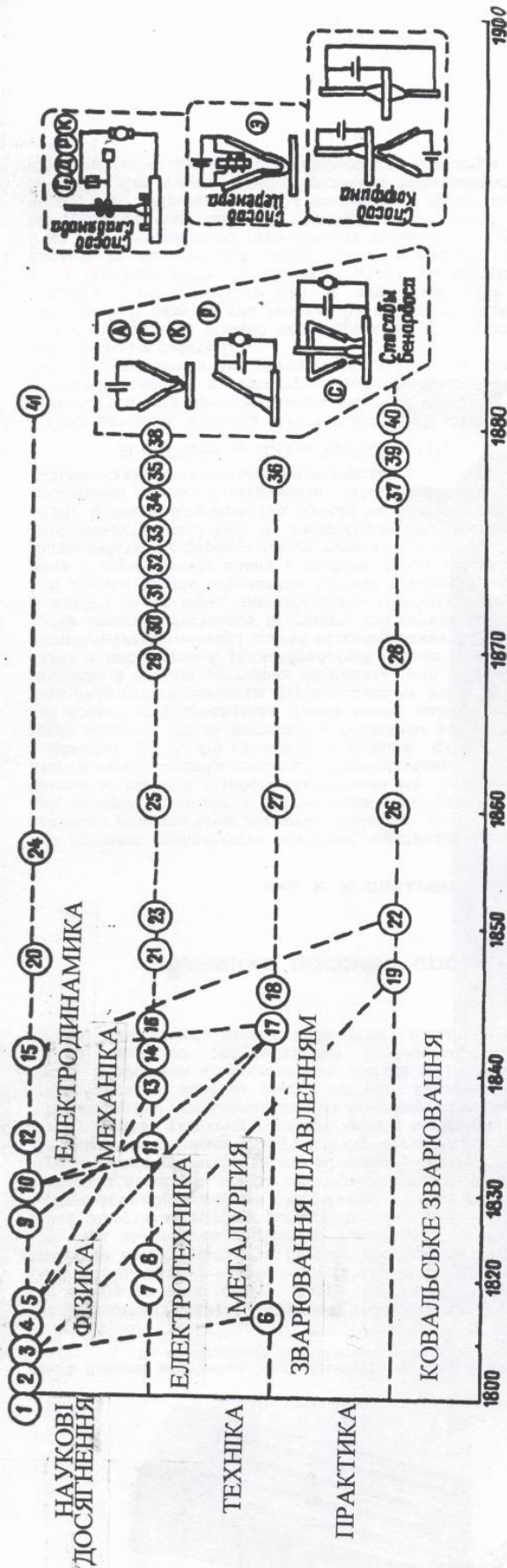
Зварювання в стельовому положенні О. Кьельберг виконував при прямій полярності, знаючи, що в цьому випадку на електроді виділяється менше тепла і зменшується небезпека стікання краплі. В інших випадках винахідник пропонував працювати при зворотній полярності. Він вважав, що при значному нагріванні

електрода зменшується ризик його "примержання" до ванни. Практика показала, що обмазка Кьельберга забезпечувала задовільну якість металу шва, особливо у випадку зворотної полярності, при якій і виконували більшість робіт. В 1907 р. Оскар Кьельберг обладнав два зварювальних пости на шаланді. Джерелом живлення служили генератори постійного струму, які виробляли при 1250 об/хв. напругу від 50 до 120 В. Привод здійснювався від парової турбіни. Тепер фірма ЕСАБ могла виконувати роботи "на плаву". Усього до 1918 р. з використанням перших електродів, що мають якісну обмазку, було відремонтовано 2200 котлів, 800 гвинтів і валів, 250 форштевнів і ахтерштевнів, 260 деталей механізмів керування та ін. У багатьох випадках ремонт іншими способами був неможливий. Плаваюча майстерня "ЕСАБ-І" функціонувала більш 60 років [254]. О. Кьельберг продовжував і надалі розробляти склади покриттів, прагнучи зменшити утворення шлаку і збільшити в'язкість металу шва. Так, у 1912 р. він запатентував електроди з кількома шарами покриття, а також трубчасті електроди, зробивши крок на шляху створення порошкового дроту.

Склади електродних покриттів О. Кьельберга будуть поліпшуватися ще багато років, електроди з маркою ОК будуть застосовувати десятки років, як і пасти і флюси, що випускаються фірмою "ЕСАБ" [255]. Великих успіхів досяг О. Кьельберг і співробітники його фірми в розробці джерел живлення. З 1923 р. у список зварювальних генераторів був включений і перший трансформатор, виготовлений в німецькій філії [251].

В 1927 р. заслуги видатного винахідника і організатора виробництва були відзначені Королівською Шведською Академією інженерних наук золотою медаллю "За роботу в області електросварочної технології и вклад в развитие промышленности" [251], 255. 5 липня 1931 р. Оскар Кьельберг помер.

3.4. Виникнення і розвиток контактної зварювання.



Генезис перших способів дугового зварювання (дати відкриття законів, випробувань і досліджень, що ставляться до дугового зварювання): 1 – 1798 «Про сили електрики»; 2 – 1800: створення «вольтова стовпа»; 3 – 1802: відкриття електричної дуги; 4 – 1808: повідомлення про відкриття дуги; 5 – відкриття методу нагрівання опором; 6 – 1815: розплавлення іридію, церію й інших металів дугою; 7 – 1820: електромагніти; 8 – 1820: ефект дуги вихровим потоком; 9 – 1827: відкриття закону Ома; 10 – 1831: відкриття явища електромагнітної індукції; 11 – 1834: створення електродвигуна; 12 – 1835: відкриття явища самоіндукції; 13 – 1839: вакуумна лабораторна піч; 14 – 1840: «агомер Якобі» (швидко регульований опір); 15 – 1842: відкриття закону Джоуля-Ленца; 16 – 1843: використання гуттаперчі в якості електроізоляційного матеріалу; 17 – 1844: використання електричного струму для плавлення методом опору; 18 – 1845: сплавка оксидів і металу дугою; 19 – 1846: наплавлення металевих порошоків на мідну пластину; 20 – 1847: відкриття закону розгалуженого електричного кола; 21 – 1847: винайдений шприць-прес гуттаперчевої й гумової ізоляції; 22

– 1851: зварювання нагріванням минаючим по намотаному дроті; 23 – 1853: електромеханічний регулятор; 24 – 1855: виявлення вихрових струмів; 25 – 1860 модель електродвигуна з кільцевим якорем; 26 – 1860: сплавка проводів дугою; 27 – 1860: плавка в дуговій печі; 28 – 1870: різання прямою дугою; 29 – 1870: самозбудний генератор з кільцевим якорем; 30 – 1873-1874: перші досвіди передачі електроенергії на відстань; 31 – 1874: створення перших електромашинних регуляторів; 32 – 1876: електрична свіча; 33 – 1877: розробка схеми включення конденсаторів; 34 – 1878: акумулятор з порошокими гофрованими пластинами; 35 – 1878: однофазний трансформатор; 36 – 1879: лабораторна піч опору; 37 – 1880: зварювання з нагріванням дугою й куванням; 38 – 1880: дугова піч; 39 – 1881: пайка свинцю прямою дугою; 40 – 1881 зварювання свинцю дугою прямої дії; 41 – 1883: відкриття явища термоелектронної емісії; А – акумулятор Бенардоса (див. п. 34); Г – генератор; К – контакт; Р – опір (п.11); 3 – сопло; Д – диференціальний регулятор (п.23); Е – електромагніт (п.7); Г2 – генератор Славянова.

Першим із усіх видів перетворення електричної енергії в теплову - нагрівання провідника струмом, що протікає - був відкритий у 1801 р. Л. Тенаром. Нагрівання і плавлення металів електричним струмом у 1802 р. досліджував В.В. Петров [156]. А в 1907 р. Г. Деві сконструював перші лабораторні електропечі опору з прямим і непрямим нагріванням для дослідження властивостей металів [256]. Закон теплової дії струму, що встановлює залежність кількості виділеної теплоти від параметрів струму, що проходить, відкрили у 1842 р. незалежно один від одного Д.П. Джоуль і Е.Х. Ленц. Джоуль і майже одночасно з ним У. Томсон під час своїх досліджень електрики сплавляли пучки дротів у коробці з вугіллям, пропускаючи по проводах електричний струм, тобто в принципі здійснювали зварювання опором. Вперше впровадили цей вид електронагрівання в 1875 р. Вільгельм і Олександр Сименси [166]. На їхніх заводах кінці телеграфних дротів зі спеціально виконаним косим зрізом торців складали внапуск і з'єднували шляхом "розжарення" постійним струмом прямо в лінії для намотування. Однак ці й інші ранні технології "не прижилися", і в наступні роки їх ніхто далі не розробляв. Проблема з'єднання дротів залишалася актуальною: паяння не забезпечувало рівномірної електропровідності і рівномірності проводів, тому на стиках залишали посилення (збільшений діаметр), а це заважало виготовленню кабелів, генераторів тощо.

3.4.1. Життя і діяльність Е. Томсона

Проблема була вирішена за допомогою нової технології - стикового контактного зварювання. У її основу було покладене явище, відкрите професором Еліх'ю Томсоном [193, 257].

Під час лекції у Франкліновському технологічному інституті в лютому 1877 р. він демонстрував зарядження конденсатора (лейденської банки) від іскрової котушки. У нього раптом виникла ідея перевірити, що вийде, якщо заряд піде назад при розряді конденсатора на котушку. Професору здалося, що результат досліду буде цікавий не тільки йому, але й аудиторії. У приладі його власної конструкції вторинна обмотка котушки була зроблена з тонкого дроту, а первинна - з товстої. Томсон з'єднав між собою кінці товстого дроту, а вторинну тонку обмотку підключив до джерела струму. Розряд через тонку обмотку викликав струм великої сили в первинній обмотці, і скручені кінці товстого дроту сплавилися в місці

з'єднання. Саме там був найбільший опір і виділилася найбільша кількість теплоти. Так уперше в світі було здійснене контактне стикове зварювання. Але до розробки своєї нової ідеї Томсон приступив лише через кілька років, оскільки наприкінці 1870-х рр. він, крім викладання, займався ще й конструюванням дугових ламп, а також джерел живлення для них [258].

У 1880 р. Е. Томсон залишив викладацьку діяльність і перейшов як інженер-електрик до фірми "Амерікен електрик компані", а через два роки він і Е.Д. Х'юстон для експлуатації винайденої ними системи дугового освітлення, що одержала назву "системи Томсона-Х'юстона", організували власну фірму "Томсон-Х'юстон електрик компані". Фірма швидко росла, і в 1892 р. тут працювало вже близько 4000 чоловік. За ці роки сфера діяльності компанії значно розширилася. Крім устаткування для дугового освітлення, вона стала виробляти електричні двигуни, трансформатори, розподільне устаткування, а також устаткування для міських електричних залізниць (трамвайних ліній) [259].

3.4.2. Роботи компанії ДЕ зі створення нових способів зварювання
Процвітанню фірми сприяв винахідницький розум Е. Томсона. У короткий час Е. Томсон розробляє нові типи дугових ламп, комутуючу апаратуру, динамомашину для генерування змінного струму, подаваного на трансформатор великої питомої потужності, і, нарешті, спеціальні затискачі для підведення струму. Таким чином, до 1884 р. Е. Томсоном були створені необхідні для контактного (стикового) зварювання елементи устаткування. У 1885 р. він відпрацьовує техніку зварювання, доводить до безвідмовної роботи зварювальну апаратуру і на початку 1886 р. подає заявку на патент, що захищає принципово новий спосіб електричного зварювання [228, 260, 261].

Спосіб Томсона описувався так: "предмети, що зварюються, приводяться у стикання місцями, які повинні бути зварені, і через них пропускається струм величезної сили - до 200000 А при низькій напрузі (1-2 В). Місце стикання має найбільший опір току і тому сильно нагріється. Якщо в цей момент почати стискати частини, що зварюються, і проковувати місце зварювання, то після охолодження предмети виявляться добре з'єднаними" (Пат. США № 347140 від 10 серпня 1886 р.).

Проковування було не просто даниною моді, залишком колишньої технології (ковальського зварювання і клепки), а стало прийомом, що забезпечує підвищення якості металу шва. Як відомо цей прийом не відкидався і М.М. Бенардосом.

Оскільки крім нагрівання застосовували і механічне здавлювання, схоже з прикладанням додаткової сили при ковальському зварюванні, спочатку спосіб називали "електричним куванням" чи "безвогненним методом зварювання".

Перший пристрій, що виконує нагрівання і стискання двох проводів, складався з двох важелів, на одному кінці з'єднаних шарніром з ізоляційного матеріалу, а з іншого кінця зв'язаних пружиною через ізоляційні втулки. [262] У цих важелях посередині затискають деталі, що зварюються - дрiт, втулки, стрижні. Струм, що проходить по деталях, нагріває місце стику до пластичного стану, і під дією стискальної пружини метал мнеться. Ступінь зминання встановлюють стопорним гвинтом.

У наступній установці був використаний трансформатор із замкнутим контуром. На його первинну обмотку подавалася напруга 600 В, і по ній протікав струм силою 20 А. Цю обмотку намотували на котушку діаметром 305 мм. Котушку охоплював і виток вторинної обмотки (по суті, кільцевий провідник), кінці якої підключали через затискачі до деталей, що зварюються. По зварювальному ланцюгу протікав струм 12000 А при напрузі 1 В [263].

Установка Томсона з розімкнутим магнітним контуром трансформатора складалася з первинної обмотки, розташованої на циліндричному сердечнику зі сталевих прутків довжиною 30 см., і восьми витків вторинної обмотки з багатожильного мідного кабелю, навитих по спіралі на первинну обмотку. Кінці вторинної обмотки з'єднували відповідно з рухомим і нерухомим затискачами (губками). Рухому губку за допомогою кулачка вручну переміщували в осьовому напрямку [263].

У 1885 р. Е. Томсон сконструював динамомашину із самозбудженням (потужність 18,3 кВт, 1800 обер./хв., маса 22,5 кг), що забезпечувала зварювальний трансформатор змінним струмом, мала високу питому потужність і працювала з інтервалами на підготовку до зварювання. В наступні роки Томсон створює ще

кілька типів генераторів, у тому числі генератор із трьома обмотками, зварювальний генератор для дугового зварювання за способом Бенардоса, генератори змінного струму, що живилися безпосередньо від електродвигуна. У 1887 р. у Парижі винахідник демонструє контактне зварювання прутків діаметром 12 мм при струмі 20000 А, який перевищував струм, що застосовувався раніше в будь-яких інших технологіях. Міцність з'єднання сталевих стрижнів складала 97% міцності основного металу [264].

Необхідно відзначити, що оскільки однією з двох найважливіших функцій машин для контактного зварювання є стискування, в основу їхнього конструювання були використані такі науки, як механіка, гідравліка, гідромеханіка.

Е. Томсон мав глибокі знання з механіки (отримані ще в інституті) і з електротехніки, в розвитку якої він активно брав участь сам і ефективно використовував їх при розробці контактного зварювання. У 1889 р. Е. Томсон сконструював установку, в якій струм переривався синхронно з зусиллям стискування, що прикладалося. Відбувалося це при зсуві тяги і рухомого затискача під дією пружини, закріпленої на нерухомому затискачі і тязі. У процесі зварювання торець колодки контактував зі стопором вимикача. Для розвивання великих зусиль винахідник розробив апарат з гідравлічною системою. При повороті важеля в той чи інший бік переривався електричний ланцюг трансформатора, а на поршень передавався тиск, переданий на рухомий затискач із деталлю, що приварюється [228].

Наступним кроком у розвитку стикового контактного зварювання було застосування імпульсів струму і тиску. У механічну систему зварювальної машини Томсон вводить шестерню з храповиком. Важіль, що приводить у дію рухомий затискач, з'єднували із осердям, який вводили в соленоїд, включений у первинний контур, змінюючи його індуктивний опір і викликаючи пульсацію струму. Томсону вдалося запобігти швидко наростаючому великому струмовому навантаженню при відключенні струму в первинному контурі шляхом підключення в той же контур паралельно пари електродів-розрядників і послідовно - плавкого запобіжника. Цій же меті служила і котушка індуктивності.

У 1890 р. фірма "Томсон-Х'юстон" об'єдналася з компанією "Едісон електрик", заснованої Т.А. Едісоном, і одержала назву "Дженерал електрик компани". Едісон, образившись на те, що його ім'я зникло з вивіски, пішов з компанії, і її президентом був призначений Ч.А. Коффін. Е. Томсон став технічним директором і очолив науково-дослідну лабораторію, що незабаром стала відомою в промислових колах світу як "Науково-дослідна лабораторія Томсона". Фірма "Дженерал електрик" набирала силу і незабаром стала лідером електротехнічної промисловості в значній мірі завдяки науковим дослідженням і винаходам Е. Томсона. [258]

До початку діяльності компанії ДЕ Томсон уже мав близько 100 патентів. У наступні кілька років він працює ще інтенсивніше, продовжуючи вдосконалювати конструкцію вузлів зварювальних апаратів і техніку зварювання. Установки, називані часто "електричними горнами", демонструвалися на ряді виставок. Стикове зварювання продовжувало поширюватися в промисловості США, витісняючи ковальське зварювання. Щоправда, деякі з апаратів забезпечувалися молотом для проковування стику відразу після зварювання чи роликками для прокатки. Томсон створює спеціалізовані машини для зварювання стрічок і прутків у процесі прокатки, для зварювання ланок ланцюгів, велосипедних коліс тощо. Для підвищення ККД процесу винахідник пропонує на первинну обмотку додатково навивати вторинну, а вторинний контур виготовляти з мідної трубки прямокутного перетину і прокачувати її для охолодження олією. Зростає номенклатура з'єднань, що зварюються; крім пристроїв для стикового зварювання двох співвісних деталей, Томсон розробляє вузли машин для з'єднань деталей під кутом. На початку 1890-х рр. була розроблена технологія стикового зварювання не тільки заліза й сталі, але й алюмінію, свинцю, цинку й олова. Була відпрацьована й конструкція типової установки, що складалася з джерел живлення, вузла стискування, вузла затискування деталей і підведення струму, а також елементів охолодження. Живлення здійснювали від генераторів змінного струму потужністю 5-40 кВт, через трансформатор від первинної обмотки. В установках були передбачені щити керування системою відводу олії, реостати та генератори постійного струму, що приводяться в дію генераторами змінного струму.

3.4.3. Розвиток і впровадження стикового зварювання. Наприкінці 1892 р. Е. Томсон організував власну фірму "Томсон електрик велдінг компані", що розгорнула серійний випуск машин для стикового зварювання різної потужності. Найбільш потужні з них застосовували для зварювання труб. За допомогою стикового зварювання виготовляли різальний інструмент, вали, деталі велосипедів, болти та інше, часто зі сплавів різних марок [265].

Фірма "Джонсон Компані" з Джонстауна (штат Пенсільванія) придбала патенти Томсона і почала випускати машини для зварювання рейок. Перші чотири машини потужністю 40 кВт і дві потужності 80 кВт були придбані в 1894 р. для будівництва 65 км суцільного залізничного полотна в різних регіонах США. Потужний трансформатор, генератор, парову машину і гідравлічну систему розташовували в спеціальному вагоні, до якого на стрілах підвішували з'єднані гнучкою шиною зварювальні голівки, що діють на зразок кліщів. Кінці рейок, що з'єднуються, ретельно зачищали, і рейки присували впритул. У місці стику перпендикулярно до осі рейок приварювали "стикові планки", що примикають до підшви і до нижньої частини шийки. Планки попарно затискали з двох сторін кліщами. Струм пропускали через стик доти, доки метал не розжарювався до білого кольору. Потім вмикали гідравлічну систему, що стискувала кліщі доти, доки зім'ятий метал планок не утворював швів навколо стику і між торцями рейок [265]. Найбільше застосування зварювання рейок знайшло при прокладці трамвайних колій. До 1910 р. спосіб Е. Томсона використовували, крім США, і в ряді країн Західної Європи.

Стикове зварювання знайшло ефективне застосування у виробництві снарядів. Великої економії досягали за рахунок виготовлення основної частини снаряда зі звичайних сталей із приварюванням наконечника з легованої сталі. Для цього виробництва були розроблені спеціальні машини [228]. По мірі розширення сфери застосування стикового зварювання, а також у зв'язку з удосконаленням електричних і механічних вузлів машин збільшувався й інтерес до самого процесу зварювання. Зокрема, відзначалося, що при розробці технології зварювання необхідно враховувати особливості нагрівання: спочатку нагріваються маленькі ділянки в точках дотику, але при цьому тут збільшується опір, і струм починає йти по іншим,

менш стиснутим, але холодним ділянкам, тим самим швидко вирівнюючи температуру нагрівання всієї ділянки. Томсон, Коффін, Д'Юї, Лемп, Раїс та інші ентузіасти контактного зварювання проводили оригінальні дослідження, удосконалюючи технологію стикового зварювання і розробляючи нові схеми нагрівання. Були запропоновані кілька способів комбінованого (дугового і контактного) зварювання. Ч.А. Коффін розробив технологію зварювання з проміжною вугільною пластиною-електродом, що підключається до вторинної обмотки і вставляється на час розігріву між деталями, які стикуються. В інших пристроях між деталями, що зварюються, поміщали металеву пластину, а струм підводили до кінців деталей через вугільні контакти. Пластину вибирали з матеріалу з провідністю гіршою, ніж у металу, що зварюється, завдяки чому прискорювалося нагрівання. Перед стискуванням вставку видаляли. Пропонувався попередній підігрів стику газовим полум'ям. Коффін запропонував також пропускати магнітне поле через ділянку, що зварюється, вважаючи, що це викликає структурні зміни, що приводять до зменшення провідності, а отже, до прискорення нагрівання. Були й інші пропозиції, більшість з яких виявилися малоефективними і складними.

Принцип контактного зварювання - нагрівання струмом, що протікає, і наступне стискання (чи проковування) - використовував у "ковальському горні для ювелірів" Е. Раїс (1892 р.). Він запропонував пластини, до яких потрібно було приварювати орнамент із дроту, поміщати на металеву плиту, підводячи до неї струм від вторинної обмотки зварювальної машини. Плиту закривали екраном. Співробітник Томсона Г. Лемп у 1892 р. розробив машину з новою системою рухомих затискачів з подвійним набором роликів (це скоротило тривалість складання і зняття виробу), а також машину зі схемою з'єднання декількох трансформаторів, що збільшувало потужність і коефіцієнт корисної дії.

До кінця 1890-х рр. найбільше застосування знайшли машини потужністю 15-60 кВт. Працювали вони на змінному струмі, який виробляли спеціальні генератори, тому що в заводських розподільних мережах, як правило, проходив постійний струм. Для машин потужністю 100 кВт, що застосовувалися для зварювання задніх мостів автомобілів і інших великих виробів, на заводах встановлювали автономні приводи

генераторів (від парових машин і дизелів). Проблема централізованого живлення трохи стримувала застосування контактного зварювання, хоча вже в першому десятилітті ХХ ст. винаходи Томсона і його американських послідовників були широко відомі в Європі, їх удосконалювали та застосовували в Великобританії і Німеччині [266-268].

3.4.4. Винайдення і впровадження точкового, роликового і рельєфного зварювання. Нагрівання місця стику двох деталей електричним струмом, який проходить крізь них, характерне для всіх способів контактного зварювання. Другою істотною ознакою цього виду зварювання є обов'язковий прикладення сили стискування деталей, що контактують. За характером прикладання такого зусилля і типу з'єднання розрізняють стиковий, точковий, шовний (роликовий) та інші способи зварювання. Е. Томсон і його колеги розробляли технологію стикового контактного зварювання і не намагалися змінити характер прикладання сили і форму з'єднання, незважаючи на те, що прототипом нового способу контактного зварювання міг послужити найпоширеніший у ХІХ ст. вид нероз'ємного з'єднання - клепання.

Невідомо, коли і за яких обставин прийшов М.М. Бенардос до принципу точкового контактного зварювання. Перший у світі патент на цей спосіб (і "прилад" для його реалізації) був виданий на його ім'я в Німеччині: № 46776-49 від 21.01.1888 р. За електроди правили графітові бруски, що вставляються в кліщі, які стискали вручну. У заявці на винахід, поданій в Росії, Бенардос докладно описує технологію і пропонує кілька пристроїв для точкового зварювання. Заготівки, що зварюються, складали встик чи зі скосом крайок і заводили між електродами. При цьому верхній кронштейн піднімався. Перед початком зварювання цей кронштейн з електродом притискали вантажем. В міру розігрівання крайок до пластичного стану до підплавлення виріб пересували, і слідом за нагріванням виконувалося обтиснення роликками.

Точкове зварювання продовжувало розвиватися. 10 років по тому Кляйншмідт замінив вугільні електроди в "приладах" Бенардоса мідними й удосконалив пристрій для зварювання, вмонтувавши трансформатор у кліщі. На розробку був виданий патент США № 616463 від 20.12.1898 р. З цього часу точкове зварювання вийшло зі

стадії лабораторних експериментів і почалася робота над підвищенням продуктивності процесу. Бушайє розробив конструкції "дуплекс-електродів" для виконання відразу двох зварених точок (пат. Франції № 330200 від 13.03.1903р.). Верхній і нижній електродні вузли мали власні трансформатори. При паралельному підключенні обмоток трансформаторів виходить тільки одна точка, при послідовному включенні - відразу дві.

Оптимальну конструкцію електродів розробив Харматта (пат. США № 1046066 від 3.12.1912 р.). Тейлор запропонував перехресний процес нагрівання місця зварювання в такий спосіб, щоб струм проходив по діагоналі між двома розділеними на частини електродами (пат. США № 1243004 від 16.10.1917 р.).

Одночасно відпрацьовували оптимальну конструкцію вузлів, механічні й електричні схеми машин для точкового зварювання. Були розроблені машини з плечем-хоботом, що хитається, потужні стаціонарні і легкі переносні машини, кліщі різних конструкцій [269].

Наприкінці XIX ст. точкове зварювання використовували для приварювання ручок до каструль і сковорідок, для виготовлення інших невідповідальних виробів, замінюючи клепання, а іноді - паяння. Однак це малопомітне застосування переконливо довело, що точкове зварювання набагато продуктивніше клепання і що воно придатне для з'єднання багатьох металів. Точкове зварювання почали широко застосовувати в США в 1914 р., коли в автомобільній промисловості клепання було замінено приварюванням листових елементів автомобілів (крил, обшивання кузова, деталей шасі). Потужність установок коливалася в межах 5-35 кВА. Установки мали ручне чи ножне керування. До 1923 р. стаціонарні точкові машини дозволяли зварювати до 200 точок за хвилину. Використання нової технології в масовому виробництві створило можливість подальшого розвитку процесу зварювання, вдосконалення зварювального устаткування і навіть створення нових способів зварювання, таких як рельєфне і роликове. Ідея рельєфного зварювання виникла завдяки багаторазовій появі "помилкових" з'єднань, що виконували поспіхом некваліфіковані робітники. У 1918 р. Гамільтон і Оберіг звернули увагу на переваги приварювання деталей відразу в декількох місцях на заздалегідь відштампованих виступах і розробили промислову технологію рельєфного зварювання (Рис.3-3).

У процесі виготовлення виробів циліндричної форми часто нижній опорний електрод виконували у вигляді ролика, що обертається разом з виробом при встановленні в необхідне положення, а верхній - у вигляді короткого циліндричного стрижня. На таких машинах здійснювали точкові з'єднання, вони ж послужили прототипом машин для шовного зварювання, деталі, які зварюються, проходять між двома роликами, нагріваються могутніми імпульсами струму, у результаті чого утворюється шов з окремих точок, що перекриваються.)

У 1905 р. Снурек і Гислер запропонували схему багатоелектродного точкового зварювання [270]. Однак тільки в 1924 р. була розроблена конструкція відповідних машин, що були застосовані при зборці корпусів автомобілів на заводі Форда.

У 1910 р. Джевонсом був винайдений спосіб контактного зварювання, який полягає в тому, що між крайками, що зварюються, поміщали невеликі пластинки (закладки), у яких і концентрувалася теплота. Ця технологія була досить складною. З метою її спрощення, як при точковому, так і при шовному зварюванні замість закладок були запропоновані тонкі смужки (стрічки), які змотували з катушок і подавали зверху і знизу виробу. У 1930 р. на верф'ях Німеччини були впроваджені машини з двома електродами і двома трансформаторами фірми "Оттенземер Айзенверке". Невдовзі різними фірмами в США і Європі були розроблені схеми багатоточкового зварювання - з кількома електродами, що поступово включаються; з одночасним включенням у симетричному і несиметричному виконанні; із трансформаторами, що мають подвійну вторинну обмотку; із трансформаторами, розташованими з протилежних боків тощо. Багатоелектродними машинами можна було одночасно чи майже одночасно виконувати кілька зварюваних точок, цілком зварювати виріб (наприклад, вузол автомобіля), не переміщаючи елементи й електроди до закінчення процесу [271, 272].

Для багатоточкового зварювання були розроблені два типи машин - багатоцільові машини і зварювальні преси [273, 274]. Перші були оснащені столом, що пересувається, їх використовували для зварювання різних виробів; другі застосовували для зварювання строго визначених виробів, коли положення електродів і опорних поверхонь було фіксованим. У 1930-і роки було вирішено багато технічних проблем: обґрунтовані відстані між електродами і розташування

трансформаторів, розроблені системи підведення струму, обрана оптимальна кількість одночасних точок, що зварюються, встановлена послідовність постановки точок і т.д. Особлива увага була приділена конструкції електродів і системам регулювання процесу зварювання.

Г. Кляйншмітт, замінивши вугільні електроди Бенардоса мідними, забезпечив точковому зварюванню практичне застосування. Електролітична мідь має велику тепло- і електропровідність, а при механічній обробці (протяганню) - задовільну твердість. Однак у результаті нагрівання в процесі експлуатації міцність міді падає. Починаючи з 1915 р., пошук матеріалу для електродів вівся в двох напрямках: електролітичну мідь легували з метою додання їй твердості, домагаючись при цьому незначного зниження електропровідності; підвищували електро- і теплопровідність сплавів на іншій основі, додаючи мідь. У 1925 р. були розроблені "псевдосплави" мідь-вольфрам, названі "елколіт", "елмет", "моллорі" і т.п., одержувані шляхом спікання при високих тисках і температурах порошків вольфраму, покритих міддю [275]. Оскільки провідність цього матеріалу була нижчою, ніж у чистої міді, з нього виконували тільки наконечники, що припаювали до охолоджуваного порожнього стрижня. У машинах для шовного зварювання вольфрамомідну стрічку припаювали у вигляді обода до торця роликів. Однак паяна конструкція коштувала дорого, і, крім того, завжди існувала небезпека поганого контакту з поверхнею, що зварюється, через неточне складання і дефекти паяння. В результаті пошуку досить міцних матеріалів з хорошою електро- і теплопровідністю були підібрані елементи, здатні утворювати твердий розчин з міддю (кобальт, хром, кадмій, берилій і молібден) при їхньому вмісті не більш 1%. З цих сплавів почали виготовляти суцільнометалеві електроди і ролики [276].

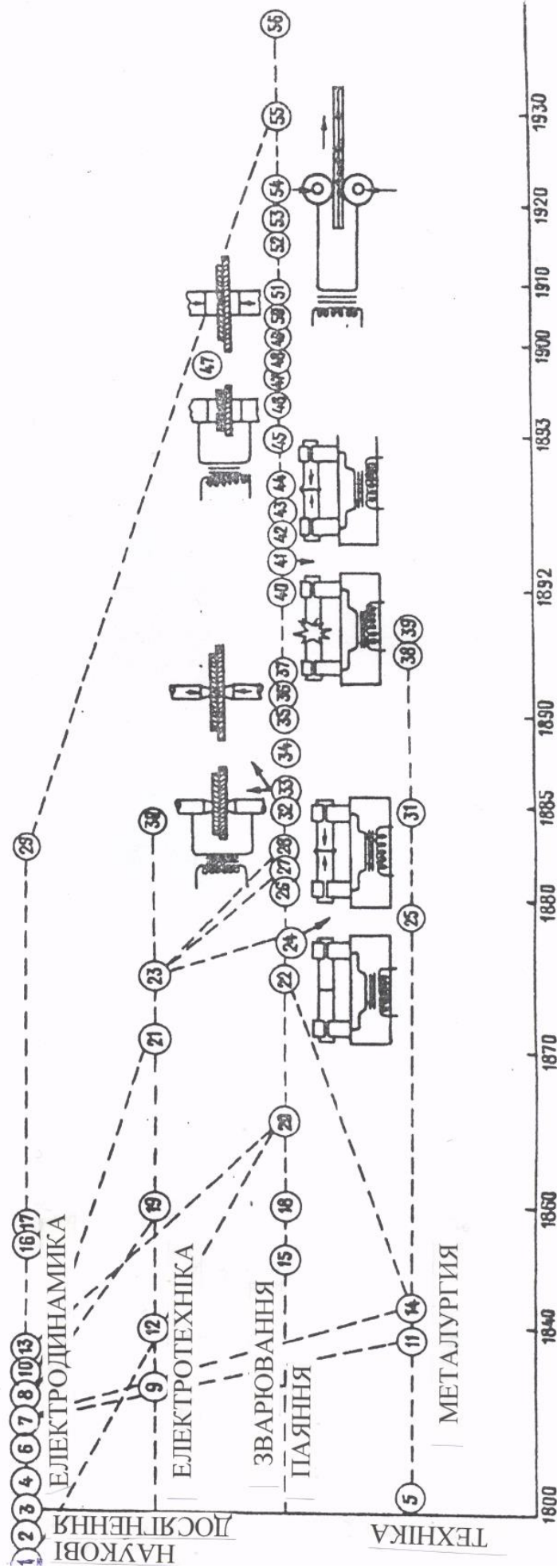


Рис.3 -2. Генезис перших способів контактного зварювання

3.5. Виникнення і розвиток газового зварювання.

Наприкінці XIX ст. і перші десятиріччя XX ст. електротехнології не були поширені досить широко. Час торжества електрозварювання ще не наступив, тому що електроенергія залишалась дефіцитною; відомі способи зварювання не були універсальними і мобільними, а задовільна якість переплавленого металу забезпечувалося ціною високої трудомісткості. Але без зварювання вже не можна було обійтися і на початку XX ст. виник ще один спосіб (причому не тільки з'єднання металів, але і швидкого ефективного роз'єднання) - заснований на використанні теплоти ацетилено-кисневого полум'я [277].

Спроби використовувати пальні гази для зварювання металів плавленням (тобто без прикладання тиску) починалися неодноразово. Але необхідні для цього температура полум'я і концентрація теплоти досягаються тільки при спалюванні пальних газів чи пари рідини в суміші з киснем, промислове одержання якого було налагоджено тільки на початку XX століття. Проте, застосування газового нагрівання (з повітряним дуттям) для пайки і ковальського зварювання відомо з древніх часів.

3.5.1. Відкриття і роботи А. Муассана та ряду інших учених і винахідників з виробництва палива. Велике значення для розвитку зварювання і різання металів мають водень і ацетилен. У 1766 р. англійський фізик і хімік Г. Кавендиш досліджував фізичні і хімічні властивості водню. Перспективний спосіб одержання водню і кисню шляхом електролізу води запропонував Г. Деві в 1802 р. У 1840 р. німецький хімік Д. Ріхман розробив апарат для одержання водню, що виділяється при взаємодії азотної кислоти з цинком. Водневим полум'ям, що утвориться на виході зі спеціального пальника, вдавалося паяти і зварювати легкоплавкі метали. У лабораторних умовах часто використовували як воднево-повітряне, так і воднево-кисневе полум'я, причому останнє мало температуру 2600 °С й могло розплавити золото, срібло і платину [278]. У 1888 р. Д. Лачинов розробив потужний електролізер для розкладання води, і завдяки цьому водень і кисень стали більш доступні [226]. Область їхнього застосування до кінця XIX ст. майже не розширилася, незважаючи на те, що вже існували промислові способи стискування газів, а в 1896 р. німецький інженер Е. Вісс винайшов зварювальний водневий пальник.

Тим часом у поле зору техніків потрапляє ацетилен - газ, теплота згоряння якого більш ніж у 5 разів перевищує теплоту згоряння водню. У 1836 р. англійський учений Е. Деві вперше одержав з карбїду кальцію газ, названий їм бікарбонатом водню, а в 1860 р. французький хїмік П.Е.М. Бертелло, дав точну формулу і сучасну назву цього газу - ацетилен. Однак у той час карбїд кальцію був дорогою хїмічною сполукою, яку одержували тїльки в лабораторних умовах, і знадобилося кілька десятків років, щоб знайти дешевий промисловий спосїб його виробництва [279].

У той же час велася робота і над удосконалюванням технологїї газового зварювання металїв. Французький винахїдник Д. Рисїмен замїнив кам'яновугїльний газ воднем, у результатї чого підвищилися температура і концентрація полум'я (пат. Францїї № 11307 від 24 серпня 1838 р.).

3.5.2. Розробка газозварювального обладнання. Паралельно з пошуком газїв для зварювання велася робота щодо створення надїйного устаткування. У першу чергу необхідно було сконструювати пальник, який забезпечував би добре змїшування газїв з киснем, високу концентрацію теплоти на виходї з сопла і вибухобезпечнїсть. Одним з перших (1802 р.) пристроїв, що заслуговують уваги, був пальник американського винахїдника Р. Хейра для одержання воднево-кисневого полум'я. У Нїмеччинї в 1820 р. газовий пальник створив А. Брок. Для запобїгання зворотному удару (потокy палаючого газу всередину системи) у 1847 р. ним була встановлена діафрагма у водневому каналї, через яку газ видавлювався в наконечник пальника і виходив назовнї. Воднево-кисневе полум'я довгї роки застосовували для паяння платини, золота, сїбла. У 1850 р. у Францїї Г.С.К. Девиль створив пальник, у якому кисень змїшували в соплї [279].

Що стосується карбїду кальцію, то для його промислового виробництва застосовували електрику. У 1892 р. Дж. Т. Морехед і Т. Вїльсон, творцї фірми "Вїльсон алюмїніум", зробили перше промислове плавлення карбїду. У 1900 р. Дж. Т. Морехед перетворив цю компанїю на "Юнїон Карбайд корпорейшн", створивши могутню їндустрію виробництва карбїду. У цей же час у Європї електроплавлення карбїду зробив А. Муассан. Собївартїсть карбїду знизилася в тисячу разїв, що дозволило почати його промислове використання [279, 280].

А. Ле Шател'є розрахував, що температура згоряння суміші рівних обсягів кисню й ацетилену сягає 4000 °С. У 1895 р. в повідомленні для Паризької академії наук він відзначив, що це полум'я є інтенсивним джерелом нагрівання й у ньому не окислюється розплавлене залізо, що дуже важливо для зварювання [281].

У 1896 р. була вирішена проблема збереження і транспортування стиснутого ацетилену. М. Клауд, інженер Французького відділення компанії "Томпсон-Хьюстон", виявив, що ацетилен може розчинятися в рідинах, подібно до вуглекислого газу. А. Абаканович і А. Гесс закачали ацетилен під тиском 25 атм. у балони з ацетоном (пат. Франції № 257697 від 30 червня 1896 р.). У лютому 1897 р. вже була заснована компанія "Френч Ацетилен Диссолвед" (С. Ф. А. Д.), що відіграла помітну роль у створенні устаткування і технології сучасного газового зварювання і різання.

Транспортування ацетилену виявилось відносно безпечним, і газ почали активно застосовувати в промисловості й побуті. У 1898 р. попит на карбід кальцію у Франції вже перевищив його виробництво. До 1900 р. ацетилен застосовували для домашнього освітлення, він горів у шахтарських лампах і автомобільних фарах.

Відомі в той час пальники, в яких кисень і ацетилен змішували зовні, на виході із сопла виявилися непрацездатними. Через погане горіння утворювався твердий щільний нагар вуглецю, що засмічував газовий канал.

Ідею створення конструкції зі змішувачем ацетилену і кисню усередині пальника Ч. Пікару, що працював у "Френч Ацетилен Диссолвед компані," подав А. Ле Шательє. Для роботи цього пальника була потрібна подача ацетилену під надлишковим тиском, тобто використовували ацетилен з балонів [282, 283].

Крім централізованого виробництва і транспортування ацетилену в балонах, газ одержували на місці з карбиду кальцію в ацетиленових генераторах. Тільки у Великобританії в 1895-1900 р. було запатентовано більше 300 типів таких генераторів [284]. Однак газ з генераторів виходив під нормальним тиском, і застосовувати їх при зварюванні пальниками Пікара було небезпечно.

Для використання ацетилену з газогенераторів Е. Фуше розробив пальник з інжектором, через який подавався під тиском кисень (пат. Франції № 325403 від 18 жовтня 1902 р.). Два роки потому пальник з інжектором використовували не тільки

для зварювання, але й для різання, підвищуючи тиск кисню на виході з додаткових каналів.

У пальниках Фуше, названих "Сиріус", ацетилен перемішували з киснем у два етапи: внизу в одній трубці і вгорі в пучку трубок невеликого діаметра, що запобігало зворотному рухові полум'я в першу, усмоктувальну трубку, через яку проходила суміш практично вибухонебезпечного складу.

У 1902 р. стали впроваджувати ректифікаційні апарати для поділу повітря на складові способом німецького фізика К. Лінді. Це відкрило можливості для широкого застосування кисню в техніці.

Анрі Луї Ле Шательє (народився в Парижі 8.10.1850, помер 17.09.1936, Мірібель–лез–Ешель) – фізик і хімік, металознавець, член Паризької Академії наук (1907), Почесний член Академії наук СРСР (1927), професор Паризької вищої гірничої школи (1877-1919). Колледжа де Франс (1898-1907) і Паризького університету (1907-1925) [285].

Крім викладацької роботи, А.Ле Шательє займався дослідницькою діяльністю. Вивчаючи процеси горіння газів, він виявив, що температура згорання суміші однакових об'ємів кисню і ацетилену досягає 4000°C , полум'я може бути концентрованим і не окислює розплавлене залізо. В 1895 р. в повідомленні Академії наук він запропонував використовувати таке полум'я для зварювання. Анрі Ле Шательє користувався пальником із зовнішнім зміщенням, але він виявився невдалим. Через неповне згорання утворювався твердий густий нагар вуглецю, і пальник засмічувався.

Змішати ацетилен і кисень всередині пальника запропонував Андре Ле Шательє рідний брат Анрі. Газ у відповідний пальник повинен подаватися з надлишковим тиском, тобто з балонів. Необхідно відзначити, що намагання транспортувати зріджений ацетилен у балонах (для оснащення та іншої мети) закінчувалися частіше всього вибухом. Ідея розчиняти ацетилен в ацетоні частково вирішує проблему: кількість вибухів зменшилась. Цю задачу вирішив Анрі Ле Шательє. Він засипав в балони активоване пористе вугілля і туди ж заливав розчин. Транспортування ацетилену стало надійним.

Проте, для створення газового зварювання, придатного для промислового використання, необхідна ще й надійність пальника. Сам Анрі Ле Шательє цією проблемою більш не займався; він прославився фундаментальними науковими працями, результати яких знадобились і при створенні наукових основ зварювання. Разом з Ф. Малларом запропонував: спосіб визначення теплоємності газів при високих температурах (1881), сформулював загальний закон зміщення хімічної рівноваги (1884), розробив термоелектричний пірометр, підтвердив експериментально аналогію між розчинами і сплавами (на яку вказував в 1868р. Д.К. Чернов), сконструював металографічний мікроскоп.

Шарль Пікар (народився 25.08.1872 р., помер 1957р.). З 1897 р. після закінчення Вищої школи промислової фізики і хімії він почав працювати в “Френс Ацетилен Диссолвед компані”, пройшовши шлях від інженера до технічного директора. За 50 років праці над газовим зварюванням і різанням Ш. Пікар створив кілька пальників, у тому числі і для різання під водою, взяв участь у розробці іншого ацетилен-кисневого обладнання і технологічного зварювання [285].

Едмонд Фуше (народився в 1858 р., помер 17.02.1931 р. в Парижі), фізик, хімік, після школи мистецтв і ремесел в Анжері (Франція) закінчив вищу політехнічну школу. З 1896 р. він працює все в тій же французькій Національній компанії, займається розчином ацетилену. Разом з Ш. Дінаром та іншими співробітниками ним було створено устаткування для газового зварювання. Очолюючи Центральний комітет з ацетилену, Е. Фуше дуже багато зробив для впровадження газового зварювання. З 1922 р. він був президентом Інституту газового зварювання, головою адміністративної ради Вищої школи з газового зварювання, а також президентом Міжнародної комісії з використання ацетилену і газового зварювання в промисловості [284].

3.5.3. Автогенне зварювання і різання в промисловості. До початку ХХ сторіччя зусиллями багатьох учених і винахідників був створений ще один спосіб з'єднання металів - ацетилено-кисневе зварювання. Серйозною перевагою цього способу в порівнянні зі способами дугового зварювання була можливість просто й ефективно одержати метал шва задовільної якості, захистивши зону зварювання від впливу повітря [286]. Крім того, газозварюльні установки були автономні, пересувні,

нескладні в експлуатації, енергія вироблялася на місці зварювання і різання (звідси і назва "автогенне", тобто "таке, що само народжується").

Як відзначали Гранжон і його співавтори по ряду науково-методичних посібників, "автогенне" зварювання - це спосіб з'єднання однорідних металевих предметів, що стикаються, частини яких нагріваються за допомогою газового пальника до температури плавлення металу і, сплавляючись між собою, після остигання утворюють шов, близький за своєю будовою до основного металу. Таке з'єднання можна здійснювати або з додаванням металу, однорідного з тим, що зварюється, або без нього. Для очищення, головним чином від окислів, і як додатковий захист зварювальної ванни було запропоновано застосовувати флюс (найчастіше борну кислоту). За короткий час була розроблена технологія зварювання майже всіх технічних металів і сплавів (заліза, сталі, чавуна, міді, латуні, алюмінію та ін.). Ацетилено-кисневе полум'я замінило киснево-водневе також і при паянні твердими припоями.

Якщо в Росії, Німеччині, Англії, Швеції традиційно превалювало дугове зварювання, у США - контактне, то в першому десятилітті ХХ століття у Франції віддавалася перевага автогенній обробці.

У 1920 р., коли вже були електроди для ручного дугового зварювання з високоякісним покриттям, Гранжон відзначав, що "особи, добре знайомі з властивостями шва, одержуваного при автогенному зварюванні пальником, рідко застосовують електрозварювання, коло застосування якого досить вузьке" [287].

Ацетилено-кисневі пальники Пікара і Фуше експортували з Франції в усі промислово розвинуті країни світу. У 1903 р. ці пальники застосовували в Німеччині на судноверфях в Айзенасі, у 1905 р. в Італії в залізничних майстернях у Неаполі. У 1906 р. у Франції ацетилено-кисневе зварювання застосовували більш ніж у 500 цехах, майстернях, дільницях. У США першим застосував газове зварювання Е. Бурнонвіль при будівництві міського водопроводу в Лонг Айленді. У 1907 р. він вперше продемонстрував автогенне різання сталеві балки, а також зумів зварити алюмінієві зразки. Можливості газополуменевого різання були доведені на Бруклінській верфі, коли за кілька хвилин були розрізані чотирнадцятидюймові

броньові плити. З 1905 р. на заводах США О. Девіс почав застосовувати пальник Фуше. Компанія "Девіс-Бурнонвіль" внесла значні вдосконалення в устаткування і поширила газове зварювання по всій країні [286].

Вперше в світі газовий пальник, точніше різак, з метою різання був застосований у 1901 р. при спробі пограбування земельного банку в Ганновері. Були використані переваги процесу - транспортабельне джерело енергії - балон з ацетиленом і киснем. Невідомо, чи знали зломщики те, що процес різання сталі, відбувається не тільки від тепла полум'я, але і від того, що залізо згоряє в додатковому струмені кисню. Причому, температура згоряння заліза в кисні лежить нижче його точки плавлення, а теплоти виділяється так багато, що доки надходить кисень, процес іде самостійно і розплав видувається струменем кисню. Зломщикам удалося розрізати тільки зовнішню оболонку завтовшки 8мм. Конструкція різача була ще не відпрацьована і кисню не вистачило.

Слід зазначити, що автогенне різання, з'явилося практично одночасно в кількох країнах. Так, у США Дж. Харріс, намагаючись одержати синтетичний рубін у полум'ї зварювального пальника, випадково розрізав сталевий лист, що служив як підкладка. У 1904 р. Жоттран (Бельгія) до воднево-кисневого пальника додав просто трубку із соплом, через яку подавався кисень. У тому ж році Е. Вісс (США) запатентував пальник-різак з концентричними соплами, запропонований Е. Смітом. Спочатку для цієї мети використовували зварювальні пальники, однак, незабаром почали розробляти і газокисневі різачи. Цей вид різання відразу виявився поза конкуренцією щодо до заліза, сталі і чавуну. У 1908 р. кисневе різання було випробувано в підводних умовах. Незабаром даний спосіб різання зацікавив і німецькі фірми. У великому обсязі газове різання застосовували під час демонтажу зруйнованих металокопункцій у період Першої світової війни [288]. У 1906 р. у Німеччині для металізації успішно застосовували ацетилено-кисневе полум'я. Пістолет для газополуменевого напилювання винайшов М.У. Шооп.

Винахідники багатьох країн удосконалювали конструкції пальників Пікара і Фуше. У 1908 р. фірма "Брітїш Оксіджен" створила пальник, у якому наконечник можна було повертати, змінюючи кут між його віссю та віссю корпусу від 0 до 70°. В Італії Карбідне товариство розробило пальник з охолодженням наконечника. У США

в 1907 р. фірма "Девіс-Бурнонвіль" змонтувала в пальнику пористу діафрагму, що запобігає зворотному удару. Завдяки праці багатьох ентузіастів були розроблені і впроваджені мало- і великогабаритні пальники; пальник, розрахований на високі і низькі тиски газу; пальник з різною формою постійних і змінних наконечників і т.д. У 1909 р. А. Дж. Фаучек із сином розробили портативне устаткування для здійснення газового зварювання, вдосконаливши майже всі елементи апаратів, створили раціональні пальники, технологію зварювання чавуну і т.д. Великий внесок у вдосконалювання вніс і Дж. Харріс.

У Росії газове зварювання вперше з'явилося в 1906 р. Зварювальні пости були обладнані в Московському технічному училищі, в деяких ремонтних залізничних майстернях і на ряді машинобудівних заводів Москви, Петербурга й інших міст, на металургійних заводах Уралу й України. Газове зварювання застосовували в основному для ремонту, рідше для виготовлення невідповідальних виробів з низьковуглецевої сталі, чавуну і міді; різання застосовували для видалення дефектів лиття. У той час устаткування ввозили з-за кордону. Однак вже в 1911 р. випуск ацетиленових генераторів і різаків був налагоджений на заводі "Перун" у Катеринославі. Як і за рубежем, застосування газополуменевої обробки в Росії зросло в період Першої світової війни. Газове зварювання і паяння стали використовувати у воєнній промисловості, щоправда, як і раніше для невідповідальних вузлів, з рекомендацією проковування й обпалення швів. Наступними подіями в історії розвитку автогенної справи було відкриття при Петроградському технологічному інституті курсів навчання "самозварюванню і різним способам спаювання металу" і випуск першого в Росії підручника [289]. З цього часу обсяги застосування газового зварювання почали зростати, і із середини 1920-х років цей спосіб зайняв провідне положення в зварювальному виробництві країни. Застосування газового зварювання було дозволено при виготовленні казанів, машин та інших відповідальних конструкцій. Не останню роль у цьому зіграло створене в 1926 р. російсько-американське змішане акціонерне товариство "Рагаз". У 1927 р. на Ростокінському заводі почав працювати цех з виробництва пальників, редукторів і різаків. Усього за період з 1928 по 1930 р. було випущено близько 2 тис. ацетиленових генераторів, майже 6 тис. зварювальних пальників і різаків, 6560

редукторів. Однак, у зв'язку з повною націоналізацією промисловості в СРСР, змішане акціонерне товариство "Гагаз" було ліквідовано і на його базі була створена державна структура - Всесоюзний автогенний трест (ВАТ). У короткий час були побудовані нові цехи з виробництва апаратури для автогенної обробки, у тому числі на Московському автогенному заводі, Ленінградському заводі "Червоний автоген". З 1934 р. в СРСР цілком припинили імпортувати автогенну апаратуру. У цьому ж році було пущено 6 могутніх установок з виробництва кисню. У першій половині 1930-х рр. ацетилено-кисневе зварювання займало провідне місце в зварювальному виробництві країни. Замість ацетилену застосовували інші гази. Для зварювання відносно тонких алюмінієвих листів, а також для підігрівання і паяння використовували водень. Незначне застосування для зварювання сталі знайшли установки, що працюють на бензиновій, бензолівій і гасовій парі. Інші пальні гази (метан, газолін, блаугаз) не використовували, тому що вони забруднювали місце зварювання і не забезпечували досить високу температуру полум'я. Для кисневого різання, поряд з ацетиленом, у Радянському Союзі успішно використовували рідкі пальні матеріали: бензин і, особливо широко - гас.

3.6. Термітне зварювання

Незважаючи на те, що газове зварювання успішно конкурувало і доповнювало дугове і контактне, при виробництві машин, металоконструкцій і в будівництві залишалося багато проблем. Одна з них - зварювання деталей з великим поперечним перерізом шва. Дугове зварювання способом Слав'янова і стикове зварювання способом Томсона в принципі забезпечували з'єднання металу із досить великою товщиною, але мали і серйозні недоліки - громіздке устаткування і прив'язку до електричної мережі. Виникла потреба в способі, що мав би водночас і такі ж переваги, як і газове зварювання.

3.6.1. Відкриття М.М. Бекетова в основі термітного зварювання. Наприкінці XIX століття в 1859 р. М.М. Бекетов знайшов спосіб, заснований на алюмінотермії - процесі одержання металів відновленням їхніх окислів алюмінієм. Він довів, що шихта із суміші порошоків алюмінію й оксиду заліза горить при температурі, що становить кілька тисяч градусів, перетворюючись у залізо і шлак [290]. Замість

алюмінію можна було використовувати магній, а з оксидів - відновлювати не тільки залізо, але й ряд інших металів (хром, бор, титан). Це відкриття згодом знайшло застосування в металургії для одержання безвуглецевих металів, феросплавів, лігатур.

Народився М.М.Бекетов 1 січня 1827 р. в с. Нова Бекетовка Пензенської губернії. Після закінчення Казанського університету з 1849 р. працював у Петербурзі, в 1859-1887 рр. – професор Харківського університету, з 1890 р. – професор Московського університету. Розвинув фізичну хімію як самостійний напрямок науки. Відкрив явище витіснення металів з розчинів їх солей воднем під тиском, розробив спосіб одержання алюмінію з кріоліну, склав курси лекцій і практикум з фізичної хімії, з 1886р. – академік Петербурзької академії наук. Помер в Петербурзі 30 листопада 1911 р.[290, 291]

3.7.2. Термітне зварювання металів великої товщини. У 1898 р. Г. Гольдшмідт у Німеччині вперше здійснив термітне зварювання двох залізних брусків, попередньо заформувавши їх і заповнивши місце стику термітною сумішшю. Після згоряння суміші рідке залізо, що утворилося, було настільки перегріте, що підплатило крайки, а після застигання перетворилося на шов. Шлак сплив і легко відокремився від місця з'єднання. Представник Гейдельбергської школи хіміків (Німеччина), учень Р.В. Бунзена Ганс Гольдшмідт (народився в 1861 р. в Ессені. Німеччина). В 1888 р. він отримав право на металургійний завод в Ессені, де в 1893 р. здійснив перший промисловий алюмінієтермічний процес з метою отримання корубіса – шлаку з твердістю, що відповідає карборунду. (Необхідно відзначити, що і сам Бунзен причетний до зварювання. В 1841 р. він винайшов вугільно-цинковий гальванічний елемент, через десять років методом електролізу отримав магній, а потім ряд інших металів; розробив точні методи газового аналізу, разом з Г.Р. Кірхгофом поклав основу спектральному аналізу. Прилади Бунзена (фотометр, калориметр та ін.) використовували для вивчення зварювальних процесів. А його знаменитий пальник, сконструйований в 1855 р., займає почесне місце в ряді прототипів сучасних зварювальних пальників.

В 1913 р. Гольдшмідта вибрали професором Інституту заліза і сталі Німеччини. Він був почесним головою Політехнічного інституту, президентом і почесним

членом багатьох технічних товариств. У 1918 р. нагороджений Золотою медаллю Елліот-Кроссона Франклінівського інституту (США). В 1923 р. Ганс Гольдшмідт помер [291].

Перший патент Німеччини (№ 1085), який стосувався в основному зварювання рейок, Гольдшмідт одержав у 1901 р. Незабаром була організована фірма "Гольдшмідт терміт компанії" і термітний процес почали застосовувати для зварювання дефектів виливків, ремонту тріснутих рам двигунів, маховиків, штанг і т.д. [292]. У 1908 р. Гольдшмідт удосконалив технологію зварювання рейок (пат. Німеччини № 281591).

Висновки до розділу 3

1. Перші способи зварювання з'явилися в період освоєння людиною металу. Холодне зварювання застосовувалося при роботі з самородним металом. Ковальське (горнове) зварювання виникло як елемент кричного способу одержання заліза і сталі і було основною технологією виготовлення і ремонту залізних і сталевих деталей знарядь праці та зброї. Для виготовлення і ремонту виробів з першого штучного сплаву - бронзи, застосовувалася технологія зварювання заливанням.

2. Перші способи зварювання містили технічні прийоми, які згодом були використані в інших способах обробки металів. Майстрами минулих століть були розроблені деякі способи підготовки і формування крайок, прийоми поліпшення якості з'єднання, багат шарові зварені вироби. У розглянутий період була розроблена й одержала поширення пайка твердими і м'якими припоями, в першу чергу ювелірних виробів із золота та срібла.

3. По мірі розвитку техніки вдосконалювалися і перші способи зварювання. Зокрема, для ковальського зварювання були застосовані більш ефективні джерела нагрівання (водяний газ) і більш потужне устаткування (преси, молоти, вальці), а також спеціальне захисне середовище.

4. Нагрівання газовим полум'ям при ковальському зварюванні і паянні застосовували з найдавніших часів. З розвитком способів одержання водню і кисню і створенням відповідних пальників у процесі з'єднання і плавки металів почали застосовувати воднево-повітряне, воднево-кисневе і газо-кисневе полум'я.

5. У другій половині XIX ст. виникла необхідність в розробці нових технологій з'єднання і ремонту металевих конструкцій та частин машин. Основою для створення нових способів зварювання металів стали досягнення фундаментальних і прикладних наук – фізики, хімії, електротехніки, металургії та відповідних галузей техніки. Серед них слід відзначити відкриття дугового розряду В.В. Петровим і Г. Деві, створення електротехніками різних країн джерел струму, комутуючої апаратури, електродів. До 1880-х років у світовій практиці був накопичений досвід плавлення металів дугою.

6. Перший у світі спосіб дугового зварювання розроблений у 1881 р. М.М. Бенардосом. Ці процеси виконувались вручну вугільним електродом дугою на зворотній полярності. Бенардос розробив систему живлення зварювальної дуги, яка складалася із генератора і батареї акумуляторів, перші електродотримачі і напівавтомати (також і для зварювання плавким електродом). Він запропонував подавати в зону зварювання газу, стабілізуючі і флюсуючі компоненти (в тому числі і через трубчасті електроди). Винахідник розробив також різні типи зварних з'єднань і елементів конструкцій, техніку і технологію дугового зварювання сталей, чугунів, міді, бронзи та латуні.

7. Винаходи Бенардоса запатентовані в Росії, Франції, Бельгії, Великобританії, Німеччині, Швеції, Італії, США, Іспанії, Австро-Угорщині, Данії, Норвегії та Фінляндії. У 1885 р. в Петербурзі було створене товариство “Електрогефест” і відкрито перший у світі завод зі зварювання, виготовлення зварювального обладнання та учбові майстерні. До середини 1890-х років спосіб М.М. Бенардоса використовували більше ніж на 100 величезних заводах Європи і США.

8. Німецький інженер Г.Т. Церенер досліджував і сформулював закони взаємодії дуги і магнітних полів, а також розробив пальники для зварювання дугою непрямої дії, яка керується магнітним полем. Американський винахідник Ч.А. Коффін запропонував принципово нові схеми взаємного розміщення електродів, дуг та зварюваного виробу. Коффін використовував вплив магнітного поля на зварювальну дугу і розробив пальники для зварювання дугою непрямої дії, яка відхиляється магнітним полем, для зварювання секційними електродами обертовою дугою, а також ряд інших систем.

9. Вирішуючи задачу підвищення якості зварного з'єднання М.Г. Славянов розробив установку і технологію “електровідливки” – дугового зварювання плавким електродом по шару флюсу попередньо заформованої ділянки шва з підтримкою всієї зварювальної ванни у розплавленому стані. Він розробив “ плавільник ” – напівавтомат для плавної подачі електроду і потужний зварювальний генератор.

10. Необхідність прискорити виробничі процеси і відновлювати дорогі машини змусила промисловців Росії і західних країн замінити ковальське зварювання дуговим, що має значні технічні й економічні переваги. Однак промислова криза, яку переживала економіка на початку ХХ ст., відбилася і на темпах розвитку дугового зварювання. Сфера її застосування почала звужуватися. За деякими технологічними можливостями вона не могла конкурувати з новими технологіями з'єднання матеріалів, що з'явилися в той час (газової, термітної, а також контактним зварюванням) і інтенсивно розвивалися з 1890-х рр.

11. Винахідники ХІХ ст. використовували різні сучасні їм досягнення фізики, хімії, електротехніки, металургії. Були розроблені спеціальні зварювальні джерела живлення (акумулятори, генератори, трансформатори), апаратура для керування процесом зварювання, запропоновані газовий і шлаковий захист зони зварювання, принципи впливу дуги на метал та ін. Ці рішення послужили основою для подальшого розвитку дугового і ряду інших видів зварювання, наплавлення і різання плавленням.

12. Наприкінці ХІХ в. почали розвивати контактне точкове зварювання. Принцип точкового зварювання був запропонований М.М. Бенардосом і запатентований у Німеччині в 1888 р. Зварювальні кліщі з ручним стисканням, електродні вузли і схеми живлення від трансформаторів удосконалили О. Кляйншмідт, Бушайє, Харматта, Тейлор та ін. Спочатку точкове зварювання використовували для виготовлення невідповідальних конструкцій. У 1905 р. запропонована схема багатоелектродного точкового зварювання.

13. Наприкінці ХІХ ст. на шляху розвитку дугового зварювання виникла проблема поліпшення якості звареного шва. У 1904 р. О. Кьельберг запропонував покривати сталевий стрижень штучного електрода для дугового зварювання складами з оксидів, гідрооксидів і силікатів ряду металів, що сприяло стабілізації

процесу горіння дуги і захищало електродний метал і ванну від впливу повітря. Він був першим, хто на практиці довів, що дугове зварювання можна виконувати в усіх просторових положеннях і забезпечувати високу якість металу шва.

14. Наприкінці XIX в. і початку XX ст. були розроблені спосіб промислового виробництва карбиду кальцію Дж.Т. Морехед, Т. Вільсон (США), А. Муассан (Франція), ацетиленові генератори, спосіб збереження і транспортування ацетилену, газові пальники Ш. Пикар, Е. Фуше (Франція), завдяки чому була створена можливість широкого застосування ацетилено-кисневого зварювання. На початку XX ст. ацетилено-кисневе полум'я почали використовувати для різання сплавів на основі заліза, для напилювання різних металів (алюмінію та ін.), для чого були розроблені відповідні пальники і технологія (Жоттран, М.У. Шопп і ін.).

15. Г. Гольдшміт (Німеччина) здійснив термітне зварювання, засноване на процесі алюмінотермії, відкритому М.М. Бекетовим. Незабаром цей спосіб почали застосовувати для з'єднання великих деталей, для виконання швів великої площі перерізу, складної конструкції та форми.

ХРОНОЛОГІЯ

СТВОРЕННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ І ВИДІВ ЗВАРЮВАННЯ В ПЕРІОД ЕКСТЕНСИВНОГО РОЗВИТКУ

XVIII - XIX ст.. – Технологія виробництва високоякісної сталі Майкл Фарадей (англ.фізик), Павло Аносов, Дмитро Чернов (російські металознавці)

XIXст.– Спосіб нікелювання. Т. Флейтман.

1753.. – Електричні розряди для плавлення металів. Г.В. Рихман

1782.– Плавлення і з'єднання дротинок із платівки. Г.Х. Лихтенберг

1800.– Штучно джерел струму тривалої дії. А. Вольта

1800. - Висунуто електрохімічну теорію. Г. Деві

1801 – Дріт з платини нагрівається електричним струмом. Л. Тенар

1801 - Дослідження технологічних властивостей електричного струму.

В.В.Петров

1802 - Батареї гальванічних елементів. О.О. Мусін-Пушкін и В.В. Петров

- 1802 — Явище електричного дугового розряду. В.В. Петров.
- 1802 - Воднево-кисневе полум'я. Р. Хейра
- 1813 – Дослідження ідентичності хімічних і електричних сил. Зв'язок вольтової електрики і магнетизму. Г.Х. Ерстед
- 1820 – Газовий пальник. А. Брок.
- 1831 – Принцип електромагнітної індукції. М. Фарадей
- 1833 – Створення електромагнітов. . В. Річчі
- 1833 - Винайдення кільцевого якоря. А. Пачиноті и З. Грамм
- 1842 - Розрахунок теплоти, при проходженні електричного струму. Дж.Дж. Джоулем и Е.Х.Ленцем.-
- 1849 – Технологічні якості дузі. Депре.
- 1850 – Пальник, у якій водень і кисень змішували в соплі. Г.С.К. Девиль.
- 1862 - Дуга між вугільними електродами. Бертело
- 1862 - отримання у лабораторних умовах карбиду кальцію Ф. Велер.
- 1870 –. Відкриття водяного (коксового) пального газу. Ф.Фонтіна
- 1872 - Альтенек-Винайденного барабанного якоря. Ф. Гефнер
- 1874 - Розробка акумуляторів Б.П. Твертиновим, М.М. Бенардосом і П.М. Яблочковим.
- 1874 - Розробка дугових ламп є електромагнітним регулятором. В.М.Чиколев
- 1876 – Розробка дугових ламп без регуляторів. П.М. Яблочков
- 1875р.- Нагрів пучків дротів. Вільгельм і Олександр Сименс
- 1879 – Розробка двохдугових печей. В. Сименс
- 1880 – Нагрів метала вихровими струмами. Ф.Араго, Л. Фуко., Максвелла та інші
- 1883 – Зварювання дугою косвенної дії. Г.Т. Цернер.
- 1884 – Методи розрахунку індукційного нагріву. Хевисайд
- 1884 - Дугова піч. Браття Коулес
- 1884 - Розробка контактного зварювання. Е. Томсон
- 1885 - в С.-Петербурзі було створене Товариство «Електрогефест»
- 1887 – створена індукційна піч. Феранті
- 1888р. М.Г. Слав'янов. – Дугове зварювання металевим плавким електродом.-

1890р. О.М. Лодигін. – електричні лампи накаливання.

1890р. Е. Стессано. – Електрометалургії чавуну і стали; дугова електропіч для отримання заліза безпосередньо з руду.

1890 Еру. – Піч з вугільними електродами і двома дугами прямої дії.

1891. С. Томсон – Методи розрахунку індукційного нагріву.

1892 Ивинг – Методи розрахунку індукційного нагріву.

1892 Ч.А. Коффін. –Стикове зварювання безупинним оплавленням.

1892 Дж. Т. Морехед і Т. Вільсон. –Промислове плавлення карбїду.

1897 у засноване об'єднання «Карбїд кальцію - ацетилен», Франфуркті-на - Майне

1897 у було організовано Німецьке товариство по карбїду й ацетилену Берліні.

1898 виникла Німецька ацетиленова корпорація (DAV). у Берліні

1904 Е. Розенберг. – Генератор з поперечним полем.

1905 Снурек і Гислер. – Точкове зварювання.

1923 В.П. Нікітін, К.К. Хренов і А.А. Алексєєв. – Зварювальний генератор.

1930 Принципи зварювання індуктованим струмом підвищеної частоти.

1934 Ігнітронни регулятори.

1938 А. и Ю. Вайбели. – Стикове зварювання труб.

1941 Маріо і Давидом Сіаки. – Трифазні випрямувачі.

РОЗДІЛ 4

ЗВАРЮВАННЯ В ПЕРІОД ЕКОНОМІЧНОЇ ДЕПРЕСІЇ В КАПІТАЛІСТИЧНИХ КРАЇНАХ І ІНДУСТРІАЛІЗАЦІЇ СРСР

В 1929-33 рр. економіка провідних капіталістичних країн була охоплена величезною в їх історії циклічною кризою перевиробництва. На початку 1930-х років

особливих успіхів у розвитку зварювання в західних країнах не було. Але ентузіасти зварювального виробництва і великі фірми продовжують розробку обладнання і технологій.

В цей час в СРСР вже реалізовувався план соціалістичної індустріалізації, що його в 1925 р. проголосив XIV з'їзд ВКП(б). Слід відзначити, що особливу роль у індустріалізації відігравали роботи з електрифікації і машинобудування. Успішно реалізовувалися роботи за планом ГОЕРЛО. Будівництво нових заводів розгорнулось у багатьох регіонах країни. Було вирішено побудувати автомобільний завод-гігант на березі р. Волги поблизу великого промислового центру Нижнього Новгорода, великі металургійні, машинобудівні заводи, теплоелектростанції будувалися в Донецько-Придніпровському регіоні таї на Уралі. Зокрема, створювалася виробнича база для впровадження газового і електричного зварювання. Спочатку основну частину електротехнічного обладнання Радянський уряд закупив за кордоном, в основному за прямими договорами з провідними фірмами, спеціалісти яких і допомагали освоювати нову техніку. Але незабаром партія і уряд проголосили курс на відмову від закордонної допомоги і проектування та виробництво більшості видів техніки було налагоджено в СРСР. Серед інших, одна за одною регулярно виходили Урядові постанови з прискорення зварювального виробництва. Роботи забезпечувалися майже усім необхідним; виконавців, передовиків виробництва заохочували, але й зволікання і зрив термінів закінчення робіт каралося.

У 1920-х рр. з'являються металокопструкції, при виготовленні яких клепання було замінене зварюванням. Умовно їх можна розділити на дві групи: "старі" - складні інженерні споруди, спроектовані під технологію клепання; зразки нової, тільки що створюваної техніки. До першої групи можна віднести кораблі, залізничний транспорт, промислові і цивільні будинки, мости, котли, резервуари, трубопроводи і т.п. Авіація й автомобільний транспорт фактично існували до цього часу всього два десятки років; копструкції літальних апаратів (літаків, дирижаблів) і автомобілів інтенсивно удосконалювалися з урахуванням можливостей технології зварювання, що розвивається

4.1. Газоелектричне зварювання

У першому десятилітті ХХ ст. у різних галузях промисловості продовжувалося освоєння дугового, контактного, термітного і газового зварювання. Однак, якщо ці процеси поступово витісняли клепання при з'єднанні виробів зі сталі, чавуну і міді, то інші метали і сплави (алюмінієві і магнієві) піддавалися зварюванню з трудом. Для поліпшення якості дугового зварювання кольорових металів необхідно було розробляти спеціальні флюси чи обмазки присадки, для чого були потрібні знання фізико-хімічних процесів. Кращу якість забезпечувало ацетилено-кисневе полум'я разом зі звичайними флюсами-пастами, але можливості і цього способу були майже вичерпані.

Технології дугового і газового зварювання, що самостійно розвивалися в першому і наступних десятиліттях ХХ століття, не могли не об'єднатися в єдиному процесі - у способі газоелектричного зварювання. Слід зазначити, що застосування при дуговому зварюванні як додаткового джерела тепла пального газу було запропоновано ще Бенардосом. Він розробив перший електродотримач із соплами для подачі газу в зону горіння дуги. Однак ця технологія не була доведена до практичного впровадження і не розширила діапазон застосування дугового зварювання [120].

4.1.1. Відкриття і винаходи І. Ленгмюра. Перші практично реальні технології, що поєднали можливості дугового і газового зварювання, були створені в компанії "Д Е". Керівництво "Д Е" прийшло до висновку - щоб вистояти в конкурентній боротьбі і бути в авангарді електротехніки, що розвивається, необхідно самим займатися проблемами виробництва на науковому рівні.[294] У компанії були створені спеціальні лабораторії для фундаментальних досліджень. Одна з лабораторій займалася проблемою збільшення крихкості металу при обробці, в тому числі і при дуговому зварюванні.[295]. Щоб захистити розплавлений метал П.П. Александер запропонував у 1920 р. вводити в зону зварювання пару метанолу. При цьому електрод, що плавиться, подавався через трубку, яка служить також і соплом для виходу метанолу зі спеціального газогенератора. Поблизу дуги метанол дисоціювався на водень і оксид вуглецю. П. П. Александер досліджував також процеси зварювання в середовищі світильного і водяного газів. В усіх випадках проплавляюча здатність таких комбінованих процесів була вищою, ніж у випадку

зварювання в атмосфері повітря, хоча при цьому напруга на дузі майже не зростала [296,297].

Одночасно з П.П. Александером співробітник фірми "ДЕ" І. Ленгмюр, займався проблемою поліпшення якості вольфрамової нитки для ламп розжарювання. Рішення, знайдені І. Ленгмюром, призвели не тільки до створення надійних електричних ламп, наповнених інертними (для вольфраму) газами, але і до удосконалення тріодів; сприяли винаходу вакуумного насоса, в 100 разів більш потужного, ніж було раніше, і створенню печі для прогріву в умовах вакууму. Також було знайдене пояснення явищ каталізу. Ці й інші роботи в тому чи іншому ступені вплинули на подальший розвиток зварювання [298].

Найважливіше значення для розвитку зварювання мали результати досліджень термоелектронної емісії вольфрамових ниток. І. Ленгмюр знайшов наступне: оксидна плівка на вольфрамі витримує нагрівання до 1500 °С, після чого вона руйнується і її вже не можна відновити воднем; молекулярний шар оксиду торію на вольфрамі може збільшити емісію електронів з вольфрамової нитки у вакуумі в 100 тисяч разів. [297-299].

Важливою науковою основою для розвитку дугового зварювання стало вчення про іонізацію плазми. Для характеристики процесу іонізації М. Саха запропонував у 1921 р. рівняння. У розвиток цього рівняння в 1924 р. І. Ленгмюр вивів формулу для визначення ступеня іонізації пари речовини, що випаровується з нагрітих поверхонь [298]. Він же визначив залежність електричного струму між електродами у вакуумі від різниці потенціалів між ними, назвавши її законом трьох других [299].

Що стосується нового способу зварювання, то він був заснований на явищі дисоціації водню, відкритому і докладно вивченому Ленгмюром у 1911 р. Провівши дослідження тепловіддачі з поверхні вольфрамової нитки, яка нагрівається електричним струмом у балоні, наповнюваному різними газами при різних тисках, учений знайшов, що в атмосфері водню тепловіддача різко зростає з підвищенням температури. Оскільки двохатомна молекула водню є міцною екзотермічною сполукою, процес дисоціації молекул на вільні атоми ендотермічний. У свою чергу, атомарний водень рекомбінує з виділенням енергії 436 кДж/моль. Швидкість реакції

молізації, що протікає досить повільно в об'ємі газу, значно збільшується на поверхні твердих і рідких тіл, при цьому їм передається теплота. При достатній концентрації атомарного водню можна досягти розплавлення визначеної кількості будь-якого металу [300]. У принципі, можливий процес зварювання тільки струменем атомарного водню, який подається на метал. Однак при цьому молекулярний водень необхідно дисоціювати (для чого його нагрівають до 4000 °С) і негайно направити в зону зварювання, тому що зберегти досить довго його неможливо. Реально дисоціацію можна здійснити за допомогою дуги.

4.1.2. Атомно-водневе зварювання. Принципова схема атомно-водневого зварювання подібна зі схемами способів зварювання дугою непрямої дії з двома електродами, що не плавляться, запропонованими М.М. Бенардосом, Ч.А. Коффином і Г.Т. Церенером [301]. Важливим відмітним елементом конструкції стало сопло для подачі газу. В створення практично придатних технологій, що одержали назву газоелектричного зварювання, основний внесок зробив П. Александер. У 1925 р. були розроблені способи зварювання непрямою дугою електродами, що не плавлялися, в струмені водню - водневе зварювання і спосіб зварювання електродом, що плавиться (металевим) дугою прямої дії в суміші водню з азотом чи водню з оксидом вуглецю. Цей процес одержав назву спосіб Александера [302]. При цьому живлення дуги робили змінним струмом від спеціального трансформатора через дросельну котушку. Вольфрамові електроди діаметром від 1,5 до 5,0 мм витримували струм 10-100 А при робочій напрузі дуги 70-150 В (напруга неодруженого ходу в середньому складала 300 В). Середня витрата водню становила 20-30 л/хв.

Така напруга дуги обумовлюється порівняно великим потенціалом іонізації водню і високою його теплопровідністю. Оскільки електроди в пальнику розташовані під кутом, то дуга під дією електромагнітних полів і струменя газу згинається у вигляді петлі, її стовп приймає форму віяла. Така дуга відрізняється низькою щільністю струму в стовпі. Плазма стовпа, ореол і потік газу під впливом фізико-хімічних процесів, що протікають, коливаються, видаючи свистячий чи шиплячий звук. Тональність звуку підвищується з подовженням дуги.

На відміну від інших способів дугового зварювання, основним параметром атомно-водневого зварювання, що впливає на продуктивність і проплавляючу здатність, є напруга дуги. Було встановлено, що носієм теплової енергії, яка розплавляє метал, є в основному водень в атомарному стані, що утвориться в стовпі, кількість його пропорційна довжині і напрузі дуги [301]. Щоб збільшити проплавляючу здатність, необхідно збільшити потужність дуги, для цього дугу подовжують чи збільшують витрату газу.

У 1930-і роки з усіх способів зварювання плавленням найкращу якість наплавленого металу забезпечувало атомно-водневе зварювання. У цьому випадку метал шва практично не окислювався і не азотувався, пори були відсутні, показники міцності, в тому числі і пластичність, були високими. Такий спосіб зварювання застосовували для бортових, стикових і кутових з'єднань із зовнішнім швом. Стикове з'єднання товщиною до 6 мм виконували без скосу крайок, при більшій товщині - з обробленням крайок.

Спосіб атомно-водневого зварювання значно розширив діапазон матеріалів, що зварюються, і зварених конструкцій. Якість зварених з'єднань легованих, корозійностійких і жароміцних сталей, виконаних цим способом, була досить високою. Задовільно зварювалися також нікель, монель-метал, хромонікелеві сплави, молібден, вольфрам і цинк. Якість зварених з'єднань алюмінію і його сплавів, сплавів на магнієвій основі, виконаних із застосуванням флюсів, тих же, що і для газового зварювання, відповідала вимогам, пред'явленим до таких конструкцій відповідального призначення, як літаки [302]. Використання атомно-водневого зварювання не вирішило проблеми ремонту чавунних виробів (через відбілювання чавуну), також не дало можливості одержання якісного з'єднання міді і її сплавів (через високу розчинність водню в рідкому металі і дифузії в зоні термічного впливу).

4.1.3. Спосіб П.Александера. А. Сефериан (Франція), Г. Мюнтер (Німеччина) і деякі інші учені виконали ряд досліджень процесів, що протікають при газоелектричному зварюванні, в тому числі при зварюванні електродом, що плавиться [302]. Було встановлено, що визначна перевага притаманна суміші водню

й азоту. Для реалізації цього процесу були створені спеціальні апарати - електрокрекери, у яких одержували азотно-водневу суміш з аміаку, недефіцитного і менш дорогого, ніж водень. Досліджували захисні гази, отримані при випаровуванні і розкладанні органічних сполук. Як уже відзначалося, П.П. Александер почав експерименти з метанолу, що при 700 °С цілком розкладається на водень і оксид вуглецю й утворює суміш, що має хороші відновні властивості. Для практичного застосування цього процесу додатково до зварювального посту був розроблений апарат - випарник метанолу. Спосіб Александера був випробуваний також з використанням двоокису вуглецю, водяної пари і вуглеводів, при цьому задовільних результатів досягти не вдалося.

У 1930 р. Мюнтер розробив спосіб, що поєднував ацетилено-кисневе зварювання з дуговим зварюванням металевим електродом і отримав назву "аркоген". У цьому випадку газове зварювання виконує основну функцію - проплавляє метал, а параметри режиму встановлюють у залежності від товщини металу. Дуга, що горить з ручного електрода, що плавиться, живиться за допомогою зварювального трансформатора з підвищеним (до 100 В) напругою холостого ходу. Струм у цьому випадку майже в 2-3 рази менший, ніж потрібно у випадку зварювання відкритою дугою металу такої ж товщини. При способі аркоген електрод подається до ванни у відновлювальну зону полум'я. Техніка такого зварювання надзвичайно складна, тому що, власне кажучи, зварник вручну одночасно виконує два способи зварювання. Крім того, потік газу і водень у його складі викликають деіонізацію стовпа дуги, і звичайна крейдова обмазка не забезпечує стійкого горіння дуги. М. Мюнтер не розкривав склад обмазки своїх електродів, але вказував, що процес зварювання йде стійко: 60% тепла в зону зварювання дає газове полум'я, а 40% - дуга. Експерименти, проведені в МВТУ (Москва) показали, що використання способу аркоген дозволяє одержати якісні з'єднання сталей, чавуну, міді, алюмінію. Однак у виробничих умовах він поступався способу атомно-водневого зварювання за багатьма показниками [302].

Перші промислові апарати для атомно-водневого зварювання були випущені "Д.Е.". Для них було передбачене живлення від спеціального трансформатора з робочим струмом до 35 А. У випадку роботи на великих струмах джерела живлення

включали паралельно. Падаюча характеристика і регулювання струму забезпечували дроселем. При обриві дуги установку знеструмлювали. Водневий клапан вмикали з появою струму в зварювальному ланцюзі [303]. Деякі конструктивні особливості мав апарат німецької фірми АЕГ, поширений і в СРСР [304]. Перші радянські апарати заводу "Електрик" повторювали закордонні конструкції доти, доки не був налагоджений випуск апаратів на базі трансформаторів СТ-22 з окремими дроселями [301].

До кінця 1930 р. широке застосування знайшло атомно-водневе зварювання як з чистим воднем, так і з сумішшю водню й азоту. У цьому випадку зразки зі сталі зварювали з мінімальною товщиною до 6-8 мм. Поза конкуренцією було застосування способу газоелектричного зварювання в авіабудуванні й електротехнічній промисловості при виробництві виробів із кольорових металів [304]. Найбільшого поширення атомно-водневе зварювання набуло в США (більш 3 тис. постів). У СРСР число таких постів не перевищувало 1% від кількості постів дугового зварювання [305].

Надалі було почато спроби механізувати процес атомно-водневого зварювання. Завод "Електрик" випускає пальники з ручним механічним приводом подачі електродів. Ці пальники для вольфрамових електродів діаметром 1,5-3,0 мм мали водяне охолодження і кріпилися на саморушійній каретці. У США були зроблені пальники для подачі електродів по мірі їхньої витрати [305].

До 1940 р. у фахівців у СРСР не склалося єдиної думки про значення, можливості і перспективи газоелектричного зварювання. Практичне застосування знаходили тільки способи з подачею водню (чистого й у суміші), пального газу і пари органічних речовин. Фахівці Ленінградського індустріального інституту, МВТУ, лабораторій Авіапрому й інших організацій вважали газоелектричне зварювання "...одним з найбільш важливих видів зварювання найближчого майбутнього..." [301, с.207]. Подальший розвиток техніки показав, що способи ручного дугового зварювання електродом з високоякісними покриттями, автоматичного дугового зварювання під флюсом і зварювання в інертних газах виявилися більш ефективними. До 1950 р. вони витіснили водневі-водневе-

водневий-атомно-водневе й інші способи газоелектричного зварювання. Досвід, отриманий при дослідженні та впровадженні газоелектричного зварювання, надався для розробки способів дугового зварювання в інертних газах і у вуглекислому газі [306].

У 1926 р. співробітник фірми "Д.Е." Ф.К. Д'юерс після багаторічних досліджень запатентував процес зварювання електродом, що не плавиться, (вольфрамовим чи графітовим) в аргоні і гелії, що одержав назву "Геліарк" [307]. Через чотири роки Г. Хобарт одержав патент на більш досконалу конструкцію пальника. На підставі цих рішень у фірмі "Д.Е." були створені перші технології зварювання в нейтральному захисному середовищі. В ті ж роки П.П. Александер удосконалив конструкцію пальника і ці технології [308]. Однак практичного застосування ці способи зварювання в той час не знайшли через високу вартість інертних газів.

У період пошуку надійного газового захисту при дуговій обробці дослідники неодноразово намагалися знайти способи керування проплавленними властивостями дуги, сконцентрувати енергію дугового розряду, щоб зробити дугове різання конкурентноздатним способом газового різання. Ґрунтуючись на спостереженнях і висновках фізиків "про вплив потоку газу чи рідини на концентрацію енергії в стовпі дуги", німецький фізик Шонер у 1909 р. розробив пальник для синтезу діоксиду азоту. Через два роки американський фізик Маттер застосував плазмотрон у печах для плавлення металів. Сам термін "плазма" був уведений тільки в наступному 1912 р. І. Ленгмюром [296].

Плазмовий пальник чи плазмотрон у принципі являє собою електрод, підключений до джерела струму й оточений соплом з каналом порівняно малого діаметра. Другий потенціал джерела міг бути підключений до сопла чи на виріб. Через сопло подається потік газу чи повітря таким чином, що дуга, що горить у соплі, стискувалася цим потоком. У 1921 р. американський винахідник Химес застосував пальник такої конструкції для різання металів, домігшись високої концентрації теплоти, потужного напорю газу і хорошої якості різання. Наступного року німецькі фізики Г. Гердієн і А. Лотц ввели в плазмотрон водяний вихор і одержали стиснуту дугу з температурою до 5000 °С [309]. У 1934 р. німецька фірма "Сименс" стала застосовувати плазмові пальники для плавлення металів, а

американський винахідник Райник розробив плазмотрон для напилювання корозійностійких металевих покриттів. Однак після цього подальший розвиток технологій, заснованих на енергії стиснутої дуги, призупинили і тільки в 1950 р. знову з'явився інтерес до даного джерела нагрівання.

4.2. Удосконалення електродів і технології дугового зварювання

Оригінальне рішення проблеми створення зварювальних електродів знайшов А. Строменгер [181]. Як хімік, організатор аналітичної лабораторії в Лондоні, він добре знав якості різних матеріалів і запропонував фірмі "Тюдор" випробувати сталеві стрижні з оплетенням із синього азбесту, що містить сполуки заліза. Такий азбест йому часто надсилали на аналіз із Південної Африки. Експерименти перевершили всі очікування. Оплетення з азбесту забезпечило високу якість металу шва і стабільне горіння дуги навіть на змінному струмі. Строменгер разом із професором С.П. Томсоном з Лондонського університету почали вивчати процеси плавлення і випаровування при зварюванні і прийшли до висновку, що відбуваються вони нібито під впливом не простої дуги, а "квазі-дуги", що діє не тільки в осьовому напрямку, але й у радіальному. Відповідно до цієї ідеї Строменгер запропонував розміщувати електрод між крайками, з'єднуючи його з позитивним полюсом генератора, а виріб - з негативним. Азбестове покриття служило ізолятором. Дуга між кінцями електродного стрижня і крайками, розплавляє й азбест, чим забезпечувався захист зони зварювання. Для отримання довгих швів Строменгер застосовував по декілька електродів довжиною 300-400 мм послідовно один за іншим. Склоподібний шлак, що утворився на шві, при охолодженні легко відокремлювався [310].

А. Строменгер одержав у 1911 р. патент Великобританії, у якому відзначав, що перевагою винаходу є виділення тепла на дуже близькій відстані від поверхні, що зварюється, а також утворення шлаку, що служить "вторинним провідником", здатним регулювати і розподіляти це тепло. У 1911 р. була створена фірма, під назвою (правда, не одразу) "Квазіарк велдінг", що початку випускати електроди з оплетенням із синього азбесту, просоченої силікатом натрію. А. Строменгер продовжував удосконалювати конструкцію свого електрода, додатково намотував на стрижень тонкий алюмінієвий дротик (до 2% об'єму всього металу); завдяки алюмінію краще йшов процес розкислення сталі. Пізніше він вніс ще деякі

вдосконалення, зокрема, став додавати солі марганцю до складу обмазки електродів для наплавлення рейок, а для зварювання високоміцних сталей почав намотувати дріт з урану. А. Стромєнгер запропонував також зварювання пучком електродів, що плавилися навперемінно.

Вже в 1911 р. за допомогою електродів Стромєнгера в Лондоні почали ремонтувати трамваї і судна. З'єднання виконували не тільки лежачим електродом, але й при звичайному його положенні. А. Стромєнгер рекомендував застосовувати поперечні коливання кінця електрода; цим досягалася висока якість зварювання товстолистових (до 10 мм і більше) конструкцій, ним же були запропоновані Х- і К-подібне оброблення крайок, багатопрохідне зварювання.

У Великобританії інтерес до зварювання "Квазіарк" був значним, тому що цей спосіб мав гарні технічні показники. Крім того, діяв ще і політико-економічний фактор - прагнення скоротити імпорт карбїду, необхідного для ацетилено-кисневого зварювання. У 1918 р. фірма "Роялз інжинїринг" на верфі в Ричбороу побудувала перше у світі суцільнозварне судно довжиною 38,4 м і шириною 5 м. У лютому 1920 р. фірма "Кеммел Льерд" у Бірмінгемі спустила на воду ще більше суцільнозварне судно "Фуллагар". Ці успішні роботи вплинули на долю електродів зі спеціальними покриттями.

Фірма А. Стромєнгера вийшла на міжнародну арену не тільки як виробник електродів, але і як виготовлювач зварювальних генераторів і допоміжного устаткування.

У жовтні 1914 р. патент Великобританії був виданий Е.Г. Джонсонові, що запропонував наносити покриття, до складу якого входили три частини подрібненого шлаку й одна частина вапняного мулу, замішані на силікаті натрію. Покриття "напресовували" на стрижень під тиском. Через три роки Джонсон розробив конструкцію і склад ще одного електрода: на сталевий нікельований стрижень-дрїт навивався з великим кроком шнур з білого азбесту бавовни, усе це покривали пастою з вапна і плавикового шлаку, зв'язаних силікатом натрію. У 1922 р. Джонсон організував фірму "Аллою велдінг проуїз", що почала конкурувати з фірмою "Квазі арк велдінг" [311].

Явище стабілізації горіння дуги при використанні "забруднених" вапном сталевих електродних стрижнів, використане Кьельбергом, лягло в основу ще однієї технології нанесення ферито-кальцієвого покриття. Її суть полягала в наступному: сталеві стрижні змочували водою для виникнення шару гідроксиду заліза (іржі), потім їх занурювали у вапняне молоко і сушили при температурі 150 °С. Таке покриття, однак, погано захищало зону зварювання. Цю проблему вирішили в 1916 р. О. Андрус і Д. Стресау за допомогою паперу [181]. Кілька шарів паперу намотували на сталевий стрижень, потім занурювали в розчин силікату натрію чи калію і прожарювали в печі. Захист зони зварювання забезпечували продукти розкладання целюлози. Це були перші електроди з органічним покриттям. Надалі до ідеї застосування целюлози в тій чи іншій формі в складі покриття поверталися багато винахідників. Електроди з паперовою обмоткою стали виробляти у США з початку Першої світової війни у великій кількості замість англійських електродів "Квазі-арк". Фірма "Тексас ойл" виготовляла їх доти, доки в 1924 р. на американський ринок зі своїми електродами не вийшла фірма "А.О. Сміт" [312].

У цей же час у Європі зварники йшли по шляху застосування електродів із захистом, що цілком складається тільки з мінеральних матеріалів. Так, французькі винахідники Р. Саразен і О. Монейрон розробили спосіб покриття металевих стрижнів товстим шаром обмазки, в котру входили сполуки лужних металів (польовий шпат, мармур, крейда і сода). Вони мають низький потенціал іонізації. Тому при використанні електродів з такою обмазкою легше збуджувати і підтримувати дугу [27].

У 1926 р. у фірмі "Атель" (Швейцарія) був розроблений склад покриття для електродів із суміші оксиду заліза, феромарганцю і ферокремнію. Електрод з покриттям цього складу з додаванням графіту виявився першим-придатним для холодного зварювання чавуну. Пізніше фірма "Атель" одержала патент на "термітний" електрод. У його обмазку вводився порошок алюмінію (50%), що, реагуючи з оксидом заліза, забезпечував додатковий підігрів зони зварювання. Віллігеном і Моерманом з фірми "Філіпс" (Ейндховен, Нідерланди) були запропоновані покриття з великим вмістом залізного порошку. Втім, уведення

залізного порошку в покриття використовувалося ще в 1920 р. фірмою "Електрик велдерз" (Глазго, Великобританія). При цьому товщина покриття перевищувала на 20% діаметр стрижня; такі електроди одержали назву "важких". Цікаво, що дане покриття виявилось електропровідним, і на ньому часто збуджувалася дуга.

У 1918 р. були розроблені покриття з низьким вмістом водню на основі кальцієвого шпату, карбонату кальцію і вапна, які утворюють у дузі диоксид вуглецю, що забезпечувало ефективний захист зони зварювання [310]. У 1920-х рр. як у Європі, так і в США були запропоновані й інші склади електродних покриттів. У той час досліджували на придатність як компоненти обмазки ільменіт, глинозем, діоксид кремнію, багато металів (аж до урану), ряд органічних речовин.

Значний внесок у поліпшення технологічних властивостей електродів і технології їхнього виготовлення вніс Дж.Дж. Чайл, що протягом декількох десятиліть працював у фірмі "А.О. Сміт". У 1924 р. він розробив склад і організував серійне виробництво електродів з целюлозним покриттям, що наносили методом обпресування. До складу покриття входили також оксид титану і феромарганець. Дж. Чайл та інші співробітники фірми "А.О. Сміт" успішно вирішили проблему ручного дугового зварювання високоміцних і корозійностійких сталей [310].

Вже в 1920-х рр. почали розрізняти типи покриттів у залежності від їхніх хіміко-металургійних властивостей: основні, кислі, нейтральні та ін. [313]. Споживачів усе більше цікавили експлуатаційні якості електродів: стабільність горіння дуги, можливість виконувати шви в стельовому положенні, на вертикальній стінці, з глибоким проплавленням і т.п. [314].

У Росії, де з 1890-х рр. знайшло широке застосування дугове зварювання вугільним електродом за способом Бенардоса, а ремонт відливок (наплавлення) здійснювали електродом, що плавиться, за способом Слав'янова (тобто по флюсові), вдосконалюванню електродів, що плавляться, довгий час уваги не приділяли. До 1914 р. якісні електроди використовували тільки деякі фірми, зв'язані з Західноєвропейськими компаніями ("Сименс", АЭГ і ін.). Поставляли такі електроди з Німеччини і Швеції. На початку 1930-х рр. у Радянському Союзі у Всесоюзному електротехнічному тресті були розроблені електроди зі шлакоутворюючим і

розкислючим покриттям (ВЭТ-26 та ін.). У зварювальному комбінаті Оргаметала (Москва) протягом 1934-1937 р. була створена серія електродів, що одержали назву ОММ, зі шлако- і газоутворюючим покриттям для зварювання різних марок сталей як на постійному, так і на змінному струмі. Серед них були електроди, що широко застосовувалися в СРСР більше 20 років: електрод марки ОММ-3 (А.О. Єрохін), що дозволив різко підвищити продуктивність праці зварника, і марки ОММ-5 з ільменітовим покриттям (К.В. Любавський), придатний для зварювання у всіх просторових положеннях [315].

У ці ж роки в ІЕЗ В.І. Дятловим були розроблені тонкопокриті електроди серій УАН, придатні для зварювання різних сталей, у тому числі легованих. Їх використовували при наплавленні рейок, бандажів коліс і інших виробів і частин машин, що інтенсивно зношуються. Покриття АН-1 наступного складу (у відсотках по масі): титановий концентрат - 86,4, марганцева руда - 10,9, поташ - 2,7, забезпечувало коефіцієнт плавлення електродів $(28-30) \cdot 10^{-4}$ М/(А·с), у той час як у крейдових електродів цей коефіцієнт не перевищував 14-17 М/(А·с) [316]. Ймовірно це був останній в історії тонкопокритих електродів, що забезпечує досить високі механічні властивості металу шва, економічний за складом і у виготовленні.

У 1938 р. у Ленінграді К.В. Петрань розробив серію електродів з товстим покриттям типу УОНИ-13 (коефіцієнт наплавлення дорівнює $25 \cdot 10^4 - 30,4 \cdot 10^4$ кг/(А·с), для зварювання конструкційних сталей. Ці електроди виявилися одними з кращих у світовій зварювальній техніці і дотепер широко застосовуються при виробництві металоконструкцій [315].

Крім пошуку складів і оптимальних конструкцій електродів, винахідники працювали і над технікою застосування електродів. Так, у 1924 р. Ж. Бетено запропонував "здвоєний" електрод, що складається з двох покритих електродів напівкруглого перерізу. Стрижні, ізольовані один від одного, підключали до одного полюса і двох джерел живлення (другий полюс - на виріб), і зварювання проводили двома дугами. При ручному зварюванні до 15% часу іде на зміну електродів і зачищення кратера перед запалюванням дуги наступного електрода.

Наприкінці 1930-х рр. у СРСР знайшли практичне застосування способи зварювання лежачим і похилим (спосіб Силіна) довгомірними (довжиною до 900 мм)

електродами. У середині 30-х рр. у СРСР у зв'язку зі змаганням, що розгорнулося, став популярним спосіб зварювання, який забезпечує підвищення продуктивності праці - це зварювання з одночасним використанням кількох електродів. Зварювання пучком електродів широко застосовувалося робітниками-стаханівцями. Цей прийом використовував С.Т. Назаров для підвищення якості зварювання чавуну. Йому вдалося уникнути окислювання й усунути пористість металу шва при "холодному" (без підігріву) зварюванні чавуну, застосовуючи електроди зі сталевих, мідних, і латунних стрижнів замість електродів з міді, нікелю і монель-металу, здатних тільки перешкоджати утворенню карбідів. Завдяки своїм електродам С.Т. Назаров виконав унікальні роботи. Однак спосіб зварювання пучком електродів, у тому числі й удосконалений у 1950-х рр. В.С. Володіним, виявився неефективним у порівнянні зі зварюванням цільним одинарним електродом такого ж діаметра, тому що трудомісткість виготовлення кількох електродів малого діаметра і компонування їх у пучок набагато більша, ніж витрати на виготовлення одного електрода.[312].

Що стосується зварювання чавуну за кордоном, то тут найкращими були електроди фірми "Лінкольн". Із середини 1930-х рр. ця фірма випускала також електроди для зварювання високомісних сталей, інструментальних і самогартівних сталей, алюмінію та його сплавів. Фірма "Еллоу велдінг продактс" розробила "синтетичні електроди" зі стрижнем зі сталі з покриттям з азбесту та ферохрому, що широко застосовувалися для зварювання корозійностійких сталей. Для зварювання міді був запропонований електрод з мідним стрижнем і чотирма шарами покриття [317].

У 1930-х рр. продовжують створюватися нові конструкції електродів. Так, у британській філії фірми "Томсон-Хьюстон" був розроблений електрод з металевим стрижнем, що має пази, у які поміщають покриття [318]. В іншому варіанті пропонувалося поверх електродної обмазки навивати металеве оплетення. У тих випадках, коли оплетення мало контакт із стрижнем, можна було підводити струм через ролики чи мундштук.

Є.М. Кузмак і М.П. Доронін запропонували на спіраль наносити другий шар покриттів [315]. Спіраль плавиться за рахунок додаткової теплоти дуги. Коефіцієнт

наплавлення електродів цього типу (КД) підвищується до $41,6 \cdot 10^4$ - $55,6 \cdot 10^4$ кг/(А·с). Однак технологія виготовлення електродів з оплетенням була складною. Більш практичним способом підвищення коефіцієнта наплавлення була запропонована одразу в кількох країнах ідея вводити до складу покриття металевий порошок (для електродів зі сталевим стрижнем - залізний). Покриття стає електропровідним, через нього шунтується частина зварювального струму, якому можна підвищити і приділяється частина теплоти. Однак електроди з залізним порошком у покритті були створені й одержали поширення з 1960-х рр. Електроди для зварювання легованих сталей майже одночасно почали розробляти шляхом легування наплавленого металу через покриття, застосовуючи легований дріт. У Радянському Союзі на початку 1930-х рр. проблемою зварювання корозійностійких сталей почали займатися у Всесоюзному інституті авіаційних матеріалів (електрод ВІАМ-25) і в Оргаметалі (електрод ОМХ, Л.К. Єршов). Одним з найбільш вдалих електродів для зварювання аустенітних хромонікелевих сталей були електроди типу ЦЛ (І.А. Липецький) зі стрижнем Х19Н9 (з титаном чи без нього) [315].

У рішенні проблеми створення електродів для дугового зварювання важливе значення мала технологія їхнього виготовлення. Навивання азбестового шнура, намотування паперової стрічки, занурення в розчини зі зв'язуючими речовинами й інші прийоми не відразу вдавалося механізувати. У 1920 р. фірма "Квазі-арк велдінг" механізувала процес виробництва своїх електродів. У США наносити покриття методом опресування першою стала фірма "А.О. Сміт". Застосування цього методу викликало зміни в конструкції електродних покриттів: азбест, целюлоза, метали і всі інші складові вносили до складу покриття тільки у вигляді порошку. Громіздкі і малопродуктивні машини для занурення стрижнів заміняли пресами з механічним і пневмогідролічним приводом. Були механізовані і всі інші операції виробничого циклу. Підготовку для покриття матеріалів, у першу чергу мінерального походження, вели централізовано [317].

У 1920-1930-х рр. у різних країнах були створені десятки типів пресів. Перші ручні преси конструкції Ф. Вертмана з зубчастою передачею з'явилися в Німеччині і Швейцарії. Їхня продуктивність була до 50 електродів у хвилину. У 1924 р. Р. Мауч

на заводі "Аркос" (Бельгія) організував виробництво електродів до 5 тис. у день [318].

У 1935 р. Р. Саразен запропонував спосіб і машину для безупинного покриття електродів [319]. Відповідно до його винаходу, дріт з бухти змотувався при обертанні колеса. При цьому вона проходила виправлення в роликах, після чого розрізалася на окремі електроди і транспортером подавалася на сушіння. Механізація виробництва електродів і збільшення потужності пресів сприяли збільшенню обсягу виробництва цього важливого виду зварювальних матеріалів. Так, у США в 1932 р. було випущено 8,2 тис. т електродів, у 1936 р. - 50 тис. т, а в 1940 р. - 120 тис. т, у СРСР централізоване виробництво електродів для зварювання сталей досягло наступних показників: у 1932 р. - 19 тис. т, у 1934 р. - 32 тис. т, а в 1937 р. - 42,7 тис. т. [320].

Інтенсивне зростання виробництва електродів свідчить про те, що ручне дугове зварювання в короткий час обігнало газове зварювання, що більше десятиліття тримало першість за обсягом застосування, і зрівнялося з ним за такими показниками, як універсальність і якість металу шва.

Наче підводячи підсумок інтенсивної боротьби між газовим і дуговим зварюванням (у першу чергу за якість металу шва й універсальність застосування), німецький інженер С. Санделовський в "Працях третього Всесоюзного автогенного з'їзду" відзначав: "Якщо хто-небудь візьме на себе задачу написати історію зварювання вольтовою дугою, то при дослідженні причин її швидкого розвитку за останні роки можна буде встановити, що прагнення поліпшити властивості електродів грала серед них важливу роль. Лише з того моменту, коли перестали використовувати для зварювання перший-ліпший дріт, що трапився, і зробили електроди предметом технологічного дослідження, стало можливим установити визначені запаси міцності в звареному шві. Проблема електродів стала наріжним каменем зварювання" [321, с.3]. Як приклад розробок, що розширили можливості ручного дугового зварювання можна привести створення колективом ІЕЗ електродного покриття з синтетичного шлаку, що забезпечує зварювання на змінному і постійному струмах горизонтальних і вертикальних швів. Це покриття

можна було наносити і на дріт для автоматичного зварювання (для досягнення еластичності в обмазку додавали водний розчин гліцерину) [322].

Варто додати, що можливість вручну направляти, переміщувати зварювальну ванну і підтримувати горіння дуги стала основою для розширення області застосування електрозварювання, у першу чергу у виробництві металоконструкцій.

Дослідники в різних країнах періодично намагалися розмістити захисні і легуючі речовини усередині електрода. Початок такому пошуку поклав Бенардос. Однак вартість виготовлення порошкового дроту була вищою, ніж покритих електродів і його застосування для ручного зварювання не вигідне. Наприкінці 1930-х рр. до робіт над складами і технікою зварювання повернулися в зв'язку з рішенням проблеми автоматизації дугового зварювання.

У 1938 р. у лабораторії заводу "Електрик" (Ленінград) В.Є. Саханович займався розробкою способів виготовлення і дослідженням характеру плавлення і властивостей металу шва, наплавленого порошковим дротом. Основною метою був пошук принципів захисту зони дугового зварювання, при його автоматизації. На той час були розроблені такі принципи забезпечення захисту зони зварювання, як покриття дроту обмазками, подача захисних газів і подача флюсу. Розміщення шихти (обмазки) усередині дроту вирішувало проблему струмопідводу і зварювання у всіх просторових положеннях. Спочатку електроди виготовляли з готових трубок, у які забивали шихту. Для ущільнення шихти трубки обсаджувалися. Як шихту використовували подрібнену обмазку відомих штучних електродів у кількості, достатньому для того, щоб шлак цілком покрив ванну. Як один з варіантів промислового виготовлення порошкових дротів В.Є. Саханович запропонував стрічку з бухти подавати у вальцювальні ролики, згинати в жолоб і заповнювати флюсом, що насипається з бункера. При подальшому русі стрічка загортається у вальцах у дріт і протягається у фільерах чи прокочується до потрібного діаметра [323].

У 1939 р. у СРСР (НІАТ) як присадка для зварювання алюмінію був застосований порошковий дріт. Шихта (в основному хлористі і фтористі солі натрію і літію) засипалася в алюмінієву (12,0.0,5 м) стрічку при пропусканні її через вічко

волоочильного стану чи через вальці. Отриману заготовку закладали в суцільнотягнену трубку і волочили до діаметра 3,15 мм, діаметр внутрішнього каналу, заповненого флюсом - 1,6 мм. Процес зварювання протікав стабільно, а дослідження показали, що зварений шов виходив щільним, безпористим [324].

4.3. Розвиток і впровадження термітного зварювання.

У США в 1904 р. термітне зварювання використовувалося для з'єднання рейок, двигунів, корабельних якорів, парових машин і виготовлення перекриттів мостів. Процес виявився особливо вигідним при зварюванні з'єднань, площа перерізу яких перевищувала 25 см² [325].

Неперевершені в той час можливості термітного зварювання були продемонстровані при прокладанні колій Паризького метрополітену. Унікальними були роботи зі зварювання труб, що почала виконувати в 1905 р. "Манхеттен Рефриджирейтінг компані" (США). Стики дводюймових труб витримували наднизькі температури під підвищеним тиском.

Подальший розвиток термітного зварювання йшов шляхом найбільш повного використання таких особливостей цього процесу, як надзвичайно висока температура шлаку (штучного глинозему - корунду) і заліза; легкий поділ шару заліза і шару шлаку; можливість одержання шва будь-якої форми і досить великої площі перерізу (об'єму); мобільність, абсолютна незалежність від зовнішніх джерел енергії. Такий комплекс істотних технічних ознак складав перевагу термітного зварювання при роботах на монтажі й у польових умовах.

У перші два десятиліття ХХ ст. були розроблені й знайшли застосування три технологічні схеми термітного зварювання: 1) заповнення зазору рідким металом без додаткових технологічних прийомів; 2) заповнення зазору шлаком (іноді і металом), з наступним здавлюванням деталей, витіснення його (їх) із зазору; 3) комбінований спосіб. У всіх трьох випадках спалювання суміші й одержання заліза і шлаку відбувалося в окремому тиглі, розташованому над місцем зварювання. Термітне зварювання інтенсивно впроваджували в різні галузі промисловості В 1904 р. тільки одна австрійська фірма «Електрик тракшен» виконала 10 тис. стиків. Термітне зварювання вважалося вигідним для з'єднання деталей з площею перерізу більшою 5 см². На зварювання стику витрачалось до 10 хв. [326].

У 1930-х рр. у СРСР найбільш уживаним був комбінований спосіб термітного зварювання стиків рейок трамвайних і залізничних колій. При цьому рейковий стик із залізною пластинкою, затиснутою між відрізними торцями рейкових голівок, оточується відповідною вогнетривкою формою, у яку виливають з конічного тигля через отвір у дні розплавлені продукти термітної реакції. Рідке залізо сплавляється з підшовою стикованих рейок і з нижньою частиною шийки, утворюючи башмак, а шлак нагріває голівки рейок і вставлену між ними пластинку до зварювального жару, слідом за чим за допомогою спеціального преса стягують рейки, які зварюються, в результаті чого відбувається зварювання. Після остигання стику поверхню катання головки рейки зачищають [325].

У середині 1930-х рр. застосування газового і термітного зварювання досягло свого максимуму. Оскільки основні досягнення в області зварювання в 1933 р. у США з дев'яти зварювальних робіт назване термітне зварювання сталевого вала діаметром близько 1м ("Метал енд Терміт корпорейшн"), автогенне наплавлення бронзи ("Юніон Карбайд корпорейшн") і ряд іншим, виконаним газовим полум'ям. Дугове зварювання відзначене тільки в двох випадках: ремонт чавунного відлитого корпусу насоса спеціальними товстопокритими електродами ("Лінкольн електрик") і зварювання сталевих плит товщиною від 6 до 15 мм у тунелі Нью-Йоркського метрополітену ("А.М. Байер компані") [326].

Повідомлення про ремонт великих виробів способом термітного зварювання в Німеччині з'явилися в 1960- рр. [327, 328]. Ніякі інші способи зварювання подібних виробів на той час не змогли перевершити термітне зварювання по простоті підготовки крайок, автономності і можливості зварювання швів складної конфігурації.

4.4. Розвиток і впровадження контактного зварювання.

Контактне зварювання набуло великого поширення в 1920-х рр. з переходом заводських мереж на змінний струм при великосерійному виробництві автомобілів, побутової техніки, сільськогосподарського інвентаря, і продовжувало вдосконалюватися. Зварювання з попереднім оплавленням деталей знайшло широке застосування при виготовленні і ремонті автомобілів, літаків і залізничного

транспорту (колінчастих валів, втулок і ободів коліс, кронштейнів, шасі, поршнів та ін. інструмента). Воно було прийняте в металургійних цехах як допоміжна операція в безупинному циклі прокатки прутків і смуг.

Незважаючи на те, що ще в 1892 р. Коффін застосовував зварювання стрижнів великого перерізу з попереднім нагріванням вібруючою короткою дугою, тільки в 1913 р. Клайншмідт із фірми "Лорен став компани" ввів до широкого застосування "іскровий метод", що одержав згодом назву стикового зварювання безупинним оплавленням. Він збільшив напругу живлення на голівках зварювальних машин Томсона, що забезпечило виникнення періодичних дугових і іскрових розрядів між поверхнями, які стикуються, при безупинному зближенні й оплавленні останніх. Проблемі продуктивності зварювальних машин особлива увага приділялася в період Першої світової війни. Тоді багатьма фірмами в США і Європі були поліпшені стикові машини, розроблена оптимальна технологія процесу [329-330].

До 1930 р. були розроблені, зокрема фірмами "Ля судур електрик" (Франція) і "Д Е", спеціальні машини для зварювання оплавленням, що забезпечують контроль часу виконання технологічного процесу з високою точністю. Машина потужністю 1500 кВА при струмі 100000 А й силі стискування 2500 кН, розрахована на зварювання встик виробів перерізом до 25000 мм² автоматично відтворювала весь цикл зварювання протягом усього часу, доки була натиснута педаль.

У 1902 р .Е. Томсон розробив прямошовний спосіб виготовлення труб за допомогою стикового зварювання. В той же час у США фірма "А.О. Сміт" налагодила виробництво труб з товщиною стінки 5 мм і діаметром 500 мм, що зварювали по всій довжині (12 м) способом оплавлення на машинах потужністю 5000 кВА. Було чимало й інших розробок, що відрізнялися видом струму, застосуванням допоміжних матеріалів і т.д. (патенти Фуку, Зонніхсена, Сиаки, Спалдінга, Хармати, Ритцеля, Джонстона, Бухера та ін.) [270,271].

До кінця 1930-х рр. технологія зварювання рейок визначилася по-своєму в різних країнах. У США в основному був прийнятий спосіб зварювання рейок безупинним оплавленням. У країнах Європи рейки зварювали оплавленням з переривчастим підігрівом, в процесі якого відбувається чергування іскроутворення і

щільного контакту, що досягається зближенням і розсуванням частин, які зварюються, і знаходяться під напругою.[331].

Спосіб зварювання, що відрізняється від різних прийомів стикового зварювання труб, запропонували швейцарці А. і Ю. Вайбелі в 1938 р. [332]: струм підводився до кромки, що зварюється, за допомогою вугільних електродів, безпосередньо з'єднаних із трансформатором. Даний спосіб виявився економічним і придатним для зварювання майже всіх металів завтовшки до 2-3 мм як із присадкою, так і без неї. Наприклад, зварювання алюмінієвих трубок з листів завтовшки 0,2-2 мм виконували з відбортовкою при силі струму 200-500 А, напрузі 4-9 В і швидкості 0,5-1,3 м/хв.

На початку 1930-х рр. до удосконалення стикового зварювання підключаються радянські вчені й інженери з Ленінграда, Москви, Харкова, Нижнього Новгорода, що вивчили й освоїли куплене в США та Німеччині устаткування для споруджуваних автомобільних і тракторних заводів, а також для реконструйованих підприємств. У 1933 р. ленінградським заводом "Електрик" були випущені чотири марки машин для контактного зварювання різної потужності; при цьому потужність машини АСА-3 досягала 6 кВА, а машини АС-75 при безупинній роботі - 75 кВА, при переривчастій роботі - 120 кВА (переріз заліза, що зварюється, при відкритому контурі 1800 мм², латуні - 600 мм²) [333, 336].

Перша технологія стикового зварювання труб, розроблена в 1902 р. Томсоном під назвою "прямошовний" метод, за способом додаткового тиску була подібна з ковальсько-пресовим зварюванням. У суцільнозварних трубах були зацікавлені багато галузей промисловості й будівництва. Технологія їхнього виготовлення й відповідне устаткування продовжували вдосконалюватися. За два десятки років було розпочато спроби використовувати для виробництва труб усі відомі способи контактного зварювання. У 1930-х рр. фірма "А.О. Сміт" розробила технологію зварювання оплавленням і впровадила її у виробництво труб з товщиною стінки 5 мм і діаметром 500 мм, що зварювалися по всій довжині (12 м) на машинах потужністю 5000 кВА [337].

У контактному зварюванні використовували струм промислової частоти доти, доки в 1939 р. фірма "Бабкок енд Вількоко" не застосувала струм частотою 200-350

Гц. Труби зі смугового прокату зварювали машинами з обертовим трансформатором. Однак це ще не був процес, заснований на індукційному нагріванні струмами, відкритими Фуко, і теоретично досліджений у 1884 р. Хевісотдом. Уперше на практиці це явище використовував у 1891 р. Е. Томсон, що здійснив індукційне нагрівання листового заліза. У 1900 р. була запущена в експлуатацію індукційна плавильна піч Челліні [338]. Початком розвитку процесів високочастотного зварювання вважається розроблення фірмою "Лоррен-Еско" у 1928 р. процесу (пат. Франції № 922431), в якому, індукований струм концентрувався в зоні зварювання феритовим осердям. Однак основний розвиток зварювання струмами високої частоти одержало після 1940-х рр.

Багато загальних істотних ознак з контактним зварюванням має і конденсаторне зварювання, ідея якого виникла завдяки випадковому спостереженню. У 1905 р. співробітник фірми "Вестингаус Електрик" Л.В. Чабб, експериментуючи з електричними конденсаторами, виявив, що дріт приварюється до алюмінієвої пластини при проходженні через них розряду накопиченої електрики [338]. Це випадкове спостереження було дуже доречним. Поверхня алюмінію захищена міцною оксидною плівкою, що ускладнює паяння, і тому неможливо було одержати міцне з'єднання алюмінієвих дротів. Конденсаторне зварювання відразу ж стало застосовуватись в електротехніці (приварюванні срібних, вольфрамових та інших контактів, з'єднання алюмінієвих і мідних дротів, у ювелірній справі - приварюванні золотих і платинових шпильок і дротинок).

Як вже відзначалося, стикове зварювання знайшло застосування майже відразу після створення Томсоном перших зразків машин. Спочатку це було виготовлення проводів для електротехнічних цілей, потім виробництво труб і різних стрижнів і, нарешті, найбільш ефективно застосування - у виробництві озброєння в США, зокрема снарядів у роки Першої світової війни. У Європі в цей час найбільш активно розвивала і впроваджувала контактне зварювання німецька фірма АЕГ. Крім "чисто" контактних машин, ця фірма в 1930-х рр. розробляла і випускала машини для приварювання шпильок.[339].

Із застосуванням контактного зварювання з корозійностійкої сталі були виготовлені літаки, дирижаблі, скульптурна група В.І. Мухіної "Робітник і колгоспниця". Основні роботи були виконані в наступних організаціях: Оргаметал (ЦНДІТМаш) Я.М. Глуховим, П.М. Львов, В.І. Коровіним; Інститут цивільного повітряного флоту - С.М. Попов і ін. [340]. З середини 1930-х рр. на заводі "Електрик" у Ленінграді були розроблені власні апарати для шовностикового зварювання труб і велоободів, машини для стикового зварювання автомобільних коліс, преси для рельєфного зварювання й інше устаткування [336]. Наприкінці 1930-х рр. у СРСР було почато освоєння стикового зварювання залізничних рейок. ЦНДІТМаш разом з науково-дослідними організаціями МШС й ін.).

4.5. Зварювання в суднобудуванні. До початку ХХ ст. електричне зварювання існувало вже майже двадцять років і було широко відоме. Однак ні способи дугового, ні способи контактного зварювання ще не зробили впливу на конструювання машин, суден, котлів і інших металевих виробів, орієнтоване на інші технології виготовлення, серед яких основним способом з'єднання елементів виробів було клепання. При цьому способі заклепку необхідно підпирати, для чого потрібен доступ до зворотного боку з'єднання, що найчастіше знаходиться усередині виробу. Тому ремонт багатьох машин, апаратів, котлів, пов'язаний з постановкою нових заклепок, був дуже трудомістким через необхідність демонтажу вузлів і видалення деталей, що заважають клепанню. Дефекти й ушкодження відлитих вузлів не усували. У зв'язку з цим перші способи дугового зварювання привернули увагу експлуатаційників і ремонтників.

4.5.1. Перехід від ремонтних технологій до способів виготовлення Ілюстрацією великих технічних можливостей зварювання стало будівництво могутнього криголама "Єрмак" водотоннажністю 15000 т на верфі "Джи Уай Армстронг іузворс". Відповідно до задуму адмірала С.О. Макарова, на кораблі крім звичайних трьох кормових гвинтів був носовий гвинт, призначений не тільки для створення тяги, але і для розганяння криги. При випробуваннях виявилось, що ця функція не виконується, і верф одержала замовлення замінити передній гвинт колесом. Носова частина криголама була демонтована, а на її місце приварена нова, з відповідним

гребним валом і колесом. Криголам показав відмінні морехідні якості, і довгі роки працював у важких льодових умовах

У 1890-і рр. у Росії зварювання і наплавлення вугільною дугою найчастіше використовували при ремонті залізничного транспорту. Зварювальні пости були змонтовані на деяких кораблях Російського військово-морського флоту. Так, пошкоджений у 1905 р. у Цусимському бою броненосець "Орел" зміг протриматися на плаву завдяки тому, що в корпусі відразу ж були заварені пробоїни. Тоді ж робітники Балтійського судноремонтного заводу, відряджені в Порт-Артур, застосовували дугове зварювання (з живленням від корабельних генераторів) для з'єднання і різання конструкцій при ремонті пошкоджених броненосців "Севастополь", "Ретвизан", "Цесаревич" [341].

У 1910 р. у Великобританії за допомогою зварювання п'ять колісних пароплавів були перероблені на гвинтові. Таку модернізацію, пов'язану насамперед із заміною кормової частини і прокладкою валів гребних гвинтів, багаторазово виконували і в наступні роки. Слід зазначити, що технологія приварки корпусних конструкцій містила елементи клепання. Листи корпусу просвердлювали і з'єднували внапуск болтами, потім зварювали між собою, а на місце болтів встановлювали заклепки, які заварювали. З 1912 р. на Кронштадському морському заводі для ремонту пошкоджених кораблів застосовували дугове (вугільним електродом) і газове зварювання [342].

Розгортання використання зварювання в суднобудуванні в значній мірі завдячує офіційним визнанням роботи О Кьельберга [253]. Отримати офіційний дозвіл прагнули як усі зварювальні фірми, кількість яких збільшувалася, так і промисловці. Тим більше, що перед Першою світовою війною і з її початком промисловості були потрібні більш швидкі і прості способи з'єднання, ніж розповсюджені механічні способи (заклепувальні, болтові), майже не придатні для ремонту.

У 1918 р. Регістром Ллойда були випробувані зразки зварених з'єднань, виконаних електродами "ОК". Хоча показники міцності і пластичності в порівнянні з сучасними показниками були не високими, експлуатаційні властивості стикового шва перевершили властивості заклепкового з'єднання еквівалентної товщини. Ручне

дугове зварювання електродом, що плавиться, і самі електроди були атестовані Регістром Ллойда в якості "експериментальних", що відкривало шлях до законного практичного застосування. Продовжувався пошук компонентів електродних покриттів і наукового осмислення отриманих результатів дослідження [255].

В 1912 р. в Лондоні був відкритий філіал фірми "ESEW" (English-Swedish Electric Welding Co.Ltd), в 1914 р. в Антверпені – компанія "BSEW" (Belgian-Swedish Electric Welding Co.Ltd). В 1921 р. в Берліні була відкрита фірма "Kjellberg" (Kjellberg-Elektroden & Mashine GmbH) [310].

В 1914 р. ліцензію на виробництво високоякісних електродів Кьельберга придбала фірма "Мицубісі Цозен Каіша" (Японія). В Японії почалося широке впровадження ручного дугового зварювання спочатку для ремонту, а потім і виробництва відповідальних конструкцій. В 1920 р. фірма "Мицубісі" спустила на воду суцільнозварне судно-паром "Сува Мару" довжиною 33,5м, тоннажністю 412 т.

В 1919 р. у Франції фірма "La Soudure Autogene Francaise" використовувала електроди Кьельберга при будівництві судна "SAF-4" довжиною 20м. Проте найпершим узаконеним Рейєстром Ллойда суцільнозварним судном став бот 16-метрової довжини, названий "ESAB-IV" і спущений на воду 29 грудня 1920 р.

Особливо успішним виявилось використання дугового зварювання при проведенні ремонтних робіт німецьких кораблів у США. До 1917 р. американські суднобудівники ставилися до електрозварювання обережно. Навіть контактне зварювання, що розвивалося й ефективно використовувалося, не знаходило застосування в цій галузі. Однак із вступом США в Першу світову війну виникла проблема відправлення в Європу озброєння і військ, для чого було потрібно переобладнати діючі судна і побудувати багато нових. Урядом була створена спеціальна корпорація "Емердженси фліт" для проведення термінових робіт на флоті, а в її складі утворений комітет зі зварювання на чолі з К. Адамсом. Доки члени комітету вивчали європейський досвід і дискутували про вибір устаткування, матеріалів і технологій, команди 103 німецьких і австрійських суден, затриманих в американських портах, пошкодили їх, підірвавши машини, пробивши обшивки корпусів. На ремонт більшості з цих суден із застосуванням звичайних технологій було потрібно б не менше двох років, інші не підлягали ремонту. До відновлення

двигунів, поршнів, обшивок і елементів набору корпусів були залучені інженери залізничного транспорту, що мали досвід зварювання чавуну і конструкційної сталі. Часто фахівцям доводилося складати вироби з багатьох шматків. Вони зуміли відновити деякі чавунні виливки без супутнього підігріву, вдалося зварити навіть чавун зі сталлю і тим самим уникнути демонтажу машин. У найкоротший термін були приведені до ладу найбільші океанські кораблі, серед яких були "Америка" (водотоннажністю близько 23 тис. т) "Фредерик Де Гроссе" (11 тис. т), "Джорж Вашингтон" (25,5 тис. т), "Кайзер Вільгельм" (20 тис. т) і, нарешті, один з найбільших у світі - лайнер "Фатерлянд", перейменований у "Левіафана" (56 тис. т). Більшість зварювальних робіт виконувала фірма "Уїлсон велдер енд металз". Її керівника Д.В. Уїлсона особисто поздоровив президент США.[343].

У той час, коли в Америці займалися ремонтом кораблів, у Європі вже використовували зварювання при їхньому будівництві. У 1918 р. у Портсмуті (Великобританія) була спущена на воду суцільнозварна баржа [344]. Це судно і дослідні зразки аналогічних суден, побудованих протягом наступних двох років у Франції, Німеччині і Швеції, не залишили помітного сліду в суднобудуванні. Популярність дісталася суцільнозварній самохідній баржі "Фуллагар" довжиною 46м і водотоннажністю 398 т. Судно було спроектовано Дж.С. Гудвіном. Він врахував всі особливості зварювання, у тому числі зварювальні напруження, що були зменшені завдяки отворах у кницах і флорах. Корпус судна складали за старим способом - на болтах, що після зварювання видаляли, а отвори заварювали. Судно будувала в 1920 р. фірма "Кеммел лерд" за технічної допомоги фірми "Квазіарк". Регістр Ллойда зареєстрував корабель з особливою приміткою: "Електрично зварений, підлягає щорічній інспекції. Експериментальний". "Фуллагар" призначався для каботажного плавання, часто був перевантажений і експлуатувався при поганих погодних умовах. Двічі в 1924 і 1930 р. навантажена баржа наштовхувалася на скелі, але, незважаючи на деформацію днища залишалася на плаву. Комісія прийшла до висновку, що клепане судно з такими ушкодженнями затонуло б, і позначка "експериментальний" була знята.

В Азії зварювання в суднобудуванні вперше застосували на верфі Мацибусі Хеві індастрі (Нагасакі, Японія), де в 1920 р. дугою з використанням електродів

"Квазі-арк", куплених у Великобританії, був зварений корпус портового буксира "Сува мару" [345].

4.5.2. Життя і діяльність В.П. Вологдіна У тому ж році у Владивостоці (Далекосхідна республіка, з листопада 1922 р. - у складі РСФСР) В.П. Вологдін почав ремонтувати корпуса суден, відновлювати зношені гребні гвинти і деталі механізмів. На суднобудівному "Дальзаводе" ним були організовані майстерні, на базі яких у 1923 р. був відкритий зварювальний цех. Номенклатура конструкцій, які ремонтувалися, була широкою. Зварники під керівництвом В.П. Вологдіна вели роботи із застосуванням нових технологій на великих інженерних спорудах [346]

Віктор Петрович Вологдін народився в 1883 році, в родині гірничого службовця на Кувинському заводі, Солікамського повіту. Електрозварюванням Віктор Петрович зацікавився ще в дитинстві. Бувши ще учнем Пермського реального училища, відвідував ливарну фабрику, як називали на той час електрозварювальний цех на Мотовилихінському заводі, де винахідник М.Г. Слав'янов широко використовував електрозварювання у виробництві. Після закінчення Пермського реального училища Віктор Петрович поступив в Морське військово-інженерне училище, яке закінчив в 1905 році, отримав чин фельдфебеля. Його залишили на військовій службі в Кронштадті. В серпні 1905 року за участь в революційних виступах матросів Вологдін був розжалуваний і його вислали з Кронштадту. Восени цього ж року Віктор Петрович поступив в Петербурзький політехнічний інститут, який закінчив у 1909 році, отримав кваліфікацію інженера-електромеханіка. Після закінчення інституту його залишили лаборантом на кафедрі парових котлів, а потім він перейшов на кафедру електричного зварювання металів і визначив свою спеціальність в майбутньому - електрозварника в суднобудуванні.

У 1918 році Віктор Петрович переїжджає до Владивостоку, де його обирають спочатку професором Далекосхідного політехнічного інституту, а згодом ректором. З 1919 р. на судноремонтному та суднобудівному заводі "Дальзавод" В.П. Вологдін очолив технічне бюро, ставши в дійсності технічним керівником заводу. Це давало йому великі можливості для здійснення своїх планів. Щодня стикаючись з судноремонтом, Віктор Петрович прийшов до думки про необхідність використовувати при цьому електрозварювання.

В.П. Вологдін у грудні 1920 р. склав електрозварювальний агрегат, відпрацював способи зварювання і власноручно почав виконувати виробничі замовлення. Багато проблем Вологдіну і співробітникам його лабораторії довелось вирішувати вперше, відступаючи від перевірених традиційних технологічних прийомів, ризикуючи бути звинуваченими в безграмотності і нанесені шкоди. Однак Вологдін продовжував розширювати область використання зварювання, перш за все дугового, організував дослідження міцності, жорсткості та герметичності зварювальних з'єднань. Численними експериментами він довів, що зварюванню можна довіряти не менш відповідальні конструкції, ніж клепанню [347].

Створена ним зварювальна дільниця на “Дальзаводі” була перетворена в електрозварювальну майстерню. Її спеціальне обладнання складалось із кількох установок для дугового, контактного і ацетилено-водневого зварювання. Такі, змонтовані на візках, “агрегати швидкої допомоги”, як називав їх Вологдін, дозволяли виконувати роботи безпосередньо на судах.

В перший період майстерня займалась виконанням замовлень з ремонту суднових гвинтів і деталей механізмів. Але в 1921-1922 рр. вже проводили зварювання котлів водяного опалення та парових котлів (один із них тиском 1,2 МПа), за допомогою зварювання був виготовлений і локомотивний котел. У 1923 р. в майстерні виготовили бак, днище і покрівля якого діаметром більше 8 м були зварними. Сферична покрівля, яка не мала крокв, відмінно витримувала випробовування на велике навантаження. В майстерні виконували також дугове “холодне” зварювання чавуну з встановленням закруток, а потім і зварювання константовими електродами.

З ініціативи В.П. Вологдіна на “Дальзаводі” вже в 1923 р. був відкритий зварювальний цех. Однією з перших великих робіт цього цеху було встановлення в 1924 р. прольоту залізничного мосту через річку Амур поблизу Хабаровська (при встановленні клепаного прольоту на мосту частково використовували зварювання). В 1923-1924 рр. зварювання використали при виготовленні цистерн для масла місткістю 2000 т. кожна, баків для бензину місткістю 825 т, 100 рудних вагонеток та ін. [346].

З 1925 до 1928 рр. В.П. Вологдін - ректор Далекосхідного державного університету. Він організував лабораторію електродугового і газового зварювання, яка територіально розмістилась на “Дальзаводі”. А в 1927 р. на механічному факультеті Віктор Петрович відкрив зварювальне відділення для підготовки інженерів-зварників, перший випуск якого відбувся в 1929 р. [348]

Поряд з педагогічною діяльністю В.П. Вологдін продовжує займатися науковими дослідженнями і інженерною діяльністю. В 1927 р. була проведена велика серія експериментів і отримані дані про зварні посудини високого тиску. Накопичений матеріал дозволив приступити до виготовлення дослідного зварювання металеві ферми. Літом 1928 р. була зварена конвейерна естакада 25м для навантажувальних робіт у порту. В наступному році була побудована друга така ж ферма, а зимою 1930-1931 рр. – ферма масою біля 300 т і прогоном 36,6 м, до того ж зварювальні роботи проводили при температурі до -40°C . До 30-х рр. для побудови великих резервуарів використовували клепання. Перший в СРСР зварний нафторезевуар був побудований в 1929 р. на станції Большой Невер (Уссурійська залізниця) по способу підрушування, яке запропонував В.П. Вологдін [346].

В 1933 р. В.П. Вологдін наказом Наркомату важкої промисловості був переведений до Ленінграду, де очолив зварювальну групу технічного відділу Голоvmорпрому. Під його керівництвом були поставлені і вирішені такі важливі питання, як створення класифікатора браку зварювальних швів в суднобудуванні, обґрунтування технічних умов сталі для зварювальних корпусних конструкцій і зварних котлів, розробка нормативів часу для зварювальних робіт із обґрунтуванням коефіцієнтів використання часу горіння дуги, технічні умови для зварювальних газів та ін.

Першими вітчизняними морськими суднами, при побудові яких використовували зварювання у великому обсязі, були гідрографічні судна типу “Седов” (довжина 80,6 м) і криголами типу “Севморпуть” (довжина 104 м). При будуванні одного з суден цієї серії (“Леваневский”) суднобудівники вперше зіткнулись з несприятливими проявами зварних напружень в умовах малопластичного металу шва і неправильної послідовності складально-зварювальних робіт - появою тріщин і розривів металу конструкцій. В.П. Вологдін включився в розробку заходів запобігання цим явищам. Підсумком його робіт і

спостережень стали монографії про значення напружень і деформацій в процесі виготовлення і експлуатації зварних конструкцій.

З ініціативи В.П. Володгіна 28-31 січня 1936 р. в Ленінграді була проведена перша Всесоюзна конференція зі зварювання в суднобудуванні. З 1934 р. В.П. Вологдін – професор, а з 1935 р.- завідуючий кафедрою зварювання Ленінградського кораблебудівного інституту (ЛКІ). У той же час він виконував численні проектні роботи для потреб промисловості. До них можуть бути віднесені розроблені під керівництвом Віктора Петровича в 1940-41 рр. основоположні стандарти зі зварювання в суднобудуванні, в тому числі на електроди, форму і розміри зварних швів, позначення зварних швів в кресленнях та ін.

Під час війни, будучи евакуйованим із Ленінграду тяжко хворим, Віктор Петрович продовжував працювати. Він проводив консультації на заводах, писав монографії. Повернувшись до Ленінграду в 1946 р., В.П. Вологдін очолює кафедру зварювання, приймає участь у створенні великих суцільнозварних кораблів і суден, розробці Правил Регістра зі зварювання, керує аспірантами, багато сил віддає роботі в різних організаціях. Віктор Петрович Вологдін пішов з життя 14 жовтня 1950 р. [348].

4.5.3. Розгортання зварного суднобудування. У 1928 р. в СРСР була затверджена державна програма з розвитку промисловості. Суднобудівники були зобов'язані до 1933 р. побудувати 216 морських суден, 186 рибальських траулерів і кілька сотень річкових суден різного призначення. З цього часу почалося інтенсивне проектування зварених суден, підготовка кадрів зварників, розробка технологій. Швидкими темпами зростали обсяги зварювальних робіт на суднобудівних заводах Ленінграда, Миколаєва, Севастополя, Києва, Горького. До початку 1930-х рр. тут працювали сотні зварювальних постів.

Навесні 1930 р. у Владивостоці був збудований перший суцільнозварний морський катер водотоннажністю 30 т, довжиною 16 м, за проектом, спеціально розробленим під нову технологію [346, 347]. Незабаром по тій же технології була виготовлена серія подібних катерів, а також баржі вантажопідйомністю 100 і 250 т. Перехід на виробництво зварених суден дозволив заощадити 20% металу, на 30%

знизити трудомісткість, спростити конструкції корпусів. У 1930 р. у Радянському Союзі були затверджені "Правила застосування електрозварювання в суднобудуванні". У різних організаціях були створені відділи і лабораторії з проектування зварених суден. До 1931 р. відносяться і серйозні успіхи в річковому суднобудуванні. У Києві на заводі "Ленінська кузня" був зварений буксир "Білорусія" водотоннажністю 128 т. Испити суцільнозварного корпусу були проведені під керівництвом Є.О. Патона [349].

У США, а також у Росії на Далекому Сході, та й в інших країнах уже не складали корпуси суден за допомогою болтів. Суднобудівники повсюдно визнавали, що трудомісткість виготовлення зварених корпусів набагато нижча, ніж клепаних. Немаловажним фактором було зменшення ваги. Цю перевагу особливо оцінив уряд Німеччини - країни, якій за Версальським договором заборонялося будувати військові кораблі водотоннажністю понад 10000 т. Завдяки зварюванню на полегшених корпусах можна було встановлювати більш могутнє озброєння. Вже в 1926 р. у Німеччині була розроблена оптимальна технологія складання і зварювання броньованих кораблів зі зменшенням ваги корпусу майже на 20%. За порадою А. Круппа для зварювання броньованих плит почали застосовувати електроди з хромомолібденової сталі з покриттям, розробленим А. Строменгером. Дугове зварювання широко використовували у Франції при будівництві крейсерів типу "Дуплекс" і лінкорів типу "Дюнкерк". Першим французьким кораблем із суцільнозварним корпусом став "Шевальє-Поль" водотоннажністю 2750 т [350].

Замовники пред'являли суднобудівникам дві основних вимоги - зменшення ваги судна і підвищення його міцності. Тому протягом 1920-х рр. зусилля зварників були спрямовані на розробку нових конструкцій корпусу, що враховують переваги нової технології і зварювальних матеріалів. Слід зазначити, що першим зі зварювальних і споріднених технологій у процесі будівництва корабля було використане газове різання, що набагато полегшило процес розкроювання листів обшивки і балок суднового набору, припасування їх при складанні, а при ремонті - видалення старих заклепок [351].

У 1932 р. в оглядовій статті, присвяченій зварюванню на великих верфях США, відзначалося, що дугове зварювання покритими електродами, що плавилась, склала

95% обсягу всіх зварювальних робіт [351]. За рік було витрачено 150 т електродів з товстим покриттям. Газове зварювання застосовували для ремонту чавунних виробів, деталей з кольорових металів чи тонкого кольорового листа, при цьому ацетилену використано більш 50 000 м³, присадкового металу - близько 1,5 т. При виготовленні переборок і надбудов застосовували контактне зварювання, головним чином точкове. Термітне зварювання використовували рідко, в основному для ремонту форштевня й ахтерштевня.

У 1932 р. інженер Дж. Мур, оцінюючи ситуацію на верфях США, відзначав: "Зварювання в суднобудуванні вже пройшло свою експериментальну стадію і в даний час застосовується у виготовленні кожного судна. Обсяг застосування зварювання залежить від знань, уміння проектувальника, впевненості замовників у перевагах зварювання й оснащеності верфі необхідним устаткуванням, що дозволяє широко застосовувати зварювання" [352, с.31].

Конструкції перших суден, що будувалися за допомогою зварювання, нагадували клепані. Типи з'єднання - внапуск чи з накладками. Для з'єднання листів обшивки перевага віддавалася суцільному шву. Для з'єднання набору з обшивкою застосовували переривчасті шви.

Перша технологія складання, відома завдяки "Фуллагару" і яка отримала назву "клінкер систем", чи "накладного обшивання", полягала в тому, що між каркасом (елементами набору) і обшивкою уздовж крайок, що зварюються, поміщали смугу з такої ж сталі, деталі корпусу з'єднували на болтах, для чого свердлили отвори, що заварюються після видалення болтів. Американська технологія складання, розроблена компанією "Федерал шипбилдинг енд драй док" у Керні (штат Нью-Джерсі), виключала складання на болтах і обходилася при складанні прихватками. До елементів каркасу спочатку приварювали смуги, а потім до смуг притискали і приварювали листи чи обшивку палуби.

На початку 1930-х рр. при проектуванні суден у багатьох країнах уже враховували технологічні переваги зварювання. У 1933 р. Регістр СРСР дозволив перейти від з'єднань внапуск чи встик з накладками на просте стикове з'єднання. Однак гарантувати достатню міцність конструкцій корпусу було важке. Навіть при використанні електродів з товстим покриттям метал шва мав низькі пластичні

властивості. Сумніви викликала працездатність швів, підданих розтягуючому навантаженню, тому листи обшивки складали внапуск і з'єднували клепаанням. Набір до обшивання приварювали. Тільки коли вдалося досягти гарантованої якості зварених швів, у суднобудуванні остаточно відмовилися від додаткових елементів у конструкції з'єднань [353].

У 1934-36 р. в Ленінграді була виготовлена серія гідрографічних суден довжиною 81 м і криголамних суден - довжиною 104 м. Вони мали зварений корпус, за винятком з'єднання листів обшивки і настилу другого дна. Зварювання проводили крейдовими електродами. Міцність суден була підтверджена при успішному переході Північним морським шляхом.

У 1934 р. у США фірмою "Доломіт" була виготовлена за допомогою ручного дугового зварювання електродами фірми "А.О. Сміт" самохідна на Великих озерах. Набір виконаний зі сталевих швелерів. У лютому цього року був влаштований своєрідний іспит - судно розганялося з відстані 400 м і на повному ході врзалося в лід завтовшки 30см. Корпус залишався без ушкоджень. Завдяки герметичності зварених з'єднань суховантажна баржа легко перетворювалася в нафтоналивний танкер з чотирнадцятьма бункерами-баками по бортах [354].

У Великобританії в 1935 р. почалося будівництво великих суцільнозварних суден, серед яких виділялися танкери, в тому числі "Спирос Нааркос" водотоннажністю 47 500 т. Ще раніш, у 1930 р. на воду був спущений есмінець "Епервієр", що розвивав швидкість 36 вузлів, при будівництві якого листи з високоміцної сталі з'єднували ручним дуговим зварюванням. Англійські конструктори першими приступили до будівництва зварених спортивних і гоночних суден, застосувавши для набору труби круглого і квадратного перерізу.

Перехід на зварені з'єднання не тільки полегшив корпус судна, але й створив можливості для будівництва його посекційним методом замість подетального. Відпала необхідність розносити стики по окремих листах обшивки. Однак для широкого поширення секційного методу будівництва були необхідні виробничі будинки достатніх розмірів, було потрібно вирішувати задачу оптимальних способів членування на секції, враховувати деформації.

Співробітники будівельної служби ВМФ США Х. Воллін і Г. Шейд у 1932 р. відзначали, що застосування зварювання в суднобудуванні розвивається в двох напрямках: збільшення частки зварювання в зварювально-клепанних конструкціях великих суден і повна заміна клепання зварюванням при будівництві невеликих суден. У 1930 р. було схвалене будівництво буксирів і кількох інших невеликих кораблів цілком тільки за допомогою зварювання. Перший з них, водотоннажністю 300 т, збудований у 1931 р., мав корпус звичайної форми. Застосовували ручне дугове зварювання і газове різання, складання проводили на місці з прихватками. Основною перевагою, на думку будівельної служби, була економія ваги: маса стрингерів і бімсів зменшилася на 43%, загальна маса на 17%. Знизилася також вартість виготовлення [354].

4.6. Зварювання в авіабудуванні.

Контактне зварювання знайшло застосування в літакобудуванні вже в 1908 р., незабаром, після того, як у ряді країн було вирішено виготовляти основні вузли конструкцій літаків з металу. При виготовленні сталевих лонжеронів, стійок, розкосів, елеронів тощо використовувалося точкове і роликкове зварювання. У 1928 р. фірма "ФМ" зварювала відповідальні вузли літаків з дюралюмінію. На початку 1930 р. були проведені статичні й динамічні випробування на натурних зразках і моделях, які підтвердили можливість застосування контактного зварювання алюмінієвих конструкцій. У США з 1935 р. його почали використовувати фірми "Боїнг", "Дуглас" і "Сікорскі", майже одночасно в Європі - фірми "Фіат" разом з "Кантьєрі Аеронавтика д'Італія", що випустили перший металевий італійський літак [355,356].

В роки Першої світової війни застосування зварювання дозволило збільшити виробництво не тільки авіабомб (особливо великого калібру), але і випуск літаків, причому саме зварювання дозволило серйозно вдосконалити їхню конструкцію. Деталі кожуха авіаційного мотора "Ліберті" виготовляли зі штампованої сталі і зварювали, завдяки чому підвищилося відношення потужності до маси. Військово-повітряні сили США одержали літак, що перевершує за тактико-технічним даним

літаки інших воюючих країн. Цей же зварений двигун був поставлений у 1920 р. на найбільші у світі транспортні літаки, здатні нести більш 10 т корисного вантажу. Конструкція фюзеляжу таких літаків зі сталевих листів і труб була розрахована на виготовлення їх з використанням дугового і газового зварювання. Найбільших успіхів у освоєнні цих технологій досягла фірма "Інтернешнл айриел навігейшн".

У Німеччині в 1920-х роках для будівництва літаків були споруджені заводи, пристосовані для зварювання. Так, фірма "Фокер" широко застосовувала усі відомі види зварювання. Цілоком звареною була конструкція "Юнкерсів". Найбільш вдалу зварену конструкцію корпусу літака з трубчастих елементів розробили у Великобританії [356].

Як відзначає Е. Клекстон, що працював на заводі морської авіації "Лич айленд неві ярд" (США), "перша спроба зварювання корпусу аероплана з металевих трубчастих елементів закінчилася тим, що деформації фюзеляжу були настільки великі, що кормова стійка, яка повинна бути вертикальною, відхилилася угорі майже на 30см" [357, с.10]. Однак по мірі нагромадження досвіду вдалося розробити технологію складання і зварювання, що забезпечує задовільну якість виробу. Далі автор пише: "Розробку техніки застосування зварювання для виготовлення деталей аеропланів неможливо приписати якомусь одному заводу чи організації, тому що проблема застосування зварювання в авіаційній промисловості виникла повсюдно. Технологія зварювання відіграє велику роль у розробці літаків". Прикладом зварених вузлів, що мали низку переваг, може служити конструкція поплавців гідролітака з нержавіючої сталі, що зменшило їхню вагу [342, 358].

Однак вищесказане відноситься тільки до сталевих конструкцій літаків. До кінця 1920 р. в авіабудування приходять нові матеріали: високоміцні низьколеговані сталі й алюмінієві сплави (типу дюралюмінію). Технологія зварювання цих сталей не забезпечувала задовільної якості з'єднання.

Наприкінці 1920 р. трубчасті конструкції з високоміцних сталей виготовляли з застосуванням газового зварювання з наступною термообробкою тими ж пальниками. Зокрема, така технологія була застосована при виробництві чотирьох літаків "Чикаго". Практично одночасно в 1930-32 р. у СРСР (ЦНДІТМаш) і в США

(фірма "Флектвінг") були розроблені конструкції і технологія виготовлення літаків з корозійностійкої сталі (типу X18H9) [359,360]. Це були суцільнозварні апарати, виконані в основному контактним зварюванням [361,363]. Недовіру до дугового зварювання літакобудівники перебороли в середині 1930-х рр. після появи електродів з високоякісним покриттям і надійними способами контролю зварених з'єднань [364, 365].

4.7. Зварювання у виробництві сухопутного транспорту. Своєму інтенсивному розвитку автомобілебудування зобов'язано насамперед Г. Форду, який, організовуючи масове виробництво на конвеєрі, орієнтувався на застосування контактного, дугового і газового зварювання замість ковальського зварювання і клепання, за допомогою яких виготовляли перші моделі. Його замовлення були стимулом для вдосконалення технологій та устаткування. У свою чергу зварювання забезпечило високі темпи виробництва автомобілів. У доповіді М.М. Екмана, технічного директора компанії "Форд Мотор", повідомлялось, що у 1928 р. на заводах компанії було 320 машин для зварювання оплавленням, 540 машин для точкового зварювання та 25 машин для роликового зварювання. Про велике значення зварювання для розвитку автомобільної промисловості писали й інші фахівці. Конструкції шасі, кузовів, вихлопних труб, баків і ряду інших вузлів і деталей відразу проектували з урахуванням технологічних можливостей зварювання. Шасі у вигляді рамної конструкції перший час зварювали ацетилено кисневим полум'ям, потім дугою електродом, що плавиться. На початку 1930-х рр. вісі, глушники й інші вузли зварювали, використовуючи автомати, вугільною дугою в інертному газі [366-368]. Значна частина з'єднань приходилася на контактне стикове, шовне і точкове зварювання. Тільки на легковому автомобілі нараховувалося 1,5 тис. зварених точок. Завдяки зварюванню була досягнута повна герметичність закритого кузова і зменшена вага на 1200 кг.

У перші роки на заводах Форда випускали до 3000 автомобілів на рік, а в 1909 р. їхня кількість досягла 10 тис., в основному завдяки застосуванню стикового і точкового зварювання замість клепання. У 1928 р. на автомобілі моделі "Форд-А" нараховувалося близько 1300 зварених точок, на моделі 1932 р. їхня кількість склала 2000 шт. З'єднання всіх штампованих деталей корпусу, що кріпляться до шасі,

здійснювалося крапковим і роликковим зварюванням. У наступному році технологія була удосконалена - днище і дві бокові стінки зварювали за одну операцію на машинах із двома трансформаторами (потужністю по 250 кВА), причому чистий зварювальний час складав менше 10 с. В остаточному підсумку розвиток устаткування для точкового зварювання пішов по двох напрямках - створення кліщів (рухомих зварювальних постів) і створення численних машин (контактних машин - пресів). Також були вдосконалені і машини для роликкового зварювання [368, 369].

Відповідно до плану інтенсивної індустріалізації СРСР і рішення про розбудові автомобільної промисловості 31 травня 1929 р. “Амторг” (СРСР) уклав угоду із провідною в світі автомобільною компанією “Форд Мотор” [370, 371], за якою американська компанія повинна була забезпечити консультації та технічну допомогу в будівництві заводу з виробництва легкових автомобілів і вантажівок у Нижньому Новгороді, щорічно навчати на заводах компанії п’ятдесят радянських спеціалістів. Радянські фахівці, які приїхали до США, відзначили, що “Форд надав широку та повну можливість вивчення процесів виробництва як на своєму заводі, так і на інших заводах своїх постачальників та сприяв складанню договору про технічну допомогу іншим формам. Форд виділив значне число своїх фахівців для консультацій з вибору обладнання, розробці технічних умов для металів та інше. Він передав нашим проектувальникам весь свій архів конструкцій автомобілів, штампів та інструментів і надав можливість вивчення організації своїх підприємств. На підприємствах Форда понад 250 майбутніх робітників Горьківського автозаводу проходять навчання” [370, 371]. Технологічний проект заводу було виконано у Дейтройті та закінчено восени 1930 р. Одночасно фірмою “Остин і К⁰” у Кливленді було розроблено архітектурно-будівельний проект заводу. У списках обладнання, що надійшло на будівництво Автозаводу, була вказана значна кількість техніки американських фірм, які виготовляли екскаватори, бетономішалки, підйомні крани та інше. Серед них були машини для стикового контактного зварювання металоконструкцій. Вся техніка працювала надійно.

На той час, коли завершувалось будівництво корпусів, в СРСР надійшло обладнання для виробництва автомобілів. Це була високопродуктивна, найбільш

досконала техніка. Особливо важливим для розвитку зварювання в СРСР було ознайомлення радянських фахівців з контактними машинами “Д.Е.” та інших фірм.

У моторно-механічному цеху Ніжегородського автозаводу з виготовлення моторів було встановлено безпосередньо на лініях 11 зварювальних машин. Найбільша концентрація зварювального обладнання була в кузовному цеху. Безпосередньо з потокової лінії через зварювальні операції проходило 478 різноманітних деталей. У виробництві рам, дверей, кузовів, коліс застосовувалось в основному контактне та автоматичне дугове зварювання. У ремонтних роботах, наварюванні штампів та заварюванні дефектів переважало ручне-дугове і газове зварювання. У цехах працювали робітники, підготовлені американськими інструкторами, а також іноземні робочі, переважно американці [368]. Слід нагадати про деякі американські апарати для контактного зварювання, які вперше з’явилися в СРСР завдяки “Форд Мотор”. У СРСР довгий час найбільш поширеними були машини для стикового контактного зварювання фірми “Тейлор-Вінфільд” потужністю 250 кВА. Гідравлічний масляний осадочний механізм не вимагав від робітника фізичних зусиль навіть при зварюванні деталей з перерізом 1500 мм². Пневматичний затискуючий механізм дозволяв швидко та точно центрувати деталі.

Найбільш продуктивними були американські стикові машини “Свіфт” потужністю 400 кВА. Вони дозволяли зварювати вироби замкнутого контуру. Машинний час зварювання обода колеса перерізом 1000 мм² складав 4 сек. На думку радянських фахівців, ця машина була простою та надійною в експлуатації [160].

Із США в СРСР були доставлені також машини - преси фірми “Томсон Гібб”, призначені для рельєфного зварювання (виступами). Вони призначались для приварювання відразу кількома точками пластин, вушок та інших деталей і працювали швидше за звичайні машини для точкового зварювання.

На автомобільному заводі та деяких інших заводах застосовувалась рамкова зварювальна машина типу “Томсон Гібб” потужністю 150 кВА. Вона показала високу надійність та простоту керування основними механізмами. Швидкість подачі складала 1,33 м/хв, максимальна сумарна товщина зварюваних сталевих виробів – 3 мм. За зразком цих та інших американських машин для контактного зварювання заводом “Електрик” (Ленінград) і лабораторією Оргметалл (Москва) були випущені

деякі перші зварювальні машини в СРСР. Серед них трубозварювальна машина АШТ-60 заводу “Електрик”, на якій зварювали зі стрічки завтовшки 0,7...1,8 мм труби діаметром 30...50 мм [21, 160].

У грудні 1931 р. на заводі у Нижньому Новгороді був складений перший легковий автомобіль. 28 січня 1932 р. почалося складання вантажного автомобіля. Конструкція вузлів, їх компонування і форма цілком копіювали автомобілі Форда моделей 1931 р. “Форд – А” і “Форд – АА”. Обсяг виробництва радянських автомобілів у 1934 р. досяг п’ятидесяти тисяч.

Запущений у 1932 р. Горьківський автозавод ім. В.М. Молотова став одним з передових виробництв Радянського Союзу, бо перейняв найсучасніші методи технологічного процесу з досвіду американської автопромисловості. За рівнем зварювальної техніки, питомої ваги зварювання у виробництві, різноманітності і досконалості зварювального обладнання ГАЗ зайняв перше місце не лише в Союзі, а й у Європі. Достатньо вказати, що на ГАЗ було встановлено 250 зварювальних машин загальною потужністю 11633 кВА.

Експлуатація автомобілів показала їх високу працездатність, але все ж таки погані дороги в країні викликали швидке зношення деталей, їх руйнування. Потреба в ремонті і запасних частинах у декілька разів перевищила розрахункову, виробничі потужності вже не справлялись із їх випуском. Керівництво СРСР прийняло рішення розширити завод, підвищити випуск автомобілів і покращити їх конструкцію.

Початковий проект заводу був виконаний таким чином, що дозволяв значно розширити виробництво за рахунок як реконструювання старих, так і будівництва нових приміщень. Технологічне обладнання, яке виготовлено в основному фірмами США, працювало надійно і мало резерви підвищення продуктивності. При переході до виробництва нової моделі був обраний фордовський автомобіль моделі М-І 1934 р. із 4-циліндровими двигунами.

У зв’язку з переходом на металевий кузов моделі М-І кількість зварювальних операцій у кузовном цеху збільшилась з 277 до 539. Частина контактних зварювальних машин і всі апарати для дугового зварювання були виготовлені в СРСР. Нові установки для контактного зварювання поставила американська фірма “Тейлор-Вінфільд” та інші фірми. Вперше в Радянському Союзі було організовано

зварювання на рухомому устаткуванні на конвеєрі, що скоротило час на виготовлення вузлів у середньому в 2 рази. У цехах, які мали 110 одиниць зварювального обладнання, було додано ще 443 апарати різних типів [369].

Цікаво відзначити, що в списку науково-дослідних робіт, виконаних у 1936 р. за замовленням Горьківського автозаводу різними інститутами і лабораторіями Радянського Союзу записані тільки 2 роботи зі зварювання: "Дослідницькі заварювання блоків електродами Форда" і "Виправлення раковин циліндрів електродами газового зварювання". Всі інші теми були присвячені проблемам лиття, штампування та іншим. Мабуть, усе зварювальне устаткування і технологія працювали якісно. У списку дослідницьких робіт на наступний рік проблем за технологією зварювання не було. Зварювальна технологія та устаткування, перенесені із заводів Форда до цеху Автомобільного заводу у м. Нижній Новгород, застосовувалася ще багато років у незмінному вигляді [369].

Значення високих технологій зварювання, розроблених і впроваджених американськими фірмами, виходило за рамки автомобілебудування СРСР. У 1935 р. у передовій статті журналу "Автогенное дело" відзначалося: "Імпортування потужних американських контактних машин на ГАЗ і на ряд тракторних заводів, а, головне, потреби нашої промисловості, що зростають, загострили питання про виробництво в СРСР таких машин. Завод "Електрик" передбачає в програмі 1935 р. випуск значно більш потужніших машин у порівнянні з попередніми роками. Але найбільша потужність машин, що випускається в 1935 р. дорівнює 250 кВА. Наскільки ми відстали в цьому питанні, особливо видно, якщо порівняти ці вищевказані потужності з тим, що є в Америці. Багатоточкові преси мають 1000-1200 кВА, точкові 450 кВА, стикові - 500-700-800 кВА і т.д. Обережне і поступове підвищення потужностей контактних машин заводом "Електрик" нічим не виправдовується. Розвиток контактного зварювання в нас повинен базуватися на трьох принципах, що є вихідними для сучасного розвитку контактного зварювання в Америці, а саме: великі потужності, мінімальний час витримки й електродний матеріал, що витримує великі питомі тиски" [370].

Для створення та розвитку контактного зварювання в СРСР мало велике значення не тільки постачання обладнання зі США. Ряд радянських фахівців у 1930-

х роках виїздили на стажування у фірми США і Німеччини. Деякі з них стали відомими у галузі зварювального виробництва (Гельман, Катлер, Кочановський). Всесоюзне наукове інженерно-технічне товариство зварювальників (ВНІТТ) провело у 1935 р. у Москві спеціальну конференцію з контактного зварювання. До цього часу було видано збірник 16 перекладених статей, які висвітлюють закордонний досвід. На прохання ВНІТТ Американське зварювальне товариство підготувало спеціальний номер свого журналу, де провідні фахівці США описали наукові основи контактного зварювання, особливості конструювання машин, технологію зварювання різних металів. Завдяки допомозі компанії Форда СРСР в галузі автомобілебудуванні вийшов на світовий рівень [371].

Що стосується ремонту автомобілів, то на початку 1930-х рр. тільки в США нараховувалися тисячі ремонтних цехів, майстерень і станцій, де застосовували усі відомі способи зварювання, паяння латунними й олов'яними припоями, газове різання. Поверхні зношених деталей наплавляли ацетилено кисневим полум'ям із присадкою зі сталі, бронзи, латуні. Заварювали тріщини й інші дефекти в алюмінієвому литті (корпуси двигунів, коробка передач і т.п.) [372].

Швидка еволюція легкових автомобілів відбулася завдяки використанню зварювання при їхньому виготовленні і ремонті. Каркасні конструкції, до яких приварювали листові деталі кузовів, розробляли за технологіями, традиційним для клепання. Можливості зварювання дозволили використовувати кузови як корпус автомобіля. На основі конструкцій із труб з'явилися лонжеронні конструкції, а також конструкції з центральним несучим кузовом. Завдяки зварюванню розробники автомобілів змогли дешевше і швидше експериментувати, змінюючи форму автомобіля [373].

Крім виробництва автомобілів, із застосуванням точкового контактного зварювання для прикріплення обшивки до каркасу почали випускати суцільнометалеві пасажирські вагони. Досвід, отриманий при пуску перших автомобільних і тракторних заводів, послужив поштовхом до організації випуску потужних вітчизняних контактних машин поліпшеної конструкції, і водночас сприяв освоєнню нових технологічних процесів – рельєфного зварювання при виготовленні гальмівних колодок і коліс, шовностикового зварювання труб зі сталеві стрічки, що

безупинно згортається, точкового і шовного зварювання сталевих деталей з гальванічним покриттям і т.д.

Дугове і контактне зварювання вдало застосувала в 1933 р. фірма "Бад тепьюфектюринг" (США) при створенні швидкісного трамваю з нержавіючої сталі, здатного завдяки обтічній формі і полегшенню ваги досягати швидкості 50 миль на годину [353]. У 1927 р. в Італії почали випускати трамваї зі сталевим корпусом без каркасу, безпосередньо привареним до балок візка. Уже на початку 1920-х рр. суцільнозварні залізничні і трамвайні вагони почали виготовляти в США і майже в усіх Європейських країнах. Особливо вдалими були конструкції фірм "Фіат" (Італія) і "Пульманн Стандарт" (Німеччина) [374].

Дугове зварювання, що знайшло широке застосування в ремонті залізничного транспорту в Росії ще в 1890-х рр., за три десятиліття почали використовувати і при виробництві нових вагонів. Порівняльні натурні іспити вантажних вагонів, виготовлених дуговим і газовим зварюванням і клепанням на Брянському машинобудівному заводі, показали достатню міцність зварених зразків, а також економічність електрозварювання. Зварена рама пасажирського вагона Ленінградського заводу виявилася більш міцною, ніж клепана [207, 208, 375, 376].

У 1931 р. майже на всіх паровозобудівних і вагонобудівних заводах Радянського Союзу перейшли на зварювання вузлів і деталей: рам, візків, баків, резервуарів і ін. Перший суцільнозварний котел для паровоза був виготовлений Коломенським паровозобудівним заводом у 1932 р. Тут же цього року був побудований суцільнозварний блок і рама дизеля потужністю 800 к.с і, нарешті, суцільнозварний електровоз. [208, 376] Зварювання забезпечило економію металу і палива, дозволила зменшити вагу виробу. У 1934 р. у США на заводі "Хайслер локомотив воркс" був виготовлений швидкісний паровоз із суцільнозварним котлом, розрахованим на надвисокий тиск [195, 354]. До цього часу потужні локомотиви виготовляли з застосуванням зварювання в Бельгії, Данії, Італії, Чехословаччині.

4.8. Зварювання в мостобудуванні і промисловому будівництві

Це досить металоємкі галузі виробництва, тому заміна заклепкових чи болтових з'єднань на зварені, хоча б тільки для виготовлення елементів прольотів, могла дати

відчутну економію металу і зниження трудомісткості. Проте, мостобудівники не поспішали використовувати нову технологію. Основні сумніви викликала надійність і працездатність зварених вузлів. Вперше в мостобудуванні зварювання почали застосовувати як ремонтно-допоміжну операцію. У 1923 р. елемент жорсткості чавунного моста Шуереснес (Франція) був посилений сталевими листами, привареними дугою з використанням електродів, що плавляться [209, 377]. Найбільш ефективним було використання зварювання при ремонті віадуків в Ля Воль-сюр-Рон. Тут були не тільки заварені тріщини, але й із застосуванням дугового зварювання змонтовані додаткові опори для всіх чотирьох арок, що дозволило вдвічі збільшити припустиме навантаження на віадук. Цей спосіб посилення мостів широко використовувався і в наступні роки. Зокрема, у 1935 р. поворотний міст Брестського арсеналу був зміцнений привареними сталевими елементами загальною масою 300 т [209, 377]. У Великобританії перший міст (прольотом 20 м, розрахований на навантаження в 20 т) із застосуванням дугового зварювання покритими електродами був побудований у 1931 р. біля м. Х'юстона фірмою "Сер Вільям Ерроу". Ферми у вигляді швелера виготовляли з листів завтовшки близько 30 мм. До будівництва цього мосту в Великобританії вже був великий досвід ремонту і посилення прольотів мостів, зокрема в Лондоні і на Північно-Східній залізниці. Тут же, в Лондоні в 1933-34 рр. був зварений трипролітний міст, спочатку спроектований як клепана конструкція. Фактична вага мосту в порівнянні з проектною зменшилася на 20 %. Довжина цільного прольоту 19,2 м, загальна довжина - 64 м, ширина - 14 м. Основний обсяг зварювальних робіт був виконаний у цехових умовах [210, 378]. На початку 1930-х рр. у США вже були зварені прольоти кількох мостів.

З 1928 р. мости з використанням електродугового зварювання почали споруджувати під керівництвом В.П. Вологдіна. Так, у Владивостоці чотири зварники за 25 днів побудували зварний міст прольотом 25,08 м. Очевидно, це був перший зварний міст в Азії [211, 379]. У 1929 р. там же побудований другий міст прольотом 25,04 м, а в 1931 р. зварена мостова ферма, елементи коробчатого перерізу якої були складені з двох кутників [188, 346]. У 1935 р. в Японії побудований суцільнозварний міст "Едо баши" [187, 347].

Перший у СРСР залізничний міст із суцільнозварними наскрізними фермами прольотом 12 м був побудований у 1932 р. на Калінінській залізниці за проектом ЦІЗ НКШС. Конструкція пролітної будівлі цілком повторювала клепану. Зварювання виконували, використовуючи електроди з крейдовою обмазкою [212, 380].

У квітні 1928 р. у Польщі були прийняті нормативи на проектування і технологію спорудження великих металевих конструкцій за допомогою дугового зварювання. Ще раніше спеціальні інструкції були розроблені в Німеччині [381]. У 1930 р. недалеко від Ловича (Польща) був споруджений зварний міст через р. Слюдвию прольотом 16,8 м із прямими головними балками. На початку 1930-х рр. були зварені мости через канал Альберта в Бельгії, а також у Дрездені (Німеччина) і міст довжиною 85 м через ріку Абуса в районі Сталінська (СРСР).

Швидкими темпами збільшувалися обсяги зварювання в Чехословаччині. Базою для використання дугового зварювання став завод "Шкода" (Пльзень). У 1923-24 р. було змонтовано 9 постів для зварювання моторів, а в 1931 р. був побудований зварений мостовий перехід довжиною 49,2 м між північною і південною частинами заводу; міст важив 143 т. Відмова від застосування заклепок і болтів дозволила заощадити тут 30 т металу [382].

В 1927р. в Запоріжжі за планом ГОЕРЛО було розпочато будівництво найбільшої гідроелектростанції Дніпровського каскаду. Вперше в світі були спроектовані зварні конструкції затворів, трубопроводів та ін. (Ленінградськ. індустріал. ін-т., КБ «Гідромонтаж»). Металеві конструкції виготовлялися на Дніпропетровському заводі металоконструкцій, на суднобудівних заводах Ніколаєва та ін. На будівництві працювало декілька десятків тисяч будівельників, найкращі інженери країни. У спорудженні станції брали участь американські спеціалісти. П'ять гідрогенераторів для Дніпрогесу. були поставлені американською фірмою «ДЕ»; чотири гідрогенератори, напругою 13,8 кВ потужністю 77500 кВт кожний були розроблені у Державному електротехнічному інституті, виготовлені Ленінградським заводом «Електросила» і вважалися на той час найпотужнішими в світі. Загальна потужність Дніпрогесу становила 560000 кВт. Спорудження його стимулювало в Україні дослідження і проектування в галузі електротехнологій, підготовку відповідних спеціалістів, розгортання електротехнічної і будівельної

промисловості. Дніпрогес став основною енергетичною базою для розвитку машинобудівної, металургійної та інших енергоємних галузей промисловості Дніпровсько-Донбаського регіону.

Значний інтерес становить історія застосування електрозварювання в будівництві гігантів індустрії. Проти впровадження електрозварювання в спорудженні заводів категорично заперечували представники закордонних фірм, які в той час подавали технічну допомогу нашим будівництвам. Незважаючи на це, радянські спеціалісти–зварники з великою наполегливістю і енергією створювали зварювальні цехи, впроваджували зварювання при виготовленні відповідальних споруд. Застосування зварювання замість клепаання дало можливість досягти значної економії металу. Радянські спеціалісти підраховали, що коли б всі сталеві конструкції нових металургійних гігантів – Магнітогорського, Запорізького, Маріупольського, Криворізького – зварювати, а не клепати, то з зекономленого металу можна було б спорудити ще один металургійний гігант.

На будівництві Дніпрогесу ім. В.І. Леніна обсяг зварювальних робіт становив 13000 т. Металеві конструкції є першим в історії гідротехніки прикладом широкого застосування електрозварювання, причому цей перший досвід був проведений з великою сміливістю і в великому масштабі. Причиною, що спонукала на Дніпробуді вперше не тільки в СРСР, а й в усьому світі широко застосувати електрозварювання при виготовленні відповідальних металевих конструкцій гідроелектростанції (щитових затворів великих турбін, щитового затвору малої турбіни, щитових затворів водозливних прольотів греблі і ґрат перед вхідними отворами напірних турбін шлюзу, причальні тумби тощо), був, врешті-решт, економічний ефект. Застосування зварювання замість клепаання при виготовленні сталевих конструкцій Дніпрогесу давало до 30% економії металу, зменшувало затрату робочої сили, прискорювало строк введення електростанції в дію. Більшу частину основних гідротехнічних конструкції – 48 щитів греблі і 18 щитів гідроелектростанції – виготовив Миколаївський суднобудівний завод

Електрозварювання відіграло вирішальну роль і на інших новобудовах. Наприклад, на Криворіжбуді, «Азовсталі», «Запоріжсталі» зварні конструкції становили понад 65 – 70% всіх конструкції. Крокові ферми перекриттів, колони і її

бази, підкранові балки, газопроводи, резервуари і т.п. виготовлялися зварними. Монтаж кауперів підрощування провадили за допомогою двох металевих щогл вантажопідйомністю до 85т, на яких установлювали поперечну балку, що підтримувала каупер. Днище збирали з двох півкругів, підводили під готовий кожух і приварювали. Даний метод монтажу кауперів був прийнятий на Макіївському заводі; аналогічно були змонтовані газоочисники. Цей метод монтажу використовували й на інших будівництвах, зокрема на Ново-Маріупольському металургійному заводі «Азовсталь». Зварювальні роботи на будівництві «Азовсталі» провадила зварювальна контора Всесоюзного автогенного тресту. До початку її роботи на заводі було 40 трансформаторів типу СТ-2 і три електрозварювальні машини постійного струму. На «Азовсталі» чимало було таких конструкцій, що варилися вперше не тільки в СРСР, а й за кордоном. Під зварювання були перепроєктовані всі об'єкти, які передбачалося виконувати за допомогою клепання.

На початку 1930-х рр. у СРСР кілька різних суцільнозварних пролітних будівель залізничних мостів були спроектовані В.П. Вологдіним, Г.О. Ніколаєвим, Є.О. Патонем і виготовлені на заводі "Сталь-міст" (Дніпропетровськ). У 1935 р. прольоти довжиною 45 м з наскрізними фермами стали в той час найбільшими у світі [383]. Аналогічний зварний міст через водоспад Окопі (США) був коротшим на три метри. Одним з найбільших автодорожніх мостів був побудований у 1938 р. міст через р. Неву (Ленінград). Він складався з двох нерозрізних трьохпрольотних будівель з балками коробчатого перерізу загальною довжиною 123 м (прольоти довжиною 35,2, 41,3, 44,8 м). Між ними розміщалися два крила, головні балки яких мали двотавровий профіль. Поздовжні і поперечні балки зварювали в заводських умовах і подавали у вигляді монтажних блоків довжиною по 9-10 м до пристані, де їх перед завантаженням укрупнювали до остаточних. Зварювання виконували електродами з якісною обмазкою. Після ряду експериментів, виконаних М.О. Окербломом, було прийняте рішення стики складати з попереднім відгинанням листів [216, 384]. Мостовий шляхопровід довжиною близько 42 м на автомагістралі в м. Топека (США) був спеціально спроектований під зварювання і виготовлений у 1933 р. У роботі докладно [217, 385] описані конструкції основних елементів, наведені їхні креслення і зазначені розміри швів. У першій половині 1930-х рр. журнал АЗТ

систематично висвітлював досвід будівництва мостів у різних країнах. В одній з публікацій докладно описується технологія дугового зварювання покритими електродами чотирьох мостів в Австралії. Перший з них був спроектований у 1928 р. і побудований у 1929 р. П'ять зварених прольотів довжиною 80 м важили 22,6т [386].

З 1920 р. у США почали втілювати ідею спорудження каркасів будинків зі сталевих прокатів, що з'єднуються замість клепок зварюванням. Відразу ж було встановлено, що завдяки новій технології можна значно прискорити будівництво будинків. Так, будівництво багатопверхового госпіталю Каліфорнійського університету (США) здійснили за місяць. Для виконання швів загальною довжиною 3660 м були задіяні 10 електрозварювальних постів. У 1927 р. у Тинске (штат Нью-Джерсі, США) побудований перший залізобетонний будинок. Технологія зварювання арматури одержала назву "уелдкрит". У 1929 р. з застосуванням газового зварювання був споруджений великий цех фірми "Юніон карбайд" у Ніагаро Фолз [387].

До кінця 1920-х р. в окремих країнах Європи вже був досвід застосування зварювання, переважно дугового, у будівництві цивільних і промислових будинків. У Берліні (Німеччина) був споруджений павільйон для фірми "Сименс Шукертверке" довжиною 20 м, шириною 10 м і висотою 6,3 м. У Катовіце (Польща) з застосуванням зварювання було побудовано тринадцятиповерховий будинок, у Лозанні (Швейцарія) - двадцятиповерховий; у різних країнах були зведені інші будинки з каркасами зі сталевих колон і балок.

У 1930 р. у США розробили зварену конструкцію тридцятидвоповерхового будинку фірми "Каліфорнія Едісон", зведеного в Лос-Анжелесі. Завдяки використанню дугового зварювання вдалося позбутися громіздких вузлів кріплення балок до колон і зберегти необхідну міцність конструкції [388].

У цей же час у Варшаві (Польща) зводився найвищий будинок у Європі, металева конструкція якого була виготовлена з застосуванням дугового зварювання покритими електродами, що плавилась, і ацетилено-кисневого зварювання. Загальна вага; каркаса склав 1175 т. У порівнянні з клепаною конструкцією зниження ваги

склало 12% [389]. Використання зварювання дозволяло також значно скоротити час будівництва. Так, при раціональному розподілі обсягів зварювання металевих конструкцій будинку госпіталю в Бостоні (США) дев'ятиповерховий корпус довжиною близько 50 м, шириною 12 м і висотою 40 м, вони були складені і зварені на монтажній площадці двома зварниками менш ніж за два місяці. Укрупнені елементи конструкцій попередньо виготовили в цеху [390]. Одним з перших зварених перекриттів було перекриття машинного залу Київського політехнічного інституту (СРСР), конструкцію і технологію виготовлення якого розробив Є.О. Патон [391]. У будинку моделей у Туріні (Італія) було зварене перекриття бального залу діаметром 24 м з радіальними ребрами, одним кінцем приєднаними до внутрішнього кільця, а іншим - виступаючими за зовнішнє кільце на 4,5 м.

З кінця 1920-х рр. зварювання почали інтенсивно впроваджувати в промислове будівництво. У СРСР при спорудженні металургійних комбінатів, автомобільних і тракторних заводів, незважаючи на те, що в проектах, виконаних американськими і німецькими фірмами, було передбачено клепання, стали застосовувати дугове і газове зварювання. Так, при будівництві Уралмашзаводу (Свердловськ) у 1930 р. перейшли на зварювання будівельних ферм, колон, підкранових балок, міжповерхових перекриттів та ін. У Маріуполі в 1932 р. вперше була зварена рудна естакада. Там же, на будівництві заводу "Азовсталь", була розроблена оригінальна технологія виготовлення суцільнозварних кауперів методом підрушення. Помітним етапом у розвитку зварювання стало спорудження конструкцій Дніпровської гідроелектростанції в 1927 р. (Запоріжжя) [392].

Конструкція греблі Боїлдер через ріку Колорадо в Чорному каньйоні (США) розцінювалася як один із найбільш ризикованих інженерних проектів. Вода до турбін надходила з висоти більше 100 м через сталеві циліндричні колодязі з зовнішнім діаметром 10 м, складені зі зварених сегментів. До масивного каркаса сегменти кріпилися за допомогою болтів [393]. Зварювання виконували електродом, що плавиться, з якісною обмазкою відповідно до правил, розроблених для котлів. При багатошаровому зварюванні здійснювали контроль кожного шару. Після зварювання проводили термообробку. Одночасно зварювали зразки, що піддавали механічним випробуванням.

Економічні переваги застосування зварювання були викладені в статті, присвяченій будівництву тунелю в Бостоні. При будівництві сталеві кільця обшивки тунелю діаметром більше 30 м і шириною 70 см зварювали зі штампованих сегментів електродами, що плавилась, з газоутворюючим покриттям. Маса сталевих конструкцій тунелю складала 12500 т, а заміна технології клепання на зварювальну технологію дозволила заощадити 1 млн. дол. [394].

На початку 1930-х рр. зварювання великих будівельних конструкцій знайшло застосування й в Австралії. Зокрема, були споруджені перекриття у вигляді рами для цехів фабрик. Керував роботами А.Р. Мун, що приїхав незабаром в Англію, де в найкоротший час організував застосування зварювання в будівництві. Першою його роботою була реконструкція "Банк оф Інгланд". За кілька тижнів без припинення роботи банку були оновлені всі його холи. Витрати виявилися на 25% нижчими запланованих (якби використовували клепання) [395]. У 1935 р. у Великобританії здійснили зварювання великих конструкцій заводу Мюрена у Вольтем Крос і фабрики фірми "Квазі арк" у Більстоне. У цей же час у країнах Західної Європи було застосоване дугове зварювання при будівництві Національного історичного музею в Брюсселі, університетів у Генті та Л'єжі (Бельгія), будинку Литтори Тауер у Туріні (Італія).

У середині 1930-х рр. ЦНДІПроектстальконструкція (Москва) розробляє типові проекти конструкцій і методики розрахунку зварених кроквяних ферм, суцільних балок, колон. У цей період у ряді країн Європи зварювання вже застосовувалося для спорудження веж і щогл. Перші конструкції 500 опор ліній електропередачі гратчастої конструкції висотою 22 м з поглибленням у землю на 5 м були зварені в Бельгії. У 1934 р. у Мілані (Італія) зварена вежа висотою 116 м, вагою 180 т з 7000 м зварених сталевих труб при загальній довжині швів 4500 м [396].

У США дугове зварювання застосовували при будівництві таких складних специфічних споруд, як обсерваторії. Одна з обсерваторій з куполом висотою 12 м і діаметром 11 м була виготовлена фірмою "Джи кей велдінг". Зварене кільце з роликами, на які спирався купол, було приварене до забетонованих колон [397]. У 1934 р. для Чикагського і Клівлендського університетів (США) фірма "Патерсон ленч" побудувала обсерваторію з тридцятидюймовим рефрактором. Елементи

купола діаметром більше 20 м і висотою 25 м складали з профільного прокату на болтах, а потім зварювали [398].

Цікаво відзначити, що досить інтенсивне впровадження зварювання у виробництво зварених конструкцій наприкінці 1920-х - початку 1930-х рр. у капіталістичних країнах і в СРСР обумовлювалося різними факторами. Через кризу надвиробництва, що охопило економічно розвинуті країни, потреба в зварених конструкціях скоротилася, однак могутні електротехнічні і металургійні фірми прагнули в той же час знайти збут своєї продукції, частину якої складали зварювальне устаткування і заготівки металоконструкцій. У СРСР заміну клепаних конструкцій звареними, з метою економії металу і зниження трудомісткості відповідно до директив керівництва країни поширювали на всі підприємства, що брали участь у індустріалізації країни.

На початку 1920-х рр. стали виготовляти суцільнозварні резервуари. Піонером у цій галузі будівництва металоконструкцій був В. П. Вологдін, що організував зварювальне виробництво на Дальзаводе (Владивосток) [346]. У 1921-24 р. зробили зварювання котлів високого тиску, локомотивного казана, нафторезервуарів, 100 рудничних вагонеток, цистерн місткістю 2000 т і ін. Застосовуючи електрозварювання вугільним електродом і таким, що плавиться, В. П. Вологдін удосконалив конструкції ряду виробів і технологію їхнього виготовлення. У 1929 р. він розробив оригінальний метод виготовлення резервуарів. На заводі в зручних умовах зварили плоскі смуги - пояси стінки. Потім пояси згорнули в рулони, стежачи за тим, щоб напруження в металі не перевищили границь міцності. Згорнуті рулони доставляли звичайним транспортом на будівельний майданчик, розгортали і зварювали в кільце одним вертикальним швом. Складання резервуарів з кілець-поясів вели методом нарощування, підсуваючи під верхні пояси нижні і піднімаючи уже зварену частину. Однак цей спосіб мав істотний недолік - необхідність виконувати горизонтальні шви на вертикальній площині і піднімати значні маси при нарощуванні.

Перший котел із площею нагрівання 235 м^2 і робочим тиском 30 атм був виготовлений за допомогою дугового зварювання в 1925 р. у Великобританії. У цей

же час фірма "А.О. Сміт" ризикнула виготовити зварений апарат високого тиску для крекінгу нафти. Багатошарове зварювання стиків завтовшки 93,5 мм виконували електродами, що плавилась, виготовленими тією ж фірмою. У США в 1932 р. був споруджений сферичний газгольдер ємністю 4587 м³ із загальною довжиною швів понад 1500 м. Рекордною спорудою в цій галузі будівництва в 1930-х рр. став циліндричний резервуар обсягом 57 000 м³ висотою 56 м.

З 1915 р. зварювання застосовує фірма "Вестерн гес констрахшн" (США), що займається виробництвом устаткування для газопереробних заводів - починаючи від скрубєрів і газгольдерів і закінчуючи трубопроводами й арматурою. У 1924 р. ця фірма в Лексингтоні виготовила суцільнозварний газгольдер обсягом 430 м³, а через три роки в Альбіоні газгольдер обсягом 8400 м³. Зварювання виконували використовуючи голі сталеві електроди [399]. Однак "рекордної" для 1930-х рр. суцільнозварною ємністю був резервуар для води на 22 800 м³ у Сіті оф Мілуокі (США). Підставкою для бака служила бетонна подушка діаметром більше 50 м. Днище резервуара зварили зі сталевих листів завтовшки 9 мм. Потім монтувалися стіни. Перший (нижній) ряд був зварений з листів завтовшки 28 мм, вага кожного - 4 т. Наступний шар складали листи меншої товщини, а листи останнього пояса завтовшки 12 мм важили по 1 т. Дах бака також був зварений зі сталевих листів і в центрі спирався на колону [400]. У 1933 р. у США фірмою "Чикаго бридж енд айрон воркс" споруджений суцільнозварний газгольдер на 800 м³ діаметром 14 м з листової сталі завтовшки 15 мм [398].

Перший зварений трубопровід був виготовлений на початку ХХ століття у Франції під керівництвом Е. Фуше. Оскільки газове зварювання забезпечувало в той час більш якісне з'єднання, ніж дугове, цей спосіб стали застосовувати при будівництві трубопроводів і в інших країнах. Необхідно відзначити, що газ для освітлення і нагрівання в досить широких масштабах почав використовуватися ще з ХVІІІ ст. Трубопроводи виготовляли з труб діаметром 2-8 дюймів, з'єднуючи їх за допомогою болтів, що стягують фланці чи хомути. Крім великої трудомісткості виготовлення, такі трубопроводи не дозволяли збільшити тиск газу чи рідини, що пропускається. Нова технологія дозволила вирішити цю проблему [401].

У 1904 р. з труб діаметром 0,41 м компанія "Канзас нечурел даяз (США) здійснила зварювання трьох ліній газопроводу Канзас Сіті-Джоплін. Таким чином, був даний старт швидкому зростанню індустрії будівництва трубопроводів. У США в 1907 р. вперше застосували дугове зварювання покритими електродами [394]. З 1908 р. почала різко зростати потреба в нафтопродуктах - після того, як Форд налагодив серійне виробництво автомобілів. З цього часу в США щорічно будувалися сотні миль трубопроводів і значне число резервуарів, що продовжували поки що виготовляти за допомогою клепання. У 1917 р. використовували дугове зварювання електродом, що плавиться, з паперовим обплетенням для виготовлення трубопроводу довжиною 18 км (діаметр труб 76 мм). У 1920 р. були розроблені технології зварювання секцій поворотними кільцевими швами і зварювання прогонів з окремих секцій із виконанням неповоротних стиків. У 1924 р. в Техасі побудований зварений газопровід із труб діаметром 0,46 м довжиною 349 км. У середині 1920-х рр. для зварювання стали використовувати електроди фірми "А.О. Сміт". У 1930 р. був споруджений 480-кілометровий трубопровід від Чикаго до Техаса, а в 1933 р. фірма "Лінкольн електрик" виконала роботи зі зварювання трубопроводу довжиною 1770 км в Іраку, що складається з двох ліній труб діаметром 250 мм [401,402].

Конструюванням зварених посудин у СРСР керував В.Г. Шухов, автор перших у світі циліндричних резервуарів [403]. Починаючи з 1929 р. місткість резервуарів зросла з 300 до 5000 м³ (у 1935 р.). У 1937 р. були розроблені стандарти на зварені конструкції резервуарів. Ще в 1884 р. В.Г. Шухов спроектував і побудував перший у Росії нафтопровід довжиною 11км. По тому він же керував проектуванням і будівництвом перших зварених нафтопроводів: Баку-Батумі (883 км), побудованому з застосуванням газового зварювання в 1929 р.; Грозний-Туапсе (618 км) - із з'єднанням стиків газовим і дуговим зварюванням, а також муфтами з різьбою. Протягом 1933-1935 р. з використанням дугового зварювання був прокладений нафтопровід Гур'їв-Орськ. У великих обсягах дугове зварювання застосовували на заводах Дніпропетровська, що випускали різноманітну продукцію. Однієї з робіт, виконаних на заводі ім. Артема під керівництвом В. П. Нікітіна, було виготовлення

напірного трубопроводу для Єреванської ГЕС з тиском 5 атм (500 кПа) діаметром 1,9м [391].

Розширення мережі трубопроводів вимагало прискорення виробництва самих труб. У 1920 р. у США для виготовлення труб було застосоване дугове зварювання, а в 1922 р. компанія "Ейч Сі Прайо" розробила технологію контактного (роликового) зварювання подовжніх швів трубних заготовок. На початку 1930-х рр. через збільшення тиску в трубопроводах виникла необхідність збільшити товщину стінки труб (до 8 мм) [401].

В міру розширення виробництва зварених конструкцій збільшувалося число аварій, зв'язаних з новою технологією, накопичувалися дані про недоліки зварювання. Багато проектувальників і будівельників не довіряли новим способам з'єднання. Особливі побоювання висловлювалися щодо роботи конструкцій в умовах ударних навантажень.

З погляду поширення тріщин конструкція заклепкового з'єднання вигідно відрізняється від звареного. Відомий прийом "зупинки" тріщини - свердління отвору на її шляху - при клепанні є частиною технології. Зварені з'єднання монолітні, і тріщина легко переходить з однієї деталі на іншу. При зварюванні чи після нього існує серйозна причина для виникнення тріщин - локальне нагрівання, в результаті якого ще до початку експлуатації виникають деформації і напруження. При клепанні такого шкідливого фактору немає. Вироби не були розраховані на наслідки зварювання і проста заміна технологій часто приводила до руйнувань зварених з'єднань, конструкцій.

Ненадійність і тяжкі умови роботи багатьох металевих конструкцій змушували проектувальників і будівельників обережно ставитися до застосування зварювання. Наплавлений метал не мав гарантованою високої якості, а після зварювання з'являлася зона термічного впливу, залишалися деформації і напруження в з'єднаннях. Перші зварені конструкції копіювали клепані, проте було очевидно, що при повному використанні переваг зварених з'єднань, конструкції значно спрощувалися. Ентузіасти зварювання в різних країнах активно відстоювали свої позиції, однак для доведення надійності і працездатності зварених конструкцій необхідні були серйозні наукові дослідження. Одними з перших досліджень,

присвячених цій проблемі, були роботи Є. О. Патона [402]. У публікації до 60-річчя журналу Американського зварювального товариства "Велдинг джорнел" відзначалося, що цей журнал вчасно повідомляв науковій громадськості про роботи Є.О. Патона. Найбільший інтерес викликали результати порівняльних натурних іспитів клепаної і звареної балок [403]. Крім того, у зварювальній лабораторії Є.О. Патонам був виконаний комплекс досліджень працездатності зварених балок із трьох листів, наскрізних ферм різних типів, кріплень подовжніх балок до поперечних, стиків зварених балок, раціональних систем стрижнів з кутників. Результати цих і інших досліджень були враховані при виборі раціональних зварених з'єднань [404-406].

Протягом першої половини ХХ століття продовжували розвиватися військова техніка, транспорт, енергетика, збільшувалися розміри конструкцій, ускладнювалися режими експлуатації. Це супроводжувалося збільшенням товщини елементів і габаритів конструкцій.

Крім того, незважаючи на майже безупинне вдосконалення зварювальних матеріалів, якість зварених швів ще не була стабільною. До цього варто додати і низьку якість конструкційної сталі, що випускалася без врахування умов обробки, що змінилися, зокрема особливостей зварювання. Проте, було очевидно, що застосування зварювання дає значну економію металу і знижує трудомісткість, відкриває великі можливості для архітекторів, конструкторів і технологів у реалізації ідей створення складних просторових споруд.

На початку ХХ ст. вивчалось питання про художню вартість скульптур, виконаних за допомогою газового і дугового зварювання. У цілому доцільність застосування зварювання плавленням ні в кого не викликала сумніву. Але скульптори підійшли до оцінки зазначених технологій по-своєму: їх цікавили в першу чергу зовнішній вигляд місця з'єднання, форма і колір шва, навіть міцність зчеплення шлакової кірки зі швом, оскільки і ця технічна особливість зварювання могла бути використана для прикрашення. Майже відразу визначили сфери застосування різних способів зварювання. Газовим зварюванням почали з'єднувати фрагменти, виконані гальванопластикою чи отримані в результаті обковування кам'яних чи бетонних скульптур. В основному доводилося зварювати стикові

з'єднання міді завтовшки в кілька міліметрів (аналогічні задачі вирішувалися паянням). Така технологія майже не розширювала художніх можливостей, однак зменшила вартість виготовлення скульптур [340].

Значно розширилися творчі можливості скульпторів із застосуванням дугового і контактного зварювання. Великі скульптури почали споруджувати подібно іншим металокопціям (дирижаблям, кораблям). Зокрема процеси розмітки, рубання і механічної обробки заготовок, складання і зварювання були набагато простіші, ніж при традиційному виробництві скульптур (з виготовленням моделей, формуванням, литтям і наступною обробкою). Крім того, зварюванням можна з'єднати деталі практично будь-якої форми [340].

У Радянському Союзі на виготовлення першої великої звареної скульптури, точніше двох скульптур, скульптурної групи В.В. Мухіної "Робітник і колгоспниця", змушені були піти в зв'язку з дефіцитом часу і через складні умови транспортування і монтажу деталей. Фігури мали увінчати павільйон СРСР на Паризькій Всесвітній виставці 1937 року. І дотепер ця робота залишається переконливим свідченням високого рівня зварювання металів, у тому числі аустенітних сталей, досягнутого на початку 1930-х рр., і широких можливостей технологій і устаткування, розроблених зварювальним комбінатом "Оргаметал", заводом "Електрик", Інститутом цивільного повітряного флоту й Інститутом дирижаблебудування (керував роботами П.М. Львов) [336, 340].

До 1920 р. (перші три десятиліття після виникнення і промислових випробувань) електрозварювання, а також розроблене на початку ХХ в. газове зварювання застосовували переважно для ремонту клепаних сталевих конструкцій і литих виробів зі сталі, чавуну і бронзи. З використанням зварювання виготовляли окремі деталі і нескладні конструкції. Обсяг застосування помітно виріс із початком Першої світової війни; зварювання значно прискорило ремонт пошкоджених металокопціям.

Наприкінці 1920 –х початку 1930-х років особливих успіхів у розвитку зварювання в західних країнах не було. Але ентузіасти зварювального виробництва і великі фірми продовжують розробку обладнання і технологій. У цей період

конструкції, спроектовані раніше під технологію виготовлення клепанням, не зазнали істотних змін і містили елементи, розраховані на колишню технологію. Нові види техніки (авіація, наземний транспорт та ін.), що виникли одночасно з новими способами зварювання, створювали і розвивали з урахуванням можливостей досягнень дугового, контактного і газового зварювання.

У цей час в СРСР вже реалізовувався план соціалістичної індустріалізації, що його в 1925 р. проголосив XIV з'їзд ВКП(б). Слід відзначити, що особливу роль в індустріалізації відігравали роботи з електрифікації і машинобудування. Успішно реалізовувалися роботи за планом ГОЕРЛО. Будівництво нових заводів розгорнулось в багатьох регіонах країни. На протязі 1930-х рр. практично одночасно у всіх промислово розвинутих країнах відбувається вдосконалення металевих конструкцій і адаптація їхньої під технологію виготовлення за допомогою зварювання. Суднобудування, промислове і цивільне будівництво, різні галузі машинобудування переходять на виробництво оригінальних суцільнозварних виробів. Із застосуванням зварювання знизилася витрата металу і трудомісткість виробництва.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. У період завершення епохи індустріалізації зварювальне виробництво стає розвинутою наукоємною технологією, що сприяла вирішенню проблем сучасного машинобудування, електроніки, енергетики та інших провідних галузей виробництва. До значних імпульсів, що сприяли розвитку і виникненню нових способів зварювання, можна віднести такі історичні події: 1) перехід на крупномасштабне серійне виробництво нової техніки, зокрема, в автомобілебудуванні і виробництві електротехнічного обладнання (США, 1890-1910 роки); 2) ремонт суден і виробництво зброї (США, 1917-1918 роки); 3) прискорена індустріалізація, промислове будівництво (СРСР, 1927-1941 р.); 4) прискорене виробництво новітніх бойових кораблів (Німеччина, 1933-1940 р.); 5) широкомасштабне виробництво зброї в період підготовки і бойових дій Другої світової війни (США, СРСР, Великобританія та ін., 1940-1945 р.); 6) відродження зруйнованої в роки Великої Вітчизняної війни промисловості СРСР (1944-1955 р.).

2. Розробка Е. Томсоном та іншими американськими винахідниками зварювання опором негативно вплинула на розвиток дугового електрозварювання в США. Її розглядали там як імпортовану технологію. Незважаючи на рішення, запропоновані Коффіном, у цілому інтерес до неї був невеликий. Тільки в 1904 р. були впроваджені перші великі апарати для зварювання вугільною дугою, що було заслугою фірми "Болдуїн локомотив ворк", яка близько п'яти років застосовувала їх для технічного обслуговування свого локомотивного парку у Філадельфії.

3. Розвиток контактного зварювання в США, СРСР і деяких інших країнах стимулювався інтенсивним зростанням автомобілебудування. Нижегородський (Горьківський) автомобільний завод був спроектований і оснащений в основному устаткуванням фірми "Форд" і, у меншій мірі, установками кількох німецьких фірм. Різноманітні машини для контактної зварювання, поставлені Радянському Союзу, а також навчений американськими фахівцями інженерно-технічний персонал визначили напрямок розвитку контактної зварювання в СРСР.

4. У 1930-х рр. були розроблені раціональні конструкції вузлів машин контактної зварювання, винайдені матеріали з оптимальними властивостями для електродів, створені кілька десятків різних за призначенням машин, підвісних і переносних кліщів. Контактне зварювання знайшло застосування у виробництві труб, під час виготовлення вузлів і деталей літаків. Тоді ж почали розробляти принципи зварювання індуктованим струмом підвищеної частоти, конденсаторного зварювання, технологію і машини для приварювання шпильок. Широкого застосування й інтенсивного розвитку в зв'язку з серійним виробництвом автомобілів, зі створенням інших металевих конструкцій набуло точкове зварювання. У 1920-х рр. крім переносних кліщів і багатоцільових машин були створені зварювальні преси. У 1918 р. була розроблена промислова технологія рельєфного зварювання. До початку 1920-х рр. були розроблені машини для шовного зварювання.

5. У 1930-х рр. газоелектричне зварювання знайшло практичне застосування для з'єднання сталі й алюмінієвих сплавів товщиною до 6-8 мм. Найбільшого застосування набуло атомно-водневе зварювання і зварювання з газами і парою, що утворюються в дузі воднево-азотних сумішей і суміші водню з оксидом вуглецю. У

ті ж роки зроблені перші винаходи зі зварювання в атмосфері одноатомних інертних газів (аргону і гелію).

6. Істотні зміни в конструкцію і склад електродного покриття вніс А. Стромєнгер, увівши до складу обмазки азбест. Йому належать ідеї зварювання лежачим електродом, оброблення крайок металу великої товщини й інші вдосконалення техніки зварювання. Винаходи творців перших електродів послужили основою для подальшої розробки зварювальних матеріалів для дугового зварювання. До кінця 1930-х рр. були створені кілька конструкцій електродів, покриття основного і кислого типів, безводневі електроди, а також розроблені устаткування і технологія нанесення покриттів. У 1920-1930-х рр. набули розвитку технології ручного дугового зварювання штучними покритими електродами, чи пучком, комбінаціями електродів, що забезпечило задовільну якість металу шва при зварюванні найбільш розповсюджених конструкційних матеріалів; були сконструйовані десятки типів установок для нанесення електродних покриттів, у ряді країн створені високопродуктивні потокові лінії і побудовані спеціалізовані електродні заводи.

7. Одним зі шляхів удосконалення дугового зварювання в 1920-30-х рр. стало застосування багатоатомних газів, у тому числі і пальних, що беруть участь в енергетичних процесах у зоні зварювання й забезпечують додаткове нагрівання розплавленого металу ванни. Використання цих газів було спрямовано також на поліпшення якості металу шва як при зварюванні електродом, що не плавиться, так і електродом, що плавиться, (способи Александера, Мюнтера, Сефериана). Атомно-водневе зварювання, засноване на явищі дисоціації водню в електричному розряді й додатковому нагріванні ванни теплом, що виділяється при асоціації атомарного водню, розроблено в 1925 р. І.Ленгмюром.

Хронологія розробок електродів для дугового зварювання

1881р. - пучок електродів із центральним (вугільним) електродом, що не плавиться (М.М. Бенардос)

1888р. - металевий електрод без покриття, що плавиться, (М.Г. Слав'янов, Росія);

1905р. - електрод з обмазкою (вапно - силікат натрію) (О. Кельберг, фірма ЕСАБ, Швеція);

1905р. - нанесення покриття зануренням електрода в розчин силікату натрію (О. Кельберг);

1909р. - електрод з оплетенням з азбесту, що закріплюється силікатом натрію (А. Стромєнгер, фірма «Квазі-Арк-Велдінг», Великобританія);

1911р. - покриття зі шлаків і вапняного мулу (Е.Г. Джонс, Велика Британія);

1915-1920р.г. - стрижень із покриттям із гідроксиду заліза (іржа) (робітники-зварники США);

1916р. - «стрижень, обгорнений паперовою стрічкою із силікатом натрію» (О. Андрус і Д. Стресау, фірма «А.О. Сміт»);

1917р. - стрижень із нікельованого дроту з оплетенням з білого азбесту з покриттям з вапна, плавикового шпату й силікату натрію - основне покриття (Е.Г. Джонс);

1917р. - покриття з оксиду титану з силікатом натрію - рутильовий електрод (фірма «А.О. Сміт, США);

1918р. - покриття із плавиковим шпатом;

1920р. - покриття із залізним порошком (фірма «Електрик велдер», м. Глазго, Великобританія);

1920р. - механізація нанесення покриття (фірма «Квазі-Арк велдінг», Велика Британія);

1921р. - ручний прес для непроектного покриття (Ф.Вертман, фірма «Атель», Швейцарія);

1922р. - прес для видавлювання покриття (фірма «Еллоу велдінг продактс», США);

1924р. - потокова лінія з виробництва покритих електродів (Р. Мауч, завод «Аркос», Бельгія);

1924р. - здвоєний електрод напівкруглого перетину з ізольованими струмопідводами (Ж. Бетено, Франція);

- 1924р. - целюлозне покриття з силікатом натрію (Дж. Чайл, фірма «А.О. Сміт»);
- 1924р. - нанесення покриття методом обпресування (Дж.Дж.Чайл);
- 1925р. - стрижень із низковуглеродистої сталі з азбестом і феррохромом для зварювання корозійностійких сталей (фірма «Еллоу велдинг продактс»);
- 1926р. - покриття з окису заліза, марганцю, кремнію й графіту - «екзотермічний електрод для зварювання чавуну, кисле покриття» (Ф. Вертман);
- 1927р. - покриття з окалиною (фірма «А.О. Сміт»);
- 1927р. - покриття із целюлозного борошна, феромарганцю, оксиду титану з силікатом - електрод Е6010 (Дж.Дж. Чайл);
- 1928р. - покриття з вмістом залізного порошку більше 50% (В. Вилліген і Моерман, фірма «Филипс», Нідерланди);
- 1928р. - електродне покриття з оксидом титану й флюоритом для корозійно-стійких сталей (Дж.Дж. Чайл);
- 1930р. - електроди з основним покриттям з доданням графіту (для зварювання чавуну) (фірма «С.А. Енерджи», Бельгія);
- 1930р. - електродне покриття на мінеральній основі (М-20, М-60 і М-70) (Дж.Дж. Чайл);
- 1931р. - покриття з феррохрому й кремнієвої кислоти з алюмінієм, кремнієм і марганцем («термітний» електрод) (фірма «Атель»);
- 1931р. - покриття з ферромолібдену й кальцію з алюмінієм, кремнієм і марганцем (фірма «Атель»);
- 1932р. - покриття з ільменіту (Р. Саразен і В. Белер, Франція);
- 1932р. - дегидровані електроди (Р. Саразен і М. Монейрон, Франція);
- 1932р. -комбінований електрод для зварювання чавуну зі сталевого, мідного й латунного стрижнів (С.Т. Назаров, МВТУ ім..М.Е.Баумана);
- 1933р. – покриття з феросплавами для зварювання хромистої сталі (Л.К.Єршов, Оргаметал)
- 1934р. - покриття з оксидами заліза, кварцевим піском, польовим шпатом, крейдою, феромарганцем (типу ВЭТ, СРСР);
- 1934р. - покриття з ільменітом, оксидами заліза, марганцем, силікатом, крохмалем (типу ОММ) (А.А. Єрохин, К.В. Любавський, Оргметалл, СРСР);

1934р. - низководневий електрод (типу М-21) (Дж.Дж. Чайл);

1934р. - електрод з оплетенням у покритті (Е.Дж. Кларк, фірма «Мюрекс велдінг проусиз, США);

1935р. - електроди для зварювання різних чорних і кольорових металів: хардвелд, тулвелд, стайнвелд, алюмінвелд та ін.(фірма «Линкольн», США);

1935р. - стрижень зіркоподібного перерізу з волокнистим матеріалом і пастою (фірма «Томсон-Х'юстон, США);

1935р. - машина з екструзійним пресом і безперервною подачею дроту (Р. Саразен, Франція);

1936р. - пристрій для поштучного обпресовування стрижнів (В. Ленуар, Швейцарія);

1936р. - покриття з оксиду кремнію, карбонату магнію й глинозему (фірма «Вільсон велдер енд метл», США);

1936р. - електроди з покриттям з титанового концентрату, марганцевої руди, поташу й ін. для зварювання низьковуглеродистої і легованих сталей, наплавлення поверхонь, що зношуються (типу АН) (В.І. Дятлов, ІЕЗ);

1937р. – якісні товстопокрити електроди з кварцевим піском (типу ООМ) (О.А.Єрохін)

1937р. – целюлозні шлакоутворюючі покриття електродів для сталей (Є.М.Кузмак, ЦНДІМаш)

1938р. - рутилові електроди з целюлозою;

1938р. - нікель-молібденові електроди для високоміцних сталей (Дж.Дж. Чайл);

1939р. - електрод з оплетенням по покриттю (Пітерс і Гудвін, фірма «Вінзер ворк», Великобританія);

1939р. - електроди з фтористокальцієвим (основним) покриттям (типу УОНИ-13) (К.В. Петрань, СРСР).

1939р. – зварювання лежачим електродом (С.З.Штерлінг)

1940р. – зварювання наклоним електродом (П.Г. Гребельнік)

1950р. – зварювання пучком електродів (В.С. Володин)

РОЗДІЛ 5

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗВАРЮВАННЯ В СИСТЕМІ ЕВОЛЮЦІЇ МАШИННОГО ВИРОБНИЦТВА

Автоматизація виробництва є один з головних напрямків науково-технічного прогресу. При повної автоматизації технологічні процеси, в тому числі підготовка і регулювання, виконуються без безпосередньої участі людини відповідно до попередніх програм, що їх введено оператором. Але навіть часткова, і тим паче, комплексна автоматизація окремих процесів і об'єднання їх в загальні виробничі лінії, значно змінюють характер праці, забезпечує підвищення економічних показників.

Однією з основних напрямків розвитку зварювального виробництва була і залишається механізація і автоматизація усіх складових технологічних процесів. На протязі досліджуваного періоду інтенсивно розвивалася елементна база, з якої складалося зварювальне обладнання, що і визначило стадії автоматизації. Відповідно до системи елементів техніки розвиток автоматизації здійснюється поступово з поступовим з поступовим удосконаленням технології, що визначається однією стадією. Нова стадія починається із застосуванням нових науково-технічних засад при умові, що якісно покращуються технологічні показники відомих процесів, або навіть створюються принципово нові способи та процеси.

Автоматизація різних видів зварювання дещо відрізняється одно від одного, але загальним в першу чергу є керування процесами вводу енергій (нагріву, стиснення тощо) і переміщення впродовж лінії зварювання. Ці головні дії без доповнень можна віднести до газового зварювання і різання. Контактне зварювання вимагає автоматизацію таких дій: а) подавання і затиск деталей, що зварюють, б) регулювання і підтримки точного дозування і характеру зміни струму, в) “проковування” після обезструмлювання. Дугове зварювання вимагає ще складніших операцій, а саме: а) переміщення зварювальної головки і направлення її впродовж лінії зварювання, б) управління збудженням процесу, в) управлінням плавленням електрода, г) управління плавленням зварювальної ванни і формуванням

шва. Взагалі в системах механізації і автоматизації технологічних процесів необхідно мати: 1) інформацію про енергію (її параметрах) на входе, яка має пов'язана із системою контролю і вимірів, 2) систему управління кількістю і якістю "технологічною енергією" [407].

Б.Є. Патон заклав теоретичні основи систем регулювання зварювальних автоматів. Їм уперше проаналізовані як у статиці, так і динаміці системи з автоматичним регулюванням напруги на дузі і з постійною швидкістю подачі електродного дроту; визначені системи (джерело живлення - зварювальний автомат), на роботі яких вплив зовнішніх збурювань позначається в мінімальному ступені [408-411]. Роботи Б.Є. Патона по дослідженню процесів нагрівання і плавленню електрода, саморегулювання дуги стали теоретичною підставою для математичного моделювання дугового зварювання електродом, що плавиться, а від так і подальшої автоматизації технологій зварювання вже на електронній базі. У Секції електрозварювання і електротермії АН СРСР під керівництвом В.П. Нікітіна розроблена наукова класифікація систем автоматичного регулювання параметрів зварювальної дуги. В основу класифікації покладений розподіл систем по типі регулюючого впливу на параметри режиму зварювання [412].

5.1. Розробка джерел живлення і систем керування процесами електрозварювання.

5.1.1. Перші конструкції джерел постійного струму. Прогрес технологій у значній мірі залежить від властивостей джерел енергії. Вивчення теплових впливів струму, винахід дугового і контактного зварювання стали можливими з появою постійно діючих джерел електричної енергії.

Винахідник першого способу дугового зварювання М. М. Бенардос не мав у своєму розпорядженні джерело струму, здатного тривалий час забезпечувати в зварювальному ланцюгу струм більш 100 А й витримувати короткі замикання. Він використовував батарею акумуляторів необхідної потужності, що заряджається і підживлюється в процесі зварювання слабкострумовим генератором [169, 170]. Перший генератор, що забезпечує живлення процесу зварювання "прямо", був виготовлений М.Г.Слав'яновим у 1888 р. [239]. Джерела струму обох винахідників використовували в окремих випадках кілька десятиліть - вже після того, як почали

розробляти спеціальні джерела, що враховують особливості дугового зварювання [413].

Однак відомі до початку ХХ ст. генератори загального призначення мали серйозні недоліки: низький К.К.Д., недостатню стійкість дуги, складність керування тощо. Перед електротехніками виникла задача створення спеціальних зварювальних генераторів, що володіють кращими експлуатаційними характеристиками.

Наприкінці 1890-х рр. Ф.Ріхтер (фірма "Крупп", Німеччина) вдосконалив установку Бенардоса, виключивши батарею акумуляторів і забезпечивши порушення магнітного потоку полюсів генератора постійного струму за допомогою спеціального акумулятора, включеного послідовно в ланцюг аналогічно регулюючому реостату.

Від генераторів з постійною напругою, подібним до генератора М.Г.Слав'янова, зварювальна техніка досить швидко перейшла до генераторів з регульованою напругою, крім того, вони мали обмотку для забезпечення загасання коливань струму.

У 1904 р. Е.Розенберг (Австрія), займаючись динамомашинами для освітлення в потягах, винайшов генератор поперечного поля. На колекторі розміщені чотири щітки. Дві головні робочі щітки, розташовані по осі полюсів генератора. Допоміжна пара щіток розташована на нейтралі до потоку полюсів. На холостому ході при розімкненому ланцюзі щіток генератор забезпечував максимальну напругу. При підключенні ланцюга головних щіток від навантаження виникали потоки в послідовній обмотці і подовжній потік у якорі, створювані робочим струмом головного ланцюга і спрямовані по осі полюсів. Ці потоки діють зустрічно, і результуючий потік дорівнює їхній різниці. Поперечний потік, створюваний короткозамкнутою обмоткою якоря, є основним робочим потоком генератора і взаємодіє з потоками послідовної обмотки і подовжнім потоком якоря. Завдяки конструктивним особливостям полюсів, корпуса і якоря генератора подовжній потік, що розмагнічує, якоря безупинно зростає зі збільшенням зварювального струму, а результуючий потік у повітряному зазорі спочатку зростає при малих навантаженнях, а потім зменшувався при збільшенні зварювального струму.

Генератор Розенберга мав зовнішню падаючу характеристику і виявився придатним для ручного дугового зварювання електродами, що плавиться.

Розвиток електротехніки призвів до створення в різних країнах безлічі фірм, компаній, заводів по виробництву електродвигунів і генераторів. Перші джерела живлення зварники майстрували самі, ґрунтуючись на тому, що виготовляли для різних інших цілей. У першому десятилітті ХХ ст. у Німеччині і США почали випускати спеціальні зварювальні генератори.

З 1905 р. зварювальні генератори поперечного поля спочатку виготовляла фірма "АЕГ" [414]. До Другої світової війни генератори цієї системи випускали також фірми "Елін" (Австрія), "Сіменс-Шуккерт" (Німеччина) та ін. Конструкція генератора Розенберга з'явилася базою для розвитку зварювальних генераторів з обертовими частинами. Удосконалюванням схеми регулювання струму генератора займалися Бергманн, Кремер, Скотт й ін.

Перший зварювальний генератор у США був імпортований у 1907 р. з Німеччини Е.Зімундом (фірма "Зімунд-Венцель"). Генератор забезпечував струм до 200 А з регулюванням напруги від 15 до 60 В. Зімунд передав динамомашину А.Еспієсу (фірма "Крокер енд Кортіс електрик"), що скопіював її і випустив невелику серію мотор-генераторів з ремінним приводом [415]. Це джерело постійного струму впроваджували для зварювання електродами, що плавиться. Через два роки Д.Вестінгаус також почав серійне виробництво зварювальних установок постійного струму.

У 1907 р. перший генератор з регульованою напругою було виготовлено на заводі "Лінкольн електрик Компані", а фірма "Сі-Сі електрик Компані" зробила мотор-генератор. Його розробив інженер-електрик Артур де Еспієс, узявши за основу електричну машину німецького інженера О.Зимунда і врахувавши роботу першого спеціального генератора Славянова. У 1909 р. свій генератор постійного струму створив Джон Вестингаус. І, нарешті, зварювальні моторо-генератори стала випускати фірма "Д.Е.", очолювана Ч.А.Коффіним.

Найбільш широке застосування на самому початку ХХ ст. знайшов генератор Кремера, що відрізнявся від звичайних машин постійного струму системою обмоток

полюсів. Він мав три обмотки: серієсну обмотку, шунтову обмотку самозбудження, що діє в одному напрямку з обмоткою незалежного порушення, яка діяла в зворотному напрямку стосовно серієсної обмотки. При збільшенні струму, викликаному зменшенням опору робочого ланцюгу, серієсна обмотка зменшує магнітний потік генератора. Зниження напруги, що відбувається при цьому, на затискачах послабляє дію обмотки, яка викликає більш інтенсивне зниження ЕРС генератора зі збільшенням струму. При короткому замиканні зовнішнього (робочого) ланцюгу дія обмотки самозбудження практично припиняється. Для настроювання зварювального струму служить регулятор у ланцюзі незалежного порушення, регулятор у ланцюзі шунтового порушення дозволяє установити необхідну напругу. Струм короткого замикання встановлювався в залежності від сили струму в обмотці незалежного порушення і міг бути рівним, чи більше навіть менше робочого струму. Це було тим більш необхідно тому, що зварювання часто виконували голими металевими електродами, навіть без іонізуючих обмазок.

Система генератора Кремера дозволяла настроїтися на різноманітні режими роботи в процесі дугового зварювання і наплавлення і була прийнята за основу при розробці нових генераторів.

У 1907 р. фірма "Лінкольн електрик велдинг" (США), заснована за 12 років до цього Джоном К.Лінкольном для виробництва електродвигунів, налагодила випуск перших зварювальних апаратів перемінного і постійного струмів конструкції молодшого брата -Джеймса Ф. Лінкольна [416].

У 1907 р. О. Кьельберг (Швеція) обладнав дві зварювальних посади на шаланді. Джерелом живлення служили генератори постійного струму, що виробляють при 1250 об/хв напругу від 50 до 120 В. Обертання здійснювалося від парової турбіни.

У 1910-х рр. до виробництва мотор-генераторів постійного струму в США підключилися фірми "Д.Е." і "Вільсон велдер енд металз". Обидві фірми сприяли різкому підвищенню обсягів застосування дугового зварювання під час Першої світової війни.

Майже одночасно з розробкою спеціальних генераторів для зварювання були створені мотори для їхнього обертання. З'явилися виробничі електричні, бензинові і газові двигуни. Деякі з них були самохідними, частина постачали компресорами для

пневматичного устаткування. Такі установки застосовували для дугового зварювання в польових умовах і на монтажі ще в 1910-х рр. У роки Першої світової війни у військах Німеччини, Великобританії і США використовували вантажівки, обладнані зварювальними генераторами. Так, фірма "Вестінгаус" розташувала на кузові автомобіля генератор потужністю 26 кВт, що працював від бензинового двигуна 26 к.с. зі швидкістю 1150 об/хв, допоміжну апаратуру для обробки зварених з'єднань і кабель довжиною до 500 м. Фірма "Парсон-Мюркс" розробила перетворювач, що містив генератор, який забезпечував струм 200 А при 30 В і працював від газового двигуна.

У 1923 р. на принципі намагнічуючої рівнобіжної і розмагнічуючої послідовної обмоток збудження В.П.Нікітіним, К.К.Хреновим і А.О.Алексєєвим був сконструйований перший радянський генератор типу СМ-1, СМ-2, СМ-3 [417]. У наступному році почався серійний випуск цих машин для електрозварювання на заводі "Електрик" (Петроград). Джерела живлення продовжували удосконалюватися в лабораторії цього заводу. Були розроблені генератори декількох типів і розмірів, розраховані на роботу у діапазонах 50-200, 100-300 і 150-600 А. Зокрема, був сконструйований перетворювач, в одному корпусі якого розміщалися зварювальний генератор і електродвигун перемінного чи постійного струму.

Коли на початку 1930 р. була прийнята постанова про зварювальну спеціалізацію заводу "Електрик", там випускали вже більш 2000 од. зварювального устаткування. До кінця 1931 р. завод зайняв перше місце у світі за річним обсягом випуску зварювальних генераторів (8000 шт.). У 1932 р. у промисловості СРСР діяло 25 тис. зварювальних постів, з них більш 17 тис. з маркою заводу "Електрик" [418]. У 1931 р. на цьому заводі було опановано виробництво найбільш зроблених однопостових генераторів типу СМГ. У 1933 р. виготовлені перші багатопостові перетворювачі СМГ-3 і СМГ-4, агрегати САК-2-1 з бензиновим двигуном внутрішнього згорання.

Майже одночасно з машинними перетворювачами перемінного струму в постійний з'явилися лампові випрямлювачі. Вони склалися з трифазних трансформаторів, струм із вторинної обмотки яких надходив на випрямний блок. Такі перетворювачі знайшли досить широке застосування в європейських країнах,

менш помітне - у США. З 1924 р. фірма "Філіпс" розпочала серійний випуск випрямлювачів, єдиною обертовою частиною яких був вентилятор.

Як це нерідко буває в історії техніки, авторство великих розробок заперечували кілька фірм і винахідників. Не стало виключенням й створення першої моторно-генераторної установки. У грудні 1932 р. в журналі Американського зварювального товариства було опубліковане обговорення доповіді С.А.Уілса про проектування зварених виробів для металургійної промисловості. У статті повідомлялося, що експерименти її автора по ремонту сталевих виливків відносяться до того ж часу, що й поява першої моторно-генераторної установки, виготовленої в США винятково для цілей дугового зварювання. Ця установка-піонер була виготовлена в 1909 р. фірмою "Д Е". Однак у травні 1933 р. у тому ж журналі з'явилася стаття Д.Бурці, у якій він стверджував, що фірма "Сі енд Сі електрик", придбана фірмою "Бурці електрик" наприкінці 1920-х рр., почала продаж установок мотор-генераторів для дугового зварювання ще в 1905 р. Одна з установок була куплена фірмою "Частер стил кастинг" (Честер, штат Пенсільванія) і пущена в експлуатацію в квітні 1905 р. [419].

5.1.2. Джерела енергії перемінного струму і керування процесами дугового зварювання. Електротехніки в різних країнах світу намагалися освоювати перемінний струм для дугового зварювання. Його застосування обіцяло великі переваги, і в першу чергу, спрощення джерел енергії. У 1905 р. професор В.Ф.Миткевич у роботі "Про вольтову дугу", запропонував застосовувати для зварювання металів перемінний струм, у тому числі і трифазний.

Ще в 1920-х рр. у США і Німеччині було багато супротивників застосування перемінного струму для дугового зварювання. Основними аргументами були низька якість звареного з'єднання і труднощі підтримки горіння дуги. Проте, удосконалювання і поширення електродів з якісним покриттям для зварювання на перемінному струмі поступово завойовувало усе більше прихильників. На той час були розроблені штучні електроди з обмазкою, до складу якої входили речовини з низьким потенціалом іонізації (калій, натрій, кальцій тощо), що полегшувало порушення і підтримка дугового розряду.

Перші трансформатори для дугового зварювання на перемінному струмі були випущені в 1923 р. фірмою "Віко", спочатку невеликої потужності, а 2 роки по тому

- на струм до 1000 А при напрузі 90 В, причому такий трансформатор можна було підключати до мереж напругою від 110 до 500 В [420]. У середині 1920-х рр. одержали поширення також зварювальні машини перемінного струму фірм "Сіменс-Шуккерт", АЕГ (Німеччина) та ін. [421].

Застосування перемінного струму для дугового зварювання вугільним електродом не представляло труднощів. Однак зварювання електродом, що плавиться стало можливим тільки при нанесенні на металевий стрижень елементів, які легко іонізуються.

У 1928 р. у складі зварювального устаткування промислово розвинутих країн уже було декілька моделей трансформаторів, трансформаторів з котушками індуктивності й ін. Удосконалюванням зварювальних машин займалися фірми "Еллоу велдінг просессиз", "Аркос", "Парсонс-Мюрекс" (США), "Інгліш електрик" (Стаф-форд), "Прем'єр електрик велдінг" (Великобританія), "Сіменс-Шуккерт" (Німеччина) і ін. [421].

Широке впровадження зварювання в суднобудування і промислове будівництво, у виробництво інших металоконструкцій, що почалося наприкінці 1920-х рр. на Заході, незважаючи на економічну кризу, викликало значну потребу в різноманітних джерелах живлення - від потужних стаціонарних електричних машин до портативних трансформаторів. У випуску зварювальних джерел значну роль грали фірми АЕГ (Німеччина), "ДЕ" і створена у 1925 р. Н.С.Міллером фірма "Міллер електрик меньюфекчурінг" (США). У 1929 р. Міллер розробив чотирьокотушковий зварювальний трансформатор, а в 1936 р. - конструкцію трансформатора, перемінний струм високої частоти якого накладався на зварювальний струм, що полегшувало повторне порушення дуги. У Європі знайшов застосування аналогічний трансформатор конструкції Бетено.

Зазначені джерела перемінного струму успішно застосовували для зварювання електродом, що плавиться, без обмазки чи з тонкою обмазкою, а також вугільними електродами. К.Дж.Хольслаг (США), автор ряду стабілізуючих і шлакоутворюючих електродних покриттів, вводив у їхні склади іонізуючі компоненти. Зварювання такими електродами дозволило спростити конструкцію трансформатора, виключивши обвідки, що забезпечують імпульси підвищеної напруги [422].

Трансформатор мав двох вторинних обмоток, перша з яких була включена паралельно ланцюгу живлення 80 В, тоді як друга (внутрішня) - послідовно подаваній напрузі, і вона залишалась розімкнутої доти, поки існував контакт. При розробці зварювальних трансформаторів враховувалися "протилежні" вимоги - до коефіцієнта стабільності і продуктивності, і необхідністю мати напругу холостого ходу не нижче напруги на дузі у момент короткого замикання.

До кінця 1930-х років було сформульовано три принципи регулювання струму у зварювальних трансформаторах: з кількома виводами, з магнітним шунтом і з регульованим повітряним зазором; кожна зі схем має декілька статичних вольт-амперних характеристик, які відрізняються. Практика показала, що остання з цих трьох схем має в порівнянні з першою перевагу, що полягає в можливості плавного регулювання струму, а в порівнянні з другою - у більш високій напрузі холостого ходу. У системі з магнітним шунтом низьким значенням струму відповідає і низька напруга холостого ходу. При таких параметрах сутужніше виконувати зварювання електродами малих діаметрів, низька теплова інерція яких вимагає високих напруг холостого ходу.

Протягом 1920-х рр. були запропоновані різні конструктивні удосконалення для поліпшення експлуатаційних характеристик кожного з типів трансформаторів. Так, наприклад, у деяких варіантах виконання трансформаторів удавалося забезпечити більш низькі напруги холостого ходу при вимиканні з ланцюга чи резистора котушки індуктивності, починаючи вже з моменту збудження дуги. Були й інші конструкції (з ненасиченими магнітними ланцюгами, спеціальними обмотками тощо).

Трансформатори виявилися простіше в управлінні і дешевше у виготовленні, ніж генератори. Однак однофазне живлення обумовило низьку величину коефіцієнта потужності цих джерел. Для рішення даної проблеми був запропонований спосіб підключення конденсаторів паралельно мережі.

На початку 1930-х рр. у Радянському Союзі з'являються оригінальні зварювальні трансформатори. На заводі "Електрик" було налагоджено виробництво однокорпусного трансформатора В.П.Нікітіна - СТН, а трансформатор СТХ конструкції К.К.Хренова виготовлявся промкооперацією [417]. Це були

трансформатори з реактивними котушками, включеними послідовно у вторинний (робочий) ланцюг. Для невеликих зварювальних струмів Нікітіним був сконструйований трансформатор із внутрішнім реактивним опором, що являв собою комбінацію трансформатора та реактивної котушки. Перераховані джерела живлення мали падаючу зовнішню характеристику. В наступні роки на заводі "Електрик" опанували виробництво ще декількох типів трансформаторів, у тому числі СТЭ-3, СТЭ-24 і СТЭ-34 з номінальною силою струму до 450 А [418].

5.1.3. Джерела живлення і системи керування контактним зварюванням. Перший у світі спеціалізований трансформатор - для стикового контактного зварювання був розроблений Е.Томсоном у 1885 р. [261, 423]. По суті це була установка, що складається з багатовіткової первинної обмотки й одного витка вторинної обмотки перетином до 200мм² із закріпленими на кінцях затисками у виді струбцин, що стягаються пружинами. На наступний рік Е.Томсон виготовив більш потужне джерело, здатне дати струм до 200000 А при напрузі 1-2 В.

Системи керування подачею енергії для зварювання є найважливішою частиною зварювального ланцюга і, найчастіше, складовою частиною джерела енергії. При контактному, особливо точковому зварюванню в місці з'єднання за короткий час виділяється значна кількість теплоти, що вимагає застосування пристроїв для точного регулювання тривалості надходження енергії. Перші джерела струму для контактного зварювання Е.Томсона не були постачені якими-небудь системами контролю процесу за часом. Трансформатори включали і виключали вручну рубильником чи кнопкою в ланцюзі обмотки магнітного пускача.

У 1890-1900 р. були розроблені установки для контактного зварювання з вбудованим генератором постійного струму. Для зварювання використовували струм низької напруги великої потужності. Пізніше з'явилися установки з генератором перемінного струму. Регулювання струму в обох типах установок не представляло труднощів. Продовжували удосконалюватися й апарати живлення від трансформатора із секціонованими котушками первинної обмотки, що дозволило попередньо налагоджувати зварювальну напругу. Основні їхні недоліки обумовлювали перевантаження магнітного ланцюга, коли для роботи включали невелику кількість витків котушки первинної обмотки. Щоб звести до мінімуму

втрати, необхідно було виготовляти джерело живлення з високою точністю і використовувати автотрансформатор. Розміри і конструкція вторинного витка були розраховані на струм великої сили. Витки проохолоджувалися водою [260].

З появою більш потужних трансформаторів і установок для точкового зварювання почали створювати пристрої для керування магнітними пускачами, що включали чи припиняли подачу енергії до установки. Цю систему керування довгий час використовували в машинах для точкового зварювання з ручним чи ніжним керуванням. Серйозним недоліком перших машин для контактного зварювання, особливо шовних, була велика витрата енергії - "зайве" нагрівання зони зварювання відбувалося через тривалий вплив порівняно невеликої сили струму. У 1920 р. було запропоновано здійснювати подачу струмів великої сили, і в машинах встановили реле часу. Ролики оберталися переривчасто рух через фрикційну муфту і стопорний механізм. Для зменшення сили струму в період переміщення виробу у вторинний контур зварювального трансформатора включався елемент індуктивності. Сердечник індуктивної котушки був зв'язаний з роликами і переміщався під час їхнього русу, повертаючи у вихідне положення за допомогою пружини. Однак незабаром виявили, що чим більше сила зварювального струму, тим менше точність регулювання тривалості імпульсу. Тому довелося займатися удосконалюванням системи керування [263].

Регулювання параметрів струму і тривалості зварювання є важливими складовими технології, а апаратура керування - істотною частиною зварювальних машин. В апаратах Е. Томсона в первинній обмотці трансформаторів знаходилися відводи, переключенням яких регулювалася напруга у вторинній обмотці, як правило, що складалася з одного витка. Тривалість проходження зварювального струму контролювалася електромагнітною системою, що містить конденсатор, який живиться від резистора і включений паралельно обмотці соленоїда. У 1924 р. у схему була включена неонова лампа, завдяки чому струм міг проходити через систему тільки при напрузі строго визначеного рівня [267].

Наприкінці XIX ст. машини для стикового зварювання являли собою "порівняно простий пристрій" з електричним і механічним вузлами, робота яких керувалася педаллю. Перші пристрої для точкового зварювання мали вигляд кліщів. Два-три

десятиліття потому були створені кілька десятків різних за призначенням універсальних і спеціалізованих машин, а по розмірах - від величезних формувальних станів для виробництва труб і виготовлення автомобілів до підвісних і переносних кліщів .

Серйозною проблемою в розвитку контактного точкового зварювання з'явилося створення кліщів, що відрізняються високою маневреністю, легкістю і швидкодією. У перше десятиліття ХХ ст. у таких рухливих зварювальних установках генератори струму конструктивно відокремлювалися від механічних, пневматичних чи гідравлічних пристроїв для позиціонування і стиску. Довжина кабелю і шланга водяного охолодження складала 2-3 м, і, з огляду на втрати, доводилося підвищувати напругу вторинної обмотки зварювального трансформатора, а отже - його потужність і габаритні розміри [269].

Наступним етапом було створення кліщів із трансформатором, вмонтованим у рухливу конструкцію. Виникли нові проблеми - необхідність зменшити габарит трансформатора, збільшити питому потужність, звести до мінімуму втрати. З цією метою були застосовані трансформатори з броньовою магнітною системою, у яких первинна і вторинна обмотки були навиті і захищені магнітним ланцюгом, виконаної з листів кременистої сталі з орієнтованими кристалами. Первинну обмотку виконували з мідного дроту, а вторинну - з литої міді, із припаяними на срібло трубками-каналами для холодної води. У підвісних трансформаторах первинні обмотки чергувалися з витками вторинної обмотки, що збільшило питому потужність до 0,7-1 кВА/кг [269].

Серйозним недоліком перших машин для контактного зварювання, особливо шовних, була велика витрата енергії - "зайве" нагрівання зони зварювання відбувалося через тривалий вплив порівняно невеликої сили струму. У 1920 р. було запропоновано здійснювати подачу струмів великої сили, і в машинах встановили реле часу. Роликам надавався переривчастий обертальний рух через фрикційну муфту і стопорний механізм. Для зменшення сили струму в період переміщення виробу у вторинний контур зварювального трансформатора включався елемент індуктивності. Сердечник індуктивної котушки був зв'язаний з роликами і

переміщався під час їхнього русу, повертаючи у вихідне положення за допомогою пружини. Однак незабаром виявили, що чим більше сила зварювального струму, тим менше точність регулювання тривалості імпульсу. Тому довелося займатися удосконалюванням системи керування [273].

Регулювання параметрів струму і тривалості зварювання є важливими складовими технології, а апаратура керування - істотною частиною зварювальних машин. В апаратах Е. Томсона в первинній обмотці трансформаторів знаходилися відводи, переключенням яких регулювалася напруга у вторинній обмотці, як правило, що складалася з одного витка. Тривалість проходження зварювального струму контролювалася електромагнітною системою, що містить конденсатор, який живиться від резистора і включений паралельно обмотці соленоїда.

Істотне удосконалення схеми керування було здійснено в 1924 р., коли в схему реле була включена неонова лампа так, що через неї струм міг проходити тільки тоді, коли напруга досягала певного рівня. У 1932 р. після винаходу в США тиратрона - електронної лампи з газовим середовищем, що легко іонізується, на його основі були розроблені регулятори тривалості зварювання. Оскільки тиратрон пропускає тільки напівхвилю, то для контролю перемінного струму були потрібні дві лампи. Керування зварювальним струмом здійснювали через перемикач. Ця система знайшла застосування на машинах середньої потужності (до декількох кВА), однак під час експлуатації виявилися серйозні недоліки, зокрема, погано працювали переривачи [269].

У 1934 р., практично з моменту появи в США ігнітронів - ртутних вентилів з допоміжним (запалюючим) електродом, що керує запалюванням основного дугового розряду, виникло нове покоління пристроїв автоматичного керування процесом контактного зварювання. В наступні роки система керування контактними машинами, заснована на ігнітронах, вдосконалювалась. Були розроблені схеми керування ігнітронами, в яких використовували досягнення електронної техніки і застосовували допоміжні елементи (стабілізатори, підсилювачі і т.д.), а також елементи захисту.

У 1930-х рр. продовжували працювати над проблемою перевантаження мереж однофазними машинами, що викликало коливання напруги. Одне з рішень цієї

проблеми було знайдено в 1941 р. братами Маріо і Давидом Сіаки: воно ґрунтувалося на застосуванні трифазних джерел з випрямувачами [424].

До кінця 1930-х рр. конструкція (вузли, компоновання, архітектоніка) контактних машин набуло серйозних змін порівняно з вихідними зразками. Перші машини часто виконували, крім інших дій, проковування чи обкатування, і в деяких з них були передбачені механічні - у вигляді валів з кулачками - командоапарати. Продуктивність машин багато в чому залежала від швидкодії систем захоплення і стиску деталей, що зварюються. У пошуках оптимальних конструкцій були випробувані гідравлічні, пневматичні й електромагнітні системи.

Для регулювання циклу зварювання застосовували також механічні пристрої - кулачки, коноіди і подібні їм елементи, призначені для перетворення обертального руху у запрограмоване поступальне. З цими пристроями з'явилася можливість скоротити тимчасові інтервали керування контактором, і вони були застосовані в установках для точкового зварювання. При розробці пристроїв регулювання часу було виявлено, що ідеальним механізмом контролю часу є той, котрий визначає один цикл подачі енергії, тобто при частоті 60 Гц цикл склав $1/120$ с [425].

Для більш точного дотримання тривалості зварювання були впроваджені "електричні хронометри", у яких конденсатор заряджали за експонентним законом, і він був включений паралельно реле. Були апарати, реле яких вмикали у вторинну обмотку. У процесі експлуатації виявилось, що не тільки електромагнітну систему складно безупинно регулювати, але й "хронометр" чуттєвий до коливань напруги в мережі. Наприклад, із збільшенням напруги скорочувалася тривалість зарядки конденсатора, а отже, і тривалість зварювання. У ряді апаратів використовувалася тривалість розрядки конденсатора. Погрішності в дотриманні необхідної тривалості зварювання виникали також через інерцію контактів і механічних вузлів (кулачків, контакторів тощо). Такі системи керування не дозволяли досягти досить точної витримки часу, необхідного для точкового зварювання тонких аркушів (наприклад 0,08 із при струмі 4000 А для сталевого листа товщиною 0,25 мм) чи елементів з алюмінію або нержавіючої сталі [425].

У 1934 р. у США з'явилися нові регулятори, засновані на ігнітронах - ртутних вентилях, що складали так званий холодний катод, тоді як анод звичайно виконували з графіту. За допомогою електрода, що підпалює, миттєво виникала електронна емісія і, проходив струм. Ігнітрони витримували великі перевантаження струму. Два ігнітрона включали у схему перемикача машин для контактного зварювання. Тиратронне керування призначалося для машин малої і середньої потужності. Завдяки ігнітронам були створені машини потужністю більш 8 млн. кВА. Слід зазначити, що у всіх електронних пристроях керування роботою ігнітронів є тільки кінцевою частиною ланцюга. До кінця 1930-х рр. були розроблені конструкції машин, ланцюг регулювання потужності яких містив в собі комплекс елементів, необхідних для порушення ігнітронів і регулювання за фазою синусоїдальної напруги, конденсатори, що видають сигнали керування інтервалами зварювання і паузами, численні допоміжні, підсилювальні, захисні, сигнальні елементи.

5.2. Механізми регулювання, подачі і переміщення при дуговому зварюванні

Робота над автоматизацією процесу дугового зварювання електродом, що плавиться, зажадала створення не тільки голівок для подачі дроту, забезпечення захисного середовища і переміщення уздовж виробу, але і спеціальних джерел живлення, а також апаратури живлення. Так, наприкінці 1930-х рр. на заводі "Електрик" почали випускати дугові зварювальні автомати з тиратронним керуванням (зроблені за зразком фірми ДЕ) [426]. Однак у принципі процес дугового автоматичного зварювання інерційний і не вимагає високої точності регулювання тривалості технологічного циклу. Тому в практиці знайшли застосування системи керування, що виконують функції збудження і підтримки постійної довжини дуги, побудовані на електромагнітних реле і контакторах. Основним фактором, що визначає конструкцію зварювальної голівки, був принцип регулювання довжини дуги. Виходячи з цього, голівки розділяли на дві категорії: з плавною й імпульсною системами регулювання.

Голівки, що були створені наприкінці 1930-х рр. в ІЕЗ і що найшли застосування для зварювання голим дротом під флюсом, мали схеми плавного регулювання. Механізм, що подає, складався з диференціала з чотирма конічними зубчастими

колісьми, двигунів постійного і перемінного струму, електричної схеми управління подачі роликів і т.д. [427].

Автоматизація будь-якого технологічного процесу є одним з основних етапів технічного розвитку. При цьому основною задачею є зниження трудомісткості, поліпшення якостей продукції і підвищення продуктивності. Що стосується дугового зварювання, то якість звареного з'єднання в значній мірі залежить від правильно обраних параметрів режиму і їхньої стабільності, продуктивність - від швидкості зварювання, сили струму й ін. Виконувати ці умови в процесі ручного зварювання, особливо при що плавиться і переміщається з великою швидкістю електроді, протягом робочого дня надзвичайно важко. Ці обставини, що стали очевидними вже для винахідників перших способів дугового зварювання, змушували приділяти автоматизації значна увага.

Задача автоматизації дугового зварювання зводилася до створення систем порушення дуги, подачі електродів у міру їхньої витрати і підтримки заданої довжини дуги, переміщення дуги уздовж виробу, захисту зони зварювання. Системи подачі і переміщення електрода склалися з механічної частини, електричних приводів і інших елементів. Для захисту ванни і легування металу шва необхідно було знайти оптимальне середовище, що оточує розплавлений метал, розробити пристрій для створення такого захисного середовища і навчитися керувати металургійними процесами.

М.М. Бенардос ще в першому патенті запропонував кілька варіантів апаратів з механізмами, що підтримують задану довжину дуги [198, 199]. В основі їх лежав диференціальний регулятор В.М. Чиколева для дугових ламп. Регулятор пускали в хід від сердечника, що переміщався при зміні сили струму, що проходить через його обмотку. М.Г. Славянов, що вважав, що дугове зварювання електродом, що плавиться, виконувати вручну неможливо, розробив "плавильник" з одним і двома диференціальними регуляторами [236, 239]. Однак сердечники електромагнітів мали малий запас ходу, і періодично необхідно було додатково подавати електрод вручну.

При зварюванні неплавким електродом дуга запалюється легко і горить стабільно. Витрата електрода порівняно невеликої (вугільного - до 150 мм/год), і з задачею підтримки встановленої довжини дуги, а точніше напруги дуги, цілком справлявся

диференціальний регулятор. При зварюванні коротких швів обгорання електрода було в припустимих межах, автоматичний регулятор не був потрібний і механізація зводилася до розробки пристроїв переміщення. Так, для зварювання циліндричних виробів був розроблений верстат, що забезпечує обертання виробу навколо горизонтальної осі (М.М. Бенардос і Г. Говард). Електродом (дугою) проводили по шву як при повільному обертанні, з локальною ванною, так і при швидкому обертанні, з розігрівом до пластичного стану всього кільцевого шва і прокаткою місця з'єднання, тобто по суті виконували зварювання тиском.

У перших пальниках німецького винахідника Г.Т.Церенера обмотки електромагнітів були з'єднані послідовно з дугою. Дуга горіла з вугільних електродів, закріплених совісно чи під кутом. Пальника працювали на струмах 15-30 А при напрузі на дузі 40-60 В. Їх переміщали вручну. "Видування" дуги регулювали обертанням ручки, що знаходиться під великим пальцем зварника, у результаті чого переміщався полюс магніту. Такими пальниками зварювали сталь завтовшки 1-2 мм чи паяли. В останньому випадку до рукоятки прикріплювали спеціальний наконечник (жало), що нагрівалось безпосередньо дугою [428].

Обмотка електромагнітів у голівках з більш потужними пальниками живилася незалежно від джерела зварювального струму. Ці голівки мали значну масу. Їх підвішували на кран-балках. При струмі 100-200 А й напрузі на дузі 70 В можна було зварювати стикові з'єднання сталевих листів завтовшки до 5 мм. Соленоїд живився струмом 15 А. Г.Т. Церенер розробив різні конструкції кріплення і регулювання положення електромагнітів, зокрема пристрою зі сферичними шарнірами, ходовими гвинтами, із системами важелів з візками.

Для живлення дуги німецький винахідник використовував як постійний, так і змінний струм. У першому випадку його зварювальні голівки мали пристрій для компенсації нерівномірного обгорання електродів.

Роботи Церенера дали поштовх до пошуку нових конструкційних рішень. Так, у 1890 р. у Великобританії фірма "Електрик метал воркінг синдикейт" розробила голівку з електродами, спрямованими під кутом одне від одного, у якій був відсутній спеціальний соленоїд, а відхилення дуги викликалося магнітним дуттям. Слід зазначити, що спосіб Церенера забезпечував сталість параметрів дуги, і це його

перевага над способом ручного дугового зварювання електродом, що не плавиться, використовувалася при зварюванні непрямою дугою. Однак які-небудь міри захисту розплавленого металу не передбачали, і, природно, якість шва була гірше тієї, яку забезпечував спосіб Бенардоса. Спосіб Церенера застосовували обмежено до кінця XIX сторіччя [248].

Слід зазначити, що в цей же час у Франції розробляють електромеханічні пристрої для переміщення газових пальників. У 1911 р. механізоване зварювання впроваджується в США. На початку 1920-х рр. фірма "Ю. Е. Велдинг" (США) розробила газовий зварювальний пальник, у якій для регулювання витрати газової суміші, а отже і потужності полум'я, використовували голчасті клапани.

У -першому-другому десятиліттях XX ст. зварювання вугільною дугою в основному застосовували для ремонту автоматів, у тому числі і з подовжнім переміщенням електродотримачів чи виробу, що закріплюється на супорті, було небагато. Тенденція до механізації зварювання підсилилася з розвитком у ряді галузей промисловості серійного виробництва [248].

Перші автомати для дугового зварювання з безупинною подачею електродного дроту за допомогою електродвигуна були розроблені фірмою "Д. Е" у 1919 р. [429]. Вони призначалися для використання голого електродного дроту, чи дроту з тонкою іонізуючою обмазкою. Зварювання проводили на відносно невеликому струмі (300-400 А), діаметр електрода складав 4-5 мм, зварювальна голівка мала малопотужний електродвигун, обертання від який передавалося ведучому ролику через шестерний редуктор. Зварювальний струм підводили до дроту окремим роликом. У ланцюзі обмотки збудження двигуна подачі малося електромагнітне реле, що спрацьовує при зміні напруги на дузі. При короткому замиканні, з якого починалося порушення дуги, електродвигун одержував таке обертання, щоб підтягти електрод нагору. Потім спрацьовувало реле, і напрямок обертання двигуна змінювалося. Недоліком цієї системи подачі була велика тенденція. Якір, що обертався з великою швидкістю, часто не встигав змінювати напрямок обертання, дуга чи обривалася електрод устигав приваритися.

Подібні автоматичні зварювальні голівки в 1920-х рр. випускали фірми "Линкольн" і "Вестингауз" (США), фірми АЕГ і "Сименс-Шукерт" (Німеччина), фірми "Елін" (Австрія), "Саразен" (Франція), "Метрополітен вкерс" (Великобританія), АСЕА (Швеція) [125].

Розвиток ручного дугового зварювання електродом, що плавиться, з обмазкою, що забезпечує захист і легування металу шва, наштовхувало на думку подавати за допомогою механізму штучні електроди. Такі автомати були розроблені фірмою О. Кьельберга. Проблеми з якістю металу шва значно зменшилися, тому що матеріал електродного покриття виконував тут такої ж функції, як і при ручному зварюванні.

Однак у моменти переключення дуги з одного електрода на іншій у шві утворювалися дефекти. Проте апарати з механізованим зварюванням штучними електродами знайшли застосування в якості стаціонарних зварювальних і особливо наплавочних автоматів.

Досвід експлуатації автоматів перших конструкцій показав, що для створення надійної апаратури впливало вирішити серйозні проблеми. Якщо для ручного дугового зварювання не потрібно ніяких пристосувань крім електродотримача і відомих елементів зварювального ланцюга, то при автоматичному зварюванні необхідні системи, що виконують функції порушення дуги, підтримки параметрів режиму при плавленні електрода і при випадковій зміні вильоту і дуговий проміжку, припинення переміщення при обривах дуги й ін.

Наприкінці 1920-х рр. багато розроблювачів автоматів відмовилися від принципу керування процесом зварювання шляхом зміни режиму обертання двигуна. Були запропоновані конструкції вузлів, що подають, у яких інерційні маси були зведені до мінімуму. Необхідність у реверсуванні двигуна відпала, тому з'явилася можливість використовувати двигуни перемінного струму з постійною швидкістю обертання.

Одну з перших цю ідею втілила в життя фірма "Вестингауз". У розробленому нею автоматі голівка складалася з двигуна, що обертається увесь час в одну сторону, а зміна обертання роликів, що подають, здійснювалося фрикційною конічною передачею. Напрямок обертання фрикційного колеса (фрикціону) з вертикальною віссю, а отже і напрямком обертання роликів, що подають, залежить від того, яке з

горизонтальних фрикційних коліс до нього притискається. Інерція фрикційної передачі була значно менше, ніж двигуна, і такі зварювальні голівки працювали краще, ніж голівки з реверсивним двигуном. Керування подачею електродного дроту здійснювали за допомогою електромагнітного реле, включеного паралельно дузі. Мотор голівки був з'єднаний з валом горизонтальних фрикціонів напівтвердою муфтою й обертав їх в одному напрямку з заданою швидкістю. Відомий фрикціон з вертикальною віссю був з'єднаний з редуктором, на вихідний вал якого насаджений ведучий ролик. Електродний дріт притискався до нього неодруженим роликом. Горизонтальні фрикціони переміщалися під дією пружини й електромагнітів, керованих реле.

Голівки з фрикціонами виготовляли фірми "Д.Е." і "Вестингауз" (США), завод "Електрик" (Ленінград) і ін. Однак такі апарати мали складну кінематичну схему, багато часу займало реверсування, і з 1937 р. їхній випуск повсюдно припинився [430].

Одна з перших оригінальних зварювальних голівок у СРСР була розроблена в 1927 р. на Харківському електромеханічному заводі Р.І. Лашкевичем [431].

Ще одну зварювальну голівку з електромеханічним регулюванням довжини дуги створив у 1932 р. Д. А. Дульчевський, Інститут реконструкції тяги (Москва). У його автоматі ексцентрик передавав зворотно-поступальний рух важелю, шарнірно зв'язаному зі скобою, на якій закріплені гальмові колодки. Ці колодки охоплювали з двох сторін обід диска, посадженого на одну вісь з роликом, що подає. Довжину дуги регулювали пружиною й електромагнітом, зусилля якого залежало від сили зварювального струму. Автомати цієї конструкції, виготовлені в невеликій кількості, якийсь час застосовували для наплавлення паровозних і вагонних коліс. Однак, незважаючи на порівняно просту конструкцію і малу інерцію, автоматам мали недоліки, звичайні для пристроїв з електромеханічним регулюванням дуги.

Інтенсивна робота зі створення зварювальних автоматів велася під керівництвом Є. О. Патона в Електрозварювальній лабораторії з 1930 р. У 1931 р. була розроблена перша модель, у якій були відсутні реле реверсування двигуна й електромагнітні муфти. Запалювання дуги вироблялося за допомогою пристрою, що приводився в дію стиснутою пружиною [432]. Однак цей механізм через швидкодію працював

ненадійно. У 1934 і 1936 р. були сконструйовані ще два типи голівок [433, 434]. Остання модель автоматичної голівки складалася з епіцикличеською диференціальною зубчастою передачею, що приводиться в дію двома електродвигунами за допомогою двох черв'ячних передач, що самогальмуються, що робило кожен двигун незалежним. Напрямок обертання електродвигунів установили так, що при роботі одного з них ролик, що подає, обертався, наприклад, у напрямку подачі електродного дроту вниз, а при роботі іншого - у протилежну сторону, що викликає рух електрода нагору. При одночасній роботі обох електродвигунів кількість оборотів ролика дорівнювало різниці кількостей оборотів кожного двигуна. У залежності від обраних передаточних чисел, а також напрямку обертання і кількості оборотів електродвигуна могли мінятися число оборотів і напрямок обертання ролика, що подає електродний дріт. Ця голівка не мала іскрових реле, електромагнітних муфт, що регулюють пружин, тобто був більш надійною і простію у керуванні, чим моделі інших систем, і тому була узята за основу для подальшої модернізації.

У 1940 р. в ІЕЗ заступником директор П.П.Буштедтом була створена голівка з удосконаленою механічною й електричною частинами - автомат А-66. У механічній частині складна епіциклическа передача була замінена диференціальною передачею з чотирма конічними зубчатками, більш надійною завдяки спрощенню кінематичного ланцюга і зменшенню кількості ланок і люфтів у них. Ця голівка виявилася кращою на той час, і було налагоджено її серійне виробництво. Саме голівку-автомат А-66 використовували на початку 1940-х рр. для впровадження зварювання під флюсом голим електродним дротом.

Слід зазначити, що абсолютна більшість закордонних і вітчизняних зварювальних голівок були спроектовані для роботи на постійному струмі. Однак магнітне видування дуги і нестабільна швидкість подачі електродного дроту при коливаннях напруги струму, що живить двигуна, було причиною частого браку зварених з'єднань, що викликало недовіру до автоматичного зварювання. При зварюванні на перемінному струмі магнітне дуття виключалося, проте реле, що регулює подачу електрода, працювало погано. У 1933 р. завод "Електрик" (Ленінград) приступив до

випуску автоматів для зварювання на перемінному струмі, у яких реле живилося через випрямлячи.

З 1938 р. автомати ІЕЗ були пристосовані до роботи як на перемінному, так і на постійному струмах. Один із двох двигунів автомата обов'язково живилися постійним струмом, а іншої - тим родом струму, на якому здійснювали зварювання. При зварюванні на перемінному струмі для живлення одного двигуна постійний струм одержували за допомогою купроксного випрямляча.

Зварювальні голівки, що працюють на перемінному струмі, продовжували удосконалювати й у Ленінграді. У 1935 р. А.Б. Шапиро в лабораторії заводу "Електрик" розробив голівку АГЭ-1, що живиться тільки перемінним струмом [435]. Успішна робота зі створення апаратури для автоматичного зварювання проводилася в МВТУ ім. М.Е. Баумана і на Харківському електромеханічному заводі.

У пошуках оптимальної конструкції зварювальних голівок були пропозиції використовувати для руху електродного дроту пневматичні, гідравлічні й інші двигуни. Так, у конструкції, розробленою фірмою "Юна" (США), застосовували дві повітряні турбінки, до яких через сопло можна підводити струмінь стиснутого повітря з заводської мережі. Сопло було закріплено на осі і зв'язано з пружиною й електромагнітом. При неодруженому ході сопло повернене так, що струмінь вдаряє в лопатки лівої турбінки, те чого через черв'ячну передачу приводиться в обертання ліва шестірня диференціала, обертаючи ролик, що подає, таким чином, що електродний дріт подається до деталі, що зварюється. При короткому замиканні спрацьовував електромагніт, обмотки якого включені в зварювальний ланцюг, і сопло поверталось так, що повітряний струмінь обертав праву шестірню диференціала, і дріт йшов у вгору. У процесі зварювання повітря попадало на обох турбінки, але впливав на ліву турбінку сильніше. Швидкість подачі мінялася в залежності від різниці швидкостей обертання турбінок. При рівній потужності з електродвигунами, турбінки були помітно легше, а вся голівка - більш компактною.

Слід зазначити, що в 1920-30-х рр. конструктори автоматичних зварювальних голівок прагнули не тільки до того, щоб точно повторити процес ручного зварювання, але і використовувати засобу поліпшення якості металу шва, застосовувані розроблювачами електродів. Очевидно, що переваги автоматичного

зварювання не приймалися в увагу, якщо якість з'єднання бути значно гірше якості, що досягається при використанні інших технологій. Доти поки велося зварювання вугільним електродом, проблем з підведенням зварювального струму не було. Повільно витрачався вугільний електрод можна було подавати кожним з описаних вище механізмів, а струмопідвід був нерухомим [436].

Відносно просто вирішувалося питання з підведенням струму до голого електродного дроту чи дроту з тонкою іонізуючою обмазкою при невеликому струмі. Тут за роликми, що подають, як правило, що мали насічку, ближче до дуги розташовувався мундштук, з'єднаний зі зварювальним кабелем. В електродах з тонким покриттям контакт здійснювався через ушкоджену в місцях насічки обмазку. Проблеми виникли з подачею електродного дроту, що має товсте покриття. На відміну від штучних електродів, у тому числі подаваних автоматом, коли струмопідвід здійснювався через верхній кінець стрижня, електродна дріт практично необмеженої довжини повинний мати частину поверхні, вільну від обмазки, що необхідно для контакту з струмопідводом. Крім того, саме електродне покриття повинне бути еластичним, не тріскатися при згортанні в бухту і при стиску роликми, що подають.

Створення спеціальних зварювальних матеріалів, що враховує особливості механізмів, що подають, велося одночасно з конструюванням зварювальних голівок. У свою чергу, конструкція і властивості зварювальних матеріалів вимагали розробки особливих пристроїв для підготовки і подачі їхній у зону зварювання. У 1933 р. фірма "Д.Е." і ряд інших фірм випустили "ковзні" і "стрічкові" голівки. У першій з них обертовий різець видаляв вузький шар електродного покриття, попередньо нанесеного на дріт, а в борозні, що утворилася таким чином, сковзали контакти, що підгортаються пружиною, що підводять зварювальний струм. В другій голівці використовували голий електродний дріт, на яку вже після підведення до неї струму намотували стрічку з тканини, просоченої рідким флюсом. Для цього на голівці мався спеціальний пристрій [320].

Найбільш складної була конструкція голівки, що поряд із власне процесом зварювання здійснювала виготовлення порошкового дроту. Одна з таких зварювальних голівок фірми "Смітс" (США) формувала дріт із двох стрічок, що

змотуються з двох мотків двома парами роликів. Після роликів стрічки проходили в загибочні башмаки. Порошок, призначений для заповнення дроту, з лійки за допомогою шнека проштовхувався в утворену двома стрічками трубку. Отримана в такий спосіб дрiт додатково обжимався і подавався в зону зварювання системою роликів.

Удосконалення технології зварювання вугільною дугою обумовило доповнення до конструкцій голівок. Так, у ряді країн крім подачі присадкового дроту для захисту зони зварювання подавався флюс. У 1936 р. в Інституті електрозварювання була розроблена голівка, у якій через особливу трубку подавався автогенізатор - скручений паперовий шнур, просочений спеціальними складами. При згорянні шнура виділялися гази, що захищали зону зварювання.

Фірма "Елін" розробила зварювальну голівку, у якій дрiт перед її подачею в зону зварювання, але після підведення зварювального струму покривалася шаром флюсу. Флюс мав форму коротких напівциліндрів, заздалегідь спечених і притискалися до дроту з двох сторін спеціальними роликами.

Однак усі ці спеціальні пристрої для формування і подачі захисних матеріалів до електродного дроту були складні в експлуатації і незначно збільшували продуктивність процесу автоматичного зварювання. Наприкінці 1930-х рр. практика використання голівок, що містять пристосування для електродів чи електродного дроту, покритої чи зварювання, що постачається в процесі, захисними і легуючими матеріалами, показала, що цей шлях автоматизації безперспективний. Були припинені розробки пристроїв, що забезпечують формування захисних засобів. До цього часу почали розвиватися ідеї Слав'янова про покривання зони зварювання шаром флюсу, але зі здійсненням безупинної подачі електродного дроту.

Іспиту різних конструкцій автоматів, створених до початку 1930-х рр., показали, що спроби розмістити струмопідвід якнайближче до зони зварювання й у той же час забезпечити покриття електрода захисно-легуючими складами ведуть до ускладнення конструкцій апаратів і технології зварювання [437]. Проте якість зварювання такими електродами й електродним дротом була набагато вище ніж при зварюванні вугільними електродами і зварювання голим дротом, що плавиться. [438]. Досвід широкого застосування дугового автоматичного зварювання був

накопичений у 1920-30-х рр. ведучими розроблювачами процесу - фірмами "Д.Е." і "Метрополітен виккерс" (США), "Елін" (Австрія), "Белер" (Німеччина), Зварювальною лабораторією, лабораторіями заводу "Електрик" і МВТУ (СРСР). Незважаючи на проблеми організації, що залишаються, захисту зони зварювання, було створено кілька типів зварювальних голівок, що могли забезпечувати автоматичне спостереження за параметрами режиму.

Складні спеціалізовані верстати нераціонально було використовувати для дрібносерійного й індивідуального виробництва.

Другий тип автоматів - самохідні голівки з'явився тільки на початку 1940-х рр. Найбільш надійними виявилися апарати САГ-1 і ВУСА-2, розроблені В.Є. Патоном і П.І. Севбом. В одному апараті були скомпоновані два вузли - механізм, що подає, (зварювальна голівка) і транспортуючий механізм (візок), зв'язані механічно і електрично однією схемою керування. Самохідні голівки і підвісні (на автономних верстатах) знайшли широке застосування в серійному і масовому виробництві балок, колон, засобів озброєння [439]. Однак вони мали істотний недолік - необхідність рейкового шляху чи іншої конструкції для переміщення. Відсутність механічного зв'язку між зварювальною голівкою і виробом, що зварюється, вимагало точного позиціонування апарата щодо виробу.

Задача механізації процесу переміщення уздовж шва дуги, а точніше електродної поволоки, у процесі підготовки до зварювання (маршові переміщення) і в процесі зварювання зважувалися в двох напрямках: переміщення зварювальної голівки при нерухомому виробі і рух виробу при стаціонарному положенні голівки. Як правило, транспортувальні вузли - зварювальні верстати проектувалися стосовно до конкретних виробів, що зварюються, і до вже наявних голівок. Вузли зварювального автомата не прийнято було розглядати в комплексі, тому після зборки апарати виходили громіздкими і складними. Описуючи стан автоматичного зварювання на кінець 1930-х рр. Є.О. Патон відзначав: "Маршове (неробоче) переміщення верстатів здійснювалося від спеціального електропривода. Дистанційне керування маршовим ходом досягалося за допомогою складної і ненадійної в експлуатації електромагнітної муфти. Плавна зміна швидкості зварювання обумовлювало

застосування моторів постійного струму. Тривалі іспити складних верстатів показали їхню недоцільність. Можливість плавної зміни швидкості зварювання на ходу при обслуговуванні верстатів некваліфікованими кадрами викликала різке погіршення якості швів. Усе це змушувало відмовитися від застосування складних і громіздких верстатів і перейти до конструювання й експлуатації спрощених зварювальних верстатів індивідуального й універсального типів" [53, с.89]. При настроюванні й у випадку відхилення напрямку електрода по осі шва коректувалося вручну через систему регулювальних пристроїв. Це не тільки ускладнювало конструкцію апарата і знижувало надійність його роботи, але і збільшувало час, затрачений на обслуговування. При відхиленні електродного дроту виникали дефекти шва [440]. Крім того, підвісними і самохідними апаратами неможливо було зварювати цілий ряд виробів (внутрішні шви в закритих судинах, дуже великі площинні секції, великі вироби на монтажі й у польових умовах).

Наприкінці 1920-х рр. фірма "Д.Е." розробила першу конструкцію зварювального трактора [125]. Він складався зі зварювальної голівки з вугільним електродом, розміщеної на самохідному візку. Енергію до трактора подавали по гнучкому кабелі. На голівці мався механізм для подачі присадочного дроту, що заправляється у касету. Слідом за цим на самохідні візки установили голівки для зварювання голим електродним дротом і дротом з тонкою іонізуючою обмазкою. Такі трактори застосовували для зварювання великих полотнищ, труб, внутрішніх швів судин і інших виробів. Однак апарати при зварюванні електродом, що плавиться, працювали погано, електрод "примерзав" - приварювався до виробу, тому що щільність струму було порівняно невелике, а підвищити її при зварюванні відкритою дугою не представлялося можливим через розбризкування. Для відриву дроту від застиглої ванни було потрібно зусилля порядку 2,5-3,0 кН, і при реверсі трактор перекидався. У 1939 р. у виробничих умовах був випробуваний і показав задовільні результати зварювальний трактор конструкції Інституту електрозварювання. Зварювальний трактор працював з використанням тонко- і товсто обмазаного дроту діаметром 4-5 мм. Маса його була близько 140 кг. За два роки було спроектовано кілька подібних апаратів [441]. Роботи зі створення апаратури для автоматичного дугового зварювання велися й у ряді інших наукових організацій Радянського

Союзу. Різні типи самохідних установок і тракторів були розроблені також у США, Великобританії, Франції, Німеччини, Австрії й інших країн. До кінця 1930-х рр. у розпорядженні виробничників малися цілком працездатні апарати. Успіх їхнього застосування тепер залежав від засобів захисту і легування зони зварювання. Прийоми забезпечення високої якості зварених з'єднань при ручному дуговому зварюванні (у тому числі і за рахунок спеціальних електродних покриттів) копіювалися розроблювачами протягом двох десятиріч, доти, поки не був розроблений варіант, намічений ще в 1888 р. Слав'яновим спеціально для автоматичного зварювання.

Розробка і застосування зварювальних голівок для механізованого й автоматичного дугового зварювання за період з кінця XIX століття до кінця 1930-х рр. пройшли кілька етапів одночасно в багатьох промислово розвинутих країнах.

Перші зварювальні апарати як для зварювання вугільним електродом, так і зварювання металевими електродами, що плавилась, містили електромагнітомеханічні механізми без функції реверсування.

На початку 1920-х рр. були розроблені зварювальні голівки, що забезпечують спостереження за параметрами режиму зварювання шляхом реверсування електродвигуна. Однак такі апарати мали велику інерцію.

До кінця 1930-х рр. одним з напрямків розвитку конструкцій голівок було прагнення повторити процес ручного зварювання штучними електродами і створити пристрій, у яких у процесі зварювання покриття наносили на поверхню чи дроту шихта заповнювала порожнину, що утворюється при формуванні дроту зі стрічки.

З початку 1930-х рр. з'явилися конструкції механізмів, що подають, засновані на регулюванні подачі електродного дроту за допомогою фрикційних і зубчастих передач при постійній швидкості обертання електродвигуна.

Наприкінці 1930-х рр. у США, СРСР, а потім і в ряді інших країн створена промислова високоефективна технологія зварювання голим електродним дротом під шаром флюсу з використанням електромеханічного приводу.

5.3. Захист зони зварювання і легування металу шва. Досвід впровадження автоматичного зварювання.

Основною метою автоматичного зварювання (як і інших способів) є забезпечення високої якості звареного з'єднання, і в першу чергу - металу шва. Якість залежить від ряду факторів, у тому числі від умов захисту зони зварювання від впливу повітря. У ряді випадків виникає необхідність легування металу в зварювальній ванні. Тому при розробці дугового автоматичного зварювання одним з напрямків було створення засобів надійного захисту без участі людини під час виконання з'єднання.

Слав'янов запропонував для цих цілей застосовувати металургійні мелені флюси, що засипав у зону зварювання і наплавлення вручну. Питання безупинної подачі флюсу їм не розроблялися, тому що при його способі процес плавлення проходив при нерухомій зварювальній голівці.

Успішне створення електродів для ручного зварювання, що мають високоякісне товсте покриття, дало можливість механізувати процес зварювання штучними електродами [442]. Були розроблені пристрої у виді касети, куди закладався десяток електродів. Так само як і в ручному електродотримачі, струм підводився від затисків до верхньої оголеної частини стрижня. Електроди по черзі висувалися з касети і подавалися в міру оплавлення. Зварювальні автомати, засновані на такій схемі зварювання, були громіздкі і ненадійними, шви виходили з перервами [443].

Найбільшим досягненням в області зварювання штучними електродами можна вважати зварювання похилим електродом діаметром 14 мм на струмі до 750 А. Ця технологія "напівавтоматичної" зварювання була розроблена в 1939 р. на "Уралвагонзаводі" (Нижній Тагіл) М.А. Силиним (Авторське свідоцтво СРСР № 60938).

Автомати для зварювання штучними електродами розвитку не одержали, однак ідея захисту зони зварювання речовинами, розміщеними на самому електроді (зовні чи усередині металевого трубчастого електрода), привернула увагу ряду винахідників. Серед ряду проблем, що виникли при розробці способу зварювання покритими електродами, найбільш важкої була проблема підведення струму до електродів. Металевий стрижень (дріт) повинний був покриватися таким чином, щоб хоча б частина поверхні залишалася вільною від обмазки. Переваги автоматичного зварювання теоретично можуть бути реалізовані за умови, що плавкий електрод буде необмеженої довжини, а напруга зварювального струму досить високе. Електродний

дріт, подаваний з котушки, забезпечує безперервність процесу зварювання, завдяки чому виключаються втрати часу на заміну недогарка на новий штучний електрод, появу дефектів, викликаних перервами, і інші недоліки зварювання штучними електродами.

Фірма "Д.Е." у 1923-25 р. виявилася перед усіх на шляху автоматизації дугового зварювання, почавши застосовувати гнучкий електродний дріт практично необмеженої довжини, на поверхні якої шляхом чи накатки наплавлення виконували металеві виступи, між якими звичайними способами наносили флюсове покриття. Наприкінці 1920-х рр. багато фірм США, Франції, Австрії й інших країн застосовували для автоматичного зварювання дріт, конструкція якого була запропонована Р. Сараценом (Франція). Ідея полягала в тім, що обмазка містилася в декількох канавках, що видавлюються в процесі протягання паралельно осі дроту.

Фірма "Белер" (Німеччина) розробила конструкцію і технологію виготовлення електродного дроту з захисними і шлакоутворюючими речовинами, що поміщаються усередині у виді гнота, що займає близько 5% перетину і минаючого по всій довжині. Щоб виготовити такий дріт, перед виливком заготівлі в центрі ізложниці встановлювали товстостінну трубу з набитою в неї шихтою. Рідка сталь заповнювала простір навколо труби, однак труба цілком не розплавлялася. Отримана болванка прокочувалася і протягалася в дріт до необхідного діаметра. Дріт із внутрішньою шихтою був надійний в експлуатації, однак металургійні її можливості були обмежені тим, що шихта, що поміщається в трубу, повинна витримувати температуру розплавлювання стали, не розкладаючи і не плавлячи, і, отже, у її склад не можна було ввести багато органічних і деяких мінеральних речовин.

Цю проблему в 1920 р. вирішила фірма "Д.Е.". Відповідно до її технології, електродний дріт, що змотувався з котушки, оберталася тонкою сталевною стрічкою, а в цей час у простір між стрижнем і отриманої таким способом оболонкою подавалася шихта [444].

Фірма "Елін" приділила велику увагу і зварюванню голим дротом, на яку перед подачею в зону зварювання накладався спресований у вигляді напівциліндрів флюс. В американських апаратах "Торнадо" електродний дріт перед її подачею оберталася смужкою папера. Целюлоза, що згоряє, забезпечувала захист зони зварювання.

У 1934 р. Е.Д. Кларком (фірма "Мюрекс велдинг процесиз") була запропонована електродний дріт, що представляє собою центральний металевий стрижень покритий флюсом. На поверхню покриття намотувалися тонкий дріт діаметром 0,5 мм, через яку і здійснювався струмопідвід. Переслідуючи ту ж мету, Питерс і Гудвін (фірма "Виндзор ворк", Великобританія) у 1939 р. запропонували намотувати з визначеним кроком тонку дровову спіраль прямо на металевий дріт, а покриття наносити такої товщини, щоб воно не виступало за краї спірالي.

В Інституті електрозварювання в 1935 р. було знайдено конструктивне рішення забезпечення великої площі електричного контакту і достатньої кількості обмазки. Був створений спеціальний апарат для перетворення дроту круглого перетину в дріт хрестоподібного перетину, що доповнюється шихтою обмазки.

Однак, незважаючи на численні конструктивні рішення, практика застосування дротів із захисними покриттями і спеціальними електропровідними елементами показала, що цей принцип забезпечення захисту при автоматичному зварюванні має ряд недоліків. Найбільш істотним з них була неможливість підвести до електрода великий струм і підвищити продуктивність процесу. У середині 1930-х рр. швидкість зварювання автоматами не набагато перевищувала швидкість ручного зварювання штучними електродами.

До ідеї Слав'янова про захист зони зварювання флюсом, що насипається окремо від електрода, звернулися на початку 1920- рр. Д.А. Дульчевський (Одеські залізничні майстерні) при зварюванні і наплавленні мідних виробів використовував для цієї мети порошкоподібні пальні речовини: деревне вугілля, обпилювання, сажу, крохмаль і т.п. [445]. Причому ці речовини, згоряючи, не тільки відтискували повітря, але і створювали відбудовне середовище у ванні.

У 1925 р. Г.Е. Кеннеді, фірма "Лінді ейр продактс" (США), що входила в корпорацію "Юніон карбід енд карбон", займаючись проблемою приварки деталей до судин з емальованого чавуна, запропонував здійснювати легування ванни елементами, що переходять у ванну зі спеціальних флюсів. У той час ідея не був застосований на практиці. Це порозумівається тим, що робота була орієнтована на зварювання чавунних виробів, що звичайно не мають протяжних швів, а флюс пропонувалося застосовувати як засіб легування і навуглержування. Ідею Кеннеді

продовжували розробляти Б. С. Робинов, С.І. Пайн і У.І. Квиллен, фірма "Вестерн пайп енд стил" (США), що запропонували застосовувати для дугового зварювання голим дротом засипання керамічного флюсу (пат. США № 1782316).

У 1935 р. фірма "Лінде" доробила технологію, створивши спосіб високопродуктивного і високоякісного зварювання під гранульованим флюсом з мінеральних речовин. Винахід був зроблений Л.Т. Джонсом, Г.Е. Кеннеді і М. А. Роттермундом і запатентований за назвою "Юнионмелт" (пат. США № 2043960).

Слід зазначити, що винахідники способу "Юніонмелт" були переконані у відсутності дугового розряду під шаром розплавленого флюсу. Плавлення флюсу, електродного металу й металу, що зварюється, приписувалося "джоулеву теплу", що виділяється при проходженні через розплав. У Німеччині, де процес зварювання під флюсом одержав назву "Еллира", допускали наявність дугового розряду, однак вважали, що основна частка теплоти виділяється в розплавленому флюсі [446]. Кінець суперечки був покладений експериментальними дослідженнями Б.Є. Патона й А.М. Макари. У 1943-44 рр. вони довели, що джерелом теплоти в цьому способі зварювання є дуга. У монографії дослідників уперше викладені основи теорії автоматів для дугового зварювання [447].

У процесі удосконалювання зварювання під флюсом були запропоновані різні технічні рішення, деякі з них становлять інтерес. Так, для з'єднання деталей великих товщин фірма "Катерпіллер трактор" (США) у 1940 р. упровадила технологію, названу "Хот-вайер", відповідно до якої - для збільшення коефіцієнта наплавлення - виліт електрода штучно збільшувався, і на цій ділянці електрод додатково нагрівалася минаючим зварювальним струмом. У 1938 р. фірмою "Томсон-Хьюстен" (США) був запатентований спосіб зварювання з "видимою дугою", при якому зварювальний флюс постійно подавався шнеком через сопло до електродного дроту. Крім того, передбачався додатковий захист зони зварювання газом, подаваним через те ж сопло. Декількома фірмами ("Браун Бровери", "Баден" і ін.) був запропонований спосіб з використанням магнітного флюсу з притяганням його до дроту магнітним полем минаючого зварювального струму і полем, створюваним постійними магнітами. Тут флюс був подібний щільному електродному покриттю.

Слід зазначити, що в середині 1920-х рр. були початі спроби механізувати процес газоелектричного зварювання, створеної П.П. Александров і І. Ленгмюром у фірмі "Д.Е.". Підвести струмінь водню, аміаку чи пального газу до автомата, що забезпечує переміщення голівки з неплавкими електродами, не представляло труднощів. Необхідність створення устаткування і технології дугового зварювання в захисних газах була викликана обсягом виготовлення, що розширюється, конструкцій з алюмінієвих і магнієвих сплавів, а також зі спеціальних сталей. Застосовуючи для даного матеріалу інертні гази (аргон, гелій, азот, хлор і ін.) замість електродних чи покрить флюсів з хімічних активних компонентів, легше було розібратися в металургійних проблемах. Наприкінці 1930-х рр. у США минулому розроблені і почали застосовувати автомати для зварювання в захисних газах [307].

Розвиток устаткування, матеріалів і технології дугового автоматичного зварювання йшло з деяким відставанням від удосконалювання ручного зварювання. У 1920-30-х рр. обсяги промислового використання автоматичного зварювання були незначні в порівнянні з ручним дуговим зварюванням. Висока вартість устаткування і складність його експлуатації, підвищені вимоги до зборки, у тому числі до збереження постійного зазору і, у той же час, невисоку якість металу шва були основними причинами скептичного відношення виробників до автоматичного дугового зварювання. Проте, при зварюванні протяжних швів і в ряді інших випадків нехай навіть ще не зроблена технологія мала визначені переваги. Однієї з перших у Європі віденська фірма "Елин" налагодила випуск зварювальних голівок і апаратів для зварювання вугільним електродом, що знайшли застосування при виробництві труб і судин. Автоматичне зварювання вугільною дугою з целюлозним захистом у 1930 р. використовували на заводах Німеччини.

Фірма "Нешнл туб дивижн" (США) застосувала автоматичне зварювання під флюсом (у виді порошку) електродним дротом діаметром 4,77 мм для виробництва труб діаметром до 1800 мм, одержавши великі переваги у швидкості зварювання в порівнянні із тим, що раніше застосовувалося – із газопресовим зварюванням.

Спосіб "Юніонмелт" використовували при виготовленні кораблів, тепло- і електровозів [448], труб і трубопроводів [449], судин високого тиску [450] і ін. За один прохід удавалося зварювати листи товщиною до 25 мм.

Впровадження в промисловість автоматичних зварювальних голівок поклало початок подальшої автоматизації і механізації зварювальних і складальних операцій. У СРСР одна з перших складально-зварювальних ліній була створена в 1930 р. на заводі "Серп і молот" (Харків), де за допомогою напівавтоматичного зварювання виготовляли рами молотарок. У 1930-х рр. автоматичні зварювальні голівки були включені в потокові лінії по виготовленню вантажних вагонів і цистерн на заводах у Дніпродзержинську, Калініну, Бежиці, Нижньому Тагілу. Робочі позиції були розташовані в технологічній послідовності, однак переміщення виробів здійснювалося цеховим транспортом.

Про застосування дугового автоматичного зварювання голим дротом під флюсом у Європі наприкінці 1930-х початку 1940-х рр. повідомлень не має, хоча цей спосіб був уже відомий, і багато країн мали у своєму розпорядженні необхідну апаратуру.

У СРСР автоматичне зварювання розглядали як основний засіб інтенсифікації виробництва. Підприємства діставали додаткові кошти на освоєння нової високопродуктивної техніки - як вітчизняної, так і закупаваної за рубежом. Уперше розробка Інституту електрозварювання - зварювання хрестоподібним дротом - була впроваджена на Вагонобудівному заводі в Бежиці. У 1930 р. досвід упровадження показав, що розробки ІЕЗ не уступають по основних параметрах апаратам фірм "Д.Е.", "Елін", "Кьельберг" і ін.

З 1932 по 1935 р. завод "Електрик" (Ленінград) виготовив 102 автоматичні голівки АМГ-1 власної конструкції для зварювання електродом, що плавиться, з покриттям і 5 голівок для зварювання вугільною дугою. З 1936 р. завод початків випускати голівки АГЕ-1 із приводом, що працював на перемінному струмі (створений вперше у світі В.Е. Сахановичем). Автомати використовували в суднобудівній і вагонобудівній промисловості, при виробництві резервуарів і інших металоємких виробів.

У травні 1936 р. у Києві з ініціативи ІЕЗ відбулася Всесоюзна конференція з проблем дугового автоматичного зварювання. Учасникам конференції були продемонстровані установки для зварювання і наплавлення різних виробів, конструкції електродних дротів і устаткування для їхнього виготовлення.

Наприкінці 1930-х рр. великий досвід був накопичений у ІЕЗ при впровадженні зварювання під флюсом вугільним електродом. До 1939 р. були визначені склади флюсів і розміри гранул, вимоги до підготовки крайок, техніка зварювання. Установка для автоматичного зварювання вугільним електродом була застосована при виготовленні сталевих балок. Впровадження автоматичного зварювання вимагало підвищення культури виробництва, спеціального відходу за устаткуванням, більш точної зборки деталей, що зварюються. Ці способом виконували стикові з'єднання сталей товщиною до 18 мм.

У СРСР темпи досліджень і дослідно-промислової перевірки дугового автоматичного зварювання набагато перевершували темпи робіт з удосконалювання цього способу в США, а в інших країнах вони були ще нижче. Протягом 1939-1940 р. в ІЕЗ під керівництвом Є.О. Патона були розроблені не тільки принципи автоматичного зварювання під шаром флюсу, але і вирішений весь комплекс питань, що відносяться до конструювання спеціальної апаратури, складу зварювальних матеріалів режимам зварювання.

Продуктивність зварювання електродом, що плавиться, була майже на порядок вище ручного дугового зварювання: завдяки розробленій апаратурі (голівка з диференціалом), швидкість при зварюванні в автоматичному режимі могла складати 30 м/год. Флюси взаємодіяли з рідким металом ванни, тому з'явилася можливість впливати на характер металургійних реакцій, що протікають там, і поліпшувати якість металу шва. До кінця 1930-х рр. були розроблені два види флюсів - плавлені і неплавлені. Плавлені флюси одержували шляхом сплавки компонентів шихти. У США фірма "Д.Е." здійснювала виплавку флюсів в електричних печах Є.О. Патон запропонував використовувати для цих цілей більш продуктивні полум'яні печі.

Найбільш простою технологією виготовлення флюсів було механічне змішування крупинок і порошків різних матеріалів. Однак такий флюс-суміш розділявся пошарове при транспортуванні й у процесі подачі в зону зварювання через неоднакові розміри і щільність компонентів. Цих недоліків позбавлений керамічний флюс. У СРСР у 1938 р. він був запропонований К.К. Хреновим (МММІ ім. М.Е. Баумана). При виготовленні флюсу невеликі крапельки клеячи, потрапляючи на шихту, зв'язували її в окремі частки. Була розроблена ще одна технологія

виробництва - спікання брикетів шихти при підвищених температурах без сплавки, після чого брикети подрібнювали. У керамічні флюси можна ввести будь-які компоненти (мінерали, руди, феросплави, вуглеродисти речовини) незалежно від їхньої взаємної розчинності [451, 452].

В.М. Кін відзначала (фірма "Вестерн райр енд стил", США), що застосування керамічних флюсів при автоматичному зварюванні дозволяє ввести в метал шва легуючі речовини, як титан, молібден, марганець [452]. Однак скористатися цією можливістю повною мірою важко, тому що ванна існує кілька секунд, ще менше часу залишається на металургійні перетворення і хімічні реакції. Тому перевага варто віддавати плавленим флюсам, при виготовленні яких уже пройшли деякі реакції.

Склад керамічних флюсів, використаних при зварюванні фірмою "Нешнл туб дивижн" по патенту Б.С. Робинова, повторював склад якісних електродних покриттів. У 1934 р. В. Міллер запатентував спеціальний флюс, що містить діоксид титана - 18%, польовий шпат - 53%, бентоніт - 1%, соду - 6% і воду - 22% (пат. США № 1978316). Цей флюс наносили на крайки у виді пасти вручну і забезпечував задовільну якість швів при зварюванні сталей.

Плавлений флюс уперше був запропонований Л.Т. Джонсоном і його співавторами у відомому патенті на автоматичне зварювання. Вважаючи, що дуговий процес тут відсутній, автори винаходу розглядали флюс, що розплавляється за рахунок джоулевого тепла, як джерело теплоти для металевої ванни. Спосіб "Юніонметл", незважаючи на заперечення авторами дугового розряду, був реалізований на автоматичних голівках для дугового зварювання. У лабораторії удалося зварити сталеві пластини товщиною один дюйм (близько 25 мм) за один прохід при швидкості, у кілька разів перевищуючої ту, що була раніше [307].

У 1940 р. В. М. Кін запропонував порошкоподібний флюс для зварювання алюмінію і його сплавів (пат. США № 2194200), що відрізняється високою температурою плавлення, що забезпечило відносно тривале існування зварювальної ванни [452].

У 1930 р. у США фірма "Вестингауз" застосовувала автоматичне дугове зварювання при виготовленні парових котлів. Указувалося також на можливість і

доцільність вигідного використання її при виробництві інших виробів і конструкцій - мостів, металоконструкцій, судів, літаків, автомобілів, вагонів і т.д.. У 1928 р. у США при виготовленні труб також використовували труби з тонкого листового прокату виготовляли в такий спосіб: зварювальні автомати для виконання швів по утворюючої циліндра мали по двох голівки, з яких перша працювала голим електродом, а друга - армованим.

Автоматичне зварювання застосовували наприкінці 1920-х рр. у США при виготовленні балок і колон. Наприклад, на одному з заводів біля Чикаго для цих цілей був змонтований автомат зі столом довжиною 20 м, що складається з роликів довжиною 900 мм, поставлених на відстані 1500 мм друг від друга по осі столу. Ролики мали на кінцях шийки для обертання в підшипниках, прикріплених до двох швелерів, що були подовжніми балками столу. За допомогою ланцюгової передачі ролики надавали руху від двигуна. Знаходили застосування зварювальні дугові автомати і на заводах фірми "Д.Е." при виконанні великих робіт в області електромашинно- і апаратобудування. Вони показали високу "витривалість", тому що при їхній допомозі в ряді випадків зварювання, наприклад шва великого гідрогенератора, можна продовжувати більше години. Наприкінці 1920-х рр. у США з'явилися аналітичні роботи, що розкривають тенденції розвитку автоматичного дугового зварювання, у яких указувалися шляхи подальшого удосконалення устаткування, можливі області застосування і т.д.. У ряді робіт доводилася також економічна вигода процесів автоматичного зварювання.

Однієї з головних причин, що гальмували розвиток автоматичного зварювання в середині 1930-х рр. був недолік зварювальних автоматів. Великим недоліком була товчкоподібна подача електродного дроту. Інерційні сили, що виникають у системі автоматів, не сприяли швидким змінам швидкостей подачі електродного дроту з нерівномірним горінням дуги, тобто зміни швидкості подачі електродного дроту не могли швидко впливати за зміною напруги на дузі, що порушувало нормальну роботу. Це створювало у виробничників думка, що автоматичні зварювальні голівки - ненадійні машини. Тому, незважаючи на те, що випуск автоматів у СРСР почався з 1932 р., не усі вони працювали навіть до кінця 1936 р.

Перед Другою світовою війною в промисловості США працювало 2,5 тис. дугових автоматів, а в СРСР було випущено заводом "Електрик" близько 400 автоматичних голівок для дугового зварювання.

Створення в ІЕЗ автоматичного зварювання під флюсом і організація серійного випуску зварювальних голівок відкривало шлях до удосконалювання виробництва ряду відповідальних виробів. 20 грудня 1940 р. Раднарком СРСР і ЦК ВКП(б) прийняли постанову про упровадження швидкісного автоматичного зварювання під флюсом у промисловість. Спосіб намічалось освоїти на 20 заводах протягом півроку. Були створені умови для якнайшвидшого виготовлення устаткування і зварювальних матеріалів. Нову технологію застосовували при виготовленні великих двотаврових балок на заводах ім. В.М. Молотова (Дніпропетровськ), хімічного устаткування і судин високого тиску на "Красний котельщик" (Таганрог), заводі ім. С.Орджонікідзе (Подольськ), вагонів на Калінінському вагонобудівному заводі, Уралвагонзаводе (Нижній Тагіл), котлів на Ворошиловградському паровозобудівному і Людиновському локомотивному заводах, а також інших відповідальних виробів.

Висока продуктивність зварювання при відмінній якості з'єднань стала можливою науково-дослідній і конструкторській роботі невеликого колективу Інституту електрозварювання. За короткий час ІЕЗ став лідером в удосконалюванні автозварки під флюсом. Тут були чітко визначені технологічні можливості процесу; крім апаратури і матеріалів створене оригінальне допоміжне устаткування, зокрема формуючі підкладки, флюсові подушки й ін.. Однак керівника робіт Є.О. Патона досягнуті успіхи не задовольняли. Аналізуючи результати упровадження він відзначав: "Роботи зі швидкісного зварювання, проведені на заводах у 1941 р. виявили надмірну складність зварювальної апаратури. Тому співробітники Інституту електрозварювання задалися метою спростити й удосконалити цю апаратуру. Створено і випробуваний новий універсальний апарат для швидкісного зварювання. Розроблено новий спосіб автоматичного зварювання двома дротами. Замість ненадійних пілососів розроблений висмоктувач флюсу форсункою, що діє стисненим повітрям заводської мережі. Створено новий мундштук, що надійно підводить струм до кінця електродного дроту. Розроблено спрощені флюси, що не вимагають сплавки компонентів і найпростіших сирих компонентів, що

виготовляються шляхом змішування, місцевого походження. В інституті проведені роботи зі спрощення зварювальної апаратури, по заміні дефіцитних двигунів постійного струму двигунами трифазного струму, випущена зварювальна голівка з одним двигуном, що працює винятково на перемінному струмі, усунуті ненадійні електромагнітні муфти. Подальший розвиток одержали питання, що стосуються технології швидкісного зварювання під флюсом” [53, с.118].

В роки Другої світової війни значно зросло виробництво виробів з кольорових металів, особливо з алюмінієвих сплавів, і поряд з автоматизацією газової і газоелектричного зварювання, здійснена автоматизація способу дугового зварювання в захисних газах, створені матеріали і технологія дугового автоматичного зварювання по флюсі. Вирішити ці задачі в найкоротший термін удалося на основі конструкторських розробок і результатів технологічних досліджень, виконаних у СРСР, США і ряді інших країн у 1920-30-х роках.

Пошук засобів захисту зони зварювання і легування металу шва з'явився однією з головних задач при створенні способу дугового автоматичного зварювання в 1920-30-х рр.

Механізація й автоматизація процесу зварювання штучними електродами не дала помітного підвищення продуктивності, у процесі використання цієї технології були виявлені істотні недоліки.

З метою застосування електродного дроту (теоретично необмеженої довжини) з попередньо нанесеним флюсом і забезпечення струмопідводу були розроблені різні конструкції дротів: з намотуванням на поверхню флюсового покриття додаткового тонкого чи дроту стрічки, зі зрізаною частиною покриття, упровадженням флюсу в пази на дроті й ін., а також пристрою для нанесення флюсу чи паперової стрічки на електрод поблизу дуги.

Принцип захисту зварювальної ванни флюсами, що насипаються, запропонований М. Г. Слав'янов, був розвинутий у фірмах США "Д Е" й ін., в інститутах і заводських лабораторіях СРСР (ІЕЗ, завод "Електрик", МММІ ім. М.Е. Баумана і й ін.), в організаціях інших країн. Плавлені і керамічні флюси, що забезпечують захист і легування металу, використані як при зварюванні голим електродним дротом.

5.4. Автоматизація зварювального виробництва у 1940 роки

У роки війни виникла проблема: розповсюдження автоматичного зварювання під флюсом. Сконструйована П.П. Буштедтом в мирний час, розрахований на експлуатацію в нормальних умовах голівка А-66 виявилася тепер недостатньо надійною. Два мотори подавання електродного дроту, в умовах воєнного часу виконували свої функції погано - коливання напруги в мережі впливали на потужність двигуна постійного струму, а отже, і на швидкість подачі. Другим недоліком довоєнної голівки була її складність. Принцип автоматичного регулювання довжини дуги двомоторним механізмом став у свій час удаюю розробкою інституту. Але керування автоматами представляло визначені труднощі для робочих з низькою кваліфікацією.

У 1942 р. старший науковий співробітник Інституту електрозварювання В.І. Дятлов запропонував спростити конструкцію зварювальних автоматів, виключивши складну систему порушення і підтримки довжини дуги. В основу нової технології і конструкції апарата було покладене явище саморегулювання потужної електричної дуги при постійній швидкості подачі електродного дроту. Механічна частина зварювальної голівки, розроблена П.І. Севбом і електрична схема апарата керування, розроблена Б.Є. Патонем, були настільки прості, що дозволяли налагодити випуск апаратури силами майстерень інституту в достатньому для оборонної промисловості кількості. Це обставина, а також простота апаратів в експлуатації забезпечили можливість широкого впровадження автоматичного зварювання під флюсом у роки Великої Вітчизняної війни і післявоєнний час.

Успішне продовження досліджень металургійних особливостей дугового зварювання під флюсом В.І. Дятловим, Т.М. Слуцькою й іншими співробітниками ІЕЗ дозволило в найкоротший термін розробити технологію і флюс для зварювання броні. Важливим підсумком наукової і конструкторської діяльності колективу інституту з'явилося створення, на основі закону саморегулювання дугового процесу, нового класу зварювальних автоматів - з постійною швидкістю подачі електродного дроту. У 1943 р. О.І. Корінной запропонував спосіб автоматичного зварювання розщепленим електродом, наукові співробітники Б.Є. Патон, А.М. Макара і С.А. Островська - спосіб зварювання декількома розсунутими дугами. Ці і ряд інших ідей

у наступному були розвинуті у високопродуктивні способи зварювання (трехдугове автоматичне зварювання під флюсом, шлангова напівавтоматична зварка й ін.). У спеціальній монографії, підготовленої Є.О. Патонем і його співробітниками у 1944 р., викладені основи проектування установок для автоматичного зварювання будівельних металоконструкцій, а в інших роботах освітлений досвід використання автоматичного зварювання під флюсом у різних галузях промисловості [457, 458].

Наступним кроком у розвитку зварювальної апаратури стало створення зварювальних тракторів - полегшених зварювальних голівок, змонтованих на самохідних візках. Перший такий апарат був створений у ІЕЗ у 1944 р. В.Є. Патонем і П.І. Севбом. [459]. Зміна принципу переміщення відразу ж значно розширило область застосування автоматичного зварювання під флюсом. Трактор дозволяв зварювати шви, обмежуються практично тільки довжиною кабелів живлення і керування. В післявоєнні роки цими апаратами почали зварювати конструкції корпусів судів, елементи резервуарів, труби, балки мостів і ін. Тоді ж була створена перша конструкція напівавтомата, що забезпечує подачу електродного дроту через тримача. М.Г. Остапенко із співробітниками розробили зварювальний пістолет для приварки шпильок діаметром до 12 мм під флюсом у вертикальному і стельовому положенні [459].

Досвід промислового застосування зварювання під флюсом, що був накопичений до початку 1940-х рр., показав доцільність подальшого розвитку автоматичного зварювання в цьому напрямку. У 1940 році Є.О. Патонем була написана перша у світі монографія про автоматичне дугове зварювання під флюсом [454]. До 1944 р. у ІЕЗ був розроблений апарат на самохідному візку, що пересувається по направляючій (ВУСА-2), і зварювальний трактор (ТС-6) (П.І. Севбо і В. Є. Патон)

У 1944 р. у ЦНДІТМаше був спроектований зварювальний трактор, що міг зварювати стикові і кутові шви (І.Л. Бринберг) [460, 461]. Ряд удосконалень був зроблений у МВТУ ім. М.Є. Баумана, а також на таких великих заводах як Уралмаш і Горьковский автозавод. У ЦНДІТМаше (А.С. Гельман, Н.С. Комісарів, В.П. Глухарьов і ін.) була сконструйована голівка з постійною швидкістю подачі з фрикційною передачею [462]. В роки війни один з найбільших заводів зварювального устаткування ленинградський завод "Електрик" був частково

евакуйований у Свердловську область, де продовжилося виробництво джерел живлення і зварювальних установок (на цій базі згодом в с. Новая Утка був розгорнутий завод "Іскра"). Разом з устаткуванням, виготовленим у майстерні ІЕЗ і заводами, загальна кількість апаратів для дугового зварювання під флюсом у СРСР досягала 700 одиниць. Це були переважно тільки підвісні зварювальні голівки в комплекті з допоміжним устаткуванням, що переміщає виріб, чи з візками, що переміщують голівки. Такі установки використовували для масового виробництва оборонної продукції. Конверсія вимагала створення більш універсальної апаратури, придатної для широкої номенклатури виробів, і спеціалізованих складально-зварювальних установок для конвеєрів, у будівництві і деяких галузях промислового виробництва. Необхідно було розробити апарати для механізованого зварювання під флюсом коротких швів і пристрою для зварювання в просторових положеннях, що відрізняються від нижнього. В аналогічному положенні знаходилося зварювальне виробництво в США, Великобританії, Німеччині й інших країн.

Насущною проблемою є удосконалювання зварювальної апаратури, насамперед у напрямку підвищення надійності подачі, утримання і збирання флюсу, а також напрямку кінця електрода по місцеві зварювання і безвідмовного порушення дуги на початку процесу. Дуже актуальними задачами є збереження наступності й уніфікація вузлів і деталей уже зарекомендували себе зразків устаткування і підтримка його на сучасному рівні не шляхом повної заміни і переходу до нових зразків, а за рахунок поступових удосконалень.

У ІЕЗ ім. Е.О. Патона в основу рішення проблеми був покладений системний аналіз усіх складових частин зварювальної техніки, а не дослідження тільки якої-небудь однієї сторони цієї проблеми. Треба було вивчити проблеми зварного машино- і апаратобудування (звичайно, із усіляким використанням автоматики), причому в комплексі з технологічними особливостями способів зварювання. Розробляли принципи конструювання як зварювальних голівок і самохідних тракторів, систем керування процесом зварювання і джерел живлення, так і устаткування для допоміжних і суміжних операцій (кантователів, верстатів і пристроїв спеціального призначення), що відрізнялися тим, що виконували ними

функції були "погоджені" зі зварювальними операціями (В.Є. Патон, П.І. Севбо) [463].

Б.Є. Патон проаналізував особливості устаткування для автоматичного зварювання під флюсом фірм США "Лінде", "Лінкольн і Юна" [464]. Були розглянуті конструкції зварювальних пальників, тракторів і апаратури керування і з урахуванням досвіду розробки й експлуатації апаратів ІЕЗ, намічені шляхи розвитку відповідного устаткування. Так, одним з головних факторів, що впливало брати до уваги, було спрощення апаратури керування для того, щоб знизити необхідну кваліфікацію робітників, виключити труднощі при налагодженні. Зварювальні голівки і трактори ІЕЗ і ЦНДІТМаша були менш громіздкими, допускали більш широкий діапазон регулювання по висоті, куту нахилу, радіусу повороту; число кнопок і ручок керування було зведено до мінімуму.

У 1948 р. Б.Є. Патон завершив роботу з дослідження нагрівання електрода, що плавиться, у процесі його подачі в зону зварювання, вивів розрахункові формули температурних полів електрода, визначив залежність швидкості плавлення електрода від режимів зварювання. Результати оригінальних теоретичних і експериментальних досліджень процесу плавлення електрода (у т.ч. і з застосуванням кінозйомки з екрана рентгенівського апарата), крім того, послужили основою для розробки автоматичних систем регулювання подачі електродного дроту, досліджень індуктивного опору зварювального ланцюга і коректування теорії зварювальних джерел живлення [464, 465]. До 1952 р. у ІЕЗ ім. Є.О. Патона була сформульована теорія автоматів для дугового зварювання, що розглядає автомат, джерело живлення дуги, дугу й електродний дріт, що плавиться, як єдину систему (Б.Є. Патон, В.К. Лебедев). Ця теорія склала основу подальшого розвитку автоматів і напівавтоматів для дугового зварювання [467]. Значний внесок у рішення проблем автоматичного регулювання внесли також співробітники ВНДІЕЗО, МВТУ ім. М.Е. Баумана, ЦНДІ ТС "Прометей" і ряду інших організацій.

Сконструйований у 1945 р. у ІЕЗ портативний трактор ТС-6 (В.Є. Патон) відкрив серію спеціалізованих легких зварювальних апаратів. ТС-6 уперше був застосований на будівництві магістрального газопроводу Дашава-Київ.

На протязі 1945-47 років у ІЕЗ ім. Е. О. Патона розроблена серія спеціалізованих тракторів: ТС-11 і ТС-12 для зварювання стикових швів відповідно з обробленням крайок і без і ТС-13 для зварювання швів кутових з'єднань "у човник". При струмах 600-1000 А вони забезпечували швидкість зварювання від 22 до 44 м/год. Без дроту і флюсу маса тракторів складала близько 40 кг. Однак багато галузей виробництва мали потребу в універсальному апараті для дугового зварювання під флюсом. Їм став створений у 1947-48 р. В.Є. Патонем трактор ТС-17 для зварювання швів стикових і кутових з'єднань. Ця розробка виявилася найбільш зробленою - порівняно невеликі розміри і маса (42 кг), удале компонування і простота в експлуатації.

Елементом зварювального трактора, що копіює, ТС-17Р служить весь апарат, у якому в залежності від типу звареного з'єднання передні чи задні колеса замінюються клиноподібними роликками. Кілька варіантів настроювання трактора роблять його універсальним. Він дозволяє робити зварювання кругових швів усередині судин. Трактор типу ТС-17 швидко завоював популярність у багатьох галузях промисловості. Що випускається й експлуатований кілька десятиліть він став прототипом для гами засобів механізації зварювального виробництва [468]. На його основі, з невеликими переробками, були випущені апарати для зварювання тонким дротом, для зварювання алюмінію й ін. Трактор ТС-17 і його модифікації не мали аналогів за границею і дотепер вважаються одними з кращих у світі. У суднобудівній промисловості СРСР і ряду країн Східної Європи набув застосування рас-зварювальний трактор МАГ-1, сконструйований у 1944 р. у тресті "Оргсудпром"[458].

У післявоєнний період інтенсивна робота по створенню зварювальних тракторів велася на заводі "Електрик". У 1949 р. тут був розроблений автомат АД-3-1000-2 масою до 65 кг на струм до 1000 А, а в наступні роки на його базі створили апарат для зварювання стикових швів листового металу електродним дротом діаметром 4-8 мм на струмі до 2000 А. Велике розповсюдження знайшли універсальні зварювальні трактори типу УТ, розроблені в ЦНДІТехмаш (І.Л. Бринберг і Л.М. Яровинський) [469]. Ці апарати (УТ-1250, УТ-1500, УТ-2000 М и ін.), відрізнялися відносною портативністю і надійністю [458].

До 1940 р. апаратуру для зварювання під флюсом на Заході робили тільки фірма "Лінде" і її дочірні підприємства в Англії, Німеччині, Франції, Бельгії. Трактори типу У цієї фірми були громіздкими і не могли переміщатися безпосередньо по виробі, для цього був потрібний спеціальний рейковий шлях. Дана обставина ускладнювала конструкцію автозварювальних установок. Аналогічним недоліком відрізнялися і трактори фірми "Keillberg" [469]. Однак уже до 1948 р. фірмою "Лінде" були створені зварювальні голівки і трактори різного призначення, успішно виконувалися замовлення по виготовленню складних і відповідальних конструкцій (бойлерів і ін.) із прямими-лінійними, кільцевими і криволінійними швами. Автоматичне зварювання успішно застосовувалося при виробництві сталевих конструкцій і інші фірми США.

Після війни випуск апаратури для зварювання під флюсом був здійснений також американською фірмою "Лінкольн". Інші фірми, що мають багаторічний досвід виробництва автоматів для зварювання відкритою дугою, продовжували випуск такого роду апаратури. У США фірма "Рид евери" рекламувала голівки для автоматичного зварювання покритої (обмазаної) електродним дротом, а в Англії фірма "Фузарк" - трактори і голівки для зварювання обмазаним дротом, що має поверх покриття сталеву дровову оплетку для підведення зварювального струму до електрода.

По іншому шляху пішла фірма "ЕСАБ" (Швеція). Протягом 1940-х років головна фабрика фірми в м. Лакса (Швеція) і дочірнє підприємство в Німеччині поставили велику кількість апаратів своєї конструкції У 1950 р. у лабораторіях фірми "ЕСАБ" був розроблений випрямляч, а потім і серія спеціалізованих машин для зварювання під флюсом на постійному струмі.

Інші фірми випускали так називані універсальні голівки і трактори, що допускають застосування як голої (для зварювання під флюсом), так і обмазаної (для зварювання відкритою дугою) дроту. У ФРН фірма "Карл Клоос" випускала універсальний зварювальний авто-мат-трактор типу СА1 для зварювання відкритою дугою, а також для зварювання під флюсом на струмах до 1200 А. Аналогічним образом надходила швейцарська Браун-Бовери" (Баден), що випускає універсальний автомат UNI [470], призначений не тільки для зварювання під флюсом і відкритою

дугою, але і для зварювання голим електродом з магнітним флюсом-покриттям. Дочірнє підприємство цієї фірми в Норвегії в 1956 р. випустило універсальний зварювальний автомат U-1200, призначений для трьох перерахованих способів автоматичного дугового зварювання. До кінця 1950-х рр. фірма "Кьельберг" продовжувала випуск напівавтоматів для зварювання відкритої дугою штучними обмазаними електродами, австрійська фірма "Елін" - автомати для зварювання відкритою дугою голим дротом зі стрічковим покриттям [471].

У СРСР продовжувалася робота над зварювальними головками, у тому числі призначеними для зварювальних станків і установок. У ІЕЗ у 1947 р. були розроблені самохідні голівки спочатку САМ, а потім ВУСА-2, що випускалися майстернями ІЕЗ і заводом "Іскра". Прагнучи до типізації й уніфікації зварювального обладнання, колектив конструкторів ІЕЗ (П.І. Севбо, В.Є. Патон і ін.) сконструював голівку АБС із постійною швидкістю подачі електродного дроту. На основі вузлів цього апарата була створена серія уніфікованих апаратів, у тому числі голівки А-348, А-639 і ін. Зварювальна голівка АБС і її "похідні" випускали декілька десятиліть; вони експлуатуються дотепер [468].

Серед зварювальних тракторів слід зазначити широко застосовуваний трактор АДФ-1002, призначений для зварювання стикових швів з обробленням крайок і без її, швів кутових з'єднань похилим електродом і нахлесточних з'єднань. Шви можуть бути прямолінійними і кільцевими. Мінімальний діаметр внутрішнього кільцевого шву складав 1200 мм.

Трактори ТС-32 і ТС-44 призначені для однодугового зварювання стикових з'єднань листового матеріалу за один прохід на ковзної водоохолоджувальної мідній підкладці з одночасним формуванням зворотної сторони шва [468].

5.4. Роль автоматизації в прискоренні виробництва продукції машинобудівних галузей і енергетичного комплексу з середині 1950-х років.

Однієї з перших успішних спроб підвищення продуктивності праці на основі механізації й автоматизації зварювального устаткування є застосування двомісних установок човникового типу, у яких зварка на одному місці сполучена за часом з вивантаженням звареного виробу і завантаженням чергового комплекту заготовань.

У перші післявоєнні роки намітилася тенденція до підвищення потужності джерела нагрівання. Однак один зі шляхів - збільшення струму до 3000-4000 А при одночасному росту діаметра електродного дроту до 8-12 мм - виявився нерациональним через труднощі з подачею надзвичайно твердих дротів, а головне через великий обсяг зварювальної ванни і дефектів при формуванні і кристалізації зварювальної ванни. Другий шлях - багатодугові і багатоелектродні процеси - виявився перспективним.

Наприкінці 1940-х рр. почали впроваджувати у виробництво спосіб зварювання двома дротами швів стикових і вуглових одношарових з'єднань. В наступні роки були розроблені різні варіанти зварювання декількома дротами. Один з них був покладений в основу технології виробництва труб.

У 1950 р. у ІЕЗ створені універсальний дводуговий зварювальний трактор ДТС-23 і трехдугова самохідна зварювальна голівка А-330 (В.Р. Лашкевич), що дозволили реалізувати ідею швидкісного зварювання труб [472].

В післявоєнні роки одержало розвиток зварювання трифазною дугою під флюсом. В Уральському політехнічному інституті (Г.П. Михайлов), у ЦНДІТМаш і на Уралмашзаводі були розроблені автомати, що забезпечували швидкість зварювання до 150 м/год при діаметрі електродного дроту 5-8 мм і струмі на кожному електроді більш 1000 А [473].

Слід також зазначити, що зварювальні голівки раз-особистих типів монтувалися на наплавочні верстати. Так, вальценаплавочний верстат КЖ 9704, призначений для наплавлення валків довжиною до 7000 мм, діаметром до 1400 мм, масою до 40 т, оснащують двома наплавочними апаратами з пристроями, що копіюють. Валки листопрокатних і штрипсових станів наплавають по багатодугової схемі при одночасній роботі декількох наплавочних голівок. Всіма апаратами керує один оператор. Зварювальні голівки розміщуються на супі-порту верстатів.

До середини 1950-х рр. у ІЕЗ був розроблений новий тип апаратів (В.Є. Патон), що призначалися для зварювання товстолистових конструкцій (обшивання кораблів, резервуарів, цистерн і т. п). Трактор ТС-32 був постачений пристроєм для формування зворотної сторони шва - мідним повзуном, закріпленим на візку ножем, що проходив у зазор між крайками, що зварюються [468].

У 1954 р. у США фірма "Лінкольн" розробила легкий, малогабаритний зварювальний трактор "Лінкольнвелд". Він, як і ТС-17, мав обгумовані бігунці, не мав потребу в рейковому шляху, переміщався безпосередньо по виробу і вільно виконував зварювання кільцевих і подовжніх швів виробів навіть невеликого діаметра [474]. Фірма "Хобарт" у США також початки випускати портативні трактори на гумовому ході для зварювання під флюсом. Фірма "Лінді" пристосувала свої трактори для зварювання "у човник" швів кутових з'єднань балок при безпосереднім пересуванні трактора по балці, що зварюється, [475] аналогічно тому, як це роблять при зварюванні трактором ТС-17. У США фірмою "Лінді" у 1954 р. випущена нова модель малогабаритної і порівняно простій по конструкції підвісної самохідної голівки DSN [476]. Підвісні голівки виготовляла фірма "Сесил Рік" [477] і ін. Фірма "Елін" у 1956 р. рекламувала свій універсальний зварювальний автомат, придатний і для зварювання під флюсом.

У США, Великобританії і ряді інших країн, поряд з універсальними автоматичними зварювальними головками, була розроблена достатня кількість спеціалізованих дугових автоматів, особливо допоміжного устаткування і технологічного оснащення. Серед їх слід зазначити автомат для зварювання під флюсом жарових труб у днище парового казана і випущений у 1954 р. у Великобританії автомат для зварювання криволінійних швів по чи копію по кресленню (останній автомат оснащений оптичними приладами, застосовуваними на сучасних газорізальних машинах). У 1954 р. у США було випущено агрегат для автоматичного зварювання під флюсом листів нержавіючих і інших сталей шириною близько 3 м і товщиною 1,5-6,25 мм, постачений валками для виправлення листів перед зварюванням [478-480].

У 1946-47 р. у ІЕЗ розроблені основні положення стикового зварювання під флюсом листів товщиною 8 мм на швидкостях 160-200 м/год. Зварювання здійснювали двома дугами підвищеної потужності (до 200 кВт). З ініціативи Є.О. Патона, спосіб дводугового зварювання на великих швидкостях був відразу ж застосований у трубному виробництві. Спроектований у ІЕЗ оригінальний трубозварювальний стан був першим у Радянському Союзі агрегатом для дугового

зварювання труб. На початку 1950 р. Харцизький трубний завод перейшов на новий спосіб виробництва зварених труб. Уперше зборку і зварювання трубної заготівлі в трубу виконували в одному агрегаті при стаціонарно встановленій зварювальній голівці і рухливій заготівлі. Стан потокового безупинного зварювання труб діаметром 529-720 мм дозволяв зварювати труби зі швидкістю 120 м/год. Крім того, надалі в ІЕЗ було створено установки для зварювання секцій із двох-трьох труб. Завдяки цьому завод початків випускати довгомірні труби. Малогабаритну зварювальну голівку встановлювали на нерухомій консолі довжиною 12,5 м. Електродний дріт з розміщених зовні двох котушок подавали до голівки по трубах (фірма "Маннесман Хеш", ФРН).

На ряді інших станів для подачі дроту застосовували дві головки, що були також змонтовані на консолі (заводи Лоррен-Еско в Седані, Депонт-а-Муссон у Бельвиле, Фенікс Райнрор у Дуйсбурге). З метою потокового внутрішнього зварювання прямошовних труб фірма "Маннесман-Меер" і завод "Бендер" у Гильхенбахе (ФРН) для опори, розміщеної усередині зварювальної голівки, використовували ножі, що просмикуються в зазор між подовжніми стиками заготовки [481, 482]. Ще раніш подібна ідея була реалізована в СРСР на апаратах з рівнобіжним переміщенням формуючих повзунів.

За рубежом був налагоджений випуск автозварювальної апаратури для багатодугового і багатоелектродного зварювання. Наприклад, дочірнє підприємство фірми "Лінді" у ФРН (відділення "Еліра" у Мюнхені) вже в 1954 р. запропонувало промисловості універсальні зварювальні голівки, зварювальні голівки "тандем" для двох-дугового зварювання на великих швидкостях, голівки "серіес-арк" для наплавочних робіт, голівки для зварювання розщип-ленням електродом з розташуванням двох дротів попів-рік шва (для зварювання по зазорах). Фірма "Лінкольн" у США вже в 1953 р. випустила спеціальні голівки для двохелектродного зварювання. Голівки для двохелектродного зварювання з поперечними коливаннями електродів (зварювання по методу "sprasd arc") дозволили за один прохід автомата наплавлять смугу шириною 50-75 мм. Такого роду підвесні голівки знайшли широке застосування при відновленні наплавленням деталей землерийних машин, виробництва великих гідротурбін (наплавлення шаруючи нержавіючою стали на

лопаті турбіни) і т.д.. У 1950 р. у Великобританії для зварювання під флюсом фірми "Квази-арк" і "Лінкольн Електрик" випускали апарати легкого типу DS і DSH на струми до 1200 А, а також важкого типу JE і M на 2000 і 4000 А. Трактор JE призначався для зварювання листових конструкцій товщиною до 32 мм дротом діаметром 2,3-8,0 мм. До кінця 1950-х рр. були розроблені десятки універсальних і спеціалізованих апаратів для дугового зварювання. Важко пер-числити всі оригінальні конструктивні рішення, запропоновані фахівцями СРСР (ІЕЗ, ЦНДІТМаше, МВТУ ім. М.Е. Баумана й ін.), США (фірми "Лінде ейр продакшн", "Грайвер танк") і ін. Серед конструктивних розробок - приводи подачі електродного дроту із синхронними й асинхронними двигунами, роликowymi пристроями, механічними і електричними системами настроювання швидкості подачі, струмопідводящі мундштуки; ходові механізми з приводами, супами-портами; пристрої, що копіюють.

В наступні роки насущною проблемою було удосконалення зварювальної апаратури насамперед з метою підвищення надійності подачі, утримання й прибирання флюсу, а також напрямку кінця електрода по місцеві зварювання і безвідмовного порушення дуги на початку процесу. Дуже актуальними задачами були збереження наступності, уніфікація вузлів і деталей зразків устаткування і підтримку його на сучасному рівні не шляхом повної заміни і переходу до нових зразків, а за рахунок поступового удосконалення. Вітчизняне устаткування і зварювальні матеріали перевершили закордонні по ряду принципів положень [483]. Вперше у світі в ІЕЗ була вирішена проблема автоматичного зварювання під флюсом вертикальних і горизонтальних швів. У 1947-48 р. під керівництвом Є.О. Патона в ІЕЗ відпрацьовували техніку зварювання і конструкції пристроїв, призначених для формування зварювальної ванни, " , що піднімається" під шаром розплавленого флюсу в зазорі між вертикально розташованими крайками [484].

Для зварювання вертикальних і горизонтальних швів на вертикальній площині Інститут електрозварювання створив апаратуру двох типів: для монтажного зварювання кожуха доменної печі і для зварювання обшивання судів.

Для цього способу треба буде створення зварювального устаткування принципово нового типу. Було розроблено одноелектродний рейковий апарат А-314 (М. Д.

Литвинчук). Він дозволяв зварювати у вертикальній площині метал товщиною до 55 мм. Знайшов застосування також рейковий одноелектродний апарат А-333 (А.І. Чвертко). Для роботи на будівництвах і стапелях (на монтажі великих зварених металоконструкцій мостів, суден і ін.) створені легкі портативні магнітошагаючи апарати А-411, А-501 (В.Є. Патон) й ін.

При зварюванні на вертикальній площині необхідно було забезпечити також притиснення і контрольоване переміщення не тільки формуючих пристроїв, але і зварювальної голівки. У ІЕЗ було розроблено декілька варіантів конструкцій апаратів і пристосувань як з механічними, так і з магнітними приводами [485].

Для примусового формування шва є мідний формуючий пристрій, охолоджуваний у процесі зварювання, що щільно притискається до виробу і пересувається разом зі зварювальною голівкою. Електродний дріт подається в зварювальну ванну вертикально чи під кутом до вертикалі. Лійка з флюсом розміщується на зварювальній голівці. Грунтуючись на теорії автоматів, Б.Є. Патон висунув ідею інтенсифікації саморегулювання процесу плавлення електрода і необхідності здійснення зварювання при високій щільності струму (до 200 А/мм). Це вирішило проблему механізованого зварювання електродом, що плавиться, під флюсом у вуглекислому й інертному газах [468]. ІЕЗ протягом декількох років працював над створенням способу напівавтоматичного зварювання під флюсом. Принципове рішення питання було отримано ще в 1944 р. (Б.Є. Патон), однак апаратура мала серйозні недоліки. Продовжуючи роботу над удосконаленням нового способу зварювання, інститут (Б.Є. Патон, Д.А. Дудко й ін.) пішов по шляху різкого підвищення щільності струму в електроді. Замість електродного дроту діаметром 5 мм був застосований дріт малого діаметра (2 мм), що дозволило розробити надійну апаратуру. Разом з тим значно підвищилася стійкість процесу. Наприкінці 1948 р. був створений перший зразок напівавтомата нового типу. Новий спосіб напівавтоматичного зварювання одержав назву "шлангового", тому що електродний дріт подається до місця зварювання по шлангу.

У 1948 р. у ІЕЗ удалося створити легку, транспортабельну апаратуру, що забезпечує подачу дроту діаметром 1-2 мм через спеціальний шланг у пальник, що знаходиться в руці зварника, причому флюс подавався через лійку, закріплену на

тримачу [486]. Над створенням і удосконалюванням устаткування для шлангового механізованого зварювання працювали також стільники-рудники заводу "Електрик" М.Я. Кочановський, С.М. Катлер, О.М. Кушнар'ов, головний технолог заводу "Укркабель" Т.С. Ситников. Новий тримач забезпечив велику маневреність при русі вручну. Шлангове механізоване зварювання дозволило майже цілком механізувати процеси зварювання секцій і корпусів судів, нафтохімапаратури й ін. Тисячі апаратів ПШ-5 конструкції ІЕЗ працювали безвідмовно на сотнях заводів і будівництв [487]. Новий спосіб напівавтоматичного зварювання дозволив створити дуже прості портативні апарати типу ПШ-6 для обварювання зв'язків топок паровозних казанів, для приварки штуцерів, трубок до судин і інших виробів. Розробляються спеціальні апарати також для інших об'єктів [487].

Механізоване зварювання під флюсом у 1948 р. було застосоване фірмою "Гласкоут продактс" (США) для виробництва хімічних реакторів. Зварювали зсередини і зовні подовжні шви обичайок діаметром 1,66 м, а зсередини - поворотні з'єднання днища з обичайкою. Стикові з'єднання сталевих аркушів товщиною 16 мм виконували дротом діаметром 1,8 мм при струмах 300-600 А. Відзначалося, що технологія, при якій тримач з пальником переміщається вручну, зберігає всі переваги зварювання під флюсом [488]. На початку 1950-х рр. у США фірма "Лінде ейр продактс" (А.А. Каблі) також розробила вдалу модель напівавтомата [489]. В ці роки напівавтомати трохи потіснили ручне дугове і газове зварювання.

В перші роки існування промислового способу автоматичного зварювання під флюсом думки фахівців США і СРСР про вибір джерел живлення розійшлися. У США дугове зварювання прагнули традиційно виконувати на постійному струмі. У Радянському Союзі ще з 1920-х рр. випускали однокорпусні зварювальні трансформатори - регулятори по системі, запропонованої В.П. Нікітін, що виявилися придатними для ручного, автоматичного і механізованого зварювання.

У 1940-х рр. у ряді робіт Б.Є. Патона, В.К. Лебедева, В.П. Нікітіна й інших радянських вчених була запропонована нова методика й основні формули для електромагнітних розрахунків найбільш розповсюджених зварювальних трансформаторів [490, 491].

Оригінальні конструкції трансформаторів були розроблені в ІЕЗ. Джерела живлення задовольняли оптимальному співвідношенню між струмом короткого замкнення і струмом горіння дуги, рівному 1,2-1,4. Це забезпечило досить стійке порушення дуги й інтенсивне регулювання її довжини при зварюванні автоматичними голівками з постійною швидкістю подачі. У 1947 р. у ІЕЗ Б.Є. Патон, В.К. Лебедєв, М.М. Сидоренко, розробили могутній трансформатор СТ-1000 з дистанційним керуванням. У наступному році, щоб виключити релейно-контактні схеми, що застосовувалися для відновлення режиму зварювання при коливаннях напруги в заводській мережі, Б.Є. Патон, В.К. Лебедєв і Д.А. Дудко створили принципово нове експериментальне обладнання, що складається з трансформатора-регулятора і голівки з автоматичним регулюванням швидкості подачі електродного дроту [468, 490-492]. Трансформатори випускали майстерні ІЕЗ і завод "Електрик".

На підставі досліджень, виконаних у ІЕЗ, було встановлено, що для одержання швів високої якості необхідно в процесі зварювання зберігати незмінними як зварювальний струм, так і напруга дуги, тобто обидві складові потужності дуги. Усі відомі дотепер схеми дугових автоматів забезпечували сталість тільки однієї зі складових: або струму, або напруги дуги. Нове обладнання ІЕЗ дозволило вирішити задачу збереження потужності дуги, тобто струми і напруги, незалежно від коливань напруги мережі.

Трансформатори для зварювання трифазним струмом типу СЕМЗ конструкції М.С. Сіунова в 1949 р. початків випускати Свердловський електромеханічний завод. У 1958 р. у СРСР 63% парку встановленого і 54% усього випуску електрозварювального устаткування складали зварювальні трансформатори.

За рубежем у промислово розвитих країнах як і раніше віддають перевагу зварюванню на постійному струмі. Достатня увага генераторам постійного струму приділяли й у СРСР (І.Я. Рабинович [493], І.І. Заруба [494] і ін.). Поряд з генераторами постійного струму в 1950-х роках починають поширюватися випрямлячі із селеновими і кремнієвими напівпровідниками. І хоча основною областю їхнього застосування стало зварювання плавлячимся електродом у захисних газах, проте, випрямлячі відрізняються поруч переваг і при живленні дуги, що горить

під флюсом. У СРСР на основі даних значного обсягу досліджень були визначені принципи розробки схем зварювальних випрямлячів (І.Я. Рабинович, Г.М. Каспржак і ін.) [495]. Були встановлені вимоги до статичних і динамічних характеристик, особливості електромагнітних розрахунків випрямлячі (ІЕЗ, Б.Є. Патон, В.К. Лебедев) [496]. При зварюванні під флюсом знайшли застосування розроблені в ІЕЗ селенові випрямлячі (Б.В. Нудельман і ін.) типу ВСЖ із магнітною комутацією, а для трубного виробництва - ВДУ-1602.

В основних галузях нашої промисловості розмірно за три роки, тобто до початку 1950 р., кількість діючих автоматів і установок зросло в машинобудуванні більш ніж у 4 рази, у суднобудуванні - майже в 6 разів, у будівництві - у 3,5 рази. Загальна кількість зварювальних автоматів, що знаходяться в експлуатації в 1946-49 р., збільшилося в 12 разів.

До кінця 1950-х рр. у СРСР зростає кількість підприємств, що випускають зварювальне устаткування. З заводу "Електрик" Вільнюському заводу електрозварювального устаткування була передана технічна документація, технологічне оснащення і частина обладнання для виробництва зварювальних трансформаторів СТЭ-34, СТН-500 і СТН-600, а також направлені спеціалісти для надання допомоги в освоєнні виробництва. Випуск джерел живлення, тракторів і зварювальних голівок (ТС-32, АДС-2, АДФ-501 і ін.) було налагоджено на Тбіліському заводі електрозварювального обладнання "Електрозварювання" (якому в 1964 р. з нагоди п'ятиліття з дня підстави було привласнене ім'я "Є.О. Патона"). Апарати для дугового автоматичного зварювання в 1959 р. початків випускати Каховський завод електрозварювального устаткування (голівки АБС, спеціалізований наплавочний автомат А-482 і ін.). У цей же час до виробництва зварювальної апаратури підключився ряд заводів у різних регіонах країни (у Калінінграді, Павлограді й ін.). Основний обсяг дослідно - конструкторських розробок виконали в конструкторському відділі ІЕЗ (з 1959 р. перетвореним в дослідне - конструкторське бюро) і в створеному в 1953 р. ВНДІЕЗО у Ленінграді [497]. До 1959 р. у промисловості і будівництві СРСР працювало більш 10 тис. автоматів і напівавтоматів; приблизно 8 тис. такого обладнання було в США.

Одночасно йшла робота з створенню нових джерел живлення дуги. Були створені джерела з статичними і поліпшеними динамічними характеристиками, що можна зменшена маса, підвищені надійність і довговічність багатьох типів устаткування. Трансформатори типу СТН і ТС були замінені новими типу ТД із конденсаторами, що компенсують. Організовано серійний випуск малогабаритних трансформаторів на струми 160 і 300 А при ПВ =20%. Обертові преобразователі поступово поступилися місцем однопостовим випрямним установкам з германієвими і кременієвими вентилями. Промисловість освоїла виробництво багатопостових випрямлячів на 6, 9 і 18 постів типу ВДМ (ВКСМ) на струми 2 і 3 кА [498].

У СРСР для автоматичного зварювання під флюсом у польових умовах застосовували пересувний зварювальний агрегат типу ПАС-1000 з регулюванням струму в межах 300-1200 А. Для автоматичного і механізованого дугового зварювання шланговими автоматами і напівавтоматами, а також для ручного дугового зварювання, різання і наплавлення на струмах 120-600 А випускали перетворювачі типу ПС-500. У 1959 р. завод "Електрик" організував виробництво уніфікованих зварювальних генераторів постійного струму типу ГСО.

Подальша автоматизація зварювання дугою як під флюсом, так і в захисних газах здійснювалася по декількох напрямках, в основному на нових більш удосконалених електронних елементах, але з застосуванням вже випробуваних надійних механізмів [499-503].

ВИСНОВКИ

1. Основним напрямком науково-технічного прогресу в галузі зварювання є підвищення продуктивності, стабільність функціонування, облегшення умов праці тощо. Автоматизація зварювального виробництва складається з підтримки в реальному часі без втручання оператора: параметрів процесу ввода енергій в зону з'єднання в межах, необхідних для забезпечення експлуатаційної характеристики; відносно переміщення зварювального апарата і виробу; суміжних процесів (подача виробу, контроль якості тощо).

2. Регулювання параметрів струму і тривалості зварювання є важливою істотною частиною зварювальних машин. Розробка і застосування зварювальних голівок для механізованого й автоматичного дугового зварювання за період з кінця ХІХ століття

до середині ХХ ст. кілька стадій одночасно в багатьох промислово розвинутих країнах.

3. Одним з елементів системи автоматичного управління процесом зварювання є джерела живлення. Наприкінці ХІХ ст. на першій стадії створення зварювального обладнання використовували неспеціалізовані слабкострумові генератори разом з батареєю акумуляторів і регулюючими реостатами різного типу, що автоматично підтримували деякі параметри процесу зварювання при коректировки оператором. На початку ХХ ст. було винайдено генератори (Е. Розенберг, А. Кремер та інші), що стали прототипом для дугових зварювальних генераторів з обертовими частинами. Удосконалюванням генераторів займалися винахідники і фірми США, СРСР, Великобританії, Німеччини, Австрії, Швеції й інших країн.

4. Перші зварювальні апарати як для зварювання вугільним електродом, так і зварювання металевими електродами, що плавилась, містили електромагнітомеханічні механізми. Системи керування тривалістю зварювання розвивалися від електромагнітних з конденсаторними реле часу до ігнітронних, що забезпечують витримку під струмом у тисячі амперів з точністю до часток секунди.

5. Особливість контактного зварювання вимагала найточнішої підтримки часу (до частки секунди) і джерел струму в декілька тисяч ампер. Перші спеціалізовані трансформатори для контактного зварювання, розроблені Е.Томсоном наприкінці 1880-х рр. Для регулювання струму було запропоноване секціонування обмоток. Тривалість проходження зварювального струму контролювалася електромагнітною системою, що містить конденсатор. У 1924 р. у схему була включена неонова лампа, завдяки чому струм міг проходити через систему тільки при напрузі строго визначеного рівня.

6. Застосування перемінного струму для дугового зварювання стало можливим після створення електродів з компонентами, що іонізуються, у покритті. В середині 1920-х рр. у США, Німеччини, СРСР і інших країнах, було розроблено трансформатори з магнітними шунтами (В.П.Нікітін), з додатковою обмоткою для накладання струму високої частоти і напруги (Н.С.Міллер, США), з рівнобіжною додатковою обмоткою підвищеної напруги (К. Дж. Хольслаг, США).

7. З 1920-30-х років механізацією і автоматизацією займалися фірми “Д.Е” і «Метрополітен викакерс” (США), “Елін” (Австрія), “Белер” (Німеччина). Електрозварювальна лабораторія АН УРСР, лабораторії заводу “Електрик” і МВТУ (СРСР). Було створено кілька типів зварювальних голівок із системами керування на електромагнітних реле і контакторах, що задовільно забезпечують функції збудження і підтримки постійної довжини дуги.

8. На початку 1920-х рр. були розроблені зварювальні голівки, що забезпечують спостереження за параметрами режиму зварювання шляхом реверсування електродвигуна. Однак такі апарати мали велику інерцію. З початку 1930-х рр. з’явилися конструкції автоматів, що засновані на регулюванні подачі електродного дроту за допомогою фрикційних і зубчастих передач при постійній швидкості обертання електродвигуна. Наприкінці 1930-х рр. у США (Г.Е.Кеннеді, Л.Т.Джонс, Г.Е. Кеннеді, і М.А. Роттермунд фірма “Лінді ейр продактс”, “Д Е” й ін.), в інститутах і заводських лабораторіях СРСР (ІЕЗ, завод “ Електрик”, МММІ ім. М.Е. Баумана і й ін.), а потім і в ряді інших країн створена промислова високоефективна технологія зварювання голим електродним дротом під шаром флюсу з використанням електромеханічного приводу.

9. У 1942 р. старший науковий співробітник ІЕЗ В.І. Дятлов відкрив явище саморегулювання дугового процесу і запропонував спростити конструкцію зварювальних автоматів, виключивши складну систему збудження і підтримки довжини дуги. Механічна частина зварювальної голівки, розроблена П.І.Севбом, і електрична схема апарата керування, розроблена Б.Є. Патонем, були прості і дозволяли працювати на апаратах операторам з низькою кваліфікацією.

10. Сконструйований у 1945 р. у ІЕЗ портативний трактор для автоматичного дугового зварювання під флюсом ТС-6 (В.Є.Патон) відкрив серію легких зварювальних апаратів. На протязі 1945-47 років у ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена серія спеціалізованих автоматів для зварювання стикових швів і кутових з’єднань “у човник”. При струмах 600-1000 А вони забезпечували швидкість зварювання від 22 до 44 м/ год.

11. У 1946-47 рр. у ІЕЗ розроблені основні положення автоматичного зварювання під флюсом на швидкостях 160-200 м/год двома дугами підвищеної потужності (до

200 кВт). Уперше зборку і зварювання трубної заготівлі в трубу виконували в одному агрегаті при стаціонарно встановленій зварювальній голівці і рухливій заготівлі.

12. До 1952 р. у ІЕЗ ім. Є.О. Патона була сформульована теорія автоматів для дугового зварювання (Б.Є.Патон, В.К. Лебедєв), яка склала основу подальшого розвитку автоматів і напівавтоматів для дугового зварювання. Значний внесок у рішення проблем автоматичного регулювання внесли також співробітники ВНДІЕЗО, МВТУ ім. М.Е. Баумана, ЦНДІ ТС “Прометей” і ряду інших організацій.

ХРОНОЛОГІЯ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

1881 - батарея акумуляторів із слабкострумовим генератором - М. М. Бенардос

1881. - зварювальний пост з механічним ручним регулюванням параметрів режиму - М.М. Бенардос

1885 – автоматичний регулятор довжини косвеної дуги - М.М. Бенардос

1885 - трансформатор для стикового контактного зварювання - Е.Томсон

1887 - кліщі для точкового зварювання М.М. Бенардос

1888 – механізм подавання плавкого електрода з електромагнітним регулятором напруги дуги - М.Г. Слав'янов

1888 – механізми переміщення головок і виробів – Г.Говорд

1888 - перший зварювальний генератор - М.Г. Слав'янов

1890-1900 р. - установки для контактного зварювання з генератором постійного струму з електричним і механічним вузлами – Е. Томсон

1890 - кліщі із трансформатором, вмонтованим у рухливу конструкцію – Е.Томсон

1920 - реле часу в контактних машинах з фігурними роликми -

1890 - генератор постійного струму із акумулятором - Ф. Ріхтер

1904 - динамомашини з короткозамкнутою обмоткою якоря - Е. Розенберг

1905-07 - схеми регулювання струму генератора - Бергманн, Кремер, Скотт

1907 - зварювальний генератор Е. Зімундом, Венцель.

1907 - генератор з регульованою напругою - Д.Ф.Лінкольн

1907 - генератори постійного струму від парової машини - О. Кьельберг

1907 - мотор-генератор - А. де Еспієс

1909 - генератор постійного струму - Д. Вестингаус.

1910 - зварювальні мотор-генератори фірми "Д.Е." - Ч.А. Коффін.

1910 - генератор із самозбудженням – Кремер

1919-20 – реверсивний двигун для регулювання довжини дуги – Дженерал

Електрик, Лінкольн

1923 трансформатори для дугового зварювання - фірма "Віко"

1923 - генератор з розмагнічуючою послідовною обмоткою збудження - В.П.

Нікітін, К.К. Хренов і А.О. Алексєєв

1924 - серійний випуск генераторів для електрозварювання на заводі "Електрик" (Петроград)

1926 - зварювальні машини перемінного струму фірм "Сіменс-Шуккерт", АЕГ (Німеччина) та ін.

1929 - чотирикотушковий зварювальний трансформатор - Міллер

1929 – двійні зварювальні головки – Елін

1930 – подача електрода з перетворенням обертово-колебального руху в переривисто-поступальний рух

1930 - однокорпусний трансформатор СТН - В.П. Нікітін

1931 – однокорпусний трансформатор з реактивними котушками СТХ - К.К.

Хренов

1931 . - виробництво однопостових генераторів на заводі "Електрик"

1932 – подача електрода двома двигунами – Вестінгауз

1933 - виготовлення багатопостових перетворювачів на заводі "Електрик"

1933 - агрегати з бензиновим двигуном внутрішнього згоряння

1934 – подача електрода фрікційним механізмом – Д.Е. Вестінгауз

1934 – автоматична головка з пневматичним приводом – Юна

1936 - трансформатор з накладанням струму високої частоти – Міллер, Бетено.

РОЗДІЛ 6

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОБ'ЄДНАННЯ, НАУКОВІ ШКОЛИ Й РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД ЗВАРЮВАННЯ

6.1. Діяльність науково-технічних об'єднань, дослідницьких і навчальних центрів зі зварювання в Росії і СРСР

6.1.1. Діяльність Імператорського Руського технічного товариства (ІРТТ) з підтримки розвитку зварювання вивчалась істориками і спеціалістами різних галузей техніки фрагментарно, як поле, на якому діяли окремі вчені і винахідники [501-503]. Більш менш повно діяльність ІРТТ освітлена в окремих статтях, присвячених звітам за окремі періоди діяльності і з'їздам товариства [504].

Відомі дослідники діяльності М.М.Бенардоса і М.Г.Слав'янова відзначали, що ІРТТ займалось проблемами розповсюдження перших способів електрозварювання, і надало місце для особливих експозицій на електроенергетичній виставці в Петербурзі, організувало пропаганду внеску вітчизняних винахідників на Міжнародній виставці в Парижі, зверталось до уряду Росії з клопотанням про призначення пенсії М.М.Бенардосу [247]. Нами впродовж досліджень генезису дугового зварювання, обставин вирішення технічних й організаційних проблем, що зустрічалися на шляху створення і розвитку зварювання були зібрані нові матеріали, які доповнюють раніше відому роль ІРТТ в розвитку електротехнологій, зокрема, електрозварювання [505]. На засадах цих матеріалів можна вважати, що ІРТТ зіграло значну роль у розвитку зварювання, підтримую діяльність М.М.Бенардоса і М.Г.Слав'янова по удосконаленню і розповсюдженню електрозварювання [506].

Наукові товариства почали виникати в Росії ще на початку ХІХ ст., но як форма організації сприяння проведення наукових досліджень, пропаганди і впровадження їхніх результатів широко поширилися в другій половині століття. Скасування засад кріпацтва, успіхи промислового виробництва і утвердження капіталізму спричинили глибокі зрушення в галузях культури, науки і товарних відносин. Перемога промислового капіталізму викликала зацікавленість у підприємців у розвитку

нової техніки, впровадженні більш ефективних технологій, конструкцій і обладнання.

Руське технічне товариство було засноване у 1866 р., і у 1874 р. отримало статус Імператорського руського технічного товариства (ІРТТ). (В більшості досліджень радянські історики в назві товариства слово “Імператорське” відкидали). В уставі ІРТО відзначалось, що товариство “має ціль сприяти поширенню технічних знань, організації конкурсів, виставок, музеїв, технічної бібліотеки. Товариство бере на себе посередництво між техніками і особами, що потребують їх послуг, сприяють технічним успіхам російської промисловості і здобутку технічних витворів вітчизняної промисловості [507, с.15]. Ініціатором заснування ІРТТ була група вчених та інженерів, що займались дослідженнями наукових, технічних і організаційних проблем найбільш перспективних на той час галузей техніки. Вже за перший рік свого існування товариство нараховувало більш ніж 300 членів: науковців-дослідників, державних службовців, інженерів та промисловців.

Спочатку було створено 4 відділення, що об'єднували родинні напрямки: 1) хімічні технології й металургію; 2) інженерно-будівельну та гірничу справу; 3) техніку військової і морської справи; 4) механіку та механічні технології. В 1878 р. було створено відділ фотографії і її застосування; у 1880 р. – відділи: 1) електротехніки; 2) повітроплавання; у 1881 р. – залізничної справи. В наступні роки було відкрито ще декілька відділів, в тому числі: технічної освіти; промислово-економічний; техніки міського і земського господарства; меліорації, палива та інші [508]. Тобто до кінця 1916 року діяльність ІРТТ охоплювала всі провідні напрямки техніки, що розвивалися, і його члени вирішували не тільки науково-технічні проблеми, а також опікувались підготовкою кваліфікованих кадрів з організаційних питань по впровадженню у виробництво нової техніки. Але ІРТТ не мало своєї науково-технічної бази. Його члени працювали в різних закладах і фірмах, і не тільки в Санкт-Петербурзі. До кінця ХІХ ст. було сформовано більше двадцяти регіональних відділень (Київське, Московське, Бакинське та ін.), члени яких хоч і виконували завдання роботодавців, керівників фірм, навчальних закладів та ін., проте регулярно зустрічались на засіданнях і з'їздах. На цих зустрічах обговорювались не тільки науково-технічні досягнення і проблеми, а й колективні

звернення до уряду, проекти постанов, давалися доручення на проведення досліджень та вирішувались фінансові питання.

ІРТТ відіграло значну роль в справі популяризації та розповсюдженні знань серед народу. Окрім спеціальних і загальноосвітніх шкіл, члени ІРТТ проводили лекції і бесіди, писали підручники і популярні книжки, брали участь у виставках, організовували музеї. Видатним внеском в розвиток науки і техніки слід вважати видання журналів. Вже наступного, після заснування року, ІРТТ почало випускати “Записки Русского технического общества” (з 1874 р. – “Записки Императорского русского технического общества”), його відділення випускали журнали “Электричество”, “Фотограф”, “Железнодорожное дело”, “Техника воздухоплавания”. Регіональні відділення видавали збірники праць: “Труды”, “Вестники” і “Записки”. Важливе значення в діяльності ІРТТ мали з’їзди з галузей техніки і виставки. Після Жовтневої революції ІРТТ продовжувало свою діяльність, виправило устав, відновило програму, але в 1929 р. його закрили. У Радянському Союзі розпочалася індустріалізація. Науково-технічні дослідження, впровадження, підготовка фахівців усіх рівнів були організовані на державному рівні. Просвітницька функція була доручена науково-інженерно-технічним товариствам.

Значення діяльності ІРТТ в розбудові промисловості Росії в другій половині XIX ст. неможливо перебільшити. Серед інших галузей, що були під патронатом товариства, була й електротехніка. В контексті всесвітнього освоєння електричної енергії внесок членів РТТ був настільки значним, що на Паризькій Всесвітній виставці століття у 1900 р. VI відділ (електротехнічний) ІРТТ отримав найвищу нагороду - “Гран-При”.

Перше, установче засідання електротехнічного відділу ІРТТ відбулося 8 лютого 1880 р. з участю видатних учених і винахідників, серед яких були: М.П.Булигін, Ф.К.Величко, Д.О.Лачинов, О.М.Лодигін, Ф.А.Піроцький, Є.П.Тверитинов, В.Я.Флоренсов, О.М.Хотинський, В.М. Чиколев, О.І.Шпаковський, П.М.Яблочков та інші. Головою було обрано Ф.К.Величка. Цей відділ став першим в світі об’єднанням спеціалістів з електротехніки. (Наступним було створено Французьке товариство електриків - у 1883 р.). Перша доповідь: “Передача сили на будь-яку відстань за допомогою гальванічного струму (провідники - рейки і дріт)” була

зроблена штабс-капітаном - артилеристом Ф.А.Піроцьким 12 квітня 1880 р. на першій в світі спеціалізованій електротехнічній виставці, що була організована VI відділом [510].

Ця виставка відкрилась менш ніж за півтора місяці після заснування електротехнічного відділу ІРТТ і складалась з восьми підрозділів: 1) телеграфи і телефони; 2) електричне освітлення і електродвигуни; 3) електрика в військовій і морській справі; 4) гальванопластика; 5) електрика в навчальній справі; 6) електровимірювальні прилади; 7) зібрання малюнків, креслень, творів, журналів з електрики; 8) електротерапія [511]. Інтерес до електрики, її можливостей був великим, тим паче, що більшість приладів демонструвалась в дії. Експозиції влаштовувались на особисті рахунки експонентів, товариства та благодійні внески. Пояснення давали самі автори розробок і винахідників, а також відомі вчені (О.М.Бутлеров, О.Д.Хвольсон, Д.О.Лачинов та ін.). Виставка з'явилась наочним підтвердженням можливостей електрики і високим рівнем досягнень вітчизняних розробників.

Часопис “Электричество”, перший випуск якого відбувся 9 червня 1880 р., детально висвітлював досягнення у різних галузях електротехніки, особливо розробки вітчизняних електриків. Цікавими і зараз є сторінки із звітів про відрядження за кордон, де дається оцінка праці іноземних колег. Досить серйозну увагу редакція “Электричества” приділяла захисту пріоритету російських винахідників.

Експозиція П.М.Яблочкова та окремих павільйон Росії, викликали немалий інтерес у відвідувачів, особливо, у спеціалістів. Підтвердженням видатних досягнень вітчизняних електриків був той факт, що на Першій міжнародній Паризькій електротехнічній виставці 1881 р. з 28 експонатів Російського розділу, 21 було нагороджено дипломами і медалями [512, с.64].

В 1882 р. VI відділ ІРТТ організував другу електричну виставку, в якій відвідувачі звернули увагу на передачу по телефону оперних вистав з театру одночасно в 20-і точках. В 1885 р. в Петербурзі було відкрито третю електричну виставку, де вперше було продемонстровано передачу електроенергії на відстані 1,5 км. В розвитку зварювання особливе значення відіграла четверта електрична

виставка. При відкритті цієї виставки в Петербурзі 11 січня 1892р. голова VI Електричного відділу ІРТТ В.Я.Флоренсов сказав: “ на виставці можна побачити застосування електрики для паяння і зварювання металевих конструкцій; цей спосіб одержав широкий розвиток в Америці, Англії, Австрії і Німеччині. У Росії він став використовуватись менше, незважаючи на те, що був розроблений нашим співвітчизником М.М.Бенардосом. Його експонати свідчать про практичність цього способу” [513, с.17-19].

Друкований матеріал ІРТТ, зокрема VI відділу, зафіксував діяльність і великий внесок вітчизняних та батьох інших учених винахідників у створенні електротехнологій. Необхідно відмітити діяльність видатного російського інженера, політичного емігранта М.О.Доліво-Добровольського, який співпрацював з ІРТТ. В 1890р. він був запрошений на роботу у Німецьку Едісонівську компанію, перетворену через кілька років у Загальну компанію електрики (АЕГ). М.М.Доліво-Добровольський сконструював трифазний електродвигун, багатофазний генератор змінного струму і трансформатор для системи трифазного струму. У 1891 р. він разом з російським інженером Р.Е. Классоном влаштували першу у світі лінію передачі змінного трифазного струму на 175 км при напрузі 15 кВ. Змінний струм приходить на Міжнародну електричну виставку в Франкфурті на Майні (Німеччина) з містечка Лауффен, де була встановлена водяна турбіна і генератор потужністю 200 кВт [514]. 1891 р. відкрив початок промислового перевороту на основі електрики. М.О. Доліво-Добровольський виконав ряд важливих для електротехніки досліджень і винаходів приладів, двигунів тощо. На Першому всеросійському електротехнічному з'їзді він виступив з доповіддю “Сучасний розвиток техніки трифазного струму” [503, 514].

Перша спроба освітлення Невського проспекту в Петербурзі була здійснена електричною лампою В.М.Чиколева. Литейний міст у Петербурзі, в перші роки його відкриття був освітлений свічками П.М.Яблочкова. В.М.Чиколев був популяризатором електрики, сміливо виступав за впровадження електричного освітлення. Слід відзначити, що у той час у промислово розвинутих країнах точилася боротьба між могутніми газовими компаніями, що були зацікавлені в збереженні газового освітлення і отриманні прибутків й електриками-ентузіастами нової

техніки, що доводили можливість і перспективність електричного освітлення і значний потенціал електричної енергії в цілому [502]. У 1886 р. у журналі "Электричество" опублікували текст "привілею" М.М. Бенардоса, а в 1887 р. - статтю професора Д. А. Лачинова, що вивчав спосіб дугового зварювання в майстерні Бенардоса [265]. У 1895 р. у ІРТТ була утворена Комісія "для вироблення правил прийому предметів, одержуваних за допомогою обробки чи виливки металів електричним шляхом по способах Бенардоса і Славянова" [266].

Повертаючись до четвертої електричної виставки, слід підкреслити, що в 1892 р. М.М.Бенардос демонстрував не тільки зварювання вугільним неплавким електродом, але і металевим плавким електродом. На плані проспекту видно, що на протилежному боці зали розташована експозиція іншого винахідника – М.Г.Слав'янова, який також демонстрував зварювання плавким електродом [515]. 11 травня 1892 р. учасники виставки отримали нагороди. Вища нагорода – Золота медаль “За вдале застосування вольтової дуги при спаюванні металів і наплавленні металу на інший” була вручена М.М.Бенардосу. Визнанням великих заслуг винахідника в галузі електротехнологій було обрання його 3 травня 1893 р. дійсним членом ІРТТ [516]. Ще однією оцінкою було присвоєння М.М.Бенардосу (разом із винахідником радіо О.С.Поповим і винахідником електричної лампи розжарювання О.М.Ладигініним) Петербурзьким електротехнічним інститутом звання почесного інженера-електрика.

6.1.2. Робота товариства “Електрогефест”. З моменту свого виникнення електричне і газове зварювання привертало увагу вчених і фахівців в області електротехніки, металургії, механіки, теплотехніки.. Перш за все нові види зварювання розглядалися як засіб для рішення поточних проблем промисловості, що швидко розвивається. Удосконалювання нової технології вимагало додаткових досліджень невирішених проблемі і підготовки фахівців.

У 1886 р. М.М.Бенардосом у С.-Петербурзі було організоване перше у світі спеціалізоване науково-виробниче об'єднання по електрозварюванню "Электрогефест". У нього входили дослідницька лабораторія, показові майстерні, конструкторський відділ і два цехи - в одному виконували зварювальні роботи, в іншому виготовляли зварювальне устаткування (батареї акумуляторів, реостати,

комутатори, електродотримачі й ін.) [21, 184]. До кінця 1888 р. фірма "Електрогефест" розширилася - у кожному з цехів працювали до 200 людей. Одним з перших відвідувачів фірми був професор Р. Рюльман з Хемницького політехнічного інституту (Німеччина). У 1897 р. у Берліні Р. Рюльман, що став ентузіастом нового способу з'єднання, і промисловець Г. Барч відкрили першу в Німеччині майстерню дугового зварювання [195].

У Росії електрозварюванню приділяло увагу ще одне наукове об'єднання - Політехнічне товариство при МТУ. Член товариства С.Е. Кордес у 1887 р. уперше виконав розрахунки елементів зварювального ланцюга, визначив вимоги до батарей акумуляторів, генераторам, дав економічні обґрунтування [184]. Інтерес до нових технологій зберігся в Росії і в наступні роки. У 1913 р. у Москві з ініціативи викладачів МТУ й інженерів московських підприємств був заснований перший у світі спеціалізований журнал "Автогенное дело". Професор М. А. Шателен у курсі електротехніки, виданому в 1911 р. і прочитаному в Петербурзькому політехнічному інституті, також приділив значну увагу зварюванню [517].

З розширенням обсягу впровадження зварювання в промисловість, розробок зварювального устаткування і матеріалів з'являється потреба об'єднати зусилля фахівців-зварників і промисловців в обміні інформацією і координації робіт з розвитку зварювального виробництва, у зв'язку з чим виникають комісії, покликані вирішувати конкретні питання.

6.1.3. Работа Всесоюзного науково-інженерно-технічного товариства працівників зварювальної справи (ВНТТЗ). Інтенсивне формування наукових шкіл і системи зварювального утворення в Росії було перервано Першою світовою і громадянською війнами. На відміну від західноєвропейських країн і США, де військові замовлення обумовили підйом економіки, у Росії до 1920 р. були зруйновані економічні відносини і майже цілком - матеріально-технічна база. Розпалися науково-технічні товариства, закрилися багато лабораторій і майстерні, загинули чи емігрували вчені й інженери.

У 1920-х рр. у країнах з розвинутою промисловістю виникають окремі зварювальні товариства, що координують роботу зварювальних лабораторій фірм,

вузів і організацій, що розробляють стандарти і довідники, що випускають спеціальні журнали.

У травні 1926 р. у Москві відбулася Всесоюзна нарада по автогенній справі. На нараді були заслухані 20 доповідей, у яких висвітлювалися стан і досягнення зварювальної справи на підприємствах СРСР і за рубежом. А в 1928 р. відбувся перший Всесоюзний автогенний з'їзд, на якому була визначена потреба в зварювальній апаратурі і матеріалах на найближчі роки. У січні 1930 р. відновилося видання науково-виробничого журналу "Автогенное дело". Перед радянськими зварниками відкрилася можливість оперативно одержувати інформацію про нові технології, обмінюватися результатами досліджень і розробок. Журнал став органом Всесоюзного автогенного тресту і ВНІТОЗ і висвітлював широке коло питань - від результатів теоретичних і експериментальних досліджень до практичних рекомендацій, що просили публікувати робітники [518].

ВНІТОЗ, членами якого були вчені, інженери, робітники-новатори, керівники виробництва, координувало дослідження, здійснювало обслуговування проблем розвитку зварювання, готувало рекомендації для керівництва країни. Значна увага приділялася вивченню закордонного досвіду, що регулярно висвітлювався в журналі й окремих брошурах.

Із середини 1920-х рр. почали створювати спеціалізовані науково-дослідні організації, активно працюють суспільні об'єднання, налагоджується система вищої освіти і виробничого навчання зварюванню, зварювальні журнали і довідкові видання стають сполучною ланкою між наукою і виробництвом. На початку 1925 р. А.О. Алексеев організував у гірничо-металургійному інституті (Ленінград) зварювальну лабораторію і почав механічні і металографічні дослідження зварених швів [315].

Наприкінці 1920-х початку 1930-х рр. у СРСР значний обсяг досліджень виконували в лабораторіях, організованих при кафедрах вузів. Результати виконаних тут досліджень не тільки ставали надбанням науки, але і майже відразу ж вводилися в курси лекцій і підручники. У 1925 р. у Далекосхідному державному університеті В. П. Вологдин початків читати курс зварювання, а в 1929 р. відбувся випуск інженерів-зварників. З 1925 р. вивченням принципу роботи і створенням теорії

джерел живлення зварювальної дуги займався В.П. Нікітін, що організував у Дніпропетровському гірському інституті підготовку інженерів-електротехніків, що спеціалізувалися по електрозварювальному устаткуванню [519]. Ці дослідження він продовжив у Московському автогенно-зварювальному навчальному комбінаті, до складу якого входив зварювальний інститут, що у 1933 р. перейшов у ведення Московського механіко-машинобудівного інституту, (з 1943 р. - МВТУ ім. М.Е. Баумана). На кафедрі зварювання вели вивчення фізико-хімічних властивостей зварювальної дуги (К.К. Хренов), проводили дослідження в області міцності зварених конструкцій (Г.О. Николаєв), розробляли методи розрахунку зварених з'єднань [520]. Науковою школою МВТУ ім.М.Е. Баумана зроблено помітний внесок у розвиток науки про зварювання. У Московському електромеханічному інституті інженерів транспорту К.К. Хренов досліджував дугове зварювання під водою [521]. Проблемами джерел живлення для дугового і контактного зварювання продовжував займатися В. П. Нікітін (1939 р. в Інституті машинознавства АН СРСР) [522]. У 1932 р. був організований Ленінградський електрозварювальний інститут, що у 1934 р. увійшов до складу індустріального інституту. Кафедру зварювання тут довгий час очолював М.О. Окерблом. У 1930-32-х рр. у зварювальній лабораторії Інституту металів (Ленінград) проводили дослідження властивостей і структури металу шва при високих температурах.

6.1.4. Український автогенний трест і початок діяльності Є.О. Патона у зварювальній галузі. У січні 1932 р. вийшла постанова уряду УРСР про створення УАТ і відповідних відділень у промислових центрах. У 1934 р. за допомогою УАТ передові способи зварювання були впроваджені на 45 підприємствах [523]. Цьому сприяла і діяльність Українського наукового інженерно-технічного товариства, що займалося організацією й об'єднанням фахівців, пропагандою передового досвіду і роботи новаторів

У 1929 р. у Києві при Всеукраїнській академії наук академік ВУАН, професор Київського політехнічного інституту Є.О. Патон створив зварювальну лабораторію. Маючи значний досвід у проектуванні й будівництві мостів, перекриттів залів і інших металоконструкцій, він розробив комплексну програму досліджень і удосконалювання зварювальних матеріалів і устаткування, технології найбільш

перспективних способів зварювання відповідальних інженерних споруджень. Перші ж його дослідження, присвячені роботі в реальних умовах зварених вузлів і рекомендації з проектування зварених конструкцій викликали інтерес у країні і за рубежом. У 1930 р. Є.О. Патон організував Електрозварювальний комітет - громадську організацію, основною задачею якої була координація робіт підприємств і заснувань, що займаються зварювальним виробництвом.

Діяльність цих організацій була дуже ефективною, і в 1933 р. Електрозварювальна лабораторія була перетворена в ІЕЗ, яким до кінця життя керував Є.О. Патон. У 1936 р. він організував зварювальний факультет у Київському політехнічному інституті [524].

Характерними для стилю роботи Є.О. Патона були вибір і рішення складних ключових проблем, пошук практичного застосування результатів наукових досліджень, утілення наукових досягнень в устаткування, матеріали і конструкції. Патон розробив оптимальну структуру інституту, до складу якого ввійшли науково-дослідні підрозділи, конструкторське бюро, групи впровадження, експериментально-виробничі майстерні. Є.О.Патон налагодив тісний зв'язок із промисловими підприємствами, виконуючи їхні замовлення. До кінця 1930-х рр. в ІЕЗ вже були розроблені різні типи раціональних зварених конструкцій, електроди для дугового зварювання різних сталей, устаткування, обладнання, матеріали і технологія автоматичного зварювання під флюсом.

6.2. Умови і необхідність об'єднання зварників у промислово розвинутих закордонних країнах

6.2.1. Виникнення і діяльність Американського зварювального товариства (АЗТ). У США значний поштовх розвитку зварювання дала Перша світова війна. Була створена державна організація "Емередженсі фліт корпорейшн", основна задача якої полягала в тому, щоб у найкоротший термін збільшити тоннаж флоту для перекидання військ і спорядження у Францію. При цій організації працював зварювальний комітет на чолі з К.Е. Адамсом. Зварювальний комітет припинив існування з закінченням війни, але досвід його роботи показав, що промисловість має потребу в зборі і поширенні інформації зі зварювання, а самі зварники – в координації своїх розробок [525]. Рішення цієї задачі в США розпочав К.Е. Адамс.

6. 2. 1. 1. Конфорд Евері Адамс народився 1 листопада 1868 р. в Клівленді (США). Ще в коледжі він захопився електротехнікою, уважно слідкував за досягненнями в цій перспективній області. Трудову діяльність він почав в якості інженера-конструктора з електротехніки в фірмах “Броун хойстінг” і “Браш електрик”. В 1891 р. К.Адамс перейшов працювати в Гарвардський університет інструктором з електротехніки. Згодом він зайняв посаду асистента, а з 1906 р. він став професором відомого університету. В 1919 р. Адамса обирають деканом інженерного відділення. Він один із тих “інтелектуальних гігантів”, як пишуть в працях з історії університету, що склали “Золоту добу Гарварду” [526].

Президент США Томас Вудро Вільсон запросив К.Адамса очолити Зварювальний комітет корпорації “Емердженси фліт” (з Адамсоном він познайомився ще займаючи посаду ректора Принстонського університету). Не залишаючи своєї викладацької і організаційної діяльності в Гарвардському університеті, вчений зайнявся проблемами використання зварювання у суднобудуванні. Насправді, питання які вирішувались тут і розроблялися технології ремонту та будівництва кораблів цілком підходили для використання в будь-яких інших галузях. Адамс залучав до роботи спеціалістів різних напрямків. 1917 рік ввійшов в історію як “рік об’єднання зварювальної індустрії США”.

Над замовленнями комітету працювали: компанії “Уілсон велдер енд металз”, під керівництвом Д.В.Уілсона, працювали інженери залізничного транспорту, які мали досвід зварювання чавуну і сталі, Американська ацетиленова зварювальна компанія, організована Б. Смітом, зварювальна асоціація “Норд-Вестерн”, організована А.В.Марклеєм, Е.Х.Смітом, К.Грехемом, Л.Кампбеллом та ін. Досвід функціонування комітету довів, координація їх дій дуже корисна для подальшого розвитку зварювання.

3 січня 1919 р. доктор Адамс зібрав збори працівників в області зварювального виробництва, на яких виступив з ідеєю створення громадської організації, запропонував проекти її уставу і структури. Офіційно Американське зварювальне товариство (АЗТ) було зареєстроване 27 березня 1919 р. Була написана проста і пряма мета: “Просувати науку і мистецтво зварювання в усіх галузях”. Члени товариства отримали можливість вільно обмінюватись інформацією, приймати

участь в дискусіях з проблем зварювання, проводити різні заходи, сприяючи розвитку зварювання. Співробітництво між АЗТ і зварювальними фірмами США почало приносити плоди в червні 1921 р., коли АЗТ розробило свій перший документ "Стандарти для іспиту швів". У 1936 р. був виданий документ, озаглавлений "Перша специфікація на проектування, будівництво, зміну і ремонт шосейних і залізничних мостів за допомогою зварювання плавленням". Потім пішла публікація "Промислових правил для кваліфікації зварювальних процесів і перевірки операторів зварників" [525,526]. Великим організаційним досягненням АЗТ є підготовка видання книги "Зварювальний довідник АЗТ" у 1938 р. Підготовчу роботу вів комітет зварювального довідника, з яким співробітничали 90 авторів і 237 оглядачів [527].

В перші роки штат АЗТ складався з двох чоловік – президента і помічник-асистенту. Першим президентом був обраний доктор К.Е. Адамс. Згідно уставу президентом обирали на один рік. Його асистент Маргаріта М.Келлі працювала в товаристві до 1949 р. Конфорт Евері Адамс до кінця життя продовжував активно приймати участь в роботі товариства, викладав і займався науково-дослідницькою роботою в Гарвардському університеті, де його діяльність була оцінена присудженням йому звання заслуженого професора університету і наданням почесної ступені доктора техніки. Адамс перший був нагороджений пам'ятною медаллю Міллера, яку започаткувало АЗТ в 1927 р. за "особливі досягнення в мистецтві зварювання і різання" [528].

Помер основоположник і перший президент АЗТ 21 травня 1958 р. в Філадельфії. Товариством налагоджена щорічна премія імені Адамса для студентів і аспірантів за успіхи у вивченні зварювальної науки.

Майже зразу після створення АЗТ в ряді великих міст США почали вести роботу згідно з координованою програмою досліджень секції регіональних товариств. Координація дослідження, безпосередні контакти вчених, інженерів, промисловців приносили ефективні результати. Під егідою АЗТ в США відкриваються коледжі, де готують зварників, робочих і техніків. Одним з перших, якщо не рахувати курси навчання і тренування при корпорації "Емердженсі фліт",

був “Клівленд скул оф велдінг”, організований Р.К.Ренделом, головою Клівлендського відділення АЗТ. Тут отримали професію сотні інвалідів війни.

Справжнє співробітництво між АЗТ і промисловими фірмами, які впроваджували зварювання, почало розвиватись після того, як в січні 1921р. товариство видало свій перший документ “Стандарт випробувань зварювальних швів”. До цього часу вже були підготовлені і затверджені сотні стандартів і сертифікатів. В січні 1922 р. був створен власний журнал “Джорнал оф Амерікен Велдінг Сосьєті” (зараз “Велдінг джорнал”). Журнал сприяв зв'язку науки з виробництвом. Багато з відомих зараз фірм вперше були згадані саме в ньому. Журнал товариства став авторитетним джерелом інформації про всі способи зварювання, тут вперше були опубліковані повідомлення про зварювання алюмінію, дугового автоматичного зварювання під флюсом, різноманітних способів контактного зварювання, атомно-водневий та ін.

На протязі 1930-х рр., під егідою АЗТ продовжуються обговорюватись всілякі проблеми зварювання. В 1935 р. був наведений список проблем, який дає уявлення про великі обсяги науково-дослідницьких робіт в США тільки в області дугового зварювання. Проблеми, які підлягають для вирішення, були розділені в наступні великі групи: фізичні (механічні) властивості і металургійні основи зварювання; фізичні процеси при зварюванні; проектування зварних конструкцій; хімічні процеси при зварюванні; фізіологія і охорона здоров'я. Велику увагу спеціалісти привернули і до способів зварювання під тиском.

Важливою подією в історії зварювального виробництва став випуск п'яти томів “Welding Handbook” в 1938 р., першим редактором якого був Вильям Спрагаген – редактор журналу АЗТ. З того часу цей найкоштовніший посібник для спеціалістів всіх рівнів доповнювали і перевидавали більше десяти разів.

В 1935 р. на прохання радянських спеціалістів, які освоювали закуплені в США машини для контактного зварювання, АЗТ підготувало 16 статей для журналу “Автогеное дело”, в яких докладно описали конструкцію і розрахунок обладнання, технологію контактного зварювання. Радянським спеціалістам була надана можливість приймати участь в роботі товариства. Членами АЗТ були К.К. Хренов,

Г.О. Ніколаєв, В.П.Вологдін, С.А. Катлер та ін. Почесним членом товариства був обраний академік Б.Є. Патон.

Необхідно відмітити, що на честь засновника і першого президента Американського зварювального товариства в 1943р. було прийнято рішення кожного року на зборах керівництва і активу товариства організувати лекції про окремі нові розробки та винаходи і для їх читання запрошувати “видатних вчених і інженерів, які внесли великий вклад в розвиток зварювання”. Доповідача нагороджували почесним дипломом.

АЗТ знайомило спеціалістів США і з досягненнями радянських фахівців. Так, дві статті Є.О. Патона, присвячені дослідженню міцності зварювальних конструкцій, були передруковані в журналі АЗТ. Також, в 1930-х роках, були передруковані і статті К.К. Хренова про зварювання і різання під водою. Цими та іншими публікаціями, по суті, визнавалися досягнення радянських вчених в окремих напрямках розвитку зварювального виробництва. Особливо багато сторінок журналу “Велдінг джорнал” були виділені для наукових і практичних статей з електрошлакового зварювання. Тут розміщували матеріали, надруковані в журналі “Автоматическая сварка”, була повністю надрукована доповідь Б.Є.Патона у 1962 р. з Адамсовської лекції.

Діяльністю АЗТ і можливостями зварювальної техніки цікавився президент США Ф.Рузвельт. На початку 1940 р. він повідомляв прем'єр-міністру Великобританії У.Черчіллю про те, що “... розроблена технологія зварювання, яка може прискорити будівництво кораблів з швидкістю, не бувалою в історії суднобудування”. 8 квітня 1957 р. президент Д.Ейзенхауер прислав привітальну телеграму Конгресу АЗТ, в якій відзначив особисті заслуги К.Е.Адамса, назвав його “видатним професором, натхненником і організатором використання нової техніки”.

Одним з найстарших зварювальних журналів можна назвати "Велдінг інжинир". Він був заснований у 1916 р. американським журналістом і інженером Л.Б. Маккензи для об'єктивного висвітлення можливостей способів зварювання, що існували в той час, переваг і недоліків кожної технології, і тим самим інженерам і промисловцям була надана можливість вибирати оптимальний спосіб виготовлення зварених виробів. Позиція Л.Б. Маккензи сприяла "примиренню" технологій і

перекладу конкуренції між відомими способами в цивілізовані рамки [529, 530]. У 1932 р. в США з'явився ще один журнал - "Велдинг десайн енд фабрикейшн".

Визначену роль у дослідженні зварювальних процесів і нагромадженні наукових даних зіграли наукові лабораторії фірм США, Великобританії і ряду інших країн. Так, у винаході газоелектричного зварювання, розвитку контактного зварювання, відкритті явищ і створенні пристроїв, що знайшли застосування в зварювальному виробництві, велику участь узяли співробітники лабораторії фірми "Д.Е.", керівник якої поставив на наукову основу рішення виробничих проблем, для чого в 1900 р. була створена лабораторія на чолі з В. В. Витнеєм. Заснування науково-дослідної лабораторії в складі виробничої фірми вчинилося не без впливу Е. Томсона, у супереч традиціям американських фірм, що прагнули використовувати вже готові розробки, а займатися абстрактною наукою надавали європейцям [259]. Як відомо, у фірмі "Д.Е." згодом були зроблені деякі наукові відкриття, створені й удосконалені устаткування і технологія газоелектричного зварювання, дугового зварювання під флюсом і ін. Значні іновації на фундаментальні дослідження дозволили випускати новітню продукцію багатьох найменувань.

У 1910-20-х рр. зварювальні лабораторії, щоправда, не такі потужні, як лабораторії фірм "Д.Е.", були створені й у багатьох інших американських фірмах. Тут були вирішено багато виробничих проблем: розробка і випуск високоякісних електродів (фірма "А. О. Смит"), джерел живлення (фірми "Линкольн електрик", "Си-Си електрик" і ін.). Після утворення АЗТ в ряді великих міст США стали працювати секції товариства - як правило, по погодженій скоординованій програмі досліджень (лабораторія Стенсфордського університету й ін.). Робота АЗТ показала, що вчені, інженери, промисловці можуть і повинні працювати узгоджено.

6.3. Виникнення і діяльність товариств зварників у Європейських країнах і Японії. У Німеччині майже одночасно з освоєнням способів М.М. Бенардоса і Г.Т. Церенера зацікавилися і газовим зварюванням. В 1897 р. виникле в Берліні . зварювальне товариство - клуб прихильників зварювання "Дойче фербанд фюр швайстехник" (Німецька зварювальна асоціація), яке об'єднало переважно прихильників дугового зварювання. Газовим зварюванням зайнялися члени товариства "Аутогене металлбирбайтунг" (Автогенна обробка металів),

організованого в 1907 р. Під егідою цього товариства був відкритий навчальний центр у Кельні. У 1910 р. була організована перша зварювальна лабораторія в Гамбурзі. У 1923 р. інженер Штайлер відкрив Центральний інститут зварювання при державних залізницях, а в 1927 р. - зварювальний інститут при Технічній вищій школі Берліна. У наступному році тут професор А. Хильперт прочитав першу лекцію по зварюванню. У цей же час був організований Зварювальний інститут Німецької зварювальної асоціації, перед яким були поставлені задачі дослідження, навчання і консультацій із усіх питань зварювального виробництва [531].

У 1923 р. у Лондоні (Великобританія) була зареєстрована асоціація "Інститут інженерів-зварників". З 16 засновників тільки сім були інженерами, а інші займалися торгівлею зварювальним устаткуванням і матеріалами, організацією зварювального виробництва. У числі натхненників асоціації був Ч. Раджетт - видавець журналу "Ацетилен". Цей журнал, перейменований у "Ацетилен енд велдинг джорнел", майже за рік до об'єднання зварників став офіційним органом асоціації. У 1924 р. Інститут інженерів-зварників нараховував уже 139 чоловік, що, незважаючи на економічну депресію в країні, активно впроваджували зварювання у виробництво металокопункцій, публікували наукові статті і рекомендації. До 1931 р. асоціація поєднувала 600 фахівців, мала відділення в трьох містах, керувалася Радою [532].

У 1934 р. у процесі підготовки до симпозиуму по зварюванню Інститут заліза і стали Великобританії, Інститут інженерів-зварників об'єдналися з недавно виниклим "Бритиш адвизорн велдинг каунсил" і одержав назву Інститут зварювання. Президентом його був обраний А. Гибб. Завдяки своїй активній позиції в питаннях дослідження і впровадження зварювання інститут був неофіційно визнаний у Великобританії головною організацією по зварюванню. У його складі утворилося кілька відділів і лабораторій. У лютому 1933 р. у Лондоні вийшов перший номер журналу "Велдинг индастри" (попередник "Велдинг енд Метал фабрикейшн"), у якому Р. Гадфілд відзначав, що "за останні роки така область мистецтва, як електричне і газове зварювання, швидко розвивається" [533].

У 1907 р. у Парижі було засноване Центральне бюро по ацетилену й автогенному зварюванні з метою розвитку і впровадженню зварювальних і родинних технологій. Організацію очолили Р. Гранджон і П. Роземберг. Була створена

Постійна комісія з ацетилену й автогенного зварювання, що займалася налагодженням міжнародних зв'язків. До середини 1920-х рр. у Франції віддавали перевагу в основному автогенній обробці. Однак конкуренція їй з боку технології, заснованих на електричних явищах, збільшення числа прихильників дугового і контактного зварювання обумовили створення організації для дослідження і популяризації всіх способів зварювання. У 1930 р. у Франції був заснований Інститут автогенного зварювання (згодом - Інститут зварювання). З першого року появи Центральне бюро зайнялося навчанням зварників і розгорнуло роботи, зв'язані з контролем якості зварених швів. Пізніше була організована Школа промислово-технічного навчання зварюванню [534]. У 1930 р. було створено також Товариство інженерів-зварників - асоціація, повними й асоційованими членами якої були інженери, менеджери, що цікавляться проблемами і розвитком зварювання і супутніх технологій. Товариство організовувало для своїх членів конференції, робочі візити і випускало кожні два місяці спеціальний журнал [535].

У 1911 р. була заснована швейцарська зварювальна асоціація за назвою Швейцарська ацетиленова асоціація. Крім розвитку ацетиленової промисловості, вивчення причин нещасливих випадків і вибухів, інспекції фабрик асоціація стала займатися поширенням технічних знань і видавати свій власний журнал "Швайстехниксюдоор", організувала курси професійного навчання. У 1913 р. Асоціація відкрила свій центр у Базелі [536]. У 1921 р. у Торонто створене Канадське зварювальне суспільство [537]. У 1930 р. організований Центральний інститут зварювання у Відні [538], у 1931 р. - Шведська зварювальна комісія [539].

Попередником Японського зварювального товариства була Електрозварювальна асоціація "Денки-йосецу-киокат", заснована в 1926 р. Пізніше вона була перетворена в Японське зварювальне товариство ("Йосецу гаккай") [540].

У 1926 р. Фалтус відкрив у Пльзени (Чехія) консультативне бюро по зварюванню і провів іспити зварювальних швів. У 1932 р. була заснована Чехословацька асоціація по зварюванню металів, що випускала журнал "Автогенні сваржані". Потому за три роки з'явився журнал "Електричке сваржовані". Наукові дослідження в галузі зварювання в Румунії виконував академік К. Миклоши, що організував у

1934 р. у Тимишоара "Кружок заохочення зварювання" - по суті добре оснащени лабораторію і навчальні класи.

6.4. Початок дослідно-навчальної діяльності. Електрозварювання й інші сучасні способи з'єднання металів втілюють у собі багато науково-технічних досягнень, і їхнє успішне застосування можливе тільки при освоєнні комплексу знань і технічних прийомів.

6.4.1. Навчання основам зварювання в Росії. Винахідник першого способу дугового зварювання Бенардос поряд з виконанням виробничих замовлень і монтажем зварювальних посад у 1886 р. організував навчання зварників у фірмі "Електрогефест" і на місцях впровадження зварювання [120]. За рік дослідно-навчальні майстерні були відкриті закордонними фірмами, що купили ліцензії на "електрогефест" (у Німеччині, Франції, Великобританії й ін.). М.Г. Слав'янов одночасно з роботою над новим способом зварювання (плавлящимся електродом) навчав техніці зварювання велику групу робітників заводу в Мотовилихі [121].

З 1910-х рр. бере початок цілеспрямована групова підготовка фахівців-зварників. М.А. Шателен у Петербурзькому політехнічному інституті керував дипломними проектами студентів-електриків по темах, що відносяться до зварювального виробництва. В Франції Центральним бюро зварювання були організовані групи підготовки газозварників. З 1916 р. у США тільки курси "Велдинг" випускали щомісяця до 200 зварників. У цей же період у Петроградському технологічному інституті була відкрита школа "автогенного зварювання", а В.Я. Курбатовим створений посібник для учнів [541].

З початку 1920-х рр. підготовкою висококваліфікованих кадрів займався В.П. Вологдин. У Владивостоці на суднобудівному заводі, у політехнічному інституті, а пізніше й в університеті пройшли навчання робітники, студенти, що стали виконавцями і керівниками відповідальних зварювальних робіт на будівництві металургійних комбінатів, гідроелектростанцій і ін. У квітні 1929 р. у Москві був створений Московський автогенно-зварювальний комбінат, однієї з функцій якого була підготовка кадрів (у тому числі й інженерів). З 1931 р. підготовку робочих зварників почав Всесоюзний автогенний трест, що вже в наступному році випустив більш тисячі зварників і 150 інструкторів по зварюванню. Однак основний

контингент робітників-зварників у СРСР до 1940 р. готували на підприємствах суднобудування, сільськогосподарського машинобудування й інших галузей промисловості. З введенням державної системи трудових резервів різко зросло число робочих зварювальних професій, підготовлених через професійно-технічні училища.

З 1929 по 1932 р. у СРСР, крім технікуму в складі Московського автогенно-зварювального комбінату, були створені технікуми зварювального профілю в Ленінграді, Свердловську і Дніпропетровську, а в ряді інших технікумів були введені навчальні предмети по зварюванню [541]. У 1930-х рр. були відкриті кафедри зварювального профілю в Уральському політехнічному інституті, у Ростовському, Бежицькому, Томському, Орджоникідзевському машинобудівних інститутах, у ряді вузів Москви і Ленінграда.

6.4.2. Початок навчання професії зварника за кордоном. У 1917 р. під час Першої світової війни за пропозицією уряду США в цій країні були організовані дворічні державні курси зварників, що готували фахівців вищої кваліфікації. Багато хто зі зварників, що одержали тут фахову освіту, почали працювати в зварювальних лабораторіях різних фірм. Одні з перших шкіл були відкриті при фірмах "Холт трактор" і "Доля айленд арсенал". Школи по навчання електродуговому зварюванню були відкриті відділенням навчання і тренування електродуговому зварюванню при корпорації "Емердженс фліт". Протягом короткого часу в США було підготовлено кілька тисяч електро- і газозварників. Під час війни в Англії були організовані курси по підготовці жінок-зварників. У США навчання жінок зварюванню не одержало такого широкого поширення, як в Англії, але проте в роки війни в США було підготовлено 1000-1500 жінок-зварників [542]. Університет штату Іллінойс у м. Урбана став одним з найбільших навчальних закладів по підготовці інженерних кадрів у США. Тут на кафедрі цивільного будівництва в 1930-х рр. проводили дослідницькі роботи з міцності швів і зварених з'єднань деталей металоконструкцій. На кафедрі теоретичної і прикладної механіки з 1937 р. проводили дослідження різних зварювальних процесів. У США існувало декілька коледжів, де навчали зварювальним професіям робітників і техніків високої кваліфікації. Один з них "Клівленд виліць оф велдинг" (Клівленд), став відомий завдяки діяльності Р.К.

Рендела, голови Кливлендського відділення АЗТ, що навчив зварюванню і різанню металів сотні людей із серйозними каліцтвами, завдяки чому вони змогли заробляти на життя, виконуючи зварювальні роботи [542].

Перші курси по підготовці зварників у Японії були організовані в 1920 р. на судноверфі фірми "Мицубиси Нагасакі шипярд". Пізніше й інші японські фірми, головним чином ті, що займалися суднобудуванням і національними залізницями, почали впроваджувати програми навчання зварюванню. Наприкінці 1930 р. у Японії прийшли до висновку, що зварювальну технологію необхідно вивчати в коледжах і університетах, і в 1941 р. на металургійному факультеті Осацького університету були відкриті лабораторія і кафедра зварювання. Пізніше (у 1944 р.) у цьому ж університеті був відкритий зварювальний факультет [344].

У 1920-30-х рр. виникли суспільні об'єднання і науково-дослідні організації, що займаються проблемами зварювання, і в ряді інших країн, в основному з розвинутим машинобудуванням, електротехнікою, виробництвом металоконструкцій [543]. У 1923 р. у Парижі була організована Міжнародна комісія зі зварювання й ацетилену. Цим актом був покладений початок міжнародному співробітництву на офіційному рівні. У 1930 р. при Французькому інституті зварювання була відкрита Вища школа автогенного зварювання, куди приймали слухачів із усіх країн. Саме випускники цієї школи стали згодом ініціаторами створення Міжнародного інституту зварювання, відновивши після Другої світової війни контакти між національними зварювальними асоціаціями й інститутами [544].

6.5. Перехід зварювання на наукові основи.

Ковальське зварювання, зварювання "залиттям", паяння, відомі з найдавніших часів, і способи дугового, контактного і газового зварювання, що знайшли промислове застосування на початку ХХ століття, були створені емпіричним шляхом (останні - з урахуванням відповідних законів фізики, електротехніки, хімії й інших наук). Оскільки глибоких наукових обґрунтувань цим технологіям не було, то проблеми, що виникають у процесі роботи, вирішувалися в основному інтуїтивно і методом "проб і помилок", так що у виконанні деяких майстрів зварювання було скоріше чимось тим самим, що і мистецтво.

6.5.1. У витоків створення наукових засад зварювання. Проте, уже перші винаходи в області електрозварювання ґрунтувалися на наукових положеннях фізики, хімії, електротехніки. Розробляючи акумулятори, елементи зварювального ланцюга, М.М. Бенардос розраховував їх відповідно до загальних положень електротехніки [120]. Першою науковою працею по металургії зварювання прийнято вважати книгу М.Г. Слав'янова в якій він вже описував методи поліпшення якості металу шва [121].

Ускладнення технологічних процесів і підвищення трудомісткості експериментів обумовили необхідність розвитку теоретичних досліджень, вироблення тих чи інших наукових рекомендацій. Для пояснення експериментальних даних почали використовувати закони й формули фундаментальної науки, часто з поправочними коефіцієнтами. Потім на цій основі були розроблені методи рішення задач, зв'язаних з визначенням режимів зварювання, конструюванням устаткування, створенням зварювальних матеріалів, проектуванням і виготовленням зварених конструкцій. Роль теорії в розвитку зварювання поступово зростала. В міру поглиблення і розширення досліджень вимальовувалося коло пріоритетів для окремих розділів науки про зварювання.

Дослідження дугового зварювання почалися ще в 1890-х рр. Перший крок зроблений у Великобританії. Компанія "Ллойд-Ллойд", вивчивши якість зварених з'єднань, виконаних дуговим зварюванням, відкрила дорогу широкому застосуванню способу Бенардоса. У Росії дугове, а потім і газове зварювання вивчалися в Московському технічному училищі [541]. У США фірма "Д.Е.", серед інших вирішувала наукові задачі, зв'язані зі зварюванням [259]. Подібні наукові підрозділи, а потім і центри почали виникати й в інших країнах.

На початку ХХ ст. теоретичні і технологічні знання всі частіше використовують не тільки для поліпшення відомих способів, але і для створення нових технологій. Усе більш відчутної поступово стає потреба в застосуванні спеціалізованих теорій. Досвідчені дані узагальнюються, конкретні явища описуються з залученням математики і специфічного понятійного апарата. Значну роботу в цьому напрямку виконали Т.П. Тихонов, Р.Л. Маккензи, К. Адамс, В.П. Вологдин, П. Бартке, Х. Парслоу. Ними й іншими вченими в 1920-х рр. були написані перші монографії,

видані енциклопедії, створені системи умовних позначок. Регіональні об'єднання, національні зварювальні товариства і кафедри навчальних закладів взяли на себе проведення досліджень і поширення наукових знань. У більшості дослідницьких і заводських лабораторій вивчалися переважно механічні властивості зварених зразків. У ряді експериментів було встановлено, що при низькій температурі механічні властивості зварених з'єднань (у першу чергу пластичність) різко знижуються.

Періодично виникало питання про надійність зварених конструкцій. Наприкінці 1930-х рр. звалилися кілька зварених мостів у Німеччині, Канаді, Бельгії й інших країнах - катастрофи, які не можна було передбачити. І хоча переважна більшість зварених споруджень і виробів довгий час зберігали в гарному стані й експлуатували нормально, окремі невдачі змушували багатьох фахівців відноситися до зварювання з великою обережністю. Деякі інженери і цілі проектні організації рішуче виступили взагалі проти застосування зварювання при будівництві відповідальних споруд. Подальше поширення зварювання залежало від науки.

6.5.2. В.П. Вологдин у Владивостоці (Далекосхідна республіка, з 1922 р. – у складі СРСР) одночасно із широким впровадженням зварювання в суднобудування, будівництво промислових конструкцій, резервуарів одним з перших почав "обнаучивати" зварювання. Дослідженнями міцності, твердості і непроникності зварених з'єднань він доводив можливість створення науково обґрунтованих і експериментально підтверджених методів розрахунку деформацій металу і внутрішніх напружень. Вологдин зі співробітниками визначив коефіцієнти міцності зварених з'єднань стосовно основного металу, досліджував вплив просторового положення при зварюванні на міцність швів, розробив стрілочну систему позначень зварювання на кресленнях, створив проект сортаменту прокатних профілів для зварених конструкцій. Він ввів у науку поняття про найважливіші об'єктивні показники способів зварювання плавленням - "коефіцієнти наплавлення" і "коефіцієнти розплавлення" [545]. Проектування конструкцій поступово стає самостійним розділом науки про зварювання. Наприкінці 1920-х - початку 1930-х рр. у багатьох країнах інтенсивно досліджувалася працездатність зварених конструкцій, ставилася задача довести їхню надійність, розробити методи розрахунку вузлів і

визначення напруг. У Радянському Союзі поряд з В.П. Вологдиним значний внесок у цей розділ науки внесли Г.О. Ніколаєв і М.О. Окерблом, що узагальнили результати багатьох експериментів [522, 576].

6.5.3. До тридцятих років прошлого століття стало очевидно, що найбільші успіхи в справі розвитку зварювальної науки і тим більше впровадження її розробок можливі при комплексному рішенні науково-технічних і організаційних проблем. Наукові товариства і редакції журналів підсилюють координацію досліджень, виконуваних в окремих лабораторіях і на кафедрах. У Радянському Союзі діяльність ВНТТОЗ сприяла широкому поширенню наукових досягнень і розробок К.К. Хренова, В.П. Вологодина, В.П. Нікітіна, Г.О. Ніколаєва й інших вчених і винахідників.

Однак окремі лабораторії вже не могли охопити всі аспекти зварювального виробництва. З огляду на цю обставину Є.О. Патон, одночасно з науково-дослідними роботами, зв'язаними з технологією, розгорнув роботи в області проектування устаткування й удосконалювання на науковій основі зварених конструкцій. Є.О. Патон зі співробітниками (В.В. Шеверницьким, Б.М. Горбуновим і ін.) виконали основні дослідження несучої здатності зварених з'єднань стосовно до мостобудування і будівництва промислових споруджень [547], суднобудуванню [548], сільськогосподарському машинобудуванню [549], резервуаро- і вагонобудуванню [550, 551]. Роботи Є.О. Патона викликали інтерес у закордонних дослідників і були передруковані в США [552, 553].

Дослідження зварених вузлів при статичному, ударному і циклічному навантаженні проводили й в інших країнах. У Великобританії, де широко застосовували дугове зварювання в будівництві складних інженерних споруджень, значний внесок у справу проектування зварених конструкцій вніс О.О. Керенський [554]. На початку 1930-х рр. у США були виконані дослідження, присвячені міцності і характеру розподілу зусиль у різних типах зварених з'єднань: нахлесточних з кутовими фланговими швами, що повторюють форму заклепувального з'єднання [555], стикових і двосторонніх нахлесточних і ін. [556].

Дослідженнями механічних властивостей зварених з'єднань у цілому, і особливо металу шва, займалися Д. Розенталь (Бельгія), Дж.В. Оуэнс і Дж.Т. Хортон (США),

К. Хаас (Німеччина). В узагальнюючій роботі Д. Розенталя були описані методи дослідження в'язкості (ковкості) звареного шва, у тому числі нетрадиційні - із застосуванням просвічування рентгенівськими променями, з вивченням мікроструктур і т.п. [557]. Одержав розвиток метод механічних іспитів металів, запропонований ще наприкінці XIX ст. Д.К. Черновим, Г. Шарпи й іншими і стандартизований в США в 1930 р. [558, 559].

6.5.4. Протягом 1930-х рр. під егідою АЗТ проходять обговорення різних проблем зварювання. У 1935 р. був приведений список "фундаментальних дослідницьких проблем у зварюванні", що дає представлення про великий обсяг науково-дослідних робіт в області дугового зварювання в США [560]. Проблеми, що підлягають рішенню, були розбиті на наступні великі групи: а) фізичні (механічні) властивості; б) металургійні основи зварювання; в) фізичні процеси при зварюванні; г) проектування конструкцій; д) хімічні процеси при зварюванні; е) фізіологія й охорона здоров'я. Аналогічні задачі ставили перед собою вчені Німеччини, СРСР і ряду інших країн [561-563].

Не меншу увагу фахівців привертала і способи зварювання тиском. Наукові основи контактного зварювання заклав сам винахідник стикового зварювання. Е. Томсон довгі роки займався удосконалюванням її технології й устаткування. [564]. Розвиток контактного зварювання багато в чому залежало від успіхів металознавства й електротехніки. Короткочасні інтенсивні процеси нагрівання і стиску вимагали точного дотримання циклу зварювання. Ці параметри режиму в значній мірі впливали на характер структурних перетворень у металі і, у кінцевому рахунку, на якість звареного з'єднання. Вплив циклу зварювання на характер зміни електроопору вивчалось в ряді країн [562].

У Радянському Союзі в 1930-і м. не тільки освоювалося закордонне устаткування, але і проектувалися нові спеціалізовані машини для шовно-стикового зварювання, для рельєфного зварювання й інше устаткування (Зварювальний комбінат "Оргаметал" у Москві і завод "Електрик" у Ленінграді). Результати досліджень і досвід промислового застосування були узагальнені А.О. Алексеєвим і А.І. Ахуном [565], К.А. Кочергиним [566] і іншими. Особлива увага була приділена точковому зварюванню, а саме дослідженню технології зварювання стали великої

товщини (А.С. Гельман, ЦНДІТехмаш) - при цьому був відкритий ділатометричний ефект, використаний згодом для автоматичного керування; методам розрахунку опору і нагрівання зварювальних контактів (І. Я. Рабинович, МММІ ім. М.Е. Баумана) [567]; дослідженню процесу зварювання оплавленням (М.Я. Кочановський, завод "Електрик") [568] і т.д..

6.5.5. Дослідження дуги почалися ще до того, як вона знайшла практичне застосування як джерело нагрівання. Перші описи були дані уже вченими, що відкрили явище дугового розряду, - В.В. Петров і Г.Деві. Однак у ХІХст. для проведення точних і різнобічних наукових досліджень не вистачало фундаментальних представлень про природу електрики, атомного ядра й ін. У 1905 р. В.Ф. Миткевич відзначав, що "основний процес вольтової дуги представляє потік електронів, що виходить з напруженого катода дуги" [569, с.80].

6. 5. 5. 1. В.Ф.Міткевич народився 3серпня 1872 р. в Мінську. Після закінчення в 1891 р. Мінської гімназії В.Ф.Міткевич поступив на фізико-математичний факультет Петербурзького університету, який закінчив в 1895 р. В 1902 р. він став викладачем електротехніки в Петербурзькому політехнічному інституті, де працював на протязі наступних 37 років. В.Ф.Міткевич читав лекції на електромеханічному відділенні згідно створеного ним оригінального курсу "Теория явлений электрических и магнитных", а потім курсу, який виходив в 1928, 1932 і 1933 рр. під назвою "Физические основы электротехники". і одночасно викладав фізику і електротехніку в Петербурзькому гірничому інституті (1896-1905 рр.), фізику на Петербурзьких вищих жіночих курсах (1898-1901 рр.) і в Петербурзькому університеті (1901-1902 рр.).

Лекції В.Ф.Міткевича відображали як особисті його дослідження, так і всі останні досягнення науки і техніки. Міткевич організував першу в Росії лабораторію змінного струму для навчальних занять з студентами та наукову лабораторію. 35 років В.Ф.Міткевич очолював в Ленінградському політехнічному інституті ім.М.І.Калініна кафедру "Теоретичні основи електротехніки". Багато наукових робіт В.Ф.Міткевича були тісно пов'язані з задачами електропромисловості й отримали відображення в ряді важливих сучасних проблем електротехніки і електроенергетики.

Особливо необхідно відзначити класичне дослідження В.Ф.Міткевичем природи електричної дуги в його монографії “О вольтовой дуге”. В.Ф.Міткевич дослідив фізичну природу тиску дуги на анод і визначив відношення заряду електрону до його маси, встановив роль випускання електронів катодом в процесі утворення і підтримки дуги, дослідив зворотню е.р.с дуги, вияснив роль температури катоду і можливості отримання дуги при дуже малих показниках е.р.с. з додатковим підігрівом катоду, дослідив несиметрію змінного струму. Ці класичні праці лягли в основу наступних багаточисельних робіт різних авторів в багатьох областях сучасної електротехніки – в техніці високих напруг, електроапаратбудівництві, електротермії, електрозварюванні, освітленні та ін [570]. Вивчаючи явище корони на провідниках високої напруги, В.Ф.Міткевич запропонував використовувати на лініях високої напруги розщеплені провідники [571].

В.Ф.Міткевич останні 30 років (1921-1951 рр.) свого життя присвятив природі електричного струму, фізичній суті магнітного потоку, ймовірній природі елементарних електричних зарядів, принципівим поглядам на електромагнітну взаємодію. Основні моменти підсумовлені в великій монографії В.Ф.Міткевича “Магнитный поток и его преобразование” (Вид. АН СРСР, 1946).

6.5.5.2. Дослідженнями фізичних процесів, що протікають у потужнострумівій дузі, займалися Дж. Томсон, Хагенбах, Нотингем і ряд інших учених. Так була створена теорія термоелектронної емісії катода, що відноситься до зварювання неплавкими (з тугоплавких матеріалів) електродами - вольфрамовим, вугільним. У 1920-х рр. почали вивчати ті властивості електричної дуги, що впливають на технологію дугового зварювання. У СРСР основною задачею таких досліджень було поліпшення протікання процесу зварювання і якості звареного з'єднання при живленні дуги перемінним струмом. Пояснюється це тим, що енергомашинобудування країни не могло забезпечити промисловість необхідною кількістю зварювальних генераторів. Найбільш об'ємні роботи в області дослідження властивостей дуги в умовах зварювання були виконані К.К. Хреновим. Зокрема, він уточнив механізм дисоціації компонентів, що складають обмазку, і роль хімічних елементів у дузі [572].

У 1943 р. В. Спрараген і Б.А. Ленджил опублікували докладний огляд 178 публікацій, присвячених дослідженням процесів, що відбуваються в дузі, і характеру переносу метала при дуговому зварюванні [573]. Зміст цієї статті свідчить про досить широкий спектр проблем, вивчених до початку 1940-х рр. фізиками і зварниками, що приєдналися до них. У розділі "Фізика дуги постійного токи" розглянуті електричний розряд у газах, загальні характеристики дуги, распределение потенціалів і температурний градієнт плазми. Розділ "Теорія дуги" містить опис руху заряджених часток у газах і процесів на електродах, розрахунок балансу енергії. Третій розділ статті присвячений силам, що виявляються при плавленні електрода і переносі розплавленого матеріалу, механізму утворення кратера і ролі електродних покриттів. Особливості дуги перемінного струму, зокрема електричні характеристики і температура, освітлені в окремому розділі. Ще один розділ стосується особливостей процесів, що протікають у дузі, і плавлення металу в захисних атмосферах різного складу: у водні, інертному газі, двохатомних газах і сумішах газів. Розглянута також проблема магнітного дугтя.

До фундаментальних наукових основ дугового зварювання відноситься навчання про іонізацію і термодинаміку плазми. У 1920 р. М.Саха (Індія) запропонував рівняння, що характеризує процес іонізації [574]. У 1923 р. І.Ленгмюр (США), розвиваючи це рівняння, вивів формулу для визначення ступеня іонізації речовини, що випаровується з нагрітих поверхонь [575, 576]. Для пояснення сутності електричного розряду він залучив представлення про корпускулярну і хвильову природу електрона, про електричне поле просторових зарядів, про "тунельний ефект" проходження електронів через потенційний бар'єр. Участь позитивних іонів у виникненні електростатичної емісії при "холодних" катодах підтверджувалося випадками збудження розряду з гострозаточених електродів, але, проте, і вона не пояснювала багатьох явищ, що були в експериментах і безпосередньо при зварюванні. Так, наприклад, було встановлено, що в реальних дугах, у тому числі і зварювальних, щільність струму в тисячі разів менше, ніж "полагалось" по теорії Ленгмюра [577, 578].

6.5.5.3. Ірвінг Ленгмюр народився 31 січня 1881 р. в Брукліні. Ірвінг провчився декілька років в звичайній американській школі, а в 1892 р. сім'я переїхала до

Франції. Невдовзі сім'я повернулася в США, і Ірвінга віддали вчитися в Академію Честнат Хілл в Філадельфії. Він швидко засвоює курс тамошніх наук, за шість тижнів самостійно вивчив математику, в 14 років поступив в інститут Пратта в Брукліні, в сімнадцять років став студентом Колумбійського гірничого інституту, а після його закінчення в 1903 р. поступив ще й в Німеччині в Геттінгенський університет, де вивчав техніку. В 1906 р. Ленгмюр отримав запрошення викладати хімію в Інституті Стівена в Хобокені.

Одного разу під час літньої відпустки він заглянув в компанію “Д.Е.”, з наміром пару місяців попрацювати в лабораторії, і ... залишився на довгі роки, зробивши тут свою наукову кар'єру. В 1932 р. І.Ленгмюр був удостоєний Нобелівської премії з фізики “за открытие и исследование в области химических процессов, протекающих на поверхности тел “. Серед інших фундаментальних винаходів – модель атома, яка відповідала сучасним уявленням хіміків, пояснення природи хімічного зв'язку, технологія створення штучного дощу і снігопаду, коденсаційний парортутний вакуумний насос та ін.

Видатний вчений пішов з життя 16 серпня 1957 р. в Фалмуті (штат Массачусетс) [294, 295].

6.5.5.4. Найбільшу збіжність з експериментальними даними мала гіпотеза І. Слепяна, що приписує основну роль іонам, газам і пару поблизу катода [579, 580]. Саме цим і порозумівається найбільша світність катодної області дуги і висока концентрація потужності на катоді.

У 1940-х рр. роботою Б.Є. Патона й А.М. Макари почалися дослідження дуги, що горить під флюсом, - електричного розряду, якісно відмінного від раніше відомих його видів. Були визначені розміри газового пухиря, у якому горить дуга, розподіл потенціалів між електродами, температура стовпа дуги й інші її особливості [581]. У більшості способів зварювання тепло є єдиним чи основним видом енергії, необхідної для утворення з'єднання, разом з тим локальне нагрівання має і негативні наслідки, відзначені ще винахідниками перших способів зварювання. Наслідки нагрівання завжди намагалися враховувати при виконанні зварочних робіт, однак повномасштабні дослідження теплових процесів розгорнулися наприкінці 1920-х рр. і продовжувалися в наступні десятиліття. [582,583].

6.5.6. Вивчення процесів нагрівання і плавлення. Серйозними виявилися проблеми, зв'язані з вивченням процесу плавлення металу в зоні зварювання і температурних полів у виробі, що зварюється. У різних країнах Європи й у США були виконані окремі дослідження, присвячені розподілу температури в залежності від умов зварювання, властивостей зварюваних матеріалів і т.д. Найбільш повне узагальнення експериментальних матеріалів виконав у середині 1930-х рр. Д. Розенталь. Використовуючи теорію теплопровідності, він вивів формули, що дозволяють розраховувати квазістаціонарні температурні поля концентрованих джерел тепла що переміщається. [585,586]. У Радянському Союзі дослідженнями теплових процесів займався М.М. Рикалін. Він прийняв кілька допущень (принципи місцевого і часового впливу й ін.) і побудував теорію, котра давала гарне узгодження результатів експериментальних досліджень з даними розрахунку [587-589]. З'явилася можливість судити про температурні цикли в зварювальній ванні й біляшовної зоні. Цікаві експериментальні дані про поширення тепла одержав на моделях В. Пашкис (США) у ході дослідження процесів охолодження пластин після нагрівання концентрованим джерелом тепла [590].

На протязі 1930-х рр. значна увага приділялася металургійним основам зварювання. Необхідно було встановити критерії, по яким можна було б оцінити і порівняти характер плавлення електродного й основного металу, що зварюється, і процеси в зварювальній ванні при різних способах зварювання і наплавлення. Перший кількісний показник, що характеризує один із критеріїв плавлення, був запропонований В. П. Вологдиним у 1932 р. [545] Це - коефіцієнт плавлення електрода, рівний середньої швидкості плавлення, віднесеної до сили струму. У 1967 р. Міжнародний інститут зварювання затвердив саме цю залежність коефіцієнта від струму як більш точний показник, чим залежність від потужності, що багато років була прийнята в інших країнах.

6.5.7. Вивчення металургійних процесів. В історії зварювання 1930-і рр. були періодом інтенсивного пошуку засобів захисту зони дугового зварювання від впливу повітря. Поряд з емпіричним підходом до проблеми розробки складів електродних покриттів і флюсів робилися спроби розрахувати процеси взаємодії кисню й азоту повітря з компонентами зварювальних матеріалів і елементами сплавів, що

зварюються. Однак підхід до рішень з позицій загальних закономірностей металургії сталеплавильного виробництва не забезпечував адекватних результатів. Було встановлено, що в зварювальній ванні малого обсягу при великих градієнтах температур стан рівноваги хімічних реакцій звичайно не досягається [591,592]. У 1940 р. Дж. Дирден і Г. О'нейл запропонували використовувати вуглецевий еквівалент для кількісного опису зварюваності сталей, що стало відправною крапкою для початку досліджень специфічних властивостей з'єднуємих матеріалів [593]. У 1940-х рр. увага відомих дослідників ряду країн привернули проблеми розтріскування зварених з'єднань. Для такого інтересу були серйозні причини. Наприклад, у Радянському Союзі під керівництвом С.О. Патона вперше у світі була розроблена технологія автоматичного зварювання під флюсом броньових сталей великої товщини. При цьому серед безлічі проблем, що довелося перебороти науковому колективу ІЕЗ, була проблема тріщин. За короткий час В.І. Дятловим і Б.О. Івановим було знайдене рішення - у стик між кромками поміщали низковуглеродистий дріт. У такий спосіб був зменшений еквівалент вуглецю [594].

Значення терміна "зварюваність" обговорювалося протягом багатьох літ. Були пропозиції визначати зварюваність по сумі результатів іспитів зразків, зварених встик, внахлестку і т.п. на різних режимах і в різних умовах, за даними про мікро- і макроструктуру, по рентгенограмах і ін. Було прагнення спростити і прискорити методику визначення здатності металу створювати зварені з'єднання. До початку 1940-х рр. найбільш прийнятними способами оцінки зварюваності в СРСР, США й інших країн були визнані спеціалізовані іспити, що дозволяють перевіряти схильність металу до утворення тріщин [595-599]. Однак цей показник багато в чому залежить від технології зварювання. Ряд дослідників запропонувало для визначення зварюваності сталей використовувати тепловий режим, що випробує основний метал у зоні термічного впливу. Параметри процесу зварювання, що впливають на структуру і механічні властивості з'єднань, легко контролювати.[596].

Вибравши як індикатор зварюваності твердість структурних складових ЗТВ, деякі дослідники запропонували вважати, що зварюваність пропорційна прокаливачності [598,599]. Під час Другої світової війни в США були проведені численні експерименти, у результаті яких створені графіки зміни структур (так

називані S-образні криві), що дозволяють обчислювати швидкості охолодження, і таблиці з коефіцієнтами, що характеризують геометрію звареного з'єднання.

За критерій зварюваності при дуговому зварюванні А.П. Едсон (США) запропонував приймати максимальну твердість металу шва [600]. У 1942 р. була опублікована стаття В. Спрарагена і Г. Клауссена, присвячена дослідженням зварюваності при різних способах зварювання. Авторами були проаналізовані опубліковані до липня 1939 р. матеріали в кількості 250 джерел [601,602].

З ряду припущень про причини виникнення холодних тріщин найбільше визнання одержала воднева гіпотеза. У 1944 р. Г. Хопкин (США) повідомив, що атомарний водень, дифундуючи зі шва в ЗТВ, з'єднується в молекули, обсяг яких значно перевищує обсяг атома водню, що і приводить до розриву металу [603].

Вже в 1920-і роки металографічні дослідження залучалися для оцінки технологій. Так, коли в СРСР був узятий курс на застосування при дуговому зварюванні перемінного струму й опоненти такого підходу посилялися на відсутність світового досвіду, у 1925-26 р. у Гірнометалургічної лабораторії, разом з Регістром СРСР і Пролетарським і Металевим заводами (Ленінград) під керівництвом А.О. Алексеєва були проведені порівняльні механічні і металографічні дослідження зварених швів, виконаних на постійному і перемінному струмі. У результаті було доведено, що якість з'єднання в обох випадках практично однакова [604, 605]. Формуванню шва, поводженню шлаку у ванні і плавленню основного і присадочного металу присвячені роботи ряду дослідників [606-609].

У період Другої світової війни зросла увага до спеціальних легованих сталей. У США в 1942-43 рр. були вивчені властивості зварених з'єднань нікелевих, хромонікелевих і інших сталей з додатками легуючих елементів при дуговому зварюванні і після термообробки в різних умовах [598, 610]. На основі цих досліджень були визначені оптимальні технології виготовлення бронекорпусів. Численні експерименти послужили основою для розробки технології точкового зварювання спеціальних сталей і алюмінієвих сплавів [598,611]. Різнобічному вивченню піддалися технології зварювання і пайки авіаційних конструкцій з алюмінієвих і магнієвих сплавів і стали [599, 612].

Була розглянута проблема крихкості зварних з'єднань броньових сталей - з погляду теорії нагрівання і поширення тепла, із застосуванням металографічних досліджень. Установлено залежності швидкості охолодження і твердості від питомої енергії зварювання, від геометрії з'єднання й інших факторів; швидкості навантаження на сопроотивляємості руйнуванню [613, 614]. Ці й інші роботи поповнили розділ науки, що стосується металургії зварювальних процесів. У зв'язку з аваріями судів типу "Ліберті", що серійно будувалися в роки Другої світової війни, з особливою гостротою встали проблеми зварності сталей, крихкого руйнування, впливу водню і т.д.. У США і Великобританії цими напрямками зайнялися О.О. Керенський, Дж. Дерден, Х. О'Нейл, Г. Л. Гопкин і ін. Широкі-масштабні дослідження холодних тріщин виконувались і в інших країнах: вони були спрямовані на визначення залежності деформацій і напруг від способів і режимів зварювання, від технології зборки, характеру закріплення деталей і т.д. [615-618].

6.5.7. Вивчення напруги і деформацій. В основу методів визначення внутрішніх механічних напруг була покладена ідея М.В. Калакуцького, що в 1888 р. для дослідження залишкових напруг у гарматних стовбурах здійснював розрізку металу на частині, звільняючи його від остаточних напруг, через що змінювалася відстань між контрольними мітками, нанесеними на метал до розрізування. За рівнем деформації, що перетерпіли відрізані частини, можна розраховувати також і напруження. У 1930-і роки були експериментально вивчення подовжні, поперечні і кутові деформації при зварюванні пластин, балок, тонкостінних судин.

Для визначення характеру розподілу напруг від нагрівання при стиковому зварюванні в США була застосована методика "замораживання" напруг на еластичних (бакелитових) пластинах, що розширюються при нагріванні [619]. У 1940-х рр. були початі спроби узагальнити наявні на той час емпіричні дані і вивести формули для розрахунку деформацій без руйнування виробів чи зразків. З цією метою використовувалися досягнення механіки деформуємих середовищ, теорії пружності й інших розділів фундаментальної і прикладної науки, що вже послужили успішно рішення ряду практичних задач у різних галузях техніки [620]. Проте складність, динамічність і багатофакторна залежність рівня деформацій і напруг серйозно заважали розробкам достовірних теоретичних методів розрахунку.

6.6. Комплексна програма дослідження і розвитку зварювання Є.О.Патона. Таким чином, до середини 1940-х рр. сформувалися основні розділи науки про зварювання. Зварювальне виробництво одержало можливість на науковій основі вирішувати проблеми забезпечення високої якості зварених виробів з мінімальними витратами. Однак окремі розділи науки ще не були зв'язані між собою, і тому, незважаючи на вдалі роботи в окремих напрямках, іноді виникали труднощі у створенні нових конструкцій, а перехід до нових технологій виготовлення вимагав значних витрат часу і матеріальних засобів. Іноді вдалі рішення однієї частини проблеми виявлялися негативними для іншої, суміжної частини. Необхідно було розглядати проблеми зварювального виробництва всебічно, шукати рішення в комплексі.

Першим звернувся до комплексної методології досліджень Є.О. Патон [621]. У 1946 р. він застосував системний підхід до проблеми створення суцільнозварних мостових конструкцій. Науковий пошук, дослідження, розробку зварювальних матеріалів, джерел живлення, автоматів і навіть створення спеціальних сталей він згрупував у єдиний комплекс із 25 тем, робота над яким здійснювалася паралельно.

Такий підхід з'явився прообразом майбутніх цільових комплексних програм, що дозволяють у найкоротший термін довести наукову ідею до втілення в реальні технології й устаткування і впровадити цю роботу в виробництво. В історії науки про зварювання почався етап системного комплексного розвитку.

Перші промислові способи зварювання створювалися емпіричним шляхом і вдосконалювалися з урахуванням відповідних законів фізики, хімії й інших фундаментальних наук. Для пояснення результатів експериментів визначалася взаємозалежність параметрів режиму зварювання і параметрів, що визначають якість з'єднань, установлювалися поправочні коефіцієнти до відомих формул.

У 1930-х рр. у СРСР, у США і ряді інших країн наукові праці в області зварювання були спрямовані на створення електрозварювального устаткування, на вивчення міцності і деформацій зварених конструкцій, металургії і металознавства зварювання, механізації й автоматизації процесів зварювання і т.д. Д. Розенталем, М.М. Рикалініним й іншими вченими були закладені основи загальної теорії теплових процесів при зварюванні концентрованим джерелом енергії, отримані дані про

температурні цикли і температурних полях. Електричну дугу як найбільше поширено джерело зварювального тепла почали вивчати з погляду електронної теорії, а потім з урахуванням ролі газів і пар, що знаходяться поблизу катода. У розкритті властивостей зварювальної дуги брали участь І. Ленгмюр, К.К. Хренов, В. Спрагаген і ін. У 1930-х рр. було створено багато методів дослідження зварювальної дуги і запропоновані чисельні показники, визначені залежності, що характеризують процес зварювання (коефіцієнти плавлення і проплавлення, к.к.д. і ін.). Результати досліджень були використані при створенні зварювальних матеріалів і джерел живлення.[299-304].

У 1930-х - початку 1940-х рр. було опубліковано кілька сотень робіт по дослідженню зварюваності матеріалів, металургійним процесам у зоні зварювання, металоведенню зварених з'єднань і іншим во-просам, що стосується металургійних основ зварювання. Були запропоновані надійні критерії оцінки придатності матеріалів до зварювання.

У 1930-х рр. сформувався уява про дугове зварювання як металургійному процесі, визначений вплив окремих хімічних елементів на зварюваність сплавів, знайдені приватні підходи до рішення задач попередження тріщин і пір у металі шва (А.П. Едсон, Х.О'нейл, В.І. Дятлов і ін.).

Наприкінці 1930-х і в 1940-х рр. розроблена методика дослідження несучої здатності зварених конструкцій, вивчений комплексний вплив внутрішніх напружень, деформацій, неоднорідності механічних властивостей на характеристики зварених виробів і окремих вузлів, доведена принципова можливість створення зварених конструкцій відповідального призначення (Є.О. Патон, В.В. Шверницький, О.О. Керенський і ін.).

Перший етап формування науки про зварювання завершився в 1940-х рр., коли по окремих розділах науки були сформульовані основні положення, і для їхнього підтвердження нагромадилося досить багато експериментальних даних.[622].

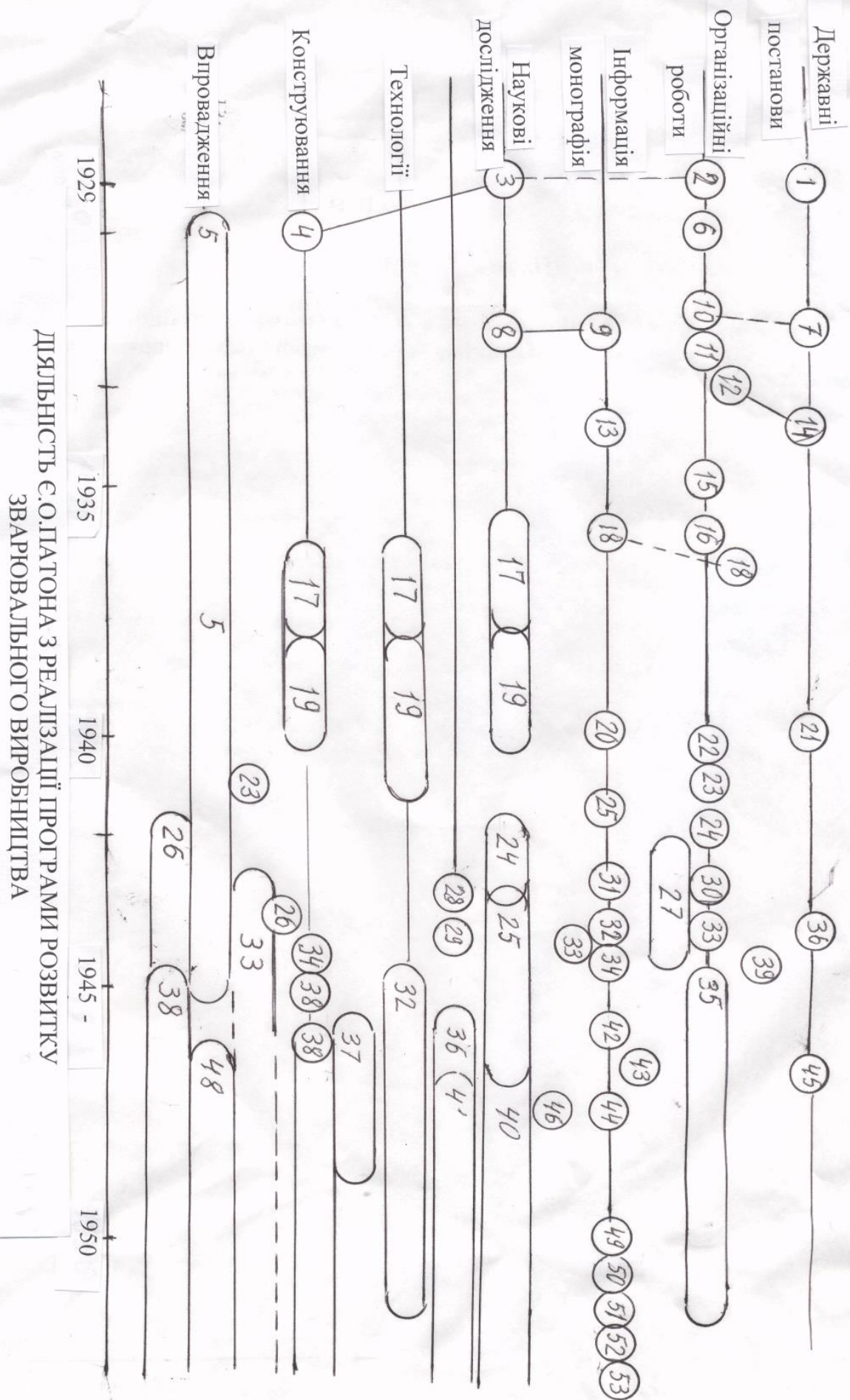


Рис.6.1. ДІЯЛЬНІСТЬ Є.О.ПАТОНА З РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Підписи до рис. 6.1.

1. 1929 11 08. - Постанова Ради Праці й Оборони (про виробництво зварювального встаткування й матеріалів і організації Всесоюзного автогенного комітету).
2. 1929 -29 06. - Рішення ВУАН про створення Електрозварювальної лабораторії.
3. 1929 - початок досліджень міцності зварених конструкцій.
4. 1930 - Початок основ проектування раціональних зварених конструкцій.
5. 1930-1939 - впровадження раціональних зварених конструкцій.
6. 1930. вересень. - Е.О.Патоном створений Електрозварювальний комітет.
7. 1932 -30 січня-4 лютого - Рішення XV11 конференції ВКП(б) про розвиток зварювальної техніки в СРСР.
8. 1932 - розробка плану концепції комплексного розвитку зварювального виробництва.
9. 1932. - доповіді із проблем розвитку зварювання.
10. 1932 лютий - організація Українського наукового інженерно-технічного суспільства зварників (УНИТОЗ).
11. 1932 травень - Всеукраїнський з'їзд УНИТОЗ.
12. 1933 -2 лютого. Рішення президії ВУАН про перетворення Електрозварювальної лабораторії в Інститут електрозварювання, призначення Е.О. Патона директором інституту.
13. - монографія «Розрахунок і проектування зварених конструкцій...».
14. 1934 - Січень. Рішення СНК УРСР про створення Інституту електрозварювання по поданню ВУАН.
15. 1935. Обрання Е.О.Патона членом президії АН УРСР, а також членом Київської міськради; організував київський відділ науково-інженерно-технічного суспільства працівників зварювальної справи.
16. 1936. Організація зварювального факультету в КПИ.
17. 1936-1938. Дослідження в області автоматизації зварювання відкритою дугою.
18. 1936 березень - Конференція по автоматичному зварюванню, організоване Е.О.Патоном.
19. 1939-1940. Цілеспрямовані дослідження автоматичного зварювання закритою дугою. Створення способу швидкісного зварювання під шаром флюсу.
20. 1940 жовтень - Видання монографії «Автоматичне зварювання голим електродом під флюсу».
21. 1940 20 грудня - Постанови ЦК ВКП(б) і Раднаркому СРСР про впровадження швидкісного автоматичного зварювання під флюсом.
22. 25 грудня -1940. Призначення Е.О.Патона членом ради по машинобудуванню при СНК СРСР і керівником відділу зварювання ЦНДІТМАШ.
23. 1941- Січень-Червень. Керівництво Е.О.Патоном виконанням урядової постанови. Впровадження автосварки на 20 заводах СРСР.
24. 1941-42. Керівництво Е.О.Патоном створенням

технології зварювання під флюсом броньових сталей. 25. 1941 .- Монографія «Швидкісне автоматичне зварювання під шаром флюсу». 25. 1942 - Січень. Початок автоматичного зварювання бортів корпусу танка Т-34. 26. 1942. Організація потокової лінії виробництва танків на Уральському танковому заводі ім. Комінтерну. 27. 1942-1944. Керівництво Е.О.Патоном впровадженням автоматичного зварювання у виробництво танків, боєприпасів і інших озброєнь на оборонних заводах країни. 28. 1942 - відкриття явища саморегулювання дугових процесів. Створення зварювальних головок з постійною швидкістю подачі. 29. 1942-1944 - Розробка флюсів з місцевої сировини, дослідження процесів у зоні зварювання , винахід дводугового зварювання, шлангового напівавтоматичного зварювання. 30 1943 Конференція по зварюванню озброєнь. 31 1943 Монографія «Посібник з автоматичного зварювання бронеконструкцій». 32 1944 - монографія «Експериментальне дослідження процесу автоматичного зварювання під шаром флюсу». 33 1944 - монографія «Автоматичне зварювання під флюсом будівельних металоконструкцій». 34 1944 - монографія «Автоматичне зварювання в суднобудуванні». 35. 1944.- Червень Повернення Інституту електрозварювання АН УРСР у Київ і початок робіт з надання науково-технічної допомоги відновлюваному народному господарству. 36. 1944. - Постанова ЦК КП(б) України Раднаркому про впровадження зварювання в промислове виробництво. 37. 1944 -1955 - розробка під керівництвом Е.О.Патона технологій автоматичного зварювання під флюсом швів на вертикальній площині, шлангового напівавтоматичного зварювання, високошвидкісне багатодугове зварювання, зварювання по шарі флюсу, нових зварювальних матеріалів. 38. 1944 -1953 -проекування, виготовлення й впровадження під керівництвом Е.О.Патона високопродуктивного зварювального встаткування, складально-зварювальних верстатів-автоматів, потокових ліній і ін. 1945 - стаття «Перспективи розвитку швидкісного автоматичного зварювання». 39. 1945. - Присвоєння Інституту електрозварювання ім'я Е.О. Патона. 35. 1945 - 1952. - Робота Е.О.Патона віце-президентом АН УРСР. 40. 1946-1953. - Фундаменталізація цілеспрямованих досліджень в області дугового зварювання під флюсом, підстава нових наукових напрямків - металургія зварювання, металознавства зварювання, автоматичного регулювання зварювальних процесів. 41. 1946-1949 - Виконання 25

комплексних тим наукових досліджень по розвитку зварювального виробництва. 42. 1946 - тимчасові технічні умови на виготовлення зі сталі «Ст.3 бруківка» зварених пролітних будов залізничних мостів. 43. 1947 - доповідь «Перспективи подальшого розвитку автоматичного зварювання в СРСР». 44. 1947 - Всесоюзна конференція по застосуванню автозварювання в промисловості. 45. 1947 9 липня - Постанова Ради Міністрів СРСР «Про розширення застосування в промисловості автоматичного електрозварювання під шаром флюсу». 46. 1947-1953 - Наукові дослідження й дискусії між різними науковими школами. Формування наукових основ зварювання. 48. 1947-1953 - Розробка під керівництвом Е.О.Патона технологій зварювання крупногабаритних конструкцій методом рулонірування й великоблочного посекційного складання. Будівництво нафтобаз, трубопроводів, мостових переходів, моста через Дніпро в Києві. 49. 1950 - стаття «Індустріальний спосіб виготовлення нафтерезервуарів». 50. 1951 - монографія «Про першість радянської науки й техніки в області зварювання під флюсом». 51. 1952 - стаття «До суцільнозварних систем мостових ферм». 52. 1952 липень. Всесоюзна науково-технічна конференція з питань нових способів зварювання. 53. 1954 - Монографія «Застосування автоматичного зварювання при будівництві міського суцільнозварного моста»

6.7. Життя і творча діяльність провідних дослідників зварювальних процесів.

6.7.1. Микола Миколайович Рикалін народився 27 вересня 1903 р. в Одесі. В Одеському ремесничому училищі отримав спеціальність токаря. Потім продовжив навчання на технічному факультеті Далекосхідного державного університету, який закінчив в 1929 р. Під керівництвом ректора В.П.Вологдіна М.М.Рикалін розпочинає діяльність в області вирішення проблем зварювального виробництва. З 1936 р. він роботає в Московському механіко-машинобудівному інституті ім.М.Е.Баумана, де М.М.Рикалін захищає кандидатську дисертацію. З 1939 р. до кінця життя працює в системі Академії наук СРСР: в Інституті машинобудування, в секції з наукової розробки проблем зварювання і електрометрії (1941-1953 рр.), в Інституті металургії ім. А.А.Байкова керівником лабораторії теорії зварювальних процесів. В 1945 г. в МВТУ ім. М.Е.Баумана він захищає докторську дисертацію, присвячену теорії теплових процесів при зварюванні.[348-622].

В 1953 р. М.М.Рикаліна обирають членом-коресподентом АН СРСР, в 1968 р. – дійсним членом АН СРСР, з 1959 р. М.М.Рикалін – іноземний член Сербської академії наук і мистецтв. Значний вклад М.М.Рикаліна і в практиці зварювального виробництва. В кінці 1940 р., в період відродження зруйнованого війною народного господарства і розпочатого в СРСР будівництва великих гідроелектростанцій, під його керівництвом був розроблений ефективний спосіб з'єднання арматури – ванно-дугове зварювання, створені технології зварювання металів ультразвуком, термокомпресійного зварювання, обробки плазмою і променем лазера. Велике значення для розвитку ІМЕТ ім.А.А.Байкова АН СРСР як центру дослідження в галузі зварювання і металургії мали праці М.М.Рикаліна з проблем переводу металургії на нову енергетичну основу, з розвитку плазмової металургії, вивчення структурних перетворень при обробці жаротривких сталей, титанових і нікелевих сплавів, тугоплавких металів, отримання і обробки порошків, відновлення металів та ін. М.М.Рикаліна також можна по праву вважати сновоположником практичного використання лазера для технологічних цілей [622]. Багаторічна праця М.М.Рикаліна знайшла подальший розвиток в працях його учнів О.В.Ніколаєва, Д.І.Кулагіна та ін.

Значний вклад в теплові основи зварювання внесли В.І.Дятлов (КПІ). І.І.Фрумін і І.К.Походя (ІЕЗ ім.Є.О.Патона), запропонувавши методику розрахунку і визначення температури металу в зварювальній ванні.

6.7.2. Девіс Альтон Франк – електротехнік, зварник. Вчився у Вищій школі Альянса і Маунт юніон коледжу. В 1913 р. закінчив Державний університет м. Огайо за спеціальністю інженер-електрик і почав працювати на фірмі “Електрик” в Клівленді. З 1925 р. - директор і віце-президент фірми. З 1951 р. – доктор наук, секретар фонду “Джеймс Лінкольн арк велдінг”. На протязі 1920-1950-х років Девіс керував розробкою технології виготовлення і проектуванням багатьох зварювальних конструкцій. Результати досліджень і досвід впровадження опублікував в десятках статей. Він був редактором ряду монографій, присвячених дослідженню і практичному використанню дугового зварювання. АЗТ в 1951 р. заснувало премію ім. Девіса [622].

6.7.3. Керенський Олег Олександрович (16.04.1905 р., Петербург, Росія - 25.06.1984 р., Лондон, Великобританія) – спеціаліст зварювального виробництва,

мостобудування. Вчився в гімназії в Петербурзі, закінчив технічний коледж в Нортемптоні (Англія). З 1927 р. О.О. Керенський працював в Оксфордській місцевій раді, потім в фірмах, де проектував і будував зварювальні мостові переходи. В роки Другої світової війни він побудував декілька мостів стратегічного призначення, був головним конструктором проекту трубопроводу, керував технічним забезпеченням висадки десанту союзників на територію Франції. В післявоєнні роки ним сконструйовані десятки зварювальних мостів, переходів у Великобританії, Індії та Австралії. О.О. Керенський був членом Лондонського королівського товариства, президентом Інституту інженерів-проектувальників конструкцій, президентом Інституту шляхових інженерів, президентом Ради індустріальних досліджень, віце-президентом Інституту зварювання Великобританії, головою Ради британських стандартів, очолював велику кількість комісій і комітетів, почесним доктором ряду університетів. Основополагаючі наукові роботи Керенського відносяться до проектування великих зварювальних конструкцій. Нагороджений золотими медалями Георга Стефенсона, Тельфорда та ін. [622].

6.7.4. О'Ней Хью (1899 – 24.02.1986) – металург, зварник. В 1920 р. закінчив Університет Шеффільда (бакалавр металургії, в 1922 р. – магістр), викладав в університеті Манчестера. Займався проблемами металургії зварювання і деформації з'єднань, запропонував визначати зварювальність згідно еквіваленту вуглецю. З 1947 р. – завідував кафедрою університету Свенсі. Автор більше 60 монографій і статей [622].

6.7.5. Спрагаген Вільям (20.05.1895 р., Варвик, шт. Нью-Йорк – 5.12.1989р., Санкт-Петербург, шт.Флоріда) – електротехнік, спеціаліст зварювального виробництва. Після закінчення в 1916 р. Вашингтонського університету працював інженером низки фірм, викладачем електротехніки в коледжі, інженером в Військовому департаменті. З 1918 р. почав займатись зварюванням в якості заступника голови Зварювального комітету “Емердженси Флит корпорейшн”. З 1921 по 1936 рр. – секретар Американського бюро зварювання, з 1927 по 1942 рр. - технічний секретар АЗТ, видавець журналів “Бизнес мегезін” і “Уелдинг джорнел”, з 1948 р., - член управлінської ради Міжнародного інституту зварювання. В роки Другої світової війни – менеджер в Дослідному комітеті з судів високого тиску.

Видавець перших випусків довідника “Уелдинг Хендбук», автор розділу з зварювання енциклопедії “Британника” і “Меканикел инжинирс хендбук”, автор біля 100 критичних оглядів літератури з усіх питань зварювального виробництва. Почесний член ряду наукових товариств, нагороджений медалями Миллера та ін. [622].

6.7.6. Бартке Пауль (1872-1935pp.) - спеціаліст із зварювання. З 1916 р. директор залізничного ремонтного заводу в Вітенберзі (Німеччина), де заснував експериментальну і навчальну лабораторію, яка стала відомою як в країні так і за кордоном, набула статусу основної для спеціалізованого навчального закладу. З 1929 року – в Ганноверському вищому технічному училищі (з 1930 р. – професор). Автор декількох десятків статей і навчальних посібників, в тому числі і статей для 30-томної “Технической энциклопедии”, виданої в СРСР в 1930-х роках. Основні дослідження – із зварювання і наплавці сталей (різними способами) [622].

6.7.7. Розенталь Даніель (род. в 1900 р. в Лодзі, Польща) - вчений в області металургії і зварювального виробництва. Закінчив Брюссельський університет (в 1924 р. – технічний факультет, в 1925 р.- факультет авіації). З 1924 по 1938 рр. працював в цьому ж університеті. З 1938р. – в США, в Массачусетському технологічному інституті (асистент професора), з 1942 р. – консультант фірми “Бельгиан аркос”. Член Міжнародного товариства дослідження матеріалів, Бельгійського технічного товариства, Американського зварювального товариства та ін. Основні дослідження – в області металургії зварювання і теплових процесів при зварюванні.[622].

6.7.8. Парслоу Гі (1901- 8.03.1985, Уимблдон, Великобританія) – організатор зварювального виробництва, історик. В 1927-1943 рр. – секретар Інституту історичних досліджень. З 1943 р. – секретар Інституту зварювання (Великобританія), організатор Зварювальної дослідної ради, заснував журнал “Бритиш уелдинг джорнел” (“Метал констракшн”), приймав участь в організації Міжнародного інституту зварювання, (генеральний секретар – з дня заснування до 1966 р.). Праці в області Загальної історії і зварювання відзначені медаллю Едстона (1971 р.) та

іншими нагородами. Почесний член Зварювального інституту і ряду наукових товариств. Почесна ступінь Лондонського університету.[622].

6.7.9. Шеверницький Вячеслав Вікторович (1.09.1895 р. м.Козилець, Чернігівської губ. – 1.07.1964 р., Київ) – спеціаліст в галузі зварювальних конструкцій. Після закінчення Київського політехнічного інституту в 1930р. працював в Інституті електрозварювання (науковий співробітник, 1935-1941 р., - заст.директора, з 1944 р. – керівник відділу). Дослідження в області статистичної і динамічної міцності зварювальних з'єднань, раціонального проектування зварювальних конструкцій. Автор більше 80 наукових праць. [622]. 6.7.12. Хобарт Едвард Алва (25.12.1888 р., м.Міддлетаун, шт.Огайо, США - 26.07.1985 р. м.Трой, шт.Огайо) – електротехнік, зварник. Закінчив Державний технічний університет в Огайо в 1912 р. Зайнявся проектуван-ням автомобільних генераторів, пристроями для зарядження акумуляторів. В 1917 р. разом з батьком С.С.Хобартом і братом Вільмом організував фірму “Хобарт бразерс” (з 1932 р. – президент фірми). З 1925р. фірма повністю перейшла на випуск зварювальних установок. Автор 34 винаходів, розробив спосіб отримання двоокису титану, сполуки електродних покриттів, конструював зварювальні машини. Почесний доктор наук державного університету Огайо; Почесний член Інженерного товариства, член АЗТ; член ряду інших науково-технічних об'єднань і колективів, відзначений знаком Армії-Флоту. [622].

6.8. Життя і діяльність К.К. Хренова. Його наукова школа. Костянтин Костянтинович Хренов народився 25лютого 1894 р. в м. Боровськ., Калузької губернії, в сім'ї вчителя. З 1905 р. Хренови переїжджають в Нижній Новгород, де в 1911 р. Костянтин закінчує реальне училище. В тому ж році він вступає в Петербурзький електротехнічний інститут. Одночасно починає заробляти на життя і з 1915р. влаштовується на постійну роботу з проектування гідроелектро-станцій і хімічних заводів

В 1918 р. К.К. Хренов приїжджає в Уфу, де завідує електростанцією, розробляє план електрифікації губернії. Одночасно він приймає участь в організації курсів для техніків, на базі яких було згодом створено вищий навчальний заклад. В кінці 1921 р. Костянтин Костянтинович повертається в Петроградський електротехнічний

інститут на кафедрі прикладної електрохімії. З середини 1923 р., не залишаючи роботу в інституті, він почав працювати в Електромашинобудівному тресті.

К.К. Хренов зацікавився електрозварюванням і, розпочав вивчати зарубіжний досвід, перейшов до самостійних лабораторних досліджень в Електротехнічному інституті і до проектних робіт в Елмаштресті. Одночасно К.К.Хренов та ще двоє молодих енергетичних інженерів – В.П. Нікітін і А.Є.Алексєєв організували на Ленінградському заводі “Електрик” експериментальне виробництво зварювального генератора СМ-1 і трансформатора СТ-2. При його активній участі завод був реконструйований [301, 623].

В 1925 р. Костянтина Костянтиновича переводять до Москви. Тут продовжується його інтенсивна багатопланова праця з організації зварювального виробництва. Хренов приймає участь в проектуванні Московського заводу металевих електродів, пише огляди, навчальні посібники. За методичними посібниками Хренова в країні за дуже короткий час були підготовлені сотні електрозварників. В 1928 р. в Харькові, на Першому Всеукраїнському з'їзді зварників він зробив одну з основних доповідей. В Московському інституті інженерів залізничного транспорту Хренов створив спеціальний курс зварювання і зварювальну лабораторію, поклавши початок самостійній кафедрі. В 1930 р. Костянтин Костянтинович став доцентом, в 1932р. – професором. Одночасно Хренов вивкладав курс зварювання ще в декількох навчальних закладах, в тому числі і в Московському автозварному комбінаті, де працював також В.П. Нікітін і Г.О. Ніколаєв.

Коли в 1932 р. автогенно-зварний інститут увійшов в МВТУ, К.К. Хренов перейшов працювати до цього навчального закладу, керував кафедрою технології зварювання, створив лабораторію. Тут, та в інших лабораторіях він очолив наукові дослідження з широкого спектру проблем, залучивши до наукової роботи викладачів, аспірантів, студентів. Результати науково-дослідної роботи лягли в основу багатьох розділів зварювальної науки.

Особливу зацікавленість визивають праці К.К. Хренова з дугового зварювання і різання під водою. Вченому вдалося добитися стійкого горіння дуги під водою, дослідити її властивості, створити плавлящі електроди з спеціальним покриттям. В

1932 р. були проведені виробничі дослідження технології і обладнання, почали готувати спеціалістів з підводного зварювання. Вперше в світі повідомлення про результати підводного зварювання були опубліковані в 1933 р. в журналі “Сварщик” [624,625], а в 1934р. статтю Хренова передрукували американські і японські журнали.

В лютому 1945р .К.К. Хренов був обраний академіком АН УРСР і почав працювати в Інституті електрозварювання. З 1947 р. він одночасно завідує кафедрою зварювального виробництва Київського політехнічного інституту, створює велику навчальні лабораторії, де розгортає також і науково-дослідницьку роботу. З 1952 по 1963 рр. Костянтин Костянтинович керує лабораторією електротермії в Інституті електротехніки АН УРСР. В 1953 р. К.К .Хренова обирають членом-кореспондентом АН СРСР. На протязі 8 років він був членом Президії АН УРСР.

В 1950-60-х рр. під його керівництвом виконані роботи, присвячені аргоно-дуговому зварюванню, поверхневому дуговому закалюванню, газопресованному зварюванню, використанню ультразвуку і магнітних полів при зварюванні. Продовжується дослідження дугового розряду. Хренов і його співробітники розробили технологію і створили обладнання для плазмо-дугового різання і зварювання малоамперною дугою тонких металів. Широку популярність отримали роботи з удосконалення керамічних флюсів.

Спосіб холодного зварювання, розроблений Хреновим і його учнями зайняв почесне місце в промисловості, особливо в електротехнічній. Костянтин Костянтинович довів, що практично всі метали, в тому числі і сталь, піддаються холодному зварюванню. Створене К.К.Хреновим і В.Е.Моравським конденсаторне зварювання дозволило вирішити проблеми виготовлення мікродеталей з металів товщиною в десяті і соті долі міліметра. Новий спосіб і обладнання знайшли використання в виробництві радіоапаратури в галузі електроніки і точної механіки. Створений К.К.Хреновим відділ електротермії в 1963 р. увійшов в склад ІЕЗ ім.Є.О.Патона, де продовжив розпочаті раніш роботи з холодного зварювання, зварювання металів малої товщини (конденсаторного і імпульсно-дугового) та ін.

Відомо, що велика зацікавленість Хренова до історії техніки. В 1958 р. він організував Українське відділення історії природознавства і техніки, об'єднавши

сотні вчених, яка цікавилась історією. В цьому напрямку своєю діяльністю він гідно показав Україну на всесоюзних і міжнародних конгресах [624].

До останніх днів життя Хренов продовжував активну наукову діяльність, консультував наукових співробітників і викладачів вузів, писав статті і мемуари. Останніми з його робіт були підручник з теорії зварювальних процесів, науково-популярна книга для молоді та розділи про великий колективний труд з історії зварювання. Всього він написав більше 200 наукових праць, отримав декілька десятків патентів і авторських свідоцтв. Тисячі інженерів-зварників слухали лекції Хренова, вчилися по його книжках і в лабораторіях, створених саме ним. Багато відомих вчених і організаторів виробництва – його учні. Помер Костянтин Костянтинович 11 жовтня 1984 р.

6.9. Розгортання наукових досліджень. Створення спеціальних сталей.

До кінця 1940-х рр. великомасштабне застосування зварювання поряд з багатобічними перевагами виявило істотний недолік - несподіване, непрогнозоване руйнування або утворення тріщин у зварених конструкціях. У довоєнний період і перші післявоєнні роки для виготовлення зварених конструкцій за традицією, в основному застосовували, низковуглеродисти киплячі сталі, раніше використовувані для клепаних конструкцій. Вони відрізнялися високою крихкістю в зоні термічного впливу і підвищеною чутливістю до старіння. Випадки аварійних руйнувань конструкцій з цих сталей, виготовлених як ручним дуговим зварюванням, так і під флюсом спостерігалися в СРСР і за рубежем. Однак, незважаючи на те, що в 1930-х рр. у ряді країн були визначені умови гарної зварюваності сталі і запропоновані формули для кількісної оцінки зварюваності, зварники продовжували пристосовуватися до "будь-який" сталі, не зважаючи втручатися в металургію її виробництва.[623].

Разом з тим, науково-технічний прогрес висував усе більш високі вимоги до експлуатаційних якостей матеріалів, створюваних металургами. Недостатня увага до їхньої здатності зварюватися могло привести до того, що виготовити надійну зварену конструкцію не вдасться. На необхідність застосування сталей, спеціально виготовлених для зварених конструкцій звернув увагу Є.О. Патон, який виявив негативний вплив сульфідних включень на якість зварювання. У 1946 р ІЕЗ

приступив до виконання комплексних робіт з розвитку звареного мостобудування. Є.О. Патон запропонував для розробки 25 науково-дослідних і конструкторських тем. До кінця 1947 р. у ІЕЗ були виконані дослідження з 15 тем, у 1948 р. - ще по 10. Серед них була і робота зі сталей для відповідальних зварених конструкцій. В 1948 р. колективною працею співробітників ІЕЗ "Автоматичне зварювання під флюсом" [626,627] завершився перший етап по створенню вітчизняної теорії зварювання під флюсом.

У результаті досліджень, проведених у ІЕЗ, було створення металу підвищеної холодостійкості, стійкого проти старіння - стали М16СтЗ (М. М. Доброхотов, Б. С. Касаткин, А. Е. Аснис і ін.). Уперше були затверджені такі вимоги зварників до сталі, як зниження максимального змісту в готовому прокаті вуглецю, сірки і фосфору [628, 629]. До такого ж висновку прийшли і фахівці США, що вивчили сульфідні включення у виді рядків, що виявлялися при нагріванні зразків. Мікроскопічні дослідження, механічні іспити, зокрема , серія досліджень складів і властивостей сталей була проведена в Лехайському університеті (Р.Д. Стоур, А.Ф. Скогбрук, К. Дж. Осборн) [630], Массачусетському технологічному інституті (Х.І. Гершенов, Г.Г. Читер). У ряді статей указувалося на металургійні проблеми зварюваності сталей для відповідальних конструкцій, пропонувалися сталі з підвищеним змістом кременю [631].

Специфіка морського суднобудування, зв'язана з застосуванням металу великої товщини, більш складних конструктивних форм секцій і елементів судового набору, вимагала рішення багатьох додаткових задач, у тому числі питань, зв'язаних з переходом до застосування сталей підвищеної міцності. У 1948-52 рр. для здійснення широкої програми будівництва зварених судів у ЦНДІ ТС (В.І. Дятлов, Г.Л. Петров) були проведені дослідницькі роботи як в області створення основних і присадочних матеріалів для зварювання, так і за технологією зварювання і міцності зварених судових конструкцій.

Незважаючи на те, що наявність дугового процесу при зварюванні під флюсом було експериментально доведене співробітниками ІЕЗ Б.Є. Патоном і А. М. Макарой у 1943-44 р. у США спосіб зварювання під флюсом як і раніше називали способом зварювання "зануреним плавленням" (Submerged Melt Welding, SMW) [632]. Під

автоматичним дуговим зварюванням (Automatic Arc Welding, AAW) мали на увазі спосіб зварювання дротом, покритим обмазкою і подаваної автоматично. Як на істотний недолік зварювання під флюсом указувалося на неможливість зварки швів на вертикальній площині. Тільки в результаті дослідження енергетичного балансу при зварюванні під флюсом закордонні фахівці визнали існування дуги під флюсом [633].

Характер плавлення електрода (електродного дроту), особливості горіння дуги і переносу електродного металу продовжував цікавити всіх, працюючих над новими дуговими способами зварювання, джерелами живлення і зварювальними матеріалами. На протязі 1950-х років цими питаннями займалися Б.С. Патон, А.М. Макара, І.В. Кирдо, Д.М. Рабкин, В.В. Подгаецький, Г.М. Тиходеев, К.К. Хренов, А.О. Алов, А.А. Ерохин, А.Я. Бродський, В.Р. Верченко, І.І. Фрумин, Г.І. Погодин-Алексеев, І. К. Походня, І. Р. Пацкевич [635] і ін. У 1950 р. Т.І. Авилов (МІІТ) провів дослідження електричної дуги під водою і розробив спосіб зварювання для ремонтних і монтажних підвідних робіт [636].

Наприкінці 1940-х початку 50-х рр. у СРСР проведені фундаментальні дослідження з з'ясування причин крихкого руйнування зварених конструкцій (Є.О. Патон, В.В. Шеверницький, Б.С. Касаткин); кристалізації металу при зварюванні, взаємозв'язку її з міцністю, розмірами ванни і розподілом температур (М.М. Рикалин, К. В. Любавський, В.І. Дятлов, І.І. Фрумин, Д.М. Рабкин, А.М. Макара, Б.І. Медовар, В.В. Подгаецький, І.В. Кирдо, М.В. Шаманин, М.М. Прохоров, А.О. Алов, Г.Л. Петров і ін.); розробці основ зварюваності, визначенню впливу способів виробництва сталей і їхнього хімічного складу на зварюваність (А.М. Макара, А.Е. Аснис, Б.С. Касаткин, С.А. Островська, К.В. Любавський, М.Х. Шоршоров, А.Я. Бродський, С.О. Астафьев, Е.М. Кузмак) [637-648]; нагріванню і плавленню електрода в процесі зварювання під флюсом (Б.С. Патон) [649,650].

Ряд робіт були присвячені одержанню даних, необхідних для безпосереднього використання при проектуванні і виготовленні зварених конструкцій. Вони стосувалися оцінки опору крихким і усталостним руйнуванням найбільш розповсюджених видів зварених з'єднань, вибору матеріалів, раціонального конструювання вузлів і кріплень [651,652]. Испиту піддавали великомасштабні

зварені зразки і моделі. Результати досліджень підтвердили, що при дотриманні визначених правил конструювання, належних матеріалів і належній якості зварювання можна застосовувати в самих відповідальних спорудженнях. З метою з'ясування найбільш важливих факторів, що змінюють холодостійкість з'єднань, досліджували вплив на неї пластичності металу шва [653], різкості концентратів напруг і залишкової напруженості [654], нерівномірності полючи напруг. Зміна опору утоми вивчалася під впливом концентрації напруги [655], залишкових напруг і інших факторів [656].

Ряд робіт були присвячені одержанню даних, необхідних для безпосереднього використання при проектуванні і виготовленні зварених конструкцій. Вони стосувалися оцінки опору крихким і усталостним руйнуванням найбільш розповсюджених видів зварених з'єднань, вибору матеріалів, раціонального конструювання вузлів і кріплень [655,656]. Испиту піддавали великомасштабні зварені зразки і моделі, що імітують різні вузли, сполучення і з'єднання зварених конструкцій. Результати досліджень підтвердили, що при дотриманні визначених правил конструювання, що відповідає виборі матеріалів і належній якості виконуваних робіт зварювання можна застосовувати в самих відповідальних спорудженнях.

З метою з'ясування найбільш важливих факторів, що змінюють холодостійкість з'єднань, досліджували вплив на неї пластичності металу шва. На початку 1950-х рр. у США при координації Зварювальної дослідницької ради були розгорнуті дослідження з проблем: зварювальної фізики і хімії; металургії зварювання; механічних властивостей і іспитів; виготовлення зварених конструкцій; контактного зварювання [657]. Кілька фірм, що займаються виробництвом зброї, замовили Комітету зварюваності Зварювальної дослідницької ради вивчити проблему зварюваності [658]. Дослідники США розробили форми зразків, методику іспиту, критерії оцінки результатів. Були виконані прямі іспити в'язкості металу шва, зварені зразки на розтріскування, однак іспиту зварюваності, наприклад, по зразках з надрізами, по поведженню зразків при нагріванні, навантажені й інших умовах успіхами не увінчалися - надійної методики створити не удалося [659]. Над проблемами підвищення надійності зварених з'єднань працювали й в інших країнах.

Докладні дослідження причин тендітного руйнування резервуарів у Великобританії в 1952 р. виконали співробітники Ф. Дж. Фили, Дж. Д. Хртко з фірми "Стандарт ойл девелопмент". Крім впливу конструктивних особливостей і геометрії з'єднань, вони визначили вплив складів основного металу і металу швів на тріщиноутворення [660].

Металургія зварювання плавленням привернула увагу вчених, що працюють у Парижі, Копенгагені, Флоренції, Дельті. Про результати їхніх досліджень повідомив А. Портевен [661]. Рішенню проблем технології зварювання, металургії і металознавства і ряду інших питань сприяли творчі дискусії. У 1948 р. редакція журналу "Автогенное дело" (Москва) відкрила дискусію по питанню кристалізації зварювальної ванни статтею А.М. Макари і Б.І. Медовара [662]. У дискусії взяли участь радянські (А.О. Алов, К.В. Любавський, Г.І. Погодин-Алексеев і ін.) і закордонні вчені [663-667].

На початку 1950-х рр. у СРСР були проведені дискусії з проблем зварюваності, у яких брали участь А.О. Алов, Е.М. Кузмак, М.Ф. Лашко, С.В. Лашко-Авокян, Б.І. Медовар і ін. Питанням керування режимом автозварки під флюсом наприкінці 1940-х рр. була присвячена дискусія за участю І. Л. Бринберга, В. К. Лебедева, М.Г. Остапенка, Б.Є. Патона [668]. Кілька дискусій провела редакція журналу "Уелдинг джорнел" АЗТ, у тому числі про зварюваність і розтріскування сталей, що застосовуються для зварних мостів і корпусів кораблів [669-676].

Проведені дослідження з металургійних і фізико-хімічних процесів зварювання створили необхідні передумови для подальшого удосконалювання процесів зварювання під флюсом, розробки багатьох нових способів зварювання й особливо дугового зварювання в захисному газі для наукового підходу до підбора електродних покриттів, раціональної технології зварювання і підвищенню міцності зварених з'єднань.

Одночасно з науковими дослідженнями, спрямованими на поліпшення якості металу шва, удосконалювалася техніка зварювання. Є.О. Патон поставив перед інститутом задачі розширення діапазону з'єднань, що зварюються, і багатократного підвищення швидкості зварювання. Негайного рішення цих задач вимагало промислове виробництво. Значна кількість вертикальних швів при відновленні і

будівництві доменних печей, мостів, резервуарів і інших великих конструкцій приходилося виконувати вручну. Продуктивність трубозварювальних станів, інших установок стримувалася тільки можливістю технології зварювання, і головним чином, швидкістю зварювання.

Пошук способів зварювання під флюсом швів, розташованих у різних просторових положеннях, проведений під керівництвом Є.О. Патона, привів до розробки методу примусового формування (кристалізації) металу ванни за допомогою повзунів (Г.З. Волошкевич, 1948 р.), суть якого в тім, що формуючий пристрій притискався до виробу і пересувався під час зварювання разом зі зварювальною голівкою [677,678]. Були розроблені конструкції формуючих пристроїв мідних водоохолоджуємих повзунів (В.Є. Патон) [679]. Спосіб примусового формування швів став основою для механізації дугового зварювання в різних просторових положеннях і новому способі з'єднання металу великої товщини -ЕШЗ. Починаючи із середини 1951 р. цей метод широко застосовували для виконання вертикальних монтажних стиків цільнозварного мосту ім. Є.О. Патона через Дніпро.

Техніка зварювання вертикальних і горизонтальних швів у США була створена пізніше, ніж у СРСР. У 1954 р. у "Уелдинг джорнел" з'явилося повідомлення про розроблений пристрій для утримання флюсу, що дозволяло виконувати автоматичне дугове зварювання горизонтальних і вертикальних з'єднань [680].

У 1955 р. делегація радянських учених (М.О. Окерблом, Б.Є. Патон і М.М. Рикалин) відвідала АЗТ і ряд фірм, що займаються розробкою устаткування і технологій, що широко застосовують зварювання. Цей перший післявоєнний контакт показав, що в рішенні проблем механізації і підвищення якості зварювання, створення спеціальних зварених конструкцій Радянський Союз випередив США [681]. До цього часу в нас ефективно застосовувалося не тільки дугове зварювання під флюсом і ЕШЗ вертикальних швів, але і зварювання стельових швів. Зокрема, у Всесоюзному науково-дослідному інституті будівництва трубопроводів (Москва) було запропоновано виконувати автоматичне зварювання під флюсом стиків труб у стельовому положенні (О.О. Морозов, 1952 р.) [682]. Підвищенню продуктивності автоматичного зварювання перешкоджала та обставина, що при збільшенні

швидкості зварювання під флюсом звичайним способом (однією дугою) задовільне формування шва зберігалось до визначених меж. ІЕЗ мав досвід збільшення швидкості і поліпшення формування шва за допомогою технічних прийомів: зварювання по попередньо покладеним присадочним пруткам (В.І. Дятлов, Б.І. Іванов, 1942 р.), зварювання розщепленим електродом (А.І. Коренной, 1943 р.), зварювання декількома розсунутими дугами (Б.Є. Патон, А.М. Макара, С.А. Островська, 1943 р.), нахилений електродом кутом уперед Б.І. Медовар, 1946 р.) [683,684].

Дводугове зварювання дало можливість різко збільшити швидкість зварювання кутових одношарових швів, а потім і однобічних стикових швів. Так, при товщині листів, що зварюються, 8-10 мм швидкість зварювання можна установити - 120-160 м/год. Способи двох- і багатодугового зварювання відкрили нові можливості в освоєнні зварювання всіляких сталей і виконанні наплавочних робіт. У 1949 р. спосіб двохдугового автоматичного зварювання на великих швидкостях успішно застосований у СРСР при виготовленні труб великого діаметру з подовжніми стиковими швами [685].

На початку 1950-х рр. Г.П. Михайловим (Уральський політехнічний інститут, Свердловськ) розроблена технологія зварювання трифазною дугою, уперше введена на Уральському заводі важкого машинобудування [686,687]. Глибокі експериментальні і теоретичні дослідження режимів зварювання розщепленим електродом у 1954-55 р. виконали Б.І. Медовар і А.Г. Потапьевський [688]. У фірмі "Линкольн електрик" також були виконані дослідження технологічних можливостей такого процесу (Т. Аштон) [689].

В наступні роки в ІЕЗ були виконані дослідження впливу магніто-гидродинамічних явищ на дугу і зварочну ванну (С.Л. Мандельберг і ін.). Найбільш ефективними виявилися встановлення зв'язку фазировки електродів і формування шва [690], вивчення впливу магнітного полюси зварювального контуру на форму швів, виконуваних усередині труби [691], розробка способів багатодугового зварювання з коливаннями електрода [692], трехдугове зварювання [693-695] і ін. У результаті удалося покращити формування швів і одночасно значно підвищити швидкість зварювання [696-698].

З метою подальшого підвищення продуктивності зварювання під флюсом при виконанні з'єднань з товстого металу з обробленням крайок фірма "Бабкок-Вилькок" (США) запропонувала нову технологію зварювання під флюсом, що одержав назву способу 1/2Rt (тобто зварювання зі збільшеним вильотом електрода). Цей спосіб, за даними фірми, дозволяв розплавляти близько 82 кг/год присадочного металу [699]. Варто нагадати, що при однодуговому й одноелектродному зварюванні під флюсом за звичайною технологією розплавляється, як правило, не більш 15 кг/год присадочного металу. При трифазному наплавленні цю цифру вдається довести до 50-60 кг/год.

У результаті вивчення взаємозв'язку між хімічним складом сплавів системи вуглець-залізо-хром-вуглець і їхня схильність до утворення тріщин при різних швидкостях кристалізації, розроблені склади високохромистих сталей з високою стійкістю проти утворення тріщин (І.К. Походня, ІЕЗ ім.Є.О. Патона) [700, 701]. Одночасно були досліджені температурні умови в зварювальній ванні під флюсом і її хімічний склад [702]. Практичним виходом цього комплексу робіт було створення технологій наплавлення зносостійких сплавів: автоматичної дуговий під флюсом, електрошлаковою і механізованим, порошковим дротом у вуглекислому газі [703].

У післявоєнний період поряд з дуговими способами зварювання одержали великий розвиток роботи з контактним зварювання, що є найбільш механізованим і автоматизованим способом зварювання. Виконано теоретичні дослідження особливостей зварювального контакту і факторів, що впливають на його, зокрема теплових процесів (М.М. Рикалин) по розробці і застосуванню принципів подоби (В.К. Лебедєв, С.І. Кучук-Яценко, Ю.Д. Яворський) і ін. [704].

Дослідження процесів оплавлення при стиковому контактному зварюванні на фізичних і математичних моделях дозволило визначити залежність ККД процесу від різних параметрів, визначити умови стійкого оплавлення й одержання якісного звареного з'єднання. Результати досліджень були підтверджені експериментально і використані на практиці. Результатом інших досліджень стала можливість інтенсифікувати нагрівання деталей шляхом посилення окисних реакцій у зоні оплавлення [705].

У 1950-52 р. ІЕЗ ім. Є.О. Патона разом з Міністерством будівництва підприємств нафтової промисловості створив новий високопродуктивний спосіб стикового зварювання оплавленням стиків нефте- і газопровідних труб великого діаметра в польових умовах [706]. Розробка М.Г. Остапенком і В.К. Лебедевим кільцевого трансформатора відкрила широку дорогу контактному зварюванню стиків труб магістральних трубопроводів великого діаметра. Спосіб стикового зварювання оплавленням за допомогою контурних трансформаторів не був відомий за рубежом, і є одним з найбільших досягнень в області контактного зварювання. Колектив співробітників ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Центрального науково-дослідного інституту Міністерства шляхів сполучення СРСР і рейко-зварювального тресту на основі цього способу зварювання розробили нову прогресивну технологію будівництва безстикових залізничних колій. У ІЕЗ ім. Є.О. Патона створені конструкції високопродуктивної підвісної контактної машини для зварювання рейка в польових умовах і підвісний рейкозварювальний агрегат.

У 1959 р. в Адамсовской лекції К.Е. Джаксон, менеджер дослідницької лабораторії фірми "Лінде", підводячи підсумки розвитку дугового зварювання, перелічив напрямку, у яких розвивалися дослідження післявоєнного років [708].

Процеси дугового зварювання в зварювальній дузі й у зоні зварювання цікавили дослідників багатьох країн. За допомогою осцил-логграфіювання амперний[^]-вольт-амперні статичні і динамічні характеристики дуги ручного дугового зварювання штучними електродами були встановлені К. Андо і М. Хасегавой (Японія), Л. Ортоном і Дж. Нидхемом (Великобританія) [709,710]. Особливе увагу привернули процеси в дузі перемінного струму: стан катода й анода з різних металів, провідність і швидкість іонізації і деіонізації плазми Х. Меккер [711], показав, що власне магнітне поле, що стискає стовп потужнострумової дуги в радіальному напрямку є основним чинником переносу речовини (пар, крапля) від електрода, що плавиться, до виробу [712]. Швидкість руху таких часток складала більш 100 м/год. Е. Рольф вимірював тиск дуги на рухливий катод [712].

На більш високому науковому рівні продовжувалися початі в 1930-х роках дослідження характеру плавлення електродів, електродного дроту при різних способах зварювання. Основною метою експериментів було зменшення

розбризування, підвищення коефіцієнта (швидкості) розплавлення. Більшість учених як у СРСР, так і за рубежом, довели, що швидкість плавлення прямо пропорційна силі струму і більш висока при прямої полярності, чим при зворотній (Вильсон, Клаузес, Джексон і ін.) [744,713-716]. Була встановлена і залежність енергетичних показників від властивостей середовища, у якій горить дуга, зокрема досліджені дуги в інертному і вуглекислому газах, повітрі. Але найбільший обсяг комплексних досліджень за цей період було виконано в ІЕЗ під керівництвом Є.О.Патона [404-406, 717-730].

6.10. Засновник найкрупнішої вітчизняної школи електрозварювання. Євген Оскарович Патон народився 4 березня (20 лютого) 1870 р. у сім'ї, де основним заняттям чоловіків була служба в армії. Його дід, Петро Іванович, у 16-річному віці брав участь у визвольній війні 1812 р. [731]. Батько Є.О.Патона, Оскар Петрович, народився у військовому поселенні і почав службу з 15 років, вступивши до петербурзького Миколаївського військово-інженерного училища [732]. Потім він перебував на дипломатичній службі. Без будь-яких підстав вважають, що Оскар Петрович дослужився до гвардійського полковника, а потім став військовим інженером. Насправді Оскар Петрович Патон дістав інженерну освіту. Миколаївське військово-інженерне училище готувало висококваліфікованих спеціалістів, які ґрунтовно були ознайомлені з найновішими досягненнями фізики, хімії, механіки і будівельної справи.

О.П.Патон після закінчення в 1843 р. повного курсу наук служив у Петербурзькій лейб-гвардії інженерній команді, а з січня 1849 р. – у спеціальній гальванічній (так називали частини, пізніше перейменовані в електротехнічні). Гальванічні команди були створені для вивчення і застосування у військовій справі винаходів з телеграфної і мінної справи, електротехніки, для організації підводної мінної оборони промислових фортець [733].

Діяльність гальванічних команд і досі майже не вивчена, за винятком робіт академіка Б.С.Якобі в галузі електротелефонії. Іншою, дуже важливою розробкою російських електротехніків були міни, в тому числі і підводні, з дистанційним дуговим запалом. У документах відзначається, що з нагоди початку воєнних дій з Англією, Францією і Туреччиною О.П. Патон брав участь в оборонних роботах, що

проводилися для охорони берегів Балтійського моря [734]. Потім він перебував на дипломатичній службі.[735].

Ефективність заходів для захисту берегів Балтійського і Чорного морів визнало навіть командування армії союзників [4, с.180]. Справді, для оборони було використано найновіші розробки гальванічних команд і керовані вибухи справляли належне враження. Як відомо, висадка англо-французьких військ у Прибалтиці не відбулася.

Після Кримської війни О.П.Патон, як і багато інших прогресивно настроєних офіцерів, незадоволених внутрішньою і зовнішньою політикою царизму, звільнився зі служби в армії, а в 1865 р. почав працювати консулом [18]. В родині російського консула заробляли на життя власною працею. Характерним щодо цього є запис в послужному списку Володимира Оскаровича Патона, старшого брата Є.О.Патон. У графі “Чи є за ним, за його батьками або дружиною нерухоме майно, родове чи придбане” помічено “немає” [16].

Євген Оскарович Патон народився 4 березня 1870 року в Ніцці. В 1888р. він закінчив реальну гімназію в Німеччині, в 1894р - інженерно-будівельне відділення Саксонської королівської академії (Дрезденського політехнічного інституту), почав працювати в одній з найбільших будівельних фірм Німеччини. В 1895-1896рр. для того щоб працювати в Росії, Є.О.Патон, який уже мав стаж конструкторської і викладацької роботи, заново складає екзамени і виконує всі курсові і дипломні проекти в Петербурзькому інституті інженерів шляхів, отримує диплом російського інженера, починає викладацьку діяльність в інституті і працює також у технічному відділі казенних залізниць, де проектує мости й металеві перекриття. З 1899р. Є.О. Патон - в Московському інженерному училищі шляхів, успішно поєднує педагогічну, наукову та інженерну діяльність, в 1901р. захищає дисертацію й призначається професором.

В 1904р. Є.О. Патона запрошено до Київського політехнічного інституту, де в 1905р.він очолив кафедру мостів, та був вибраний деканом інженерно-будівельного факультету, перебудував навчальний процес, створив лабораторію і кабінет мостів.

Швидко зростає авторитет Є.О.Патона як вченого і педагога, формується його характер як керівника наукових колективів. У своїх працях він прагне поєднати досягнення науки з практикою - багато з його розробок широко застосовуються в техніці (хитні колони з кульовими шарнірами, суцільні помости проїзної частини тощо). Його інженерні розробки (наприклад, залізобетонні елементи мостів, проміжні опори з кульовими шарнірами) пережили десятиріччя. На міжнародному конкурсі проект великого розбірного моста Є.О.Патона удостоєно вищої премії. Російський міст мав у п'ять разів менше елементів і був на 15% легший за міст, запропонований знаменитим французьким інженером Ейфелем. Усі мости Є.О.Патона відзначалися не тільки красивою формою, а й раціональністю монтажу, надійністю в експлуатації. Серед них слід відзначити пішохідний міст у Києві, Мухранський міст у Тбілісі, Петинський шляхопровід, аркові мости Московської окружної дороги та ін. У 1914 –20 рр. Є.О. Патон розробив способи ремонту зруйнованих мостів, системи розбірних ферм, конструкції фермопідйомників.

До 1929 року він написав десяток підручників, надрукував багато наукових праць, вирішив низку наукових проблем проектування і будівництва мостів, зокрема спроектував і брав участь у будівництві більш як 30 мостів. Ряд його учнів стали відомими вченими та інженерами, керівниками промисловості. Є.О. Патон по праву вважається засновником школи мостобудування в Україні.

В 1929р. Е.О. Патона вибрано академіком Всеукраїнської академії наук (ВУАН), із цього часу починається новий плідний період його діяльності - робота в галузі зварювання металів. Він організує у ВУАН Електрозварювальну лабораторію та Електрозварювальний комітет. Інтуїція вченого і досвід інженера підказали йому, що подальший розвиток мостобудування та інших галузей виробництва металевих конструкцій на основі клепки неможливим. Альтернативним способом нероз'ємного з'єднання металевих деталей було зварювання, однак впроваджувалося воно без ґрунтовної наукової й технологічної розробки, що призводило подекуди до руйнувань відповідальних зварених конструкцій. Є.О.Патон почав розробляти теоретичні основи зварювання й зайнявся впровадженням його в промисловість. Він перший в світі підійшов комплексно до цієї проблеми, створив єдину організаційну структуру, до складу якої ввійшли науково-дослідні та експериментально-виробничі

підрозділи, конструкторське бюро, майстерні. Обсяг робіт розширився і 2 лютого 1933р. президія ВУАН прийняла постанову про створення Інституту електрозварювання, 2 січня 1934р. прийнято відповідне урядове рішення. В Україні був створений перший у світі спеціалізований центр по проведенню наукових та інженерних робіт в галузі зварювального виробництва. До серпня 1953р. Є.О. Патон був беззмінним директором Інституту електрозварювання. З його ініціативи, а він приділяв значну увагу підготовці кадрів, в 1935р. у Київському політехнічному інституті організовано кафедру зварювання, який він керував до 1939р.

Під безпосереднім керівництвом Є.О. Патона в Інституті електрозварювання широко розгорнулися як теоретичні, так і експериментальні дослідження з проблем матеріалознавства та забезпечення міцності зварних з'єднань. Це дозволило досить швидко створити наукову базу для проектування зварних металоконструкцій, дослідження металургійних процесів. Також в інституті створюється устаткування, матеріали і технологія швидкісного автоматичного зварювання, що суттєво підвищило якість зварних конструкцій і продуктивність праці зварників. Ця технологія з початку 1941 р. почали впроваджуватися на 20 провідних заводах країни, а Євгена Оскаровича призначають членом Ради по машинобудуванню при Раднаркомі СРСР. В 1940 р. виходить написана перша в світі монографія Є.О.Патона з проблем автоматичного зварювання «Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса».

Висновки до розділу 6

1. Ковальське зварювання, зварювання "заливанням", паяння, відомі з найдавніших часів, і способи дугового, контактного і газового зварювання, що знайшли промислове застосування на початку ХХ століття, були створені емпіричним шляхом (останні - з урахуванням відповідних законів фізики, електротехніки, хімії й інших наук). Оскільки глибоких наукових обґрунтувань цим технологіям не було, то проблеми, що виникають у процесі роботи, вирішувалися в основному інтуїтивно і методом "проб і помилок", так що у виконанні деяких майстрів зварювання було скоріше чимось тим самим, що і мистецтво.

2. Електричне відділення (VI) Імператорського руського товариства, що було створено в 1880р., стало одним з перших в світі об'єднань спеціалістів в галузі

електротехніки, в роботі якої приймали участь винахідники, вчені, менеджери, державні службовці. Багатопланова діяльність VI відділення сприяла розвитку електротехнологій в Росії і сприяла інтенсифікації досліджень в цієї галузі, популяризації досягнень і можливостей, знайомству з роботами вітчизняних електротехніків і захисту пріоритету їхніх розробок.

3. Матеріали про роботу ІРТТ, зокрема часописи та “Известия Императорского русского технического общества” і “Электричество”, а також фонди Государственного исторического архива Російської Федерації можуть використовуватися як достовірне джерело інформації о діяльності вітчизняних винахідників і стану справ з розвитку електротехнологій в Росії наприкінці XIX ст.. Зокрема матеріали використані для доведення пріоритету М.М.Бенардоса в створенні дугового зварювання.

4. У США значний поштовх розвитку зварювання дала Перша світова війна - була створена державна організація "Емередженси фліт корпорейшн", при якій працював зварювальний комітет на чолі з К.Е. Адамсом. Досвід його роботи показав, що промисловість має потребу в зборі і поширенні інформації зі зварювання, координації роботи окремих дослідників і винахідників. В 1920 р. було засновано спеціальний часопис, навколо якого сгуртувалося Американське зварювальне товариство.

5. На початку 1930-х років Є.О. Патонем розроблена комплексна програма розвитку зварювального виробництва, згідно з якою почав створюватися перший в світі спеціалізований науково-дослідний інститут з проблем зварювання і супутних технологій. Накінці 1940-х років методи досліджень і впровадження розробок почали переростати у тенденцію до зрощування теоретичних і експериментальних досліджень із прикладними розробками. Це привело до виникнення досліджень принципово нового класу - цілеспрямованих фундаментальних робіт.

6. Перший етап формування науки про зварювання завершився в 1940-х рр., коли по окремих розділах науки були сформульовані основні положення, і для їхнього підтвердження нагромадилося досить багато експериментальних даних.

7. У 1946 р ІЕЗ приступив до виконання комплексних робіт з розвитку звареного мостобудування. До кінця 1947 р. у ІЕЗ були виконані дослідження з 15 тем, у 1948

р. - ще по 10. Серед них була і робота зі сталей для відповідальних зварених конструкцій. В 1948 р. колективною працею співробітників ІЕЗ "Автоматичне зварювання під флюсом" завершився перший етап по створенню вітчизняної теорії зварювання під флюсом.

8. У результаті досліджень, проведених у ІЕЗ, було створенн метал підвищеної холодостійкості, стійкого проти старіння - сталь М16С (М. М. Доброхотов, Б. С. Касаткин, А. Е. Аснис і ін.). Уперше були затверджені такі вимоги зварників до сталі, як зниження максимального змісту в готовому прокаті вуглецю, сірки і фосфору.

9. Мікроскопічні дослідження, механічні іспити сталей були проведені в Лехайському університеті (Р.Д. Стоур, А.Ф. Скогбрук, К. Дж. Осборн), Массачусетському технологічеському інституті (Х.І. Гершенов, Г.Г. Читер), пропонувалися сталі з підвищеним змістом кременю. Ряд робіт були присвячені одержанню даних, необхідних для безпосереднього використання при проектуванні і виготовленні зварених конструкцій. Результати досліджень підтвердили, що при дотриманні визначених правил конструювання, що відповідає виборі матеріалів і належній якості виконуваних робіт зварювання можна застосовувати в самих відповідальних спорудженнях.

ХРОНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ НАУКОВИХ ЗАСАД І РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАННЯ

1753р. – Електричні розряді для плавлення металів. Г.В. Рихман

1782р.– Плавлення і з'єднання дротинок із платівки. Г.Х. Лихтенберг

1800р.– Штучно джерел струму тривалої дії. А. Вольта

1800р. Висунув електрохімічну теорію. Г. Деві

1801р. – Дріт з платини нагрівається електричним струмом. Л. Тенар

1801р. Дослідження технологічних властивостей електричного струму. В.В.Петров

1802 р. Батарей гальванічних елементів. О.О. Мусін-Пушкін и В.В. Петров.

1802р.– Явище електричного дугового розряду. В.В. Петров.

1802р.- Воднево-кисневе полум'я. Р. Хейра

1813р. – Дослідження ідентичності хімічних і електричних сил. Зв'язок вольтової електрики і магнетизму. Г.Х. Ерстед.

1820р. – Газовий пальник А. Брок
1831р. – Принцип електромагнітної індукції. М. Фарадей
1833р.–Створення електромагнітів. В. Річчі.
1833р.- Винайдення кільцевого якоря. . А. Пачиноті і З. Грамм
1849р.– Технологічні якості дузі. Депре.
1850р. – Пальник, у якій водень і кисень змішували в соплі. Г.С.К. Девиль
1862р.– Дуга між вугільними електродами. Бертелло
1862р. - Отримання у лабораторних умовах карбиду кальцію Ф. Велер.
1897р.- Засноване об'єднання «Карбід кальцію - ацетилен», Франфуркті-на - Майне
1897р.- Було організовано Німецьке товариство по карбиду й ацетилену Берліні.
1898р. Виникла Німецька ацетиленова корпорація (DAV). у Берліні
1870р.Відкриття водяного (коксового) пального газу. Ф.Фонтіна
XVIII - XIX ст. – Технологія виробництва високоякісної сталі: Майкл Фарадей, Павло Аносов, Дмитро Чернов. XIXст.– Спосіб нікелювання. Т. Флейтман.
1872р. -Винайдення барабанного якоря. Ф. Гефнер-Альтенек
1874р. Розробка акумуляторів Б.П. Твертиновим, М.М. Бенардосом і П.М. Яблочковим. –
1874р.- Розробка дугових ламп є електромагнітним регулятором. В.М.Чиколев
1876р.– Розробка дугових ламп без регуляторів. П.М. Яблочков.
1842р.- Розрахунок теплоти, при проходженні електричного струму. Дж.Дж. Джоулем и Е.Х.Ленцем
1875р.- Нагрів пучки дротів. Вільгельм і Олександр Сименс
1879р. – Розробка дводугових печей. В. Сименс
1880р. – Нагрів метала вихровими струмами. Ф.Араго, Л. Фуко, Максвелла та інші
1883р. –Зварювання дугою косвенної дії. Г.Т. Цернер
1884р. – Методи розрахунку індукційного нагріву. Хевисайд
1884р - Дугова піч. Браття Коулес
1884р. - Розвиток контактного зварювання. Е. Томсон
1885р. С.-Петербурзі було створене Товариство «Електрогефест»
1887р.– Індукційна піч. Феранті.
1888р.. – Дугове зварювання металевим плавким електродом-. М.Г. Слав'янов

- 1890р. – Електричні лампи накаливання. О.М. Лодигін
- 1890р. – Електрометалургії чавуну і стали; дугова електропіч для отримання заліза безпосередньо з руду. Е. Стессано
- 1890р. – Піч з вугільними електродами і двома дугами прямої дії. Еру
- 1891р.– Методи розрахунку індукційного нагріву. С. Томсон
- 1892р.– Методи розрахунку індукційного нагріву. Івінг
- 1892р. –Стикове зварювання безупинним оплавленням. Ч.А. Коффін
- 1892р. –Промислове плавлення карбїду. Дж. Т. Морехед і Т. Вільсон
- 1893р. – Контактне стикове зварювання Ч.А. Коффін
- 1904р. – Генератор з поперечним полем. Е. Розенберг
- 1905р. – Точкове зварювання. Снурек і Гислер
- 1905р. - Багатоелектродне точкове зварювання.
- 1918р. - Технологія рельєфного зварювання.
- 1923р. – Зварювальний генератор. В.П. Нікітін, К.К. Хренов і А.А. Алексєєв
- 1930р. Принципи зварювання індуктованим струмом підвищеної частоти.
- 1934р. Ігнітронні регулятори.
- 1938р. – Стикове зварювання труб. А. и Ю. Вайбели
- 1941р. – Трифазні випрямувачи. Маріо і Давид Сїаки

РОЗДІЛ 7

ЗВАРЮВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЗБРОЇ, ВІДБУДОВІ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ Й ВНЕСОК ЗВАРЮВАННЯ В НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС

В роки Другої світової війни необхідність у прискоренні виробництва озброєння при одночасному скороченні спеціалістів, зайнятих на цьому виробництві, з'явилася

сильним поштовхом для розширення застосування й удосконалювання зварювальних процесів. Основний упор робився на пошук резервів, прихованих можливостей технологій, розроблених до 1940-х років. Війна зажадала від учених, конструкторів, інженерів, робітників вирішувати складніші проблеми в найкоротший термін. Радянським фахівцям довелося працювати в особливо важких умовах, непорівнянних з умовами роботи в інших воюючих країнах.

7.1 Зварювання в виробництві зброї в СРСР в роки в Великій Вітчизняній війні.

Віроломний напад фашистської Німеччини на Радянський Союз, утрата значної частини території України з металургійними і машинобудівними заводами, демонтаж устаткування заводів і перекидання його у східні регіони загальмували наприкінці 1941 р. темпи економічного розвитку країни, відволікла значну кількість зварників від будівничої роботи. З червня по листопад 1941 р. валова продукція промисловості СРСР зменшилася в 2,1 рази [758,759]. Перебазування 1523 великих підприємств і 10 млн. людей, створення на нових, часто необжитих місцях більш 3500 заводів зажадали колосальних витрат зусиль і засобів. Застосування зварювальної техніки допомогло в рекордно короткий термін швидко демонтувати устаткування заводів, розчленовуючи його в необхідних випадках на транспортабельні частини, і забезпечити їхній прискорений монтаж на новому місці. У грудні 1941 р. обсяг виробництва оборонної продукції став збільшуватися [744,745,760,761]. На заводах Сталінграда, Сормовському (м. Горький), [46]. Уралвагонзаводі (Нижній Тагіл) розгорнулося виробництво танків Т-34.[762] "Вузким" місцем у бронекорпусних цехах були ділянки зварювання броньових плит. На цій операції були зайняті сотні кваліфікованих зварників, що робили дугове зварювання вручну спеціальними штучними електродами [747-748,763]. Інших технологій з'єднання (за винятком старого набагато трудомісткого) у світі не було. Спроби застосовувати високоефективне автоматичне зварювання на протязі 1930-х років закінчувалися саморуйнуванням шва, що пояснювалося виникненням загартованих структур метала при нагрівання джерелом з високою концентрацією тепла. Розірвати це замкнуте коло не вдалося жодному спеціалісту.

З початком Великої Вітчизняної війни за пропозицією Є.О.Патон ІЕЗ евакуюють безпосередньо на виробництво - у м. Нижній Тагіл і розміщують на території

Уралвагонзаводу [749,764]. На територію того ж підприємства був перебазований і Харківський завод № 183 ім. Комінтерну. У конструкторському бюро останнього був спроектований кращий середній танк Другої світової війни Т-34, а в цехах - виготовлені перші зразки цієї машини [749,750,763].

В складних для роботи умовах Є.О.Патон розгорнув пошукові і конструкторський роботи, основна мета яких була знайти технологію швидкісного автоматичного зварювання броньових сталей. Одночасно з розробкою технології були спроектовані і виготовлені дві установки для зварювання борта корпусу танка Т-34 з підкрилком. У січні 1942 р. був зварений перший зразок. Технологія й обладнання пройшли успішну апробацію [751]. Продуктивність автоматичного зварювання виявилася в 10 разів вище, ніж ручний. Наприклад, на приварці днища до борта вручну кваліфікований зварник працював близько 20 год. Підліток, після 5-10 днів навчання, зміг зварити автоматом цей шов за 2 год. Сектор погона вежі вручну зварювали за 5 годин, а за допомогою автомата цю операцію робили за 49 хв; зварювання носів тривало замість 7,3 годин тільки 1,4 години. Корисне знімання продукції з одиниці виробничої площі збільшилося в декілька разів. Введення однієї установки звільняло 7 зварювальних трансформаторів. Заводи заощаджували до 42% електроенергії [752]. Конструкторська група ІЕЗ підготувала 20 проектів спеціалізованих установок для автоматичного зварювання різних типів швів на танках і 8 - для зварювання авіабомб і боєприпасів. Зварювальні голівки, виготовлені в майстернях інституту, почали впроваджувати і на інших заводах.[753].

Однак колективу інституту довелося витримати ще не один іспит. Потреба в зварювальних матеріалах підвищувалася, а запаси флюсу АН-1, виплавленого ще до війни в Донбасі і зараз окупованому Німеччиною, закінчувалися. Виникла реальна погроза відмовлення від автоматичного зварювання. Фундаментальним внеском у розвиток металургії зварювання можна назвати результати пошуку нових складів флюсів, у першу чергу з місцевої, доступної сировини. Найкращим виходом з цього положення Є.О. Патон визнав застосування флюсу з доменних шлаків. По розрахункам учених, металурги додали в шлак домни, що працює на деревному вугіллі, марганцеву руду, і до лету 1942 р. країна одержала новий зварювальний матеріал - флюс АШ. Е.О. Патон переробив свою книгу "Швидкісне автоматичне

зварювання під шаром флюсу", що вийшла у світло в 1942 р. третім виданням [753,767]. Ця книга стала коштовним посібником по упровадженню швидкісного автоматичного зварювання під флюсом на багатьох підприємствах країни.

Оборонна промисловість СРСР продовжувала нарощувати випуск бойової техніки. В другій половині 1942 р. промисловість СРСР вже дала більше танків ніж заводи Німеччини, Чехословаччини, Франції та інших окупованих нею країн. 24 тисячі танків і самохідно-артилерійських установок - підсумок роботи танкових підприємств Радянського Союзу у 1943 році.[754,755]. Підвищувалася і якість зброї. Патоновцям довелося розробити технологію зварювання броні товщиною 90 і 120 мм. На фронті з'явилися бойові машини ІС-1, а наприкінці грудня були виготовлені зразки ІС-2 - важкі танки з могутньою бронею і 122-міліметровою гарматою.[769].

Важливим досягненням колективу інституту з'явилося створення, на основі закону саморегулювання дугового процесу, що його відкрив науковий співробітник ІЕЗ В.І. Дятлов, нового класу зварювальних автоматів - з постійною швидкістю подачі електродного дроту. [766-770]. Так само як і ІЕЗ, ЦНДІТмаш забезпечував виробництво бомб і снарядів усім необхідним: технологічною документацією, проектами різноманітних установок і т.д. [772-774]. Тут були розроблені марки флюсів з недефіцитної сировини і зі шлаку доменних печей.[775, 776, 783]. Колектив ЦНДІТмаш розробив зварювальну голівку з постійною швидкістю подачі дроту з фрикційною передачею.[777,778].

У 1942 р. в ЦНДІТмаш була спроектована установка для роботи з рухливої платформи, що здійснила контактне зварювання рейок. Установка, розміщена на першому в СРСР рейкозварювальному потязі, зварила за рік більш 30 тис. стиків. У 1943 р. працювало вже 10 таких потягів [779]. З перших днів війни робота МММІ (з 1943 р. - МВТУ ім. М.Е. Баумана) була спрямована на виробництво артилерійської і стрілецької зброї із широким використанням зварювання в технологічному процесі. З перших днів війни зварники Ленінграда переключилися на випуск військової продукції і зробили все можливе для оборони міста [780,781]. Так, у листопаді 1941 р. на суднобудівному Балтійському заводі за кілька днів виготовили конструкції переправи танків через Неву. Продовжували будівлю есмінців, сторожовиків, тральщиків. Тільки за друге півріччя 1941 р. були добудовані 84 корабля. У період

блокади в Ленінграді і Кронштадті було відремонтовано близько 850 кораблів. Будівництво і ремонт зварники продовжували усю війну. Особливе значення для блокадного Ленінграда мав зв'язок з "Великою землею". У навігацію 1942 р. було побудовано 14 барж вантажопідйомністю до 900 т кожна. Будівництво вели нечуваними до того темпами - корабель зібрали за 6 днів [782-785,789-791].

Навесні 1942 р., коли Ленінград знаходився в блокаді, було зварено підвідного бензопроводу через Ладожське озеро. Труби збирали і зварювали в секції довжиною 50-80 м, а потім стягали і зварювали в нитку. Тільки в одному зі стиків була виявлена незначна нещільність, через яку протягом 1 хв просочувалася одна крапля гасу [786]. У період війни були побудовані й інші трубопроводи (найбільший з них Астрахань-Сталінград).

В роки війни виникла серйозна потреба у підвідному зварюванні й різанні металів для ремонту кораблів, мостів, для аварійних і рятувальних робіт. К.К. Хренов продовжив дослідження і розробку техніки зварювання і різання під водою і в грудні 1942 р. був сформований спеціальний потяг, до складу якого ввійшли електростанція, водолазні станція, зварювальні агрегати, піднімальні і плавальні засоби і т.д. Персонал потяга оперативно звільняв фарватери рік від висаджених мостів, проводив складні роботи по відновленню мостів через Дон, Дніпро, здійснював підйом кораблів. Було створено кілька станцій підвідного судноремонту. У період війни за прикладом Радянського Союзу зварювання і різання під водою почали застосовувати й інші воюючі країни.[625,787].

В роки війни одержала розвиток термітне зварювання металів. Науковими співробітниками ділення-від-розподілу зв'язку ЦНИИ залізничного транспорту (М.І. Вахнін, О.М. Кукін, О.А. Таликов) був розроблений магнієвий терміт, що спростило технологію цього способу і дозволило легко робити зварювання телеграфних і телефонних проводів діаметром 3-6 мм у польових умовах.

У період 1941-1945 р. великий внесок в освоєння випуску військової продукції внесли співробітники лабораторій зварювання багатьох заводів. Так, на Горьківському автомобільному заводі було налагоджене виготовлення зварених артилерійських установок, снарядів для ракетних установок і ін. На Уральському заводі важкого машинобудування ім. С. Орджонікідзе (м. Свердловськ) при участі

О.М. Шашкова і співробітників ІЕЗ була створена високо механізована лінія по виготовленню корпусів танків з використанням автоматичного зварювання. Великомасштабне застосування автоматична зварка знайшла й у Челябінську, куди був евакуйований Ленінградський тракторний завод ім. С.М. Кірова і де випускали танки КВ, Т-34 і самохідні установки [763-788]. Загалом з липня 1941 до серпня 1945 року в Радянському Союзі було виготовлено 102857 танків і САУ. Оцінюючи заочне змагання між ІЕЗ і німецьких зварювальних лабораторій (у першу чергу лабораторією Круппа), Б. Є. Патон відзначає: "У роки війни фашисти неодноразово спробували застосувати механізоване зварювання при виробництві "тигрів", "пантер", і інших своїх "звіриних" танків, але так і не змогли це здійснити. Блискуча перемога наших військ на Курській дузі влітку 1943 р. надала великі можливості для вивчення якості зварювання німецьких машин. Дані показали, що усі шви зварювалися вручну, якість зварювання бути значно нижче, ніж на наших танках. Перший шар мав невеликі розміри і виконувався аустенітними електродами, інша частина шва створювалася за рахунок багат шарового зварювання феритними електродами. Весь перетин цієї частини був уражений порами" [789, с.80].

В роки війни зварювальні процеси продовжували широко застосовувати і при виготовленні авіаційної техніки. Зокрема, із застосуванням газового та атомно-водневого зварювання виготовляли підмоторні рами, був освоєний випуск на потоці зварених алюмінієвих баків.[790-791].

7.2. Зварювання у виробництві зброї в закордонних країнах у роки Другої світової війни

В Німеччині застосування зварювання для виробництва бойових кораблів почалося вже наприкінці 1920-х рр., в 1930-х рр. також з використанням ручного дугового зварювання було налагоджено масове виробництво бронетехніки.[792]. В роки війни в Німеччині не проводили які-небудь фундаментальні дослідження в області зварювання. Технологія й устаткування, створені в період інтенсивної підготовки німецької промисловості до випуску зброї, були цілком задовільними, і надалі їхньому удосконалюванню промисловці не бачили необхідності.

Офіційно Друга світова війна в Європі почалася 1 вересня 1939 р. нападом фашистської Німеччини на Польщу. Коли польська кавалерія виявилася неспроможною перед наступом німецьких танкових армій, стало остаточно ясно, що техніка в цій війні повинна зіграти вирішальну роль. У промисловості західних країн почалася інтенсифікація виробництва військової техніки. Повсюдно виріс попит на зварювання. Роботи прийняли два характерних напрямки: удосконалювання відомих технологій зварювання і пошук нових технологій. Метою першого напрямку було прискорення виробництва і підвищення якості озброєння з броньових сталей, виготовлених дуговим зварюванням під флюсом голим дротом. Другим напрямком була розробка нових чи відомих, але тих, що раніше не знайшли широкого застосування способів зварювання (гелієдугове зварювання й ін.).

1 січня 1942 р. у війну вступили і США. Цього року обсяг зварювального виробництва в країні виріс більш ніж на 300% в порівнянні із 1940 р. Почали використовуватися процеси і вироби, що раніше практично залишалися без використання. Виробництво літаків танків, і інших моторизованих засобів було розгорнуто в великих індустріальних центрах - Детройті і Піттсбурзі. Потужність обробної промисловості значно зросла, збільшилася її енергооснащеність. Із середини 1940 р. до 1944 р. було побудовано на засоби бюджету 2398 великих державних промислових підприємств, споруджені нові верфі [793]. Крім того, також за державний рахунок, були реконструйовано багато старих заводів. Усі вони оснащувалися зварювальним устаткуванням; терміново пройшли навчання інженери і робітники. У західних регіонах США практично заново були створені такі галузі, як літакобудування і суднобудування. У північно-східних районах, особливо в штаті Мічиган, на базі автомобілебудівних підприємств було розгорнуто велике виробництво танків, самохідних знарядь, літаків і військових автотракторних засобів. З 1939 по 1943 р. обсяг виробництва озброєнь з застосуванням зварки виріс у 7 разів [794]. У виконанні програми по випуску суцільнозварних танків брала участь фірма "Пульман стандарт кар". Багатошарове ручне дугове зварювання виконувалося в нижньому положенні. Тільки для виготовлення самої масової деталі - танкових коліс зі стали, застосовували автоматичне зварювання під флюсом на устаткуванні, розробленому ще в 1940 р. [795]. У грудні 1941 р. перший екземпляр

важкого 60-тонного танка був виготовлений на локомотивному заводі в Балдвіне. Корпус танка був зварений вручну. У 1944 р. тут перейшли на дугове автоматичне зварювання під флюсом.

У США, країні значно віддаленій від фронтів, велика увага приділялася будівництву морського транспорту. Була розроблена програма, по якій тоннаж флоту до 1946 р. повинний був збільшитися більш ніж у 2,5 рази. Було обмежено кількість типів суден, що допускалися до будівництва. За 4 роки (1941-1944 р.) було побудовано 1162 бойових судна загальною водотоннажністю 3570 тис. т. Для спрощення виробництва транспортного флоту були обрані три типи судів - суховантажні "Ліберті" і "Вікторі" і танкер Т2. Пізніше до будівництва судів підключилися і верфі Канади. У вересні 1941 р. на верфі "Бетлехемфзафилд" (шт. Балтімора) був спущений на воду перший корабель цієї серії - "Ліберті". У січні 1943 р. їх було вже близько 500. Тільки за 1942 р. завдяки заміні клепаної конструкції і технології клепки на зварену конструкцію і зварювання судів було зекономлено 500 тис. т стали [796-799]. Цикл будівництва скоротився до 50 днів. За період з 1938 по 1946 р. у США і Канаді було зварено 4692 судна, з них 2560 серії "Ліберті" і 1000 танкерів. Зварювання застосовували і в будівництві американських підводних човнів [800-801]. У суднобудуванні США вперше був застосований спосіб "Аркейр" - спосіб різання металів вугільною дугою зі стисненим повітрям, розроблений М. Д. Степатою.[802].

Із серпня 1942 по травень 1943 р. в Атлантичному океані і Північному морі знаходилося 102 німецькі підводні човни, що потопили судна союзників загальною водотоннажністю 4 млн. брутто-реєстрових тонн. До кінця 1942 р. США і Великобританія були вже в стані компенсувати втрати будівництвом нових кораблів. У наступному році завдяки посиленню засобів протичовневої оборони союзників, втрати Німеччини в підводних човнах стали непоправні [803]. Перевазі в боротьбі на морях сприяли повітряна війна і бомбардування верфей і військово-морських баз Німеччини й інтенсифікації будівництва кораблів не тільки в США, але й у Великобританії. У 1943 р. конструкторським бюро "Чатмэн докьярд" був спроектований підводний човен довжиною 37 м і діаметром більш 5м. Корпус

поділявся на 9 секцій, вага кожної з яких відповідав вантажопідйомності цехових кранів. [804].

У 1939 р. І.І. Сікорський у фірмі "Юнайтед ейкрафт енд транспорт" (США) створив експериментальний вертоліт. У 1941 р. за замовленням Армії США він спроектував двохмісцевий вертоліт зв'язку і спостереження, котрий був першим у світі вертольотом. Всі основні несучі елементи конструкції були зроблені звареними [805]. Ручне дугове зварювання електродами з застосовувалося для виготовлення вузлів вертольотів і літаків. Так, фюзеляж винищувача "Веліент", що випускався фірмою "Валти ейр-крафт", збирали з 410 частин: 110 відрізків трубок, 295 косинців, кронштейнів, фітінгів і та інші. Особлива увага приділялася зварюванню алюмінієвих сплавів. У 1939 р. була відпрацьована і впроваджена на ряді авіабудівельних заводів контактне зварювання, засноване на способі конденсаторного зварювання, розробленому фірмою "Сиакс бразерс" у 1933 р. [806,807,822].

У період розвитку військового авіабудування був створений новий спосіб дугового зварювання в захисних газах. У 1940 р. Р. Мередит з фірми "Норрон ейркарт" займався технологіями зварювання вузлів літаків з магнієвих сплавів. У 1944 р. фірма "Локхид ейкрафт" освоїла виробництво винищувача-бомбардувальника-38, що досяг швидкості 400 миль/годину. При його виготовленні у великому обсязі застосували контактне зварювання. При переході на зварювання в літаку "Ейркобра" масою 4 т, де звичайно було потрібно поставити до 100000 заклепок по 112,5 мг кожна, досягається економія по масі приблизно 10% [808,823]. Аналогічні технології почали застосовувати в авіабудуванні й інших країнах. При цьому поліпшуються аеродинаміка, герметичність і корозійна стійкість, а процес виготовлення всієї конструкції скорочується на 60%.

Наприкінці Другої світової війни людство довідалося про абсолютно нову зброю - атомну. Звичайно, у виготовленні атомних бомб теж не обійшлося без зварювання. Наукова стаття, опублікована згодом півроку після трагедій Хіросіми і Нагасакі, нагадувала рекламу: "Виготовлення атомної бомби було прискорено за допомогою зварювання" [809]. Корпуса атомних бомб являли собою зварену обичайку - циліндр, до якого приварювалося днище. У середині розташовувалися

чотири контейнери. Корпус виготовляли зі сталевих аркушів товщиною 6 і 8 мм. Устаткування і технологія були розроблені фірмою "Линкольн електрик" (Клівленд, Огайо). Основні вимоги до зварених з'єднань, - повна герметичність і мінімальні деформації. Автоматичне зварювання під флюсом скоротило термін виготовлення корпусів бомб на 30 днів у порівнянні з тими термінами, що планувалися при інших технологіях [824].

З 12 червня 1944 р. Німеччина почала бомбардування Лондона й інших міст Великобританії літаками-снарядами "Фау-1". Це секретна зброя нацистів являло собою металевий суцільнозварний моноплан (довжина фюзеляжа 7,6 м, довжина крила 5,3 м), здатний нести від 600 до 750 кг вибухівки на відстані до 255 км зі швидкістю до 540 км/годину. Протягом наступних трьох місяців було запущено близько 8000 таких "літаючих бомб", Масове виробництво "Фау-1" стало можливим завдяки застосуванню зварювання. Конструкції фюзеляжу, крил, стабілізатора й ін., що склалися з каркаса й обшивання, виготовлялися з низьковуглецевої сталі за допомогою точкового зварювання, в основному ручними кліщами [825].

7.3. Роль зварювання у відновленні промисловості УРСР

Під час Другої світової війни значна кількість металоконструкцій на території, де проходили воєнні дії, було зруйновано. Зварювання, що стало ведучою технологією у виготовленні зброї почали застосовувати для відновлення промисловості потерпілих від війни країн Європи й Азії. Виникла гостра потреба в ремонтно-будівельних технологіях. Інакше обстояли справи в США, де військове виробництво послужило могутнім стимулом для розвитку економіки. Тут основні зусилля зварників були спрямовані на рішення проблем науково-технічного прогресу в енергетики, ракетобудуванні, авіації й ін.

Ще в 1943 р. керівництво СРСР прийняло постанову "Про негайні заходи по відновленню господарства в районах, звільнених від німецької окупації". На цей час в ІЕЗ уже працювала група, що вивчала можливість застосування автоматичного зварювання для виготовлення будівельних конструкцій. 3-6 лютого 1944 р. у Нижньому Тагілі Є.О. Патон провів спеціальну конференцію представників будівельних організацій багатьох міст. Їм були показані проекти установок для автоматичного зварювання балок, секцій труб і т.д. [826].

В роки Великої вітчизняної війни на Україні, уся територія якої була окупована німецько-фашисткою армією, були перетворення в руїни, зруйновано понад 16 тис. промислові підприємства і 200 тис. будинків виробничого призначення [758,759]. Починалася "холодна війна" і Радянський Союз мав самостійно відроджувати зруйновану промисловість західних регіонів країни, і крім того надавати технічну допомогу східноєвропейським країнам. Відновлення економіки в значній мірі залежало від можливостей зварювального виробництва. Реально в арсеналі техніки були універсальні способи ручного зварювання, способи автоматичного зварювання під флюсом і контактним зварюванням були пристосовані для масового виробництва в цехових умовах. У деяких випадках, особливо для відповідальних конструкцій як і раніше, застосовували клепку.

Ручне дугове і газове зварювання широко застосовували при відновленні мостів, резервуарів, трубопроводів, різного машинного устаткування. Війна відкрила широку дорогу зварювання в будівництво відповідальних споруджень. В 1945 р. у СРСР був зварений резервуар обсягом 10000 м³, у 1944 р. ЦНДПроектстальконструкція заклала процес зварювання у виробництво нової доменної печі, веж і щогл висотою 180-200 м [827]. Зварювання було допущено і для ремонту енергетичного устаткування, у тому числі і котельнях агрегатів теплових електростанцій. Проектно-будівельні організації планували максимально використовувати зварювання при відбудовних роботах. Однаковий характер руйнувань - підрив несучих конструкцій, дозволили розробити єдину технологію відбудовних робіт. Вона полягала в мінімальному демонтажі ушкоджених конструкцій, їхнього ремонту і груповому підйомі на нові опори, що дозволяло використовувати до 80-85% старих конструкцій. На НКМЗ таким способом удалося відновити усього за 10 днів перекриття металоконструкцій площею 2 тис. м², підняти перекриття мартенівського цеху площею 7,5 тис. м². Такі ж прийоми відбудовних робіт застосували на заводі в Миколаєві (маса металоконструкцій мартенівського цеху склала 4,5 тис. т), на заводі "Запоріжсталь" і інших підприємствах України [828].

У травні 1944 р. ІЕЗ повернувся в Київ. Співробітники інституту підсилили технічну допомогу підприємствам України. У тому ж році в майстерень ІЕЗ був

організований випуск зварювальних голівок і апаратури до установок, налагоджене виробництво покритих електродів для ручного зварювання. До кінця року автоматичне зварювання під флюсом було впроваджене на 12 великих підприємствах, у тому числі на Київському заводі "Ленінська кузня" (зварювання барабанів), Дніпропетровському заводі металоконструкцій ім. В.М. Молотова (зварювання балок) і ін. [829,830].

У 1947 р. вступили до ладу три турбіни Дніпрогесу, а в наступному році були відновлені найбільші теплові електростанції республіки: Зуевська, Штерівська і Курахівська. До кінця 1950 р. потужність всіх електростанцій України перевищила довоєнний рівень на 600 тис. кВт. Швидкими темпами відновлювали машинобудівні заводи. У 1948 р. досяг довоєнної потужності НКМЗ, вступили в лад Ворошиловградський завод транспортного машинобудування, Харківський турбогенераторний і тракторний заводи. До кінця 1950 р. продукція машинобудування перевищила довоєнний рівень майже в 1,5 рази.

Однак, незважаючи на технічні переваги автоматичного зварювання і достатнє наукове забезпечення, темпи впровадження були низькими. Більшість виробів ряду галузей промисловості, у тому числі і серійних, були сконструйовані без обліку умов, що вимагаються для застосування автоматичного зварювання. 9 червня в 1947 р. Рада Міністрів СРСР прийняла постанову "Про розширення застосування в промисловості автоматичної електрозварки під шаром флюсу", відповідно до якого мали у найближчі півтора року ввести в експлуатацію 670 зварювальних автоматів на 111 заводах країни; різко збільшити робіт. Було заплановане відкриття нових зварювальних кафедр у вузах, курсів підготовки робітників. ІЕЗ доручався науковий і організаційний супровід усіх зварювальних робіт у країні. Програма по відродженню промислового потенціалу країни, у тому числі і промисловості України, торкалася всіх аспектів діяльності зварників: удосконалювання зварених виробів, створення нових зварювальних матеріалів, апаратів і джерел живлення, розробку техніки зварювання. Величезну надію покладали на дугове зварювання під флюсом. Цю технологію почали інтенсивно розвивати по декількох напрямкам, з яких можна виділити наступні: поліпшення якості сталі для зварених конструкцій; створення високоякісних флюсів і електродного дроту для сталей різних марок міді,

титана, алюмінію й алюмінієвих сплавів; розробка технічних прийомів і технологій, створення універсальної зварювальної апаратури (тракторів і шлангових напівавтоматів); спеціалізованої апаратури для поточного масового виробництва однотипних виробів. Є.О. Патон акцентував увагу на форсуванні робіт із упровадження напівавтоматичного зварювання під флюсом, початої Б.Є. Патоном ще в 1943 р. Для того, щоб розширити область застосування зварювання під флюсом на монтажньо-будівельні роботи, була поставлена задача про створення технології і відповідним устаткуванні для автоматичного зварювання вертикальних і стельових швів [831].

Для обговорення постанови уряду в жовтні 1947 р. у Києві була проведена Всесоюзна конференція по автоматичному зварюванню, на якій виступив Є.О. Патон з доповіддю "Перспективи подальшого розвитку автоматичного зварювання в СРСР" [832].

Значна увага керівництво країни приділяло відновленню шахт. Донбас, Криворіжжя і ряд інших регіонів вимагали тисячі вагонеток. Основним постачальником їх був Торецький машинобудівний завод ім. К.Є. Ворошилова в Дружковці. Під керівництвом Є. О. Патона було розроблено нову конструкцію вагонеток і новий технологічний процес виробництва. В основу організації лінії був покладений принцип сполучення операцій зборки і зварювання вузлів із застосуванням вальцезварювальних верстатів (Р.І. Лашкевич, Б.Є. Патон, А.І. Коренной). Дев'ять зварювальних голівок забезпечили випуск за зміну більш 60 вагонеток. [833]. До 1950 р. усі 220 основні шахти Донбасу були відновлені, введені в дію кілька нових шахт і видобуток вугілля перевищив довоєнний рівень. У 1946-48 р. на Маріупольському заводі ім. Ілліча була впроваджена комплексна установка для автоматичного зварювання тракторами двох внутрішніх подовжніх, внутрішніх кругових, зовнішніх подовжніх і зовнішніх кругових швів залізничних цистерн [834]. Поточковий спосіб складання і зварювання локомотивних котлів був розроблений співробітниками Всесоюзного проектно-технологічного інституту важкого машинобудування і впроваджений у 1950 р. на заводі ім. Г.І. Петровського в Херсоні при виробництві зварених вузлів локомотива [835].

У 1950-і рр. у Радянському Союзі було створено багато нових потокових складально-зварювальних ліній, механізованих і автоматизованих виробництв зварених конструкцій, що були оснащені зварювальними автоматами, джерелами живлення і допоміжним устаткуванням, розробленим в ІЕЗ ім. Є.О. Патона. [836]. Одна з таких ліній у 1957 р. по виробництву алюмінієвих котлів діаметром 3 м і довжиною 15 м вступила в лад на Київському заводі "Більшовик. Значному поширенню автоматичного зварювання в суднобудуванні сприяло створення електромагнітних стендів із флюсовими подушками для зварювання стикових з'єднань полотниць судових секцій [837]. Уперше ці стенди впроваджені в 1947 р. на Київському заводі "Ленінська кузня". На цьому ж заводі була впроваджена комплексно-механізована лінія для виготовлення площинних секцій річкових барж. Завдяки зусиллям ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ВНДІЕЗО, ЦНДІТМаша, ВПТІТяжмаша, багатьох галузевих проектно-технологічних інститутів і технологічних бюро, заводів, на ряді підприємств автоматичне зварювання стало ведучим технологічним процесом.

Перша в СРСР і Європі суцільнозварна доменна піч обсягом 1033 м³ була зведена в 1948 р. у Запорозжжі. До кінця 1950 р. були відновлені і споруджені 23 доменні печі потужністю 8,3 млн. т чавуни в рік, 51 мартенівська піч річною потужністю 4,7 млн. т стали, прокатні стани потужністю 4,4 млн. т прокату. Нові технічні рішення, засновані на впровадженні механізованого монтажного зварювання, зокрема ЕШЗ, розробленого в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, дозволили скоротити тривалість будівництва доменних печей і підвищити їхню якість. Обсяг механізованого зварювання склав 70%.

У зв'язку з завданням Е. О. Патона була поставлена задача максимально використовувати автоматичне зварювання в резервуаробудуванні. Г.В. Раєвським була запропонована нова технологія виготовлення. Відповідно до неї три основних елементи резервуара (днище, стінка і покрівля) збирали і зварювали в полотнища у цеху, які для транспортування у габаритні рулони, а потім на монтажній площадці розгортали. На місці експлуатації залишався зварити один вертикальний стик стінки і приварити днище і дах до стінки [838]. Застосування нової технології виготовлення резервуарів дало можливість учетверо зменшити трудомісткість монтажних робіт, у

п'ять-десять разів прискорити терміни будівництва. Для індустріального виробництва резервуарів у 1948 р. було побудовано цехи на Куйбишевському і Запорізькому заводах металоконструкцій. Монтаж 144 рулонів (річна продукція) забезпечив економію в розмірі 7 млн. руб. [839].

Будівництво об'єктів металургійної промисловості, енергетики вимагало значної кількості труб порівняно невеликого діаметра (100-150 мм). Довжина повітря, водо-, газо-, продуктопроводів досягала іноді сотень метрів, тому трудомісткість їхнього монтажу зі стандартних труб (довжиною не більш 12,5 м) складала значну частку всіх будівельно-монтажних робіт. У ІЕЗ ім. Є.О. Патона була розроблена оригінальна технологія виготовлення труб і власне конструкція труб довжиною до 1-2 км в одному відрізьку. Труби виготовляли при розмотуванні двох рулонів, які зварювали між собою по довгих крайках. і "плоску трубу" звертали в рулон. На місці монтажу рулон розгортали і трубу одержували роздуванням стисненим повітрям чи водою [840,841].

Прикладом удосконалювання технології на заводах транспортного машинобудування може служити робота співробітників ІЕЗ ім. Є.О. Патона на Луганському паровозобудівному заводі, де у 1946 р. було впроваджене автоматичне зварювання димової камери, повітряних резервуарів, сухопарового ковпака, подовжніх швів котла. У 1950 р. вузли паровозів, що не удалося зварити автоматами, почали виготовляти за допомогою шлангового напівавтоматичного зварювання. [842]. Для Крюківського вагонобудівного заводу по проектам ІЕЗ ім. Є.О. Патона були виготовлені установки для зварювання поперечних і хребтових балок рам візків, а з 1952 р. для зварювання коротких швів, розташованих у важкодоступних місцях були впроваджені шлангові напівавтомати [843].

Важливою відбудовною технологією було наплавлення. Успішне освоєння дугового зварювання під флюсом відкрило можливість не тільки механізувати наплавлення, але й одержати високоякісний наплавлений метал заданого складу і досить високої продуктивності. Основною задачею стало підвищення стійкості проти зношування прокатних валків, бурового інструмента, коліс і т.п.. Наприкінці 1940-х рр. у ІЕЗ ім. Є.О. Патона була розроблена технологія наплавлення бандажів вагонних коліс зварювальним дротом під зварювальним флюсом АН-348 (А.Є.

Аснис, Л.М. Гутман) [844]. Більш складною задачею виявилось наплавлення прокатних валків [845]. Поліпшити зносостійкість наплавленого металу удалося завдяки застосуванню керамічних флюсів, що дозволили в широких межах варіювати складами (К.К. Хренов, Д.М. Кушнерев) [846, 847]. Найбільш удалий з усіх технологій наплавлення виявилася, розроблений у ІЕЗ спосіб наплавлення під флюсом порошковим дротом (І.І. Фрумин, І.К. Походня) [848] і наплавлення широкою електродною стрічкою (Фрумин, Ф.О. Хомусько) інструментів гарячої прокатки, штампів холодного штампування й інших сильно зношуються виробів [849]. У 1950-х рр. на Дніпропетровському трубопрокатному заводі ім. Леніна, Дніпропетровському металургійному заводі ім. Г.І. Петровського, заводі ім. Ілліча (м. Жданов) був освоєний спосіб наплавлення прокатних валків під флюсом, а на Краматорському заводі важкого верстатобудування ім. В. Я. Чубаря було створено серійне виробництво вальценаплавочних верстатів. Цим устаткуванням оснастили більш 50 металургійних заводів СРСР і багато заводів закордонних країн. Були вирішені дві задачі - відновлення зношених валків і збільшення їхньої стійкості. Потреба в нових валках скоротилася майже в 20 разів [850].

Технологія і наплавочні матеріали, розроблені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, застосовані для виготовлення шарошек бурових інструментів забезпечили підвищення стійкості в 6-7 разів [851]. Застосування порошкового дроту вирішило проблему одержання наплавленого металу із широким діапазоном легуючих елементів. Надалі над створенням ефективних наплавочних матеріалів активно працювали вчені, викладачі вузів співробітники заводських лабораторій [852]. Однієї з найважливіших робіт у цій області з'явилося застосування самозахисної порошкової стрічки для наплавлення поверхонь засипного апарата доменних печей (конуса і чаші) .

По темпах розвитку, рівню розробок і масштабам, застосування дугового автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом Радянський Союз випередив інші країни. До кінця 1940-х рр. були створені технологія і відповідне устаткування для зварювання в різних просторових положеннях, багатодугового зварювання, зварювання неповоротних стиків, і інших типів з'єднань; універсальні зварювальні апарати, спеціалізовані установки, голівки з автоматичним регулюванням.

7.4. Зварювальні і наплавочні матеріали

Одним з основних напрямків розвитку зварювального виробництва з моменту створення перших способів дугового зварювання з'явилася робота над удосконалюванням зварювальних матеріалів: склад флюсів, електродних покриттів, стрижнів і електродних дротів [853]. При розробці зварювальних матеріалів у перші післявоєнні роки враховувалися такі фактори як зварювання іржавого металу, зварювання сталей з підвищеним змістом сірки, наявність у країні великих покладів високоякісних марганцевих руд. У зв'язку з розширенням виробництва конструкцій з кольорових металів і сплавів необхідно було створити флюси для їхнього зварювання. Особливою задачею з'явилася розробка флюсів для "швидкісного зварювання", на яку переходило виробництво труб, широкополічних балок і інших елементів металоконструкцій.

У 1949-50 р. у МВТУ ім. М.Е. Баумана. О.М. Ольшанський розробив технологію автоматичного зварювання вугільною дугою під флюсами мідних виробів, а також дозволяв робити зварювання бронзи зі сталлю при мінімальному проплавленні сталевих листа. Роботи, проведені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, показали, що завдяки низкою хімічної активності міді і більшості її сплавів для їхнього зварювання можуть бути використані стандартні флюси; для цього був також розроблений спеціальний флюс АН-М13 [854].

У 1947-48 р. колективом співробітників ІЕЗ створений високомарганцевистий флюс марки АН-348, а в 1951 р. розроблені флюси АН-348А для автоматичного зварювання низьковуглеродистий і деяких марок низьколегованих сталей Легування металевих шва марганцем здійснюється за допомогою зварювального дроту [855,856]. Для зварювання високолегованих сталей найбільш удалим виявився розроблений у ІЕЗ Б.І. Медоваром флюс АН-26. Його широко використовують у даний час при механізованому зварюванні високолегованих корозійно-стійких і жароміцних сталей [857].

Першим флюсом безкисневого типу був АНФ-1, створений для зварювання нержавіючих сталей (Б.І. Медовар, С. Гуревич). Створення безкисневих флюсів на основі фторидів і хлоридів лужних елементів дало можливість успішно вирішити задачу автоматизації зварювання ряду нових марок нержавіючих і жароміцних

сталей і сплавів, а також алюмінію і сплавів на його основі [858- 861]. Створення безкисневих флюсів дозволило вперше в зварювальній техніці здійснити автоматичне зварювання титана під флюсом, а також ЕШЗ титана великих товщин. Основою для створення нового способу зварювання титана і його сплавів було ведення у зону дуги галогенідів лужних і лужноземельних металів у виді пасти чи через титановий порошковий дріт [861]. Галогеніди лужних і луго-земельних металів контрагують дугу, змінюють характер проплавлення металу і формування шва. На початку 1950-х рр. був розроблений спосіб зварювання, при якому для захисту зони дуги застосовували тонкий дозований шар флюсу (Д.М. Рабкин) [862]. Цей шар, не закриваючи цілком зону зварювання, забезпечував захист тільки нижньої частини дуги і поверхні зварювальної ванни. Процес, що одержав назву "зварювання по флюсі", знайшов застосування в промисловості при виготовленні конструкцій з алюмінію і його сплавів. Після численних експериментів для швидкісного зварювання сталевих труб найкращими виявилися флюси пемзовидні (АН-60 і ОСЦ-45). [863].

У 1948 р. К.К. Хреновим розроблений перший керамічний флюс К-1 [803]. Наприкінці 1950-х рр. для зварювання сталей почали використовувати флюси зі зниженою чутливістю до іржі і вологи на крайках, що зварюються. Глибокі дослідження керамічних флюсів провів К.В. Багрянський (Ждановський металургійний інститут). У 1950-х рр. він розробив серію флюсів типу ЖС для наплавлення вузлів і деталей металургійного устаткування [864].

Масове централізоване виробництво зварювального флюсу організоване при участі ІЕЗ ім. Є.О. Патона у скловарних печах на заводі "Автоскло" у Константиновці (Донбас), плавлених флюсів в окремих майстернях ряду машинобудівних підприємств, у тому числі в 1949 р. на Харцизьком трубному заводі. З 1950 р. основним постачальником плавлених флюсів у країні став Запорізький скляний завод, що забезпечував флюсами також країни Східної Європи. Паралельно з виробництвом флюсів у полум'яних печах розширилося їхнє виготовлення в електричних печах [865, 866]. Основну роль в організації виробництва флюсів зіграли співробітники ЦНДІТМаш, ІЕЗ ім. Є.О. Патона і заводів.

Незважаючи на створення устаткування і способів дугового зварювання вертикальних швів (під флюсом і в середовищі вуглекислого газу), проблема механізації зварювальних робіт у монтажних умовах продовжувала залишатися актуальною. У ІЕЗ ім. Є.О. Патона були розгорнуті роботи з підвищення якості зварених швів, продуктивності дугового зварювання в несприятливих умовах. У 1958 р. І.К. Походня запропонував використовувати порошковий дріт для механізації зварювання при монтажі сталевих конструкцій і розробив перші склади самозахисних порошкових дротів, що не вимагали додаткового захисту газом чи флюсом [867,868]. Був відкритий новий ефективний напрямок у розвитку механізації зварювального виробництва, у ІЕЗ ім. Є.О. Патона створена база по виготовленню перспективних зварювальних матеріалів (електродів, дротів, флюсів). Ще раніш порошковий дріт у сполученні з флюсами почали застосовувати для наплавлення [868]. Ще один вид наплавочного матеріалу переважно для наплавлення великих поверхонь має вид стрічки. Технологію наплавлення стрічкою з корозійностійкої стали, в хімічному й енергетичному машинобудуванні досліджували в ІЕЗ ім. Є.О. Патона і КПІ [869]. У 1953-55 р. на кафедрі зварювального виробництва Київського політехнічного інституту (Ю.А. Юзвенко під керівництвом К.К. Хренова) були розроблені флюси для наплавлення штампів і металорізального інструмента.

Свій досвід і знання в області автоматичного зварювання радянські зварники передали колегам країн соціалістичного табору. При допомозі радянських фахівців було налагоджене виробництво флюсу і зварювальної апаратури, технологія впроваджена в ряді галузей промисловості Чехословаччини, ГДР, КНР, Польщі, Угорщині, Болгарії, Румунії.

Способам виготовлення зварювальних матеріалів приділялася значна увага в США. У статті Л. Стрингхема (фірма "Лінкольн електрик") докладно розглянуті вимоги, пропоновані до флюсів, показані особливості застосування механічних сумішей компонентів плавлених і керамічних флюсів [870]. У 1959 р. США випустили до 100 тис. т флюсу для автоматичного зварювання (фірми "Лінде", "Лінкольн", "Аркос" і ін.) Крім плавлених флюсів, випускали керамічний, а також магнітний флюс для одержання зносостійкого наплавленого металу з підвищеним вмістом марганцю. У західноєвропейських країнах виробництво флюсу здійснювалося тільки по ліцензіям

американських фірм (за винятком магнітного флюсу, що випускається у Франції по своїм патентам) [870].

7.5. Електрошлакове зварювання і наплавлення. У 1947 р. під керівництвом Є.О. Патона почалися дослідження умов формування валика в різних просторових положеннях. Був випробуваний ряд способів одержання вертикальних швів як із примусовим, так і з вільним формуванням: зварювання з поперечними чи більш складними коливаннями, переривчасте (крапками), зварювання на зниженому струмі (Г.З. Волошкевич, Ю.О. Стеренбоген, С.Л. Мандельберг). На підставі цих досліджень була створена теорія формування валика звареного шва і доведена доцільність поширення способу зварювання під флюсом у вертикальному положенні з примусовим формуванням шва. Практичне здійснення зварювання під флюсом вертикальних швів зажадало рішення цілого ряду проблем (введення електрода в закриті оброблення; зниження чутливості до зміни рівня ванни; контроль і регулювання рівня ванни; стабілізація електричного розряду в глибокій шлаковій ванні) [871]. Згодом спосіб примусового формування був розповсюджений на горизонтальні шви. У 1948 р. на заводі "Запоріжсталь" Г.З. Волошкевичем були зварені автоматом у монтажних умовах чотири пояси доменної печі. У наступному році співробітниками ІЕЗ разом із працівниками тресту "Стальмонтаж" Мінбуду, підприємств важкої індустрії був зварений кожух доменної печі обсягом 1050 м³ [678,872]. Були доведені істотні переваги нового способу зварювання в порівнянні зі старими трудомісткість основних операцій знизилася в 2-3 рази, підвищилося знімання готової продукції з одиниці площі.

Продовжуючи працювати над технологією дугового автоматичного зварювання під флюсом вертикальних швів із примусовим формуванням, Г.З. Волошкевич знайшов, що в деяких випадках (при глибині шлакової ванни більш 40 мм, перегріві ванни) процес плавлення здійснюється за рахунок теплоти омичного опору при проходженні струму через рідкий шлак. У 1949 р. на основі цього процесу в ІЕЗ почали розробляти ЕШЗ. Першими взяли участь в освоєнні й удосконалюванні нового виду зварювання Таганрозький казановий завод "Красный котельщик" (ТКЗ), Барнаульський котельний завод і НКМЗ ім. Й.В. Сталіна. На ТКЗ були зварені судини високого тиску з товщиною стінки 90 мм. У 1951 р. на НКМЗ ЕШЗ

застосували при виготовленні статорів гідротурбін масою до 80 т, а пізніше валів гідротурбін і гідрогенераторів.

Успішне впровадження і подальший розвиток цього нового процесу обумовлене тим, що в ІЕЗ з початку 1950 р. розробку ЕШЗ здійснювали по декількох напрямках, одним із яких було удосконалювання техніки зварювання, а також основне і допоміжне устаткування. Великий економічний ефект дала розроблена в ІЕЗ (Д.А. Дудко, В.Ф. Грабін і ін.) технологія ЕШЗ виробу круглого перетину з використанням мідного водоохолоджуваного кокілю, що доповнює коло до квадрата [873]. До 1954 р. у ІЕЗ була створена техніка замикання кільцевих швів (А.М. Макара, В.Ф. Грабін, І.В. Новіков).

До кінця 1950-х рр. співробітниками ІЕЗ при участі інженерно-технічних працівників ряду заводів була розроблена техніка зварювання всіх типів з'єднання, при цьому для заповнення зазорів використовували дріт, пластини, електроди великого перетину, порошкові і кускові присадки. До числа найбільш важливих технологічних удосконалень варто віднести зварювання з вузьким зазором між крайками, що дозволяє зменшити обсяг металевої ванни, збільшити швидкість її кристалізації і зменшити зону термічного впливу. Було розроблено кілька прийомів початку процесу зварювання. Був розроблений оригінальний спосіб контактнo-шлакового зварювання, при якому деталі, що зварюються, розташовують вертикально (Д.А. Дудко, І.К. Походня) [874], а на крайці (торці) нижньої деталі розводять шлакову ванну (наприклад, за допомогою графітового електрода, що не плавиться). Інший напрямок розвитку ЕШЗ і наплавлення ґрунтувалося на дослідженні металургійних особливостей процесу, створенні високоміцних сталей з гарною зварюваністю і відповідних зварювальних матеріалів. Були розгорнуті роботи з ЕШЗ алюмінію, міді, титана і сплавів на їхній основі. Уся пошукова діяльність координувалася Б.Є. Патоном при його безпосередній творчій участі. У 1952 р. була розроблена технологія ЕШЗ корозійностійких сталей (Б.І. Медовар) [798]. Ці і ряд інших робіт відкрили можливість застосування ЕШЗ виготовляють конструкції потужного металообробного й енергетичного устаткування [875-877].

На початку 1950-х рр. на НКМЗ було організоване виробництво кувально-штампувальних пресів зусиллям 40 МН [878]. У наступному році були спроектовані

і розроблені апарати і технологія ЕШЗ більш потужних пресів. На НКМЗ було виготовлено кілька станин прокатних станів зі звареним перетином до 900*900 мм, станини для Ашинського, Запорізького і Челябінського металургійних заводів, вали гідротурбін для Куйбишевської і Сталінградської ГЕС [879]. На Ижорському заводі ім. А.О. Жданова (С.-Петербург) на основі технології, розробленої в співдружності з фахівцями ІЕЗ і ЦНДІТМаш (Москва), була виготовлена зварювально-кута заготівля ротора турбогенератора потужністю 1000 МВт, на НКМЗ - зварена підштампова плита масою 140 т і робочі циліндри гідропресів. На Уральському заводі важкого машинобудування ім. С.Орджонікідзе (Свердловськ) було освоєно ЕШЗ при виробництві крокуючих екскаваторів, дробарок, пресів. У суднобудуванні освоєння ЕШЗ почалося в 1949 р., відразу ж у процесі іспиту першого зразка апарата для зварювання монтажних стикових швів (трактор ТС-20 з магнітним присосом), створеного в ІЕЗ (В.Є. Патон). До 1955 р. почалося впровадження цього процесу в будівництво судів великої водотоннажності (танкерів, сухогрузов, рефрижераторів і ін.), що дозволило знизити трудомісткість зварювальних робіт при виконанні монтажних стиків у два рази, підвищити рівень механізації зварювальних робіт при будівлі корпусів судів. У 1954 р. для зварювання прямокутних перетинів товщиною до 1000 мм було запропоновані багатоелектродні апарати. Дротові електроди були замінені одним чи декількома пластинчастими електродами (Ю.О. Стеренбоген, О.М.Сафонніков) [880]. Даний спосіб, уперше реалізований на НКМЗ, дозволив спростити апаратуру і технологію. Там же розробили спосіб зварювання мундштуком, що плавиться, що володіє всіма перевагами зварювання дротовим і пластинчастим електродами (Г.З. Волошкевич, Д.А. Дудко, Л.П. Єрегін і ін.) [881]. ЕШЗ почали застосовувати не тільки для виконання прямолінійних швів, але і швів складного профілю, розташованих у важкодоступних місцях, що з'єднують неповоротні стики труб і т.п. Товщина металу, звареного за допомогою мундштука, що плавиться, перевищила 2 м.

Наприкінці 1950-х рр. роботами Г. З. Волошкевича і І.І. Сущука-Слюсаренка була доведена можливість виготовлення способом ЕШЗ виробів, що мають розміри по 4...6 класам точності [882]. У багатьох випадках ЕШЗ стало завершальною операцією по виготовленню виробу будь-якої форми практично необмежених

розмірів і маси з відлитих, кутих і прокатаних заготівель Величезну економію дало також використання ЕШЗ для укрупнення заготівель з наступним куванням. З метою з'єднання великої товщини в ІЕЗ були розроблені наступні способи ЕШЗ: електродними дротами - для швів великої довжини; мундштуком, що плавиться - для швів великої довжини в місцях з обмеженим оперативним простором; пластинчастим електродом - для швів малої довжини. ЕШЗ дозволила не тільки зварювати деталі необмеженої товщини, але і по-новому підійти до створення зварених конструкцій важких машин.

Одночасно з розвитком зварювальної технології електрошлаковий процес розроблявся стосовно до наплавлення. Було запропоновано кілька схем. Крім звичайного, здійснюваного з використанням формуючих повзунів у вертикальному положенні наплавляемого шару, розроблені процеси наплавлення в нижньому положенні, стикошлакового наплавлення, наплавлення циліндричних поверхонь при горизонтальному і вертикальному розташуваннях осі циліндра.

Переваги ЕШЗ із середини 1950-х рр. почали реалізовуватися з метою наплавлення: зносостійких сплавів, відновлення зношених деталей, облицювання робочих поверхонь, одержання біметалічних заготівель. ЕШН відрізняється високою продуктивністю. Завдяки достатній стабільності процесу при низькій щільності струму в електроді можна використовувати в якості електродів прутки, пластини, стрижні і т.п. При цьому глибина проплавлення незначна.

До 1955 р. І.К. Походней (ІЕЗ ім. Є. О. Патона) були виконані перші дослідження взаємодії шлаку і металу при ЕШН [883]. Одночасно розроблялися способи наплавлення виробів з поверхнею складної конфігурації, важкодоступної для дугових технологій і т.п. [884]. Зокрема була розроблена торцеве ЕШН невеликої порції металу на керні для захоплення злитків прутком стали марки 3Х2В8 діаметром 20 мм. У результаті наплавлення удалося в шістьох-вісьмох разів збільшити стійкість кернів і істотно скоротити простої устаткування на металургійних заводах.

Нові можливості одержання наплавлених поверхонь товщиною 20-90 мм відкрив процес ЕШН вертикальних поверхонь (плоских чи циліндричних) за допомогою рухливих водоохолоджуємих повзунів чи нерухомих кристалізаторів. Якщо

використовувати формуючий пристрій з формою поверхні, що повторювала форму поверхні наплавленого шару, то можна уникнути чи істотно скоротити наступну механічну обробку виробу.

Значний внесок в удосконалювання технології ЕШЗ на першому етапі впровадження, крім співробітників ІЕЗ, внесли інженери декількох заводів: І.Г. Гузенко, В.В. Черних, І.Д. Давиденко, М.Г. Козулін, В.Г. Радченко й ін. У 1950-х рр. у СРСР продовжувалися глибокі теоретичні й експериментальні дослідження, спрямовані на розширення номенклатури матеріалів, що зварюються, поліпшення якості металу шва і з'єднання в цілому.[885].

Розробка технологічних питань супроводжувалася дослідженнями фізичної сутності ЕШЗ, взаємозв'язку між параметрами режиму зварювання і їхнім впливом на утворення звареного з'єднання (Г.З. Волошкевич і ін.). Важливе значення мали роботи з стабілізації ЕШЗ, у тому числі по дослідженню фізичних процесів у шлакової ванні (Д.А. Дудко й ін.) і властивостей флюсів [886]. Вивчення температурного полючи і термічного циклу дозволило розрахувати швидкості нагрівання й охолодження ванни і металу в ЗТВ (А. М. Макара, Ю.М. Готальський, С. А. Островська й ін.) [887, 888].

Протягом 1950-х рр. Б.Є. Патонем були розроблені принципи автоматичного регулювання процесу ЕШЗ, що послужили базою для проектування спеціальних джерел живлення апаратів. Теоретичні основи проектування устаткування для електрошлакових процесів викладені в монографії Б.Є. Патона і В.К. Лебедева [889]. Установлено фактори, що впливають на хід процесу, у тому числі на параметри режиму зварювання, фізико-хімічні властивості шлаку, електродного дроту і наявність електромагнітних явищ. Авторами доведена можливість саморегулювання процесу, подібна такий при дуговому зварюванні. Встановлено основні вимоги до зварювальних трансформаторів, визначені принципові схеми джерел харчування і конкретних конструктивних особливостей. Було враховано, що електрошлаковий процес може живитися від трансформатора з відносно невеликим опором короткого замикання. Головна особливість трансформаторів, використовуваних для ЕШЗ, - широкий діапазон регулювання вторинної напруги. Першим спеціалізованою був однофазний трансформатор типу ТШС-1000-1 (В.К.Лебедев, М.М. Сидоренко). У

1956 р. завершилася робота над створенням трифазних трансформаторів типу ТШС-1000-3 і ТШС-3000-3. Згодом була знайдена більш практична схема трансформаторів [890], що допускає роздільне регулювання фазних напруг у необхідних межах без потужної комутаційної апаратури

Для виконання ЕШЗ розробляли й удосконалювали спеціальну зварювальну апаратуру, джерела живлення, технологічне оснащення і пристосування. Першим промисловим апаратом, упровадженим на ТКЗ, був безрейковий апарат А-306 (В.Є. Патон, П.І. Севбо, Р.І. Лашкевич) . У 1952 р. для зварювання на заводі "Запоріжсталь" і моста ім. Є.О. Патона в Києві був розроблений рейковий апарат А-314 (В. Є. Патон, М.Д. Литвинчук, П.І. Севбо). Цими одноелектродними апаратами виконували зварювання металів товщиною до 60мм. Для розширення діапазону що зварюються товщин до 150мм вводили механізм горизонтального зворотно-поступального руху електрода апарат А-310 (Р.І. Лашкевич, П.І. Севбо). Апарати А-340, А-350 із трьохелектродною голівкою дозволяли з'єднувати метал товщиною до 40 мм.[891]. Заміна асинхронних приводів двигунами постійного струму розширила технологічні можливості апарата. Схема і компонування безрейкового апарата збереглися й у сучасних автоматах для ЕШЗ. Найбільш вдалим апаратом рейкового типу вважається апарат А-372р, розроблений у 1953 р. Він відрізняється великою універсальністю: можна зварювати стики товщиною до 450 мм одними-трьома електродними дротами з колюваннями; здійснювати швидке переналагодження на зварювання прямолінійних чи кільцевих швів; робити зварювання пластинчастими електродами.

У 1956 р. В.Є. Патоном і П.І. Севбо були розроблені магнітокрокуючий апарат типу А-501 для зварювання кутових швів таврових і стикових з'єднань і багатоелектродний (18 електродів) апарат А-480 для ЕШЗ металу товщиною більш 450 мм. [679] У 1958 р. у ІЕЗ вперше у світі були отримані конструктивні схеми, виготовлені і випробувані основні типи апаратів для ЕШЗ. В наступні роки апарати модернізували, розширювали сферу застосування ЕШЗ, підвищували надійність процесу[892].

Основні конструктивні рішення, розроблені в СРСР у процесі удосконалювання устаткування для ЕШЗ були використані закордонними фірмами. Протягом 1960-х

рр. у ряді країн випускали апарати різних модифікацій, аналогічні створеної в ІЕЗ ім. Є.О. Патона: SVUZ-ETZ-450 (ЧССР); "Vertomatic S" (фірма "Аркос"); AW-2-V (фірма "Бритиш оксиджен") і ін. [893]

У 1951 р. ІЕЗ подав заявку для оформлення авторського посвідчення СРСР на технологію ЕШЗ. Однак рішення про видачу авторського посвідчення було прийнято відповідними органами тільки в 1956 р. [894]. Наприкінці червня 1956 р. до Чехословаччині (Інститут зварювальних машин і технологій) були передані інструкції з ЕШЗ і креслення апарата А-372р [895]. У Києві побував директор Інституту зварювальних машин і технологій Й. Чабелка, що ознайомився з технологією ЕШЗ.

У наступному році відповідно до рішення радянсько-чехословацької комісії з науково-технічного співробітництва Чехословаччина одержала апарат А-372р, виготовлений у ІЕЗ [896]. У філії Інституту зварювальних машин і технологій (Хотеборж) по документації, також переданої ІЕЗ, був виготовлений одноелектродний апарат для ЕШЗ й освоєна технологія зварювання аркушів товщиною 50 мм [897]. Без ведення авторів чехословацькі колеги продали технологію й апарат Бельгії. У 1958 р. Чехословаччина продала ліцензію на виготовлення установок для ЕШЗ англійській фірмі "Роквелд" [898].

У 1957 р. у Чехословаччині опублікована стаття М.М. Фишкіса про досвід упровадження ЕШЗ на Московському автозаводі ім. І.А. Лихачова, що описувала технологію зварювання різних типів швів і конструкцію магнітокрокуючого апарата [899].

Перша радянська ліцензія на технологію й апарат А-372р для ЕШЗ була продана в 1959 р. шведській фірмі "ЭСАБ". Надалі апаратуру для ЕШЗ експортували у Францію, Румунію, Польщу, Японію, Індію і багато інших країн. У 1956 р. Центральний інститут зварювання в м. Галлі (Німеччина) одержав апарат А-372р, виготовлений у ІЕЗ а також технічну документацію до нього, приступив до освоєння процесу ЕШЗ і його впровадженню на підприємствах ГДР [900]. У німецьких журналах були надруковані статті Г.З. Волошкевича і Б.Є. Патона [901]. У КНР завдяки допомозі фахівців ІЕЗ (Ю.М. Готальський) до кінця 1959 р. ЕШЗ застосовували при виготовленні кувальних штампів, парових котлів, прокатного

устаткування й ін. [902-905]. Тут зварювання виконували апаратами і матеріалами, що поставляються з СРСР.

Наприкінці 1950-х рр. ЕШЗ знайшло застосування для з'єднань рейок, фланців великого діаметра і т.п. (Швеція) [906], деталей енергетичного устаткування і важких машин (ФРН, Італія, Нідерланди й ін.) [907,908]. У Великобританії в одній зі статей під незвичайним для наукових матеріалів заголовком "Шлакове зварювання - це міф чи щось більше?" був даний огляд того, що "устигли за залізною завісою зробити в Радянському Союзі". Тут розповідалося про видатну пріоритетну роботу - принципово новий спосіб автоматичного ЕШЗ вертикальних швів. Крім рекламних матеріалів, у британських журналах був поміщений також опис техніки зварювання прямолінійних і кільцевих швів [871,909-915].

На той час ще не всі закордонні фахівці розібралися в сутності нового процесу. Деякі з них вважали, що ЕШЗ засноване на дуговому нагріванні [916]. У США перше повідомлення про ЕШЗ з'явилося в 1957 р. у статті під заголовком "Червоні одержують нагороди за поліпшення зварювання". У ній інформували читачів, що Ленінською премією нагороджені творці нового процесу, що може бути використаний для з'єднання металів практично необмеженої товщини за один прохід, не має потребу в остаточному проковуванні й у підготовці крайок [917]. У 1959 р. була надрукована коротка публікація про можливості ЕШЗ і деяких її технологічних особливостях [918]. Крім того, повідомлялося, що можна замовити більш докладну інформацію на цю тему [919], і що створений у СРСР спосіб ЕШЗ "ретельно вивчається в Канаді і США" [920]. У тому ж році викладачі Механіко-технічного відділення Манчестерського коледжу науки і технології (Великобританія) М.М. Бараш, В.Б. Хеджибосам, Л. Оксей зробили огляд статей про ЕШЗ, опублікованих у журналах "Автоматическая сварка" і "Сварочное производство" за 1951-1957 р. Ними приведені докладні схеми одно- і багатоелектродного ЕШЗ прямолінійних і кільцевих швів [921].

У 1960 р. Д. Томас, президент фірми "Аркос", написав статті, у яких ознайомив читачів "Велдинг джорнал" із принципами ЕШЗ, схемами відомих у той час процесів, технікою зварювання, металургійними особливостями й економічними показниками [922]. У розділі "Історія" він відзначив, що ідея зварювання

вертикальних швів і їхнього формування за допомогою графітових повзунів, що не розплавляються, належить російському інженеру Бенардосу, а принципово новий процес з такою схемою створений у ІЕЗ ім.Є.О. Патона в Києві і спочатку названий у літературі "процесом вертикального зварювання". У Західну Європу ЕШЗ прийшло з Братиславського інституту (Чехословаччина), співробітники якого передали технічну документацію Бельгії. Бельгійські металурги поліпшили якість металу шва завдяки застосуванню нових складів дротів і флюсу [923].

Підсумки становлення і розвитку ЕШЗ за десять років підвів Б.Є. Патон у програмній доповіді на конгресі МІЗ в 1960 р. (Бельгія). У доповіді докладно розглядалися технологія зварювання, металургійні особливості електрошлакового процесу при з'єднанні всіх типів сталей, у тому числі нержавіючих, проводилися численні приклади використання зварювання у важкому енергетичному машинобудуванні, суднобудуванні й інших галузях СРСР. Б.Є. Патон відзначав: "ЕШЗ знайшло застосування більш ніж на 50 заводах у КНР, ГДР і Чехословаччині, а також до цього часу її застосування розширюється у Швеції і ФРН. Перші кроки по використанню нової технології роблять фірми США, Великобританії і Франції" [924, с.118].

17-21 квітня 1961р. у Нью-Йорку відбулася 42-я щорічна конференція Американського зварювального товариства, на якій з великою доповіддю виступив Б.Є. Патон. Він докладно зупинився на наукових основах ЕШЗ, його енергетичних характеристиках, техніки зварювання, устаткуванні й областях застосування, у тому числі при зварюванні великих виробів з конструкційних сталей, легованих сталей, титана, а також ЕШН [924].

На цій же конференції була представлена доповідь Ф. Дж. Данхиера з Брюсселя від товариства "Аркос сосьете анонім". Він приділив увагу історії ЕШЗ, підкреслив, що "піонерний винахід" було зроблено в СРСР у 1949р. і знайшло перше промислове застосування в 1950р. Данхиер також відзначив, що "спосіб був переданий Чехословаччині. Чехословаччина в 1958 р. продала проект у Бельгію, де він одержав назву "вертоматик". До 1960р. ЕШЗ використовували в декількох східно - європейських країнах, а також у Японії і Китаї. Данхиер докладно описав технологію і техніку виготовлення товстостінних конструкцій сухого доку в Антверпені,

барабанів цементних печей у Бельгії, судин високого тиску у Франції й Англії, казанів парових турбін у Шотландії, потужних гідравлічних пресів у Німеччині і Японії і т.д. [925]. До цього часу в Бельгії був також накопичений досвід ремонту виробів за допомогою ЕШЗ (суднових валів і ін.).

У Японії ЕШЗ було уперше випробуване на будівництві доменної печі Кимицуського металургійного заводу (фірма "Син-нихон сейтецу К^о"). У судно- і котлобудуванні широко використовували радянські зварювальні апарати типу А-820м. Японською фірмою "Ничимен" були придбані зварювальні апарати А-1304 і А-550У с трансформаторами ТШС-3000/3 і ТШС-10000/1. Апарати змонтовані на одному з підприємств фірми "Сумітомом кемікл Ко" і використовувалися для виготовлення алюмінієвої ошиновки електролізних ванн. Співробітники ІЕЗ ім. Є.О. Патона надали їм технічну допомогу в освоєнні процесу ЕШЗ алюмінію (А.Г. Синчук).

У 1956 р. вийшла перша у світі монографія, присвячена ЕШЗ, за редакцією Б.Є. Патона [926]. У 1959 р. було випущене друге, значно доповнене видання [927], переведене потім на англійську мову [928]. Закордонні фірми одержали докладну інформацію про новий процес, що значно полегшило освоєння ними ЕШЗ. В наступні роки була видана нова монографія англійською мовою [929].

У 1958 р. світова громадськість одержала можливість познайомитися з ЕШЗ на Всесвітній виставці в Брюсселі [930]. Тут новий вид зварювання був визнаний гідним вищої нагороди - Гран-при (медалі і дипломи були видані ІЕЗ ім. Є.О. Патона і ТКЗ). В наступні роки ЕШЗ демонстрували на багатьох міжнародних, галузевих і інших виставках.

Періодично в СРСР видавали збірники праць і монографії, у яких підводилися підсумки останніх досягнень у розробці ЕШЗ. Ці узагальнення ставали довідковими посібниками для технологів, конструкторів і керівників підприємств [931, 932].

Наприкінці 1950-х рр. розширили дослідження, спрямовані на поліпшення якості зварених з'єднань, створення спеціальних сталей, не потребуючі застосування термообробки після ЕШЗ (А.М. Макара, І.В. Новиков, А.С. Іскра й ін.) [933,934]. Хімічні і фізико-хімічні особливості корозійно- і жаростійких, а також жароміцних сталей обумовили застосування широких формуючих повзунів і накладок,

фторидних флюсів і т.п. [935, 936]. Завдяки рішенням цих проблем ЕШЗ стало однією з ведучих технологій у хімічному й енергетичному машинобудуванні, у ракетобудуванні. Був розроблений також спосіб ЕШЗ чавунних деталей великого перетину. Для забезпечення заданого хімічного складу легованих чавунів були застосовані відповідні зварювальні матеріали [937].

Способом ЕШЗ електродом, що плавиться, (Д.М. Рабкин, А.Я. Ищенко, А.Г. Синчук і ін.) можна було зварювати вироби з алюмінію і його сплавів практично необмеженої товщини. Як електродний матеріал використовували зварювальні дроти, пластини і мундштуки, що плавляться, а також спеціальний флюс АН-А301 [938]. У ІЕЗ ім. Є.О. Патона був розроблений спосіб ЕШЗ пластинчастим електродом відразу кілька стикових швів кільцевих виробів за один прохід.

Основна проблема, що виникла при зварюванні титана, полягала в необхідності створення флюсу, що виключає забруднення металу шва шкідливими домішками і з щільністю, що не перевищує таку рідкого металу. У ІЕЗ ім. Є.О. Патона були створені такі флюси (С.М. Гуревич і ін.) [939]. Висока якість зварених з'єднань сталася можливим при умови захисту зони зварювання інертним газом. ЕШЗ найбільш ефективний спосіб зварювання деталей з титанових сплавів товщиною більш 30 мм, що знайшла застосування при виготовленні конструкцій спеціального призначення, наприклад, у хімічному машинобудуванні.

У зв'язку з розвитком металургії виникла потреба у виготовленні устаткування з міді товщиною більш 40 мм. При цьому не вдавалося одержати якісне з'єднання дуговими способами зварювання. У ІЕЗ був створений спосіб ЕШЗ міді, особливість якого складалася у використанні великої погонної енергії і легкоплавких флюсів на основі фторидів лужноземельних. ЕШЗ міді пластинчастим електродом застосовували при виготовленні бандажів і кристалізаторів з мідної смуги замість фрезерування заготівель з мідних плит. Тут же був розроблений і спосіб ЕШН міді і її сплавів на сталь без проплавлення основного металу (Г.З. Волошкевич і ін.). Біметалічні з'єднання одержували при різних схемах розташування зварювальної ванни і поверхонь що наплавляють, дозволяло наносити шари міді товщиною 1-5 мм як на плоскі поверхні, так і на внутрішні і зовнішні тіла обертання .

Серед численних досліджень слід особливо зазначити вивчення фізичних процесів у шлаковій ванні шляхом фото- і кінозйомки (Д.А. Дудко, Г.З. Волошкевич, І.І. Сущук-Слюсаренко, І.І. Личко, Й. Кенігсмарк) [940, 941]. Результати експериментів і кінофільм, знятий в інституті, викликали великий інтерес учасників міжнародного симпозиуму, присвяченого 100-річчю з дня народження Є.О. Патона. Були виконані й іншого дослідження, у тому числі розроблені розрахункові схеми глибини проплавлення крайок, оцінена теплова ефективність процесу (Г.З. Волошкевич, В.О. Винокурів, Л.П. Єрегин і ін.) [942], у ртутній ванні змодельовані гідродинамічні процеси (Я.Ю. Компан).

У 1960-х рр. дослідженнями різних аспектів ЕШЗ, крім радянських фахівців, що працювали в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ЦНДІТМаш, МВТУ ім. М.Е. Баумана, ЦНДІ ТС і інших організаціях, заводських лабораторіях і на кафедрах вузів, займалися вчені Чехословаччини, Бельгії, США, ФРН, ГДР, Японії. У результаті були розроблені способи попередження гарячих і холодних тріщин, а також прийоми, що зменшують температуру металевої ванни, способи підвищення швидкості зварювання. Так, було запропоновано вводити в жужільну ванну додатковий присадковий метал (І.І. Івочкин) [943], застосовувати імпульсний режим живлення струмом (І.І. Сущук-Слюсаренко, І.І. Личко) [944], використовувати порошок дріт [945], стрічковий електрод, застосовувати вузький зазор між крайками і т.д. (К.А. Ющенко й ін.) [946].

На початку 1950-х рр. електрошлаковий процес був реалізований у ІЕЗ (Б.Є. Патон, Б.І. Медовар) ще в одній технології - електрошлаковому переplаві (ЕШП) [947]. У свою чергу досвід електрошлакового переplаву на початку 1970-х рр. був використаний при розробці наступних нових зварювальних технологій: з підключенням електродів великого перетину, що витрачаються, за біфілярною схемою, нерухожими електродами з кусковим присадним металом, з рідким стартом. Для ЕШЗ як джерела живлення були рекомендовані потужні трансформатори [947].

7.6. Зварювання в будівництві і ведучих галузях промислового виробництва.

Однієї з найважливіших задач зварювального виробництва кінця 1940-50-х рр. було впровадження прогресивних, ефективних технологій зварювання в будівництво промислових, мостових, гідротехнічних, енергетичних і інших споруд [948].

У прийнятому в 1946 р. "Законі про п'ятилітній план відновлення і розвитку народного господарства СРСР" передбачалося протягом IV п'ятирічки максимально впровадити зварювання у виробництво відповідальних металоконструкцій [949]. урядової постанові про розширення механізації зварювальних робіт у промисловості були встановлені досить високі рівні застосування механізованих способів зварювання.

У багатьох країнах основний обсяг складально-зварювальних робіт виконували на будівельних майданчиках, на місці майбутньої експлуатації споруджень, де застосовували ручне дугове і газове зварювання. Вважалося, що через різні організаційні, технічні і кліматичні умови застосування механізованих способів зварювання на монтажі чи неможливо зв'язано з подоланням великих труднощів. Розуміючи, що майбутнє в будівництві належить автоматичному зварюванню, з ініціативи Є.О. Патона в ІЕЗ було почате вивчення питань індустріалізації будівельного виробництва і механізації зварювальних процесів у заводських і монтажних умовах. Ставилася задача максимально можливого виконання складально-зварювальних робіт у заводських, стаціонарних умовах. Пошук рішення йшов по декількох напрямках: "переконструювання" виробів, укрупнення вузлів, розробка спеціальних стендів і пристосувань, створення нових універсальних зварювальних автоматів і напівавтоматів, створення спеціалізованих складально-зварювальних верстатів, створення технологій автоматичного зварювання з'єднань на вертикальній і похилій площинах і ін.

За короткий час у ІЕЗ ім. Є.О. Патона було вирішено багато проблем. Запропоновані способи будівництва ґрунтувалися на наукових, практичних досягненнях зварювального виробництва і полягали в попередній підготовці великих зварених вузлів на заводах, їхньому транспортуванню на місце монтажу, зборці і механізованому монтажному зварюванню при участі спеціалізованих галузевих науково-дослідних і проектних організацій були розроблені способи великоблочного будівництва судів, резервуарів, трубопроводів, мостів, доменних печей і інших споруджень.

Однієї з проблем було зварювання стикових з'єднань великих листових конструкцій зі збільшеними зазорами між крайками. Як основний спосіб зварювання

було обрано автоматичне зварювання під флюсом на флюсовій подушці. ІЕЗ ім. Є.О. Патона були сконструйовані електромагнітні стенди з флюсовими подушками і розроблена технологія двостороннього автоматичного зварювання на флюсовій подушці стикових з'єднань без скосу крайок зі збільшеними зазорами аркушів товщиною 8-20 мм і скосом товщиною 22-34 мм. Вже в 1944 р. Є.О. Патонам була написана спеціальна монографія по зварюванню в суднобудуванні [215, 892].

З 1947 р. Київський суднобудівний завод "Ленінська кузня" став для ІЕЗ ім. Є.О. Патона базою, на якій розробляли і випробували нові технології річкового суднобудування (О.А. Казимирів, С.А. Островська й ін.). Були відпрацьовані апаратура і технологія автоматичного і напівавтоматичного шлангового зварювання протяжних і переривчастих стикових і кутових швів, полотниць обшивання бортів, перебирань і палуб. Крім того, інститут запропонував змінити конструкцію ряду вузлів корпусу, у багатьох конструкціях річкових судів безупинні чи переривчасті шви були замінені крапковими з'єднаннями, що виконувалися напівавтоматичним зварюванням під флюсом. Корпус і надбудови буксирів, річкових пасажирських судів, а потім і морських рибальських траулерів були розбиті на секції і блоці-секції з урахуванням максимальної механізації складально-зварювальних робіт [774, 775]. На протязі наступних декількох років суднобудування СРСР цілком перейшло на зварювання, клепка була виключена. ІЕЗ ім. Є.О. Патона передав у суднобудівну промисловість зварювальні трактори, шлангові напівавтомати ПШ-5, ПШ-54 і ТС-12, ТС-13, а потім і більш удосконалені ТС-17, ТС-17М, ТС-32.

Над проблемами зварного суднобудування в СРСР, крім ІЕЗ ім. Є.О. Патона працювали фахівці технології суднобудування (ЦНДІ ТС), кафедра зварювання Ленінградського кораблебудівного інституту, проектні організації. Трест "Оргсудпром" (з 1947 р. - ЦНИИ ТС) створив автомат типу МАГ-1, серійний випуск якого був організований на заводах Міністерства суднобудівної промисловості [950]. Конструкторськими відділами ряду підприємств за участю фахівців ІЕЗ ім. Є.О. Патона і заводських технологів були перероблені конструкції корпусів буксира, бензоналивної баржі, вантажного теплохода, котла (циліндричної частини, топки, димової камери й ін.) для того, щоб замінити короткі двосторонні з'єднання за допомогою косинців й інших нераціональних вузлів на з'єднання, придатні для

виконання однібічних стикових швів. Якщо на заводі "Красне Сормово" на 1.01.1948 р. охоплення автозваркою складало 9,3% від загального обсягу зварювальних робіт і 27,8% від обсягу зварювальних робіт на площинних секціях річкових судів, то на 1.01.49 р. охоплення досягло відповідно 21,0 і 55% [951]. За 1948 р. кількість тракторів, застосовуваних у суднобудуванні збільшилося в 3,6 рази, довжина швів, виконаних автозваркою збільшилася в 8,5 разів [952]. Значна частина робіт була перенесена зі стапеля в цехи. Морське суднобудування зажадало спеціальних досліджень, викликаних тим, що в 1945 р. у СРСР було запропоновано застосовувати для корпусів судів стали підвищеної міцності, у першу чергу середнемарганцевисту сталь 20Г с змістом вуглецю до 0,26-0,27% і границею текучості до 350 МПа, комплексно-леговані сталі 15ХСНД, 10ХСНД, 10ХСН2Д і 48-КС. Труднощі для вибору оптимальної технології складально-зварювальних робіт обумовлювалися складністю корабельних конструкцій (просторова кривизна, кутові, пересічні шви, товщина елементів від 2 до 50 мм і т.п.).

У 1947 р. при ЦНДІ ТС була створена Технічна рада по зварюванню, що її очолив Ю.О. Шиманський. Була поставлена задача максимально механізувати складально-зварювальні роботи при будівлі судів, розробити технології зварювання і зварювальні матеріали, що забезпечують необхідну міцність конструкцій. У дослідженнях і впровадженні приймали так само участь учені, що працювали у вузах Ленінграда, галузевих НДІ і заводських лабораторіях (М.О. Окерблом, В.І. Дятлів, Ф.Ф. Бенуа, Г.Л. Петров і ін.).

До кінця 1949 р. рівень механізації зварювальних робіт на будівництві морських судів на заводах Ленінграда, Выборга, Семеро Двінська й інших міст був доведений до 35%. Упровадження шлангового напівавтоматичного зварювання під флюсом до 1953 р. дозволило підвищити цей рівень до 55%. Обсяг зварених швів, виконуваних при будівництві корпусу судна автоматами і напівавтоматами удалося довести до 70% завдяки застосуванню кругових складально-зварювальних кантователів, лекальних поворотних постелів і іншого оснащення, призначеного для виконання швів у нижнім положенні. Крім універсальних тракторів (ТС-17 і ін.) і установок для зварювання під флюсом вертикальних швів конструкції ІЕЗ ім. Є.О. Патона [499], у ЦНДІ ТС були спроектовані спеціалізовані автомати АСУ-138 і на їхньої базі ДАСУ-

138 для одночасного зварювання двосторонніх кутових швів таврових з'єднань. У 1958-59 р. у ЦНДІ ТС була створена технологія ручного й автоматичного зварювання двошарових сталей (основний матеріал - корпусні сталі, плаковані корозійностійкою сталлю Х18Н9Т). Почали застосовувати в суднобудуванні конструкції з алюмінієвих сплавів (переважно для надбудови) і для виготовлення була застосована напівавтоматичне й автоматичне зварювання в інертних газах.

До кінця 1950-х рр. у судновому машинобудуванні значну частину виробів виконували в лито-кованому звареному виконанні з застосуванням дугового зварювання і ЕШЗ. Упровадження на суднобудівних заводах СРСР дугового зварювання під флюсом, ЕШЗ, дугового зварювання в захисних газах і контактного зварювання (ланки ланцюгів, трубопроводи, ділові речі і т.п.) дозволило забезпечити флот вантажними, рибальськими, нафтоналивними, пасажирськими судами; Військово-морський флот - підвідними човнами, крейсерами, есмінцями й ін. До числа суцільнозварних судів можна віднести і перший у світі атомохід цивільного призначення криголам "В.І. Ленін" (водотоннажність 16000 т, довжина 134 м, ширина 27,6), спущений на воду 5 грудня 1957 р. [318].

На початку 1950-х рр. у СРСР і США приступили до створення атомних підводних човнів. Першим у цій серії був підводний атомохід "Московський комсомолец". Специфіка застосування зварювання в суднобудуванні зажадала підготовки інженерів-зварників спеціально для проектування і будівництва кораблів. До середини 1950-х рр. були підготовлені кілька груп таких фахівців у Київському політехнічному інституті, відкрита кафедра зварювання в Ніколаєвському кораблебудівному інституті.

Наприкінці 1940-х рр. дуга з флюсовим захистом була використана для приварки болтів, шпильок, бонок і інших деталей компактного перетину і для заварки отворів у металі демонтованих клепаних конструкцій. Пізніше цим способом були виконані перші крапкові електрозаклепочні шви. Таким чином, у післявоєнні роки автоматичне зварювання під флюсом допомогла Радянському Союзу набрати темпи виробництва судів до такого рівня, щоб власними силами задовольнити потреба в транспортному, рибпромисловому і військово-морському флоті.

У США для виготовлення першого атомного підводного човна "Наутилус" фірма "Дженерал Дайнамикс" вже в 1954 р. використовувала різну технологію з'єднань, головним чином дугове зварювання під флюсом і киснево-ацетиленовим зварюванням. Однак при будівництві першого вантажного атомохода "Савана" водотоннажністю 22000 т, виготовленого корпорацією "Н. Й. Шип Билдинг" (Кадмен) тисячі зварених швів були виконані ручним дуговим зварюванням покритим електродом з низьким змістом водню.

Рекордом звареного суднобудування 1950-х рр. були супертанкери водотоннажністю 100000 т, батискаф Пикара й авіаносці типу "Форресстол", при будівництві якого було витрачено близько 700 т. зварювальних матеріалів. У суднобудуванні Японії до кінця 1950-х рр. для зварювання під флюсом були створені легкі переносні автомати масою 20 кг. Однобічне зварювання стикових з'єднань виконували на флюсо-мідних підкладках.

Автоматичне зварювання на монтажі вперше у світовій практиці мостобудування були застосовані при спорудженні дослідного залізничного моста через р. Болтва (Московсько-Київська залізниця). Дві пролітних будівлі виготовляли співробітники ІЕЗ ім. Є.О. Патона і Дніпропетровського заводу ім. В.М. Молотова під технічним керівництвом Є.О. Патона і співробітників НДІ Мостів [952, 953]. Кожен монтажний стик зварювали в наступному порядку: спочатку зварювальним трактором ТС-17М виконували стиковий шов нижнього пояса: потім, після припасування вставки, апаратом А-384 із примусовим формуванням заварювали вертикальні стики; в останню чергу зварювальним трактором зварювали стикові шви горизонтальної вставки верхнього пояса. У вересні 1952 р. були успішно довершені роботи зі спорудження досвідченого суцільнозварного автодорожнього моста через північну протоці Німану. Монтажні елементи моста також виготовлені Дніпропетровським заводом ім. В.М. Молотова. Зварювання на монтажі здійснювала бригада ІЕЗ ім. Є.О. Патона [954].

Не очікуючи повного закінчення будівлі досвідчених мостів, вирішено було приступити до виготовлення і монтажу пролітних будівель найбільшого суцільнозварного моста через Дніпро в Києві, у також ряду інших мостів. Ведуча роль у проектуванні, виготовленні і монтажі пролітних будівель належала ІЕЗ ім. Є.

О. Патона й особисто Є.О. Патону. Проект моста розроблений інститутом "Укрпроектстальконструкция". Міст довжиною 1543 м має 24 прольоти, з них чотири судноплавних по 87 м. Ферми запроектовані суцільностінчатими двотаврового перетину з висотою стінки 3,6 м. По ширині моста, рівної разом із тротуарами 27 м, кожна будівля має чотири нитки ферм, з'єднані між собою вертикальними зв'язками [955, 956]. Для виготовлення головних балок на Дніпропетровському заводі ім. В.М. Молотова був створений спеціальний цех, обладнаний двома могутніми кранами, кондукторами і кантувателями для зборки і зварювання. Основний обсяг робіт зі зварювання головних балок був виконаний розробленими в ІЕЗ ім. Є.О. Патона автоматами і напівавтоматами. Технологічний процес зборки і зварювання головних балок здійснювали поточковим способом. 97% усіх швів було зварено автоматами і напівавтоматами.

Монтаж пролітних будівель вели на постійних і тимчасових опорах у руслі ріки. Але і при такому способі будівництва удалося організувати поточковість складальних і зварювальних робіт. Обсяг автоматичного зварювання на монтажі був доведений до 88%, усього виконано 10000 м швів. Були вирішені основні задачі зварного мостобудування: доведена можливість виготовлення якісних зварних мостів при значній економії металу і зниженні трудомісткості виготовлення пролітних будівель [957].

На залізничних дорогах стали широко застосовувати суцільнозварні пролітні будівлі. Завдяки зусиллям спеціалізованих інститутів: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ВНДІЕЗО, ЦНДІТМаш, ВПІТІТяжмаш, багатьох галузевих проектно-технологічних інститутів і технологічних бюро заводів на ряді підприємств автоматичне зварювання стало ведучим технологічним процесом. Наприклад, вже в 1952 р. при виготовленні казанів залізничних цистерн автоматичним зварюванням виконували до 70% всього обсягу зварювальних робіт, а при виготовленні пролітних будівель мостів - до 90%. У результаті досліджень і конструкторських пророблень ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Маріупольського заводу важкого машинобудування створена принципово нова конструкція цистерн, що відрізняються високою технологічністю і високими експлуатаційними показниками. На Крюковському вагонобудівному заводі були виготовлені спеціалізовані установки для зварювання прямолінійних і криволінійних

швів, поперечних і хребтових балок рам гондоли і шкворневої балки поясного візка. Крім голівок ВУСА-2 і АБС, для механізації зварювальних робіт широко застосовували напівавтомати ПШ-5 і ПДШ-500 [958,959]. На Уралвагонзаводі комплексно-механізовані конвеєрні лінії створені для виготовлення усіх вузлів вагонів: хребтових і поперечних балок, рам, кришок люків, причіпків, а також для загальної зборки вагона [958-961].

Потоковий спосіб складання і зварювання локомотивних котлів був розроблений співробітниками Всесоюзного проектно-технологічного інституту важкого машинобудування і впроваджений у 1950 р. на заводі ім. Г.І. Петровського в Херсоні при виробництві зварених вузлів локомотива.

У 1957 р. вступила в лад діючих потокова лінія по виробництву алюмінієвих котлів товщиною металу 16 мм, діаметром 3000 мм, довжиною 15000 мм на Київському заводі "Більшовик", створена працівниками заводу разом зі співробітниками ІЕЗ ім. Є.О. Патона і ЦНДІТМмаш, для чого були розроблені установки для автоматичного зварювання під флюсом прямолінійних і кругових швів судин, для приварки штуцерів до судин, для зварювання камер, а також балкових конструкцій каркасів котлів [830, 960, 961]. У цей період було освоєне виробництво з листового прокату зварених казанових барабанів високого тиску з товщиною стінки 70-100 мм замість кування. Для парових і газових турбін у звареному виконанні виготовляють ротори, діафрагми, лопатковий апарат, корпуси циліндрів і арматури. Для гідравлічних турбін звареними балками виготовляють робоче колесо, турбінну камеру, статор, вал турбіни. Зварювання двома дугами в загальну ванну були застосовані при виробництві (для наступного виготовлення судин високого тиску) діаметром до 4 м і товщиною стінки до 100 мм.

Можливість однопрохідного зварювання металу великої товщини, здійснюваною вертикальним зварюванням, різко підняла продуктивність зварювання при виготовленні товстостінної нафтоапаратури і котлів високого тиску при винятково високій якості зварених з'єднань. Для конструкцій, що працюють при великих навантаженнях у ІЕЗ ім. Є.О. Патона була розроблена технологія зварювання металу товщиною 50-60 мм за два проходи, по одному з кожної сторони стику. Перший шов виконують на флюсовій подушці. Для зварювання металу товщиною до 25-30 мм

застосовували зварювальний трактор ТС-17М, для більш товстого металу ТС-26, причому для зварювання сталі товщиною більш 34-36 мм зварювальний трактор живиться від двох трансформаторів ТСД-1000, включених паралельно. У 1955-56 р. зварювання металу товщиною більш 20 мм без скосу крайок було застосовано для виготовлення високонапірних трубопроводів зі сталі М16С товщиною 20-42 мм. Загальна маса одного з трубопроводів склала 1200 т. Зварювання без скосу крайок було також застосоване при виготовленні підкранових балок вантажопідйомністю 500 т, прольотом 14 м, запроектованих зі сталі марки Ст.3 товщиною 16-36 мм. У 1956-57 р. були заварені без скосу крайок ригелі й опорні плити шлюзових воріт шириною 24 м (сталь товщиною 30 мм) для Красноярської ГЕС.

Високо механізованим і автоматизованою з'явилося виробництво великих резервуарів, що виготовляються способом рулонування [962,963]. Вперше індустріальний спосіб виготовлення зварених конструкцій рулонуванням, розроблений у ІЕЗ ім. Є.О. Патона (Г. В. Раєвський), був застосований при спорудженні нафторезервуарів обсягом до 5000 м³. На заводах зварюють і звертають у рулони полотнища, що утворюють днище і стінки майбутнього резервуара. Рулони доставляють на будівельний майданчик, де розвертають і зварюють між собою.

У 1950 р. на Куйбишевському заводі металокопункцій споруджена перша промислова установка для виготовлення стінок резервуарів рулонним способом. У 1953 р. на Запорізькому заводі металокопункцій побудована двох'ярусна установка для виготовлення. На цілком механізованій установці для виготовлення великогабаритних резервуарів виконують весь комплекс технологічних операцій: розкладка аркушів, механізована зборка й автоматичне зварювання їхній між собою з одного боку, переміщення зварених аркушів з верхнього на нижній ярус, автоматичне зварювання аркушів із другої сторони і згортання полотнища резервуара в рулон. Покрівлю також виготовляють на заводі у виді окремих монтажних елементів, що збираються на місці установки резервуара. Індустріальний спосіб рулонування дозволив 90% усіх швів виконувати механізованими способами зварювання, знизити трудомісткість робіт з виготовлення резервуарів на 30%, у тому числі скоротити роботи з монтажу в 3-4 рази.

Резервуари з рулонних заготовель були побудовані в Україні, Поволжі, Татарії, Башкирії, Сибіру, на Північному Кавказу, Афганістану, В'єтнаму, Албанії й інших країнах. До початку 1960 р. тільки в СРСР було змонтовано більш 12 млн. м³ стаціонарних ємкостей, але і за рубежом. резервуарів обсягом 10, 20, 30 і 50 тис. м³.

У США, Англії й інших країн сталеві резервуари для збереження нафтопродуктів споруджували з окремих аркушів і зварювали з окремих аркушів на місці монтажу. Монтаж робили з досить точно оброблених на заводах аркушів довжиною до 8-10м, шириною 2,0-2,4м.

Аркуші днищ резервуарів з'єднували між собою внахлестку. Усі шви, незважаючи на невелику товщину металу, заварювали в два шари і після закінчення зварювання на щільність не випробували, аркуші корпуса з'єднували по коротких і довгих крайках встик і зварювали з обох сторін. У більшості випадків при спорудженні резервуарів застосовували ручне дугове зварювання. З 1954 р. деякі американські фірми почали застосовувати автоматичне зварювання під флюсом для зварювання горизонтальних і вертикальних швів корпусів резервуарів. Зварювання вели з примусовим формуванням мідними повзунами, розташованими по обох сторони аркушів, що зварюються.

Для збереження нафти і нафтопродуктів у США, Англії й інших країн широко застосовували краплеподібні і сферичні резервуари. При монтажі цих резервуарів звичайно використовували ручне дугове зварювання, при товщині стінок, що перевищує 22мм застосовували автоматичне зварювання під флюсом.

У 1950 р. почалося будівництво найбільших у світі Ново-Уфимського і Зеландско-Куйбишевського (Росія) нафтопереробних заводів з великою кількістю сферичних газгольдерів ємністю 600 м³. Резервуари ці склалися з пелюстків (з товщиною стінки 20-25 мм). Після декількох аварій газгольдерів, зварених вручну, на будівництві було впроваджене автоматичне зварювання під флюсом.[964].

Зразком підходу до рішення нових задач був переклад на автоматичне зварювання виготовлення шахтних вагонеток. Тисячі вагонеток було потрібно для відновлюваних шахт Донбасу, рудників Криворіжжя, металургійних заводів. Однак конструкція цього невеликого транспортного засобу була складної, загальна

довжина швів була кілька десятків метрів, але вони були короткі, знаходилися в різних просторових положеннях і тому виконували вручну.

Є.О.Патон вирішив організувати потокове виробництво із широким застосуванням автоматичного зварювання під флюсом. Для цього була змінена конструкцій вагонетки, сполучення операцій, зборки і зварювання. Наступним кроком був проект універсальної потокової лінії для виробництва вагонеток різних типорозмірів. Пізніше на цьому ж Торецькому заводі на автоматичне і напівавтоматичне шлангове зварювання було переведено і виготовлення шахтних стійок [833,965].

Індустріальні способи виготовлення і монтажу металоконструкцій широко застосовували в будівництві доменних печей. На заводі виготовляли зварені заготівлі кожуха доменної печі максимально припустимих габаритів і доставляли їх на місце монтажу. Монтажене автоматичне зварювання під флюсом кожуха доменної печі вперше у світі були виконані Інститутом електрозварювання в 1949р. на площадці Запоріжбуду [871].

Автоматичне зварювання під флюсом у 1950-і роки широко застосовували при будівництві товстостінних кожухів цементних обертових печей діаметром 3,6 , довжиною 160 м і товщиною стінки до 35 мм. Загальний обсяг виробництва зварених конструкцій у Радянському Союзі в 1958 р. складав 5,9 млн. т. Застосування автоматичного зварювання під флюсом дало можливість у 3,5 рази підвищити продуктивність праці.

В роки Великої Вітчизняної війни в автомобілебудуванні було впроваджене автоматичне зварювання під флюсом. Надалі конструкторами ГАЗ були створені спеціальні установки для зварювання електрозаклепками під флюсом. Цей спосіб зварювання застосували при виготовленні ґратчастих і панельних конструкцій: бортів автосамоскидів, платформ причепів і інших подібних конструкцій [966, 967]. Автоматичне зварювання під флюсом до 1960 р. стала самим розповсюдженим способом дугового зварювання в автомобілебудуванні. Участь у створенні спеціалізованого виробництва картерів ведучих мостів вантажних автомобілів ЗИЛ-130 і ЗИЛ-131 на Сердобському машинобудівному заводі прийняв ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Були розроблені і впроваджені спеціальні автомати для зварювання під флюсом подовжніх і кругових швів картера, технологія зварювання і способи іспиту

якості зварених з'єднань, освоєне виробництво штампо-зварних картерів, замість литих.

Автоматичне зварювання під флюсом, почали впроваджувати в тракторобудуванні в 1942 р. Багато підприємств тракторобудування, евакуйовані в глиб країни, крім своєї колишньої продукції випускали танки, САУ чи їх комплектуючі. В ці роки ІЕЗ ім. Є.О Патона зосередив свою основну діяльність на рішення проблем виготовлення танків, і широке впровадження автоматичного зварювання охопило і танкобудівну промисловість.

На Челябінському тракторному заводі приступили до випуску нових могутніх тракторів С-80 і С-100, при цьому обсяг зварювальних робіт зріс у десятки разів у порівнянні з обсягом робіт, що виконувалися при виготовленні тракторів в 60 разів [910], у тому числі по дуговому зварюванню більш ніж у 30 разів. Зборку і зварювання лонжеронів виконували за допомогою чотирьох зварювальних тракторів ТС-17МУ на постійному струмі (550-580 А) зі швидкістю 43,5 м/год. На заводі почали застосовувати напівавтомати ПШ-5.

Однак зварені конструкції сільськогосподарських машин мають малу довжину швів і, як правило криволінійні зварені шви. З 1948 р. на деяких заводах галузі (Ростсельмаш, Ростовському культиваторному заводі, Таганрозькому і Запорізькому комбайнових і ін.) замість ручного дугового і газового зварювання почали широко застосовувати спосіб зварювання електрозаклепками під флюсом. Це дозволило підвищити якість зварених з'єднань і різко здешевіти собівартість виробництва.

Розроблена в ІЕЗ ім. Є.О.Патона шлангове напівавтоматичне зварювання під флюсом стала основою для механізації складально-зварювальних робіт на Челябінському тракторному заводі при випуску нових потужних тракторів С-80 і С-100. Нові трактори мали сумарну довжину швів більш 200 м, масу наплавленого металу 40 кг, а число точок контактного зварювання більш 3 тисяч. На зварюванні лонжеронів застосували ТС-17МУ, напівавтомати ПШ-5.

У 1940-х рр. в ІЕЗ ім. Є.О. Патона були розроблені прийоми виконання оригінальних з'єднань і виготовлення специфічних виробів. Зокрема, це слід зазначити приварку трубок до трубних дошок топок паровозного котла, приварку нарізаних шпильок, зварювання ланок якірних ланцюгів (прототип ванно-шлакового

зварювання). Наприкінці 1940-х рр. дуга з флюсовим захистом була використана для приварки болтів, шпильок, бонок і інших деталей компактного перетину і для заварки отворів у металі демонтованих клепаних конструкцій. Пізніше цим способом були виконані перші крапкові (електрозаклепочні) шви.

Одним з лідерів у розвитку автоматичного зварювання під флюсом у США в перші післявоєнні роки продовжувала залишатися фірма "Лінде ейр продакт". У цей період фірмою були створені зварювальні голівки і трактори різного призначення й успішно виконували замовлення на виготовлення складних і відповідальних конструкцій (бойлерів, і ін.) із прямолінійними, кільцевими і криволінійними швами. Автоматичне зварювання ефективно застосовували при виробництві сталевих конструкцій і інших фірм США. Зварювання під флюсом була застосована фірмою "Консолидейтед стил" (США) при виготовленні рефрижераторних вагонів з нержавіючої сталі.

Нові заводи в США комплектували зварювальним устаткуванням, у тому числі автоматами і напівавтоматами для зварювання під флюсом. Так, на заводі фірми "Нешнл сеплай" у Торрансе (США), зварювальні голівки застосовували для зварювання бандажів змішувачів діаметром 1350 мм; втулка діаметром 6 мм приварювали до 35 мм плити за один прохід і т.д. Джерелом живлення служив генератор 1200 А.

Так само як і в СРСР, США, Європейських країнах і Японії проектувати металеві конструкції почали з урахуванням технологічних особливостей зварювання. У 1950-х рр. виникли перші колоси, виготовлені за допомогою дугового зварювання: будинку, вежі, дзвіниці, мости, кораблі й ін. Символом Всесвітньої Брюссельської виставки 1954 року став Атомиум (проект М. А. Ватеркейна) – об'ємноцентрованих кубічних кристалічних ґрат заліза, збільшеного в 150 млрд. раз, тобто , що має висоту 103 м, загальною масою 118 т. У зв'язку з цим Атомиум можна вважати гімном звареним конструкціям, так само як і вежа Ейфеля вважається гімном заклепувальним конструкціям на Паризькій Всесвітній виставці в 1889 р. 9 сталевих сфер діаметром 18 м спираються на основний каркас з арок, зроблених з листових зварених коробів і з аркушів. Цієї ж арки служили опорами сполучним трубам діаметром 3 м, що, у свою чергу, склалися з посилених подовжньо і поперечно за

допомогою зварених поперечок поворотних пристроїв; вторинний зовнішній каркас служив для фіксації алюмінієвого покриття.

Зварені колоси від стадіонних приміщень до тунелів і гігантських телескопів зводили в США ще до 1954 р., і серед них лідирували хмарочоси на зразок двадцятиповерхового "Бек Билдинг", побудованого на сталевому каркасі зі здебільшого звареними з'єднаннями і з зовнішніми захисними стінками, зробленими з алюмінієвих панелей. У 1956 р. рекорд висоти для існуючих у світі зварених будинків перейшов до тридцятиповерхового хмарочоса (1380 т стали) "Континентал Нешнл Бенк" у Форт Уорте (Техас). Найбільшою купольною конструкцією стали купол Аудиториума в Мехіко Сіті - будинку, що вміщає 18500 глядачів, купол висотою в 10 поверхів, що спорудила компанія "Юніон Тек Кар" (Чикаго) у 1958 р. у Бартон Руж (Луїзіана) з 320 сталевих панелей, що перекривали площу діаметром 114 м без зовнішніх опор "Колизеум" діаметром 110 м (суцільнозварна купольна конструкція, що спорудила фірма "Саусберн інжиниринг" у 1954 м. у Шарлотте (Північна Кароліна).

З 1942 по 1956 р. Департаментом цивільного будівництва тільки в Нью-Йорку було побудовано не менш 800 металевих мостів, майже всі звареної конструкції. У 1954 р. був побудований віадук "Бейшор Фриуей" (Сан Франциско), для якого треба буде 26000 т сталі і близько 750000 м зварених швів. У 1950-х рр. у США, а потім у Європі почали зварювати товстостінні контейнери для атомної промисловості.

У США фірмою "Лінкольн електрик" зварювання під флюсом була застосована при виготовленні корпусів атомних бомб. Була зварена серія з 12 контейнерів діаметром 225см і висотою 45см, і розташовуваних у них по 4 маленьких контейнери діаметром 48 см. Зварювали обичайки подовжні і кільцеві шви і днище на підкладці, що залишається, товщиною 6 мм трактором типу "Лінкольн велд".

Компанією "Америкен Кар енд фаупдри" у 1947 р. була побудована лінія по виготовленню суцільнозварних рефрижераторних вагонів. Усього для з'єднання балок рами, настилу підлоги, стінок, крайки й інших елементів вагона виконували близько 500 м швів з них 200 м зварюванням під флюсом. Була розроблена технологія зварювання високоміцної низьковуглецевий сталі. Зварювання

подовжніх швів виконували зварювальними голівками, що переміщуються по балках.

Завдяки дуговому зварюванню, з'явилися також численні нововведення, що відносяться до області електромеханіки, спрямовані на удосконалювання найбільш типових конструкцій (каркаси могутніх суднових двигунів, танків, картери редукторів, генераторів, пристрою для транспортування і підйому вантажів, будівельні машини і т.п.).

У США за допомогою електродугового зварювання удалося створити самий великий гідравлічний прес у світі, висотою 34м. Тільки для приєднання полиць до стрижня основного бруса масою більш 150 т, знадобилося близько 2,5т зварювального матеріалу [969]. За допомогою автоматичного зварювання виготовляли велике ковальсько-пресове устаткування, у тому числі 45000-тонні гідравлічні преси для кування в закритих штампах і великі зерносховища ємністю більш 200 тис. м³

Самим великим колісним засобом у світі, створеним у 1960 р. у США "Пульманн Стандарт" була вантажівка, що пересувається на звареному шасі, призначеному також для розміщення в районі задніх коліс відповідних двигунів потужністю 350 к.с.

У 1955 р. електрозварювання забезпечило можливість будівництва перших підвісних залізниць , починаючи від трьохсотметрової у Х'юстоні (США), із суцільнозварної аеродинамічної форми кабіною довжиною 1600м у Шатонефе сюр Луар (Франція), де зварювання застосовували також у конструкціях коробчатих балок, з яких складаються направляючі, траверс, призначених для підтримки цих балок за допомогою приварених косинок.

У 1950-х рр. автоматичне зварювання під флюсом широко впроваджували у виробництво відповідальних інженерних конструкцій і в інших країнах. До початку 1960 р. ця технологія займає друге місце по обсязі застосування після ручного дугового зварювання.

7.8. Зварені труби і магістральні трубопроводи.

Наприкінці XIX в. основним способом виробництва сталевих труб було грубе зварювання тиском. Протягом декількох десятиліть трубне виробництво розвивалося

головним чином шляхом удосконалення грубого зварювання. Однак низька продуктивність, невисока якість, погані санітарні умови при роботі на станах грубого зварювання змушували шукати нові технології виробництва труб. Найбільш перспективними вважалися процеси зварювання, засновані на застосуванні електроенергії. У 1920-30-х рр. за рубежем з'являються установки для контактного зварювання струмами промислової і підвищеної частоти, індукційне і високочастотне зварювання.

У СРСР виробництво електрозварних труб було почато в 1932р. на американському стані для контактного зварювання (опором) струмами промислової частоти. Зварювали труби діаметром 20-65мм із товщиною стінки 1-2 м. По типі цього стану Ленінградським заводом "Електрик" були виготовлені три стани АШТ-60, встановлені в 1935-40 р. на Московському трубному заводі. Була закладена основа для розвитку одного з найбільш ефективних способів виробництва труб, що веде роль у розвитку якого зіграли роботи ВНІТІ.

Проте, наприкінці 1930-х рр. у США роблять спроби застосувати для виготовлення труб дугове зварювання під флюсом. Є. О. Патон, що керував розробкою вітчизняного способу автоматичного зварювання під флюсом, так само вважав, що саме у виробництві труб цей спосіб буде більш ефективний [970]. Разом з тим було очевидно, що незважаючи на зовнішню конструктивну простоту труби, операції по її виготовленню тісно зв'язані між собою, і ця взаємозалежність зажадає їхнього узгодження, удосконалення всього устаткування.

З першого післявоєнного року потреба в трубах у промислово-розвинутих країнах почала різко зростати. Виникла задача підвищення продуктивності трубозварювальних станів і поліпшення якості труб, у тому числі і труб великого діаметра, призначених для магістральних нафто- і газопроводів.

У США, Франції й інших країн продовжували удосконалювати спосіб контактне зварювання труб постійним струмом і зварювання під флюсом. Крім того, у ряді країн у цей період освоювали аргоно-дугове зварювання для виробництва труб відповідального призначення, а з 1950-х рр. почали роботу по індукційному зварюванню. У СРСР створенням аналогічної технології й устаткування зайнялися ВНДІТВЧ ім. В.П. Вологодина, ІЕЗ ім. Є.О. Патона й інші організації.

Зварювання під флюсом продовжувала інтенсивно розвиватися. Уже наприкінці 1946 р. цей спосіб був упроваджений на 120 заводах Радянського Союзу. Однак серед них не було ні одного трубного. У 1946 р. у СРСР розгорнулося будівництво високонапірного магістрального газопроводу Дашава-Київ, намічалось спорудження могутнього водоводу Волга-Москва. На першій, Бережанській ділянці Дашавського газопроводу використовували американські труби, однак почалась "холодна війна" і США припинили постачання. Для газопроводу використовували також безшовні катані труби з Чехословаччини (Хомутів).

У СРСР труби великого діаметра (529 мм і більш) випускали з застосуванням малопродуктивного ковального зварювання внакладку з розігрівом водяним газом [970] на Металургійних заводах у Маріуполі - Металургійний завод ім. Ілліча (з 1948 р. - Ждановський металургійний завод) і на Харцизьком трубному заводі. Труби діаметром на діаметром 820-1220 мм були двошовними, звареними з двох заготівель. Зварені труби цих заводів не відрізнялися високою якістю, їх використовували в основному при низькому робочому тиску, для спорудження водоводів, шахтних вентиляційних систем і т.п. За зміну на одному стані удавалось виготовити менш десятка труб [970- 972]. Наприкінці 1947р. цех № 1 Металургійного заводу ім. Ілліча був реконструйований, молоти і пальники старих трубозварювальних станів замінили стендами з установками для електричного дугового зварювання. Було застосоване автоматичне зварювання під флюсом на флюсомідної підкладці, шов прямий, стиковий, однобічний, зі зворотним формуванням. Зварювання здійснювали за допомогою рухливих автоматичних однодугових зварювальних голівок ВУСА-2 при нерухомо закріпленій трубній заготівлі. Маріупольський металургійний завод виконав урядове замовлення на постачання 13 тис. т труб діаметром 529 мм газопроводу Дашава - Київ. Застосування для виготовлення труб зварювання під флюсом поліщило їхню якість, сприяло підвищенню продуктивності і корінному поліпшенню умов праці. Однак це не вирішило проблеми забезпечення країни трубами. Трубне виробництво мало потребу в комплексній реконструкції, у створенні спеціальної технології швидкісного зварювання й устаткування, що забезпечує формування, зварювання, виправлення, нормалізацію, контроль і іспити.

У цей час у ІЕЗ ім. Є.О. Патона вже розробляли принципово нову технологію безупинного виробництва труб. Були спроектовані трубозварювальний стан (Р.І. Лашкевич), схеми керування зварювальним процесом (Б.Є. Патон), зварювальні голівки (В.Є. Патон) і технологія високопродуктивного дводугового зварювання (Б.І. Медовар) [973]. Протягом 1948 р. на ЕЗВМ (м. Електросталь) був виготовлений і в першій половині 1949 р. змонтований на ХТрЗ перший у СРСР безупинний трубоелектрозварювальний стан для зварювання прямошовних труб діаметром від 580 до 720 мм із товщиною стінки від 8 до 10 мм і довжиною до 6 м з низьковуглецевої сталі. Уперше зборку і зварювання трубної заготівлі виконували в одному агрегаті при стаціонарно встановленій зварювальній голівці і рухливій заготівлі. Однобічне зварювання вели двома послідовно розташованими дугами, що горіли в одній зварювальній ванні. Для зварювання застосовували флюс АН-60 пемзовидний. Була застосована двохелектродна зварювальна голівка А-330. Завдяки дводуговому процесу удалося досягти швидкості зварювання до 200 м/г.

Харцизький трубний завод став полігоном для відпрацювання технологій, що впроваджувалися потім і на інших заводах країни. ІЕЗ ім. Е.О. Патона продовжував удосконалювати техніку зварювання. Досвідченим шляхом була знайдена раціональна форма підкладки для забезпечення зворотного формування шва, розроблені методи виключення зазорів між крайками й ін. [974]. За кілька років впровадження автоматичного дугового зварювання під флюсом (1949 по 1952 р.) поряд з різким підвищенням продуктивності, полегшенням умов праці, підвищенням якості продукції на заводі був отриманий економічний ефект близько 25 млн. руб.

У 1952 р. до удосконалювання трубозварювальних станів підключився Всесоюзний науково-дослідний трубний інститут (ВНІТІ). ЦНДІ чорної металургії розробив для газопровідних труб сталь марки 14ХГС, була запропонована також відома сталь 10М2. Однак досвіди і виробничі іспити показали погіршення якості зварених з'єднань, що зажадало пошуку принципово нових рішень, таких як зміна послідовності технологічних операцій, застосування гарячого виправлення й ін.

Щоб виключити дефекти в корені шва і забезпечити стабільний розмір зворотний валик ІЕЗ ім. Є.О. Патона запропонував застосувати двосторонню дводугового зварювання [975]. Для реалізації цієї ідеї треба буде в гранично стиснутий термін

розробити технологію, запроектувати, виготовити й освоїти раніше що не застосовувалися в СРСР стани і зварювальну апаратуру для внутрішнього зварювання швів труб, а також розробити проект розміщення цих станів у трубозварювальному цеху ХрТЗ. [976].

До помітних досягнень того часу відноситься розробка в ІЕЗ ім. Є.О. Патона перших спеціалізованих голівок для багатодугового зварювання зовнішніх і внутрішніх швів труб. Тоді ж були уточнені і сформульовані основні вимоги до технології й устаткування для підготовки аркушів, формування й обробки труб, розроблена технологія виготовлення спеціального пемзовидного флюсу. При виробництві труб діаметром 630 мм і товщиною стінки 8-10 мм швидкість зварювання складала 100-120 м/год.

Виконані на ХрТЗ роботи, проведені практично без запозичення закордонного досвіду, заклали основи створення технології й устаткування для зварювання прямошовних труб і багато в чому визначили подальші шляхи розвитку їхнього вітчизняного виробництва [976]. Тут труби виготовляли на стані, подібному до стану для виробництва одношовних труб довжиною до 6 м, діаметром від 426 до 1420 мм, з товщиною стінки від 8 до 14 мм.

Значним удосконаленням піддався цех Челябінського трубопрокатного заводу (ЧТПЗ). Тут у 1956р. було освоєне виробництво одношовних труб діаметром 530-820 мм і довжиною 12 м з товщиною стінок 6-12 мм, засноване на застосуванні пресового формування, дводугового зварювання під флюсом двостороннім швом роздільно зовні і зсередини труби з вуглецевої і низьколегованої сталей і експандированії [977]. В наступні роки, одночасно з роботами по дуговому зварюванню одношовних труб проводили дослідження з виготовленню двошовних труб. Була розроблена технологія виробництва карт за допомогою дугового зварювання під флюсом.

Один з ефективних способів підвищення продуктивності зварювання кутових і стикових швів є розроблений у 1955-56 р. у ІЕЗ ім. Є.О. Патона спосіб трьохелектродного автоматичного зварювання під флюсом. Шляхом підбора потужності дуги і відстані між електродами вдається в широких межах регулювати термічний цикл, глибину і ширину провару шва.

У 1959 р. була прийнята урядова постанова про нарощування потужностей по виробництву труб великого діаметра відповідального призначення за рахунок реконструкції діючих і будівництва нових трубозварювальних цехів. Одночасно передбачали розширення сортаменту цих труб до діаметра 1020 мм. Для реалізації цього плану, що вимагало принципово нового рішення великого числа технічних, проектних і конструкторських питань, були притягнуті ІЕЗ ім. Є. О. Патона, Укргіпромет і ряд інших організацій.

У зв'язку з відсутністю в країні, у той час, достатніх потужностей для виробництва широкого (близько 3200 мм) листа в проекті нового цеху була передбачена технологія виробництва труб з використанням двох вузьких листів. У найкоротший термін у лабораторних, а потім у промислових умовах на Харцизьком трубному заводі проведені дослідження з формування попередньо зварених карт [977]. Сумарна швидкість виконання складальних швів при цьому склала 13-15 м/хв. Внутрішні і зовнішні шви зварюють під флюсом трьохдуговим зварюванням. У ІЕЗ ім. Є.О. Патона був розроблений комплекс трубозварювальної апаратури з високим рівнем механізації й автоматизації багатодугового зварювального процесу декількома голівками. Нова технологія виробництва труб діаметром 1020 мм була впроваджена на Новомосковському трубному заводі. Перша черга нового цеху була введена в дію в 1961 р. З огляду на потребу в трубах великого діаметра максимально можливої довжини, у технологічний потік нового цеху була включена операція стикування шестиметрових труб у дванадцятиметрові. Досвід експлуатації трубопроводів, виконаних із двошовних труб показав, що вони не уступають по якості трубопроводам, спорудженим з одношовних труб того ж розміру. Ці труби використані зокрема для спорудження потужних магістральних трубопроводів Бухара-Урал, Красноярськ-Серпухов і ін.

До 1960 р. країни Західної Європи при виробництві труб діаметром більш 400 мм цілком перейшли на зварювання під флюсом. У США контактне зварювання безупинним оплавленням, що знайшло широке застосування в довоєнний період, було визнано менш економічним, чим дугове зварювання, і нові трубозварювальні стани будували з розрахунком на зварювання під флюсом. На більшості закордонних заводів випускали одношовні труби, виконані двостороннім дуговим зварюванням

(зовні і з середини труби). На заводі Маннесман-Хеш (ФРН) у 1955 р. був установлений трубозварювальний стан для виробництва труб діаметром від 500 до 1020 мм, довжиною 12 м. Установки допускали підвищення швидкості до 120 м/год, однак склоподібні флюси при швидкостях понад 70 м/год. не забезпечували достатньої якості металу шва [978]. На заводі Фенікс Райнрор (ФРН) була застосована технологічна схема, при якій першим зварюють зовнішній шов, а другим внутрішній. "Фенікс Райнрор" разом з фірмами "Мюллер" і "Дойче Фернзей" розробили першу в Європі телевізійну установку для рентгенконтролю, за допомогою якої зображення шва можна одночасно спостерігати на декількох екранах. У Франції на заводі Лорренеско (Седан) виготовляли труби діаметром від 406 до 1020 мм товщиною стінки від 6,35 до 12,7 мм і довжиною до 12,2 м. Тут першим зварювали зовнішній шов, а потім внутрішній. На заводі Депонт а Мусон (Бельвиль), що випускав зварені труби діаметром до 720 мм із подовжнім двостороннім швом, першим виконували внутрішній шов, а потім - зовнішній. Зварювання вели двома електродами діаметром 3 мм [979].

Слід зазначити, що по питанню про можливість використання для магістральних газо- і нафтопроводів двошовних електрозварних труб великого діаметра не було єдиної думки. У США відмовилися використовувати двошовні труби, як труби відповідального призначення через побоювання порушити міцність карткового шва при формуванні карт у трубну заготовку. У Західній Німеччині також виготовляли труби тільки з цілого листа - одношовні. Однак потреба в трубах великого діаметра зростала, а листового прокату достатньої ширини для виготовлення прямошовних труб не вистачало. Вихід був у розширенні виробництва спіральшовних труб.

Наприкінці 1950 р. у ряді країн Західної Європи були встановлені стани для виробництва спіральшовних труб із двостороннім зварюванням під флюсом: заводи Хеш (Германи), Кастроп (Дортмунд), Депон а Мусон (Франція) і завод біля Неаполю (Італія). [652].

В 1947г було отримано одне з перших авторських посвідчень СРСР на оригінальний стан для виробництва труб зі стрічки, що навивається гвинтоподібно, а в 1952р. на Ждановському заводі ім. В.В. Куйбишева був уже побудований цех (згодом увійшов до складу металургійного заводу) і вперше з 1953р. почате масове

виробництво електрозварних труб зі спіральним розташуванням шва [980]. Першим був установлений трубозварювальний стан, розрахований на виробництво спіральшовних труб діаметром від 426 до 630 мм із товщиною стінки від 5 до 8 мм. В 1958 р. у цьому ж цеху був установлений трубозварювальний стан для труб діаметром до 720 мм і товщиною стінки до 10 мм. Труби нарізали довжиною 12 м. Ці стани з'явилися першими у світі трубозварювальними станами безперервної дії з петлевою ямою. Кожний трубозварювальний стан являв собою комплекс машин і механізмів, зв'язаних в одну безперервну лінію, що дозволило повністю автоматизувати все виробництво. З'єднання здійснювали двошаровим зовнішнім швом. Першою зварювальною головкою на флюсовій подушці зварювали корінь шва, другий, установленої через крок спирали, без підкладки, «у висячому положенні», частково переварювали перший шов і формували зовнішній валик підсилення.[981].

Механізовані способи зварювання кільцевих швів магістральних трубопроводів почали застосовувати в 1945 р. при будівництві трубопроводів Дашава- Київ - Брянськ-Москва. У результаті досліджень, проведених в ІЕЗ ім. Є.О. Патона удалося вперше у світовій практиці використовувати при спорудженні магістрального газопроводу механізоване зварювання під флюсом на трубозварювальних базах з торцевими обертальними і спеціальними візками на рейкових шляхах [982]. Успішно проводили експерименти по контактному стиковому зварюванню на трасі. У 1946-50 р. на будівництві трубопроводів механізоване зварювання під флюсом займала всього 2%, інше газопресове 23% і ручне дугове 75%. З 1951 р. застосування зварювання під флюсом різко зросло: у 1955 р. - на 35%, 1957 р. - на 55%, 1959 р. - на 58% (інше ручне дугове зварювання на 35%, стикове зварювання безупинним оплавленням 5%, зварювання у вуглекислому газі 2 [983].

На відміну від практики США і країн Західної Європи, де зварювали секції довжиною 24 м із двох труб, у СРСР на польових базах зварювали секції довжиною 36 м із трьох труб. Застосування довгомірних секцій дозволило скоротити обсяги роботи у важких трасових умовах [984]. Широкому застосуванню ручного дугового зварювання при прокладці нафтогазопроводів у США й Англії сприяла наявність великого числа марок високоякісних електродів з газозахисною обмазкою. Проте,

ряд трубопроводів у Західній Німеччині і Франції, що споруджувалися в 1954-55 р., був виконаний частково газовим зварюванням. [985, 986]. З 1948-49 рр. автоматичне зварювання під флюсом почали застосовувати в будівництві магістральних трубопроводів США й Великобританії [987-988]. До 1958 р. у США довжина трубопроводів (для нафти, газу чи інших нафтопродуктів) склала більш 1 млн. км, з них 80% - зварені. У 1959 р. було зварено ще 25 тис. км, (2,5 млн. кільцевих швів). [989,990].

7.9. ІЕЗ ім. Є.О.Патона – збереження провідного пріоритетного положення у світі.

У другій половині ХХ століття ІЕЗ ім. Є.О. Патона продовжував залишатися провідним науково-дослідним закладом в СРСР, а потім і в країнах СНД, серед закладів, що займаються науковими, конструкторськими та виробничими проблемами зварювання і родинних технологій, і спеціальної електрометалургії. Заснована Є.О. Патонам в 1930-х роках програма комплексного вирішування проблем зварювального виробництва в кінці 1940-х років почала переростати у тенденцію до зрощування теоретичних і експериментальних досліджень із прикладними розробками. Це привело до виникнення досліджень принципово нового класу - цілеспрямованих фундаментальних робіт.

Наприкінці 1940-х років у ІЕЗ окрім електрошлакового зварювання, наплавлення і переплавлення разом із іншими. установами вперше у світі були створені процеси дугового зварювання у вуглекислому газі, впровадження яких дозволило в значній мірі механізувати зварювальне виробництво сталевих конструкцій. З кінця 1950 започаткована робота по створенню технологій з'єднання на основі енергій електронного, лазерного і світлового променів, енергії вибуху, магнітно-імпульсної енергії, енергій тертя і дугової плазми, явища дифузії та ін. Для виробів з алюмінію, титану, цирконію та ін. металів і сплавів, пластмас, керметів та ін. матеріалів в авіа,- ракетно,- суднобудуванні, атомної і хімічної промисловості, радіоелектроніки, приладобудування та в інших галузях запропоновані аргонодугове, електроннопроменеве, контактне, плазмове та інші види зварювання, паяння, напилення, наплавлення. Були поліпшені зварювальні матеріали, устаткування. ІЕЗ ім. Є.О.Патона продовжував займати одне з лідируючих місць у світі в області зварювального виробництва і спеціальної електрометалургії. Дослідження фізико-

металургійних процесів поклали початок новим напрямкам в розвитку зварювальних технологій. Були виконані дослідження з застосуванням фізичного і комп'ютерного моделювання процесів зварювання плавленням і тиском, напруг і деформацій зварних з'єднань; створено банки знань в області металургії і зварювання. Одержало подальший розвиток автоматичне дугове зварювання труб, конструкції з легованих сталей, що працюють в екстремальних умовах, підводне зварювання морських платформ, зварювання кріогенного устаткування та ін. Розробка ІЕЗ ім. Є.О.Патона кільцевого трансформатора відкрила широку дорогу контактному зварюванню безперервним оплавленням стиків труб магістральних трубопроводів великого діаметру, зварки труб і рійок в польових умовах, що є одним з найбільших світових досягнень в області контактної зварювання – на рейкозварювальні і трубозварювальні комплекси придбали ліцензії фірми багатьох країн. Щоб задовольнити вимоги науково-технічного прогресу до підвищення працездатності деталей і механізмів в інституті розроблено теоретичні і технологічні основи наплавлення і напилення, спеціальні матеріали, універсальні і спеціалізовані верстати і інше обладнання. Про прикладне, практичне значення наукових і конструкторських робіт ІЕЗ ім. Є.О. Патона, можна судити по тому, що вже до кінця 1970-х початку 1980-х років за технологіями ІЕЗ ім. Є.О.Патона зварювали, наплавляли, паяли, напилювали вироби товщиною від часток міліметрів до декількох метрів; сфера застосування зварювання і родинних технологій простяглася від ювелірної промисловості і медицини, до авіаційно-космічної техніки і підвідних нафтопроводів. Значна частина високих наукових технологій по виготовленню відповідальних інженерних конструкцій починається в ІЕЗ ім. Є.О.Патона від створення сплавів з унікальними наперед заданими властивостями, включає власне зварювання, паяння чи наплавлення і кінчається контролем якості і діагностикою стану зварних з'єднань.

З 1963 в ІЕЗ ім. Є.О.Патона ведуться науково-дослідні і прикладні роботи зі зварювання в космосі, результати яких є визнаними в усім світі. Інститут є провідним науково-дослідницьким центром по цій проблемі. У жовтні 1969 на борту космічного корабля “Союз-6” вперше в світі було здійснено експерименти зварювання на установці “Вулкан”, розробленій в ІЕЗ ім.Є.О. Патона. У 1984 році

був проведений експеримент за бортом орбітальної станції у відкритому космосі, у якому ручним електронно-променевим інструментом виконали зварювання, паяння, різання і напилювання. Період з 1985 по 1996 характерний зростанням обсягу робіт, виконаних у космосі. Зокрема, у відкритому космосі були проведені комплексні експерименти по розкриттю ферменних конструкцій, що супроводжувалися зварюванням і пайкою.

Успіхи в створенні і впровадженні нових технологій були і залишаються можливими завдяки фундаментальним і прикладним науковим дослідженням, конструкторським розробкам і досить високої кваліфікації фахівців усіх рівнів. У своїх роботах вчені ІЕЗ ім. Є.О.Патона враховують тенденції світового розвитку металообробних галузей промисловості: зниження енергоємності, підвищення продуктивності, гарантія якості і поліпшення екологічних показників. Проводиться також комплекс теоретичних і експериментальних досліджень по підвищенню точності виготовлення зварних тонколистових конструкцій і їхній несучій здатності, циклічності довговічності.

Успішна наукова і виробнича діяльність інституту в значній мірі обумовлена рішенням організаційних проблем. З 1950-х розвивається й удосконалюється його структура, ведеться пошук нових методів прискорення впровадження наукових досягнень у виробництво. У 1959 конструкторський відділ і експериментальні майстерні інституту були перетворені в Дослідне конструкторське бюро і Дослідний завод зварювального обладнання, з 1978 організований Дослідний завод зварювальних матеріалів, а в 1981 - Дослідний завод спеціальної електрометалургії, декілька інженерних центрів. Це обумовило надання ІЕЗ ім. Є.О.Патона в 1981 статусу науково-технічного комплексу; у 1985 створений міжгалузевий науково-технічний комплекс - МНТК "ІЕЗ ім. Є.О.Патона.

У період становлення ринкових відносин, крім наукової, конструкторської і виробничої діяльності, ведеться пошук ефективних організаційних форм: створені Міжнародний центр електронно-променевих технологій, науково-інженерні і науково-виробничі центри та інше, а також технопарк "ІЕЗ ім. Є.О. Патона", що поєднує більш трьох десятків підприємств і організацій; створений Центр міжнародної сертифікації продукції зварювального виробництва. ІЕЗ ім. Є.О.Патона

є базовою організацією Міждержавної наукової ради з питань зварювання і родинних технологій, виконуючи координацію наукової діяльності учених країн, що входять у раду; входить в Наукову раду по нових матеріалах Міжнародної асоціації академій наук; є головним науковим центром зварювання серед країн СНД.

ІЕЗ ім. Е.О.Патона продовжує комплексні дослідження природи зварювання і пайки, і створення на їхній основі високопродуктивних технологій з'єднання матеріалів зварювального устаткування і матеріалів, дослідження міцності і несучої здатності зварних з'єднань і конструкцій, розробка основ проектування і комплексного механізованого виробництва зварних конструкцій, розвиваються комплексні дослідження фізико-хімічної поверхні, створення технологічних процесів, устаткування і матеріалів для нанесення зміцнюючих і захисних покриттів, а також роботи з створення нових технологій електрометалургійного виробництва особливо якісних сплавів і композиційних матеріалів.

НТК "ІЕЗ ім. Е.О.Патона" продовжує поповнювати арсенал науково-технічних досягнень і прогресивних технологій, зберігаючи своє положення одного з ведучих світових наукових центрів по зварюванню і родинним технологіям і по сучасній спеціальній електрометалургії. Розвиваються нові напрямки одержання неорганічних матеріалів з аморфної, нано- і мікро розмірною з запрограмованою структурою й складом високошвидкісним електронно-променевим випаром речовин і осадженням парової фази у вакуумі; гібридні технологічні процеси, що включають іонізацію парового потоку основного компонента й / або введення в нього органічних добавок, в тому числі для одержання нанотрубок і алмазоподібних структур. Вдосконалюються технології переплаву для виробництва титанових злитків і напівфабрикатів з використанням титанової губки; отримані злитки-сляби з титанових сплавів зварених конструкцій морських суден великої товщини; вперше у світі створені технологія й устаткування для виплавки злитків і блоків губчатого титана; одержані високоякісні зливки складнолегованих титанових сплавів; розроблені технології виплавки повних злитків для виробництва великогабаритних титанових труб і оплавлення бічної поверхні злитків успішно застосовується замість їхньої механічної обробки. Уперше проведені теоретичні й експериментальні дослідження коливань розплавленого металу в парогазових каналах великої глибини.

Результати досліджень лягли в основу технологічних процесів електронно-променевого зварювання авіаційних конструкцій з високоміцних алюмінієвих сплавів товщиною до 150 мм. Розроблений в інституті метод плазмово-індукційного плавлення дозволив отримувати великі монокристали тугоплавких металів (вольфрам, молібден), що необхідно для атомної енергетиці й аерокосмічної техніки. Електрошлакові процеси були розвинути з метою отримання композитних, зокрема багат шарових і біметалевих виробів. Разом з ЗАТ « НКМЗ» було створено перший в світі промисловий агрегат для наплавлення рідким металом таких прокатних валків. На основі способу контактного зварювання з пульсуючим оплавленням розроблено нові технології з'єднання прокату з великою площею перерізу. Для виготовлення телескопу з сплаву інвара і алюмінієво-магнієвого сплаву розроблена технологія ЕПЗ з нанесенням парофазним методом шарів проміжних матеріалів. На ДПО "Південний машинобудівний завод" впроваджена система керування процесами дугового і контактного зварювання вузлів корпусів ракет. Виконані дослідження гібридних процесів і розроблені технології лазерно-дугового зварювання сталей і алюмінієвих сплавів.

В 1990 було започатковано дослідження зварки м'яких живих тканин. Виявлена можливість використання струму високої частоти для з'єднання розрізів тканин і органів без ниток і металевих скоб, розроблені технології, зварювальний електро-хірургічний комплекс з джерелом живлення і спеціальними медичними інструментами. Технології зварювання і термічного різання знайшли широке впровадження в клінічній практиці.

Інститут виконує пошукові і дослідно-промислові роботи з багатьма провідними спеціалізованими установами і підприємствами України, такими як «Прогрес», «Мотор Січ», «Заря-Машпроект», «Море», МНВО ім. М.В. Фрунзе та ін. ІЕЗ має зв'язки з науковими центрами і фірмами США, КНР, ФРН, Великобританії, Франції, Японії, Південної Кореї, ПАР і ряду інших країн, спільні лабораторії і центри, активно розвиває кооперацію і використання міжнародних проектів. Тривалий час ІЕЗ ім. Є.О.Патона працює на ринку США, Канади і деяких інших країн. Зовнішньоекономічна діяльність інституту здійснюється спеціалізованою фірмою "ІНПАТ". За кордоном запатентовано біля 3 тис. винаходів, зроблених

співробітниками інституту. Західно-європейськими, американськими й азіатськими фірмами закуплено сотні ліцензій. Каталог матеріалів і устаткування, технологій, пропонуваніх ІЕЗ ім. Є.О.Патона містить декілька сотень найменувань. Новітня інформація в області зварювання і родинних технологій регулярно висвітлюється в 4-х журналах. У ІЕЗ видані десятки монографій, 2 томи "Енциклопедії машинобудування".

На початок ХХІ ст. ІЕЗ ім. Є.О.Патона є науково-технічним і виробничим комплексом, до складу якого входять крім власне інституту з науковими відділами і лабораторіями, дослідне конструкторсько-технологічне бюро, експериментальне виробництво, спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з дослідним виробництвом з використанням технологій металообробки вибухом, три дослідних заводи, кілька інженерних центрів, а також різні допоміжні служби, що працюють в інтересах усіх підрозділів інституту, Інформаційний центр із банком даних, Обчислювальний центр і Сертифікаційний центр. Підготовка фахівців ведеться в аспірантурі й у Міжгалузовому навчальному центрі.

На початок ХХІ століття науковий потенціал інституту складала 320 наукових співробітників, серед яких 16 академіків і членів-кореспондентів Національної Академії наук України, 65 докторів наук, 250 кандидатів наук, біля 100 робіт відмічено Ленінськими і Державними преміями різних рівнів. Вперше в історії НАН України встановлена МІЗ престижна премія ім. Є.О.Патона, що присуджується ученим світу за значний внесок в розвиток зварювання і родинних технологій [991-1000].

Висновки до розділу 7

1. В роки Другої світової війни необхідність у прискоренні виробництва озброєння при одночасному скороченні спеціалістів, з'явилася сильним поштовхом для розширення застосування й удосконалювання зварювальних процесів. Основний упор робився на пошук резервів, прихованих можливостей технологій, розроблених до 1940-х років. Війна зажадала від учених, конструкторів, інженерів, робітників вирішувати складніші проблеми в найкоротший термін. Радянським фахівцям довелося працювати в особливо важких умовах, непорівнянних з умовами роботи в інших воюючих країнах.

2. З початком Великої Вітчизняної війни за пропозицією Є.О.Патон ІЕЗ було евакуйовано безпосередньо на виробництво - у м. Нижній Тагіл і розміщено на території, куди також був перебазований і Харківський завод № 183 ім. Комінтерну. Конструкторська група ІЕЗ підготувала 20 проектів спеціалізованих установок для автоматичного зварювання різних типів швів на танках і 8 - для зварювання авіабомб і боєприпасів. Важливим досягненням з'явилося створення технології швидкісного автоматичного зварювання броньових сталей, потокової лінії виготовлення танків, створення на основі закону саморегулювання дугового процесу, що його відкрив науковий співробітник ІЕЗ В.І. Дятлов, нового класу зварювальних автоматів - з постійною швидкістю подачі електродного дроту.

3. У період 1941-1945 р. великий внесок в освоєння випуску військової продукції внесли співробітники лабораторій зварювання багатьох заводів. В роки війни зварювальні процеси продовжували широко застосовувати і при виготовленні авіаційної техніки.

4. 1 січня 1942 р. у війну вступили і США. Цього року обсяг зварювального виробництва в країні виріс більш ніж на 300% в порівнянні із 1940 р. Почали використовуватися процеси і виробни, самохідних артилерійських установок, літаків і військових автотракторних засобів. У США велика увага приділялася будівництву морського транспорту; тоннаж флоту до 1946 р. був збільшений більш ніж у 2,5 рази.

5. Під час Другої світової війни значна кількість металоконструкцій на території, де проходили воєнні дії, було зруйновано. Зварювання, що стало ведучою технологією у виготовленні зброї почали застосовувати для відновлення промисловості потерпілих від війни країн Європи й Азії. Війна відкрила широку дорогу зварювання в будівництво відповідальних споруджень.

6. 9 червня в 1947 р. Рада Міністрів СРСР прийняла постанову "Про розширення застосування в промисловості автоматичної електрозварки під шаром флюсу", відповідно до якого мали у найближчі півтора року ввести в експлуатацію 670 зварювальних автоматів на 111 заводах країни; різко збільшити робіт. Було заплановане відкриття нових зварювальних кафедр у вузах, курсів підготовки робітників. ІЕЗ доручався науковий і організаційний супровід усіх зварювальних робіт у країні.

7. Значну увагу керівництво країни приділяло відновленню паливно-енергетичного комплексу і гірничо-металургійної промисловості. Під керівництвом Є. О. Патона було розроблено нові зварні конструкції і нові технологічні процеси виробництва вагонеток, резервуарів та ін.. У 1950-і рр. у Радянському Союзі було створено багато нових потокових складально-зварювальних ліній, механізованих і автоматизованих виробництв зварених конструкцій.

8. По темпах розвитку, рівню розробок і масштабам, застосування дугового автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом Радянський Союз випередив інші країни. До кінця 1940-х рр. були створені технологія і відповідне устаткування для зварювання в різних просторових положеннях, багатодугового зварювання, зварювання неповоротних стиків, і інших типів з'єднань; універсальні зварювальні апарати, спеціалізовані установки, голівки з автоматичним регулюванням.

9. У 1949 р. в ІЕЗ ім. Є.О.Патона почали розробляти ЕШЗ. Першими взяли участь в освоєнні й удосконалюванні нового виду зварювання Таганрозький котельний завод "Красный котельщик" (ТКЗ), Барнаульський котельний завод і НКМЗ. У 1951 р. на НКМЗ ЕШЗ застосували при виготовленні статорів гідротурбін масою до 80 т, а пізніше валів гідротурбін і гідрогенераторів. У багатьох випадках ЕШЗ стало завершальною операцією по виготовленню виробу будь-якої форми практично необмежених розмірів і маси з відлитих, кутих і прокатаних..

10. За короткий час у ІЕЗ ім.Є.О.Патона було вирішено багато проблем, що ґрунтувалися на наукових, практичних досягненнях зварювального виробництва і полягали в попередній підготовці великих зварених вузлів на заводах, їхньому транспортуванню на місце монтажу, зборці і механізованому монтажному зварюванню при участі спеціалізованих галузевих науково-дослідних і проектних організацій.

11. Так само як і в СРСР, США, Європейських країнах і Японії проектувати металеві конструкції почали з урахуванням технологічних особливостей зварювання. У 1950-х рр. виникли перші великі відповідальні інженерні споруди, виготовлені за допомогою дугового зварювання: будинку, вежі, дзвіниці, мости, кораблі й ін.

12. Завдяки дуговому зварюванню, з'явилися також численні нововведення, що відносяться до області електромеханіки, спрямовані на удосконалювання найбільш типових конструкцій (каркаси могутніх суднових двигунів, танків, картери редукторів, генераторів, пристрою для транспортування і підйому вантажів, будівельні машини і т.п.).

13. З першого післявоєнного року потреба в трубах у промислово-розвинутих країнах почала різко зростати. Застосування для виготовлення труб зварювання під флюсом поліпшило їхню якість, сприяло підвищенню продуктивності і корінному поліпшенню умов праці. До помітних досягнень того часу відноситься розробка в ІЕЗ ім. Є.О. Патона перших спеціалізованих голівок для багатодугового зварювання зовнішніх і внутрішніх швів труб. Механізовані способи зварювання кільцевих швів магістральних трубопроводів почали застосовувати в 1945 р. при будівництві трубопроводів Дашава- Київ -Брянськ-Москва.

14. Роботи, виконані в ІЕЗ в перші післявоєнні роки, дозволили прискорити відновлення зруйнованої промисловості країни: були знайдені нові технології виробництва труб і будівництва трубопроводів, суднобудування й ін.; вперше у світі була вирішена проблема автоматичного зварювання під флюсом таких об'ємних інженерних споруд, як домен, мостів і інших конструкцій. В ІЕЗ ім. Є.О.Патона були розроблені нові покоління автоматів для дугового і контактного зварювання. В ряді місць СРСР було створено заводи по виробництву новішого обладнання. Ліцензії на технології і обладнання придбали фірми США, Великобританії та інших країн.

15. Протягом більш 70 років ІЕЗ ім. Є.О.Патона зберігає провідне пріоритетне положення у світі. У другій половині ХХ століття ІЕЗ ім. Є.О. Патона продовжував залишатися провідним науково-дослідним закладом в СРСР. Заснована Є.О. Патоном в 1930-х роках програма комплексного вирішування проблем зварювального виробництва в кінці 1940-х років почала переростати у тенденцію до зрощування теоретичних і експериментальних досліджень із прикладними розробками. Це привело до виникнення досліджень принципово нового класу - цілеспрямованих фундаментальних робіт.

16. К середині минулого століття в Україні було розвинуто зварювальне виробництво в провідних галузях техніки, що було на різні світових досягнень.

Більш того, в ІЕЗ ім. Є.О.Патона с участю інших наукових установ, навчальних закладів і лабораторій підприємств було створено декілька технологій, що випередили досягнення за кордоном. До кінця століття в Україні зберігся високий рівень розробок в галузі зварювання і споріднених технологій, а ІЕЗ ім. Є.О.Патона залишився однією з провідних установ в світі в цієї галузі техніки.

ПОДІЇ В ІСТОРІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПРІОРИТЕТНІ ДОСЯГНЕННЯ В ДІЯЛЬНОСТІ ІЕЗ ім. Є.О.ПАТОНА

1929 23-29 квітня - XVI конференція ВКП(б) прийняла перший п'ятирічний план розвитку народного господарства СРСР

1929 15 липня - постанови Політбюро ЦК ВКП(б) “О состояниии обороны СССР” і Реввоєнради СРСР “О системе танкотрактороавтоброневоружения РККА”.

1929 11 серпня – Постанова Ради Праці і Оборони про матеріально-технічної бази виробництва зварювального обладнання і матеріалів, створено Всесоюзний автогенний комітет

1929г V Всеукраїнської академії наук при кафедрі інженерних споруджень Є.О. Патон організував електрозварювальну лабораторію.

1930-1932р. Є.О.Патоном уперше у світі розроблена комплексна програма розвитку зварювального виробництва

Розроблено перші зварні раціональні конструкції вузлів виробів машинобудівної галузі

1930р. Є.О.Патоном створено громадську організацію – Електрозварювальний комітет

Створено спеціальне лабораторне устаткування для дослідження зварних конструкцій

Досліджено несучу здатність зварних конструкцій

1932, 4 лютого – Рішення XVII конференція ВКП(б),- про всебічний розвиток зварювальної техніки в СРСР, створено Український автогенний трест і УНІТОЗ

1934 р. 1 січня - Рішенням СНК УРСР створено Інститут електрозварювання - перший у світовій практиці науково-дослідний інститут по зварюванню. Директором якого призначено Є.О. Патон.

1934 - початок досліджень з автоматизації зварювання

1934 28 вересня – Постанова РПО “Про розвиток електрозварювання і автогенної справи”

1935р. - У Київському політехнічному інституті з ініціативи Є.О. Патона організована кафедра зварювання. Відкриття нових корпусів ІЕЗ.

1936 21 березня – приказ Народного комісаріату важкої промисловості №485 «О развитии применения сварки в паровозостроении»

1936 - В Інституті електрозварювання АН УРСР проведена перша Всесоюзна конференція по автоматичному дуговому зварюванню (відкритою дугою).

1937-1938 - Розроблено технологію і матеріали для автоматичного зварювання дротами з покриттям

1937-1941 - сформульовано уявлення про дугове зварювання як металургійний процес

1939-1940 - В Інституті електрозварювання АН УРСР розроблено промисловий спосіб автоматичного зварювання під флюсом.

Створено модель двомоторної зварювальної головки типу А-66 для зварювання під флюсом і організоване виробництво її на київському заводі «Автомат».

1940 р. 25-26 червня - в Інституті електрозварювання АН УРСР відбулася перша конференція по автоматичному дуговому зварюванню під флюсом.

1940 20 грудня - Постанова ЦК ВКП (б) і Раднаркому СРСР про впровадження автоматичного зварювання під флюсом на 20 найбільших заводах СРСР.

1940 - Є.О.Патон призначений керівником відділу зварювання ЦНДІТМаш (по сумісництву)

1940 - Завод металоконструкцій ім. В.М.Молотова в Дніпропетровську, першим у СРСР, застосував автоматичне зварювання під флюсом при виготовленні елементів автодорожнього мосту через Дніпро в Києві.

1940 - Зварювання під флюсом почали застосовувати на заводах «Червоний казаняр» (Таганрог) і «Червоний Профинтерн» (Бежица) і ряді інших машинобудівних заводах (при технічному керівництві Інституту електрозварювання й ЦНДІТМаш).

1941 лютий - Рішення XVIII всесоюзної конференції ВКП(б про значне зростання випуску оборонної продукції.

1941 25-29 березня - в Москві відбулася Всесоюзна конференція по зварюванню. Основним була доповідь Є.О. Патона «Швидкісне автоматичне електрозварювання голим електродом під шаром флюсу».

1941 - На 20 найбільших заводах країни (ім. Жовтневої революції у Ворошиловграді, ім. Орджонікідзе в Подольске, «Уралвагонзаводе» у Нижньому Тагілі й ін.) уведені у виробництво установки для автоматичного зварювання під флюсом, розроблені в ІЕЗ.

1941 - Видано працю Є.О. Патона «Швидкісне автоматичне зварювання під шаром флюсу».

1941 9 червня - Розгорнута програма перебудови економіки країни на військовий лад була викладена

1941. - Директива РНК СРСР РСР і ЦК ВКП(б) - створено Державний Комітет Оборони і Ставку Головного Командування Збройних Сил СРСР (пізніше - Ставка Головного Командування)

1941 - Постанова У зв'язку з нападом Німеччині на Радянський Союз Політбюро ЦК ВКП(б) прийняло рішення щодо розширення виробництва танків, а ЦК партії й– спільні: “О производстве брони и танков КВ” і “Об увеличении выпуска танков, артиллерийских тягачей и танковых дизелей на III-IV кварталы 1941 г.”

1942 6 січня - президент США виклав “Програму перемоги”, в якій обіцяв за два роки перекрити військово-промислові показники країн фашистського блоку.

1942 - Розроблена технологія автоматичного зварювання під флюсом спеціальних (броньових) сталей, уперше впроваджена у виробництво танків і САУ на Уралвагонзаводі

Розроблено потокову лінію на Уралвагонзаводі для виготовлення корпусів танків, на якій було змонтовано 16 установок для автоматичного зварювання під флюсом.

Відкрито явище «саморегулювання» зварювальної дуги, і запропонований новий принцип побудови дугових автоматів (автомати з постійною швидкістю подачі електрода) (В.І. Дятлів).

Розроблено состав флюсу на основі доменних шлаків.

1942-1943 - Розроблено 20 проектів установок для автоматичного зварювання під флюсом танкових корпусів і 8 – для зварювання авіабомб і боєприпасів.

Впроваджено установки і технологія автоматичного зварювання на підприємствах оборонної промисловості.

1943 - За видатні науково-технічні досягнення, що прискорюють виробництво танків і металоконструкцій, Є.О. Патонові привласнено звання Героя Соціалістичної Праці із врученням ордена Леніна й золотої медалі «Серп і Молот».

Запропоновано зварювання декількома розсунутими дугами.

Експериментально встановлена наявність дугового процесу при зварюванні під флюсом .(Б.Є.Патон, А.М.Макара)

Розроблено спрощену конструкцію головки для зварювання під флюсом на основі саморегулювання процесу (А-80, П.І.Севбо)

Запропоновано шлангове напівавтоматичне дугове зварювання під шаром флюсу (Б.Є.Патон)

1944 - Запропонована технологія виготовлення великих резервуарів методом рулонування (Г.В. Раєвський).

1945 - Інституту електрозварювання АН УРСР постановою уряду привласнене ім'я академіка Є.О.Патона.

Розроблено серію зварювальної апаратури для зварювання під флюсом: ВУСА-2, трактор типу ТС-6, зварювальний напівавтомат ТС-8, зварювальний пістолет для приварки шпильок і ін.

1945-1950 - Розроблені спеціальні установки і автоматичні лінії, і технології виробництва й удосконалені конструкції шахтних вагонеток, шахтарських ламп, труб, будівельних конструкцій і ін.

1945-1952 - створено теорію автоматів дугового зварювання

1948 - Створена спосіб і розроблена технологія зварювання під флюсом тонким електродним дротом (діаметром 1 – 3мм) – шлангове напівавтоматичне дугове зварювання (Б.Є. Патон, Д.А.Дудко ін.).

Спосіб автоматичного дугового зварювання у вертикальному положенні із застосуванням рухливого примусово охолоджуваного черевика.(Г.З. Волошкевич).

Створено трансформатор з високою індуктивністю розсіювання, що має рухливу котушку для автоматичної стабілізації сили струму у вторинному ланцюзі.

1949 - Налагоджено виробництво зварних труб великого діаметру на (Харцизькому заводі)

Розроблено метод примусового формування (кристалізації) зварного шва

1949 - Створений бездуговий спосіб електричного зварювання металів – електрошлакова зварювання (Г.З. Волошкевичем)

Розроблено двохдугове зварювання під флюсом стикових швів зі швидкістю 160-200 м/ч

Розроблено спосіб дугового зварювання виробів з тонколистовий низьковуглецевої сталі у вуглекислому газі вугільним електродом, (М.Г. Остапенко).

На «Запоріжсталі» (Г.З. Волошкевич і ін.) уперше у світовій практиці виконане автоматичне зварювання вертикальних і горизонтальних швів кожуха доменної печі об'ємом 1050 м³

1950 - Розроблено перший спеціальний флюс для електрошлакового зварювання (марка АН-8) (Г.З. Волошкевичем і І.І. Фрум'їним).

1950 – Розроблено методи порівняльної оцінки зварюваності сталей

Запропоновано кільцевий трансформатор для стикового контактного зварювання оплавленням; доведена можливість виконання цього процесу в польових умовах

Досліджено особливості краплинного перенесення металу під час зварювання відкритою дугою

Досліджено баланс енергії електродів

Досліджено процес повторного запалювання дуги змінного струму

Установлено причини тендітного руйнування зварених конструкцій.

Установлено природу утворення гарячих тріщин і пор у швах.

1951 - З Новокраматорським машинобудівним заводом розроблені техніка і технологія вертикальної електрошлакового зварювання металу товщиною до 200мм.

1952 -. Розроблена техніка і технологія автоматичного наплавлення порошковим дротом; технологія відновлення зношених котків гусеничних тракторів і інших циліндричних деталей за допомогою наплавлення під флюсом.

Спосіб стикового контактного зварювання оплавленням стиків трубопроводів великого діаметра із застосуванням пересувного агрегату КТСА розроблений ІЕЗ ім. Є.О. Патона разом з Міністерством будівництва підприємств нафтової промисловості: спосіб застосований на будівництві трубопроводу Уфа-Омськ.

Високопродуктивна технологія автоматичної однопрохідного електрошлакового зварювання виробів низьковуглецевої і низьколегованих конструкційних сталей перлітного класу більших товщині (барабанів парових казанів, станин листопрокатних станів і ін.) розроблена в співдружності з Таганрозьким заводом «Червоний казаняр».

Створено безрейковий апарат А-314 для електрошлакового зварювання. За допомогою цього апарата вперше у світовій практиці була здійснена електрошлакове зварювання кожуха доменної печі на заводі «Запоріжсталь» і зварювання монтажних стиків суцільнозварного моста ім. Е.О. Патона в Києві.

Отримано перший злиток електрошлакового металу.

Створення й застосування порошкового дроту. 1952-56 р.

Розроблено і реалізована в промисловості ідея про використання зварювального електрошлакового процесу в металургійному виробництві.

1953 - Закінчене будівництво і 5 листопада відкритий рух по найбільшому в Європі суцільнозварному мосту ім. Є.О. Патона через Дніпро в Києві.

Видано книгу «Автоматичне електрозварювання» (під ред. Є.О. Патона).

1954 - Безкисневі флюси для автоматичного і напівавтоматичного зварювання нержавіючих сталей розроблені в ІЕЗ (Б.І. Медовар, С.М. Гуревич).

Розроблено технологію плоскоскручуємих труб діаметром 100-150 мм, з товщиною стінки 1,5-2 мм, довжиною 1-2 км. в одному шматку.

Створено зварювальні автомати з магнітокрокуючими ходовими механізмами
1954-60 - Виконані дослідження й розроблено устаткування для стикового зварювання труб великого діаметра й залізничних рейок

Створено системи стабілізації режиму електрошлакового зварювання

Створено новий клас металоконструкцій – зварно–ковані, зварно-літи, зварно-прокатні

1955 - ІЕЗ ім. Є. О. Патона у зв'язку з 20-летієм від дня організації і за видатні послуги в справі розвитку електрозварювання указом Президії Верховної Ради СРСР від 19 лютого 1955р. нагороджений орденом Трудового Червоного Прапора.

Спосіб мундштуком, що плавиться, разом з Новокраматорським машинобудівним заводом.

1956 - Розроблено спосіб електрошлакового зварювання титана великої товщини.

Розроблено імпульсно-дугове зварювання в СО₂ електродом, що плавиться, і постійною швидкістю подачі.

На Новокраматорському машинобудівному заводі вперше застосоване електрошлакове зварювання пластинчастими електродами.

1957-1960 - Розроблено технологію шовно-стикового зварювання безперервним оплавленням струмами високої частоти

1958 - Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона визначений головним інститутом по зварюванню в СРСР.

Радянський Союз прийнятий у число членів Міжнародного інституту зварювання, організованого в 1948р. При ІЕЗ створена Координаційна рада по зварюванню.

Спосіб електрошлакового зварювання визнаний гідним вищого призу - Гран-Прі на Всесвітній виставці в Брюсселі.

1958 25 червня – Постанова ЦК КПРС і Ради Міністрів СРСР про розвиток зварювальної науки і техніки в СРСР на 1959 – 1965 рр., ІЕЗ ім. Є.О.Патона призначено Головною установою по зварюванню в СРСР, де створити Координаційну раду

1959 червень – Пленум ЦК КПРС прийняв рішення з проблем організації зварювального виробництва

1959 - Розроблено й досліджено пристрої для індукційного нагрівання металів

ХРОНОЛОГІЯ ПОДІЙ В ІСТОРІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА В РОКИ ДРУГОЇ СВІТОВОЇ ВІЙНИ

1941р. (липень) - ІЕЗ евакуйовано - у м. Нижній Тагіл і розміщено на території Уралвагонзаводу. На територію того ж підприємства був перебазований і Харківський завод № 183 ім. Комінтерну.

1941 р. - (листопад) на суднобудівному Балтійському заводі за кілька днів виготовили конструкції переправи танків через р. Неву. Продовжували будівлю есмінців, сторожевиків, тральщиків.

1941 р. - (друге півріччя) в Ленінграді добудовані 84 корабля. У період блокади в Ленінграді і Кронштадті відремонтовано близько 850 кораблів.

1941 р. - на Горьківському автомобільному заводі налагоджене виготовлення зварених артилерійських установок, снарядів для ракетних установок і ін.

1942 р. (січень) – ІЕЗ розроблена вперше в світі технологія автоматичного зварювання броньових сталей під флюсом і зварений перший зразок бронекорпуса.

1942 р. (липень) - ІЕЗ розроблено зварювальний флюс на основі шлаків домни, що задовольнило потребу підприємств країни.

1942 р. у Челябінську, куди був евакуйований Ленінградський тракторний завод ім. С.М. Кірова, ІЕЗ впровадив автоматичне зварювання танків Т-34, самохідних установок і танків КВ

1942 р. - на заводах Сталінграда, Сормовському (м. Горький), Уралвагонзаводі (Нижній Тагіл), Оренбурзі розгорнулося виробництво танків Т-34; ІЕЄ вперше в світі впровадив дугове автоматичне зварювання броньових корпусів танків.

1942 р. на Уральському заводі важкого машинобудування ім. С.Орджонікідзе (м. Свердловськ) ІЕЗ впровадив автоматичне зварювання на потокової лінії виготовлення корпусів танків КВ і ІС.

1942 р. в другій половині промисловість СРСР дала більше танків ніж заводи Німеччини, а також Чехословаччини, Франції та інших окупованих нею країн.

1942 р. ЦНДІТмаш спроектована та виготовлена установка контактного зварювання рейок; рейкозварювальний потяг зварив за рік 30 тис. стиків. В 1943р. в СРСР працювало 10 рейкозварювальних потягів

1942 р. В Ленінграді побудовано 14 зварних барж вантажопідйомністю до 900т кожна.

1942 - зварено підвідного бензопроводу через Ладожське озеро до Ленінграду.

1942 - (грудень) сформований потяг для зварювання і різання під водою, персонал якого оперативно звільняв фарватери рік від зруйнованих мостів, проводив роботи по відновленню мостів через Дон, Дніпро, здійснював підйом кораблів.

1942 - ЦНДІ залізничного транспорту розроблений магнієвий терміт, що спростив технологію зварювання телеграфних і телефонних проводів у польових умовах.

1943 - танкові підприємства СРСР випустили 24 тисячі танків і САУ

1941 - 1945 -. в Радянському Союзі виготовлено 102857 зварних танків і САУ.

1940 - в Німеччині застосували ручне зварювання для виробництва бойових кораблів і бронетехніки.

1940 - в США фірми "Норрон ейркарт" і "Локхид ейкрафт" освоїла технології зварювання вузлів літаків з магнієвих сплавів.

1940 - в США було розгорнуто виробництво зварних танків в Детройті та Піттсбурзі.

1941 - в США виготовлений зварний двомісцевий вертоліт вертольотів фірмою "Валти ейр-крафт".

1941 - (вересень) в США на верфі "Бетлехемфзафилд" спущений на воду перший суцільнозварний корабель серії - "Ліберті". У січні 1943 р. їх було вже близько 500.

1942 - в США обсяг зварювання в виробництві літаків, танків і інших моторизованих засобів виріс більш ніж на 300% в порівнянні із 1940 р..

1940 - 1944 рр. в США побудовано на засоби бюджету 2398 великих державних промислових підприємств, споруджені нові верфі випуску суцільнозварних танків брала участь фірма "Пульман стандарт кар".

1941-1944 - в США та Канаді побудовано 1162 бойових судна загальною водотоннажністю 3570 тис. т. і судна транспортного флоту суховантажні "Ліберті" і "Вікторі" і танкер Т2. Пізніше до будівництва судів підключилися верфі Канади.

1944 - в Німеччині розгорнуто масове виробництво літаків-снарядів "Фау-1" із застосуванням зварювання; протягом трьох місяців було випущено близько 8000 "літаючих бомб"

1945 - в США у виготовленні вузлів атомних бомб фірмою "Линкольн електрик" застосоване зварювання.

ХРОНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ І РОЛЬ ЗВАРЮВАННЯ У ВІДБУДОВІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ПРОМИСЛОВОСТІ УРСР

1943 - постанова керівництва СРСР "Про негайні заходи по відновленню господарства в районах, звільнених від німецької окупації".

1943 - - в ІЕЗ створена група по вивченню можливості автоматичного зварювання зруйнованих конструкцій.

1943 - в ІЕЗ розроблені перші напівавтомати для зварювання під флюсом

1944 3-6 лютого - у Нижньому Тагілі Є.О. Патон провів конференцію представників будівельних організацій багатьох міст, яким були показані проекти установок для автоматичного зварювання балок, секцій труб і т.д.

1944 - ЦНДІПроектстальконструкція заклала процес зварювання у виробництво нової доменної печі, веж і щогл висотою 180-200 м

1944 - за допомогою зварювання удалося відновити усього за 10 днів перекриття металоконструкцій НКМЗ площею 2 тис. м², підняти перекриття мартенівського цеху площею 7,5 тис. м².

1944 - зварювання застосували для відбудови металоконструкцій: на заводі в Миколаєві (маса мартенівського цеху склала 4,5 тис. т), на заводі "Запоріжсталь" і інших підприємствах України.

1944 (квітень) - ІЕЗ повернувся в Київ; в майстернях ІЕЗ організований випуск зварювальної апаратури, налагоджене виробництво електродів.

1944 - до кінця року автоматичне зварювання під флюсом було впроваджено на 12 великих підприємствах, у тому числі на Київському заводі "Ленінська кузня" (зварювання барабанів), Дніпропетровському заводі металокопонувань ім. В.М. Молотова (зварювання балок) і ін

1945 - у СРСР був зварений резервуар обсягом 10000 м³,

1945-46 - під керівництвом Є. О. Патона було розроблено нову конструкцію шахтних вагонеток, новий технологічний процес і устаткування для виробництва

1946 - на Торецькому машинобудівному заводі ім. К.Є. Ворошилова в Дружківці створено виробничу лінію з вальцезварювальних верстатів

1946 - кафедра зварювального виробництва створена в Ждановському металургійному інституті

1946 - зварювальні лабораторії створено на заводах: Чорноморському суднобудівельному, Харківському турбогенераторному та ін.

1946-48 - на Маріупольському заводі ім. Ілліча впроваджено комплексну установку для автоматичного зварювання залізничних цистерн.

1947 - вступили до ладу три турбіни Дніпрогесу, а в наступному році були відновлені найбільші теплові електростанції республіки: Зуєвська, Штерівська і Курахівська. До кінця 1950 р. потужність всіх електростанцій України перевищила довоєнний рівень на 600 тис. кВт.

1947 - на Київському заводі "Ленінська кузня" впроваджено комплексно-механізована лінія для зварювання стикових з'єднань полотниць судових секцій

1947 (9 червня) - Рада Міністрів СРСР прийняла постанову "Про розширення застосування в промисловості автоматичної електрозварки під шаром флюсу".

1947 (жовтень) - для обговорення постанови уряду у Києві була проведена Всесоюзна конференція по автоматичному зварюванню, на якій виступив Є.О. Патон з доповіддю "Перспективи подальшого розвитку автоматичного зварювання в СРСР".

1948 - НКМЗ досяг довоєнної потужності; вступили в лад Ворошиловградський завод транспортного машинобудування, Харківський турбогенераторний і тракторний заводи. До кінця 1950 р. продукція машинобудування перевищила довоєнний рівень майже в 1,5 рази.

1948 - в ІЕЗ ім. Є.О.Патона розроблено шлангове полуавтоматичне зварювання.

1948 - зведена у Запорозжжі перша в СРСР і Європі суцільнозварна доменна піч обсягом 1033 м³. До кінця 1950 р. були відновлені і споруджені 23 доменні печі потужністю 8,3 млн. т чавуни в рік.

1948 - для індустріального виробництва резервуарів було побудовано цехи на Куйбишевському і Запорізькому заводах металоконструкцій.

1948-1949 - ІЕЗ ім. Е.О.Патона впроваджено в виробництво 670 зварювальних автоматів на 111 заводах країни.

1949 - в ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена оригінальна технологія виготовлення труб довжиною до 1-2 км в одному відрізьку.

1940-х - створені технологія і відповідне устаткування для зварювання в різних просторових положеннях, багатодугового зварювання, зварювання неповоротних стиків, і інших типів з'єднань; універсальні зварювальні апарати, спеціалізовані установки, голівки з автоматичним регулюванням.

1950 - завершено відновлення 220 основних шахт Донбасу, введені в дію кілька нових шахт.

1950 - розроблений співробітниками Всесоюзного проектно-технологічного інституту важкого машинобудування і впроваджений у. на заводі ім. Г.І. Петровського в Херсоні потоковий спосіб зборки і зварювання локомотивних котлів.

1957 - в ІЕЗ ім. Є.О. Патона. створено складально-зварювальні лінії по виробництву алюмінієвих котлів діаметром Київському заводі "Більшовик. Значному поширенню автоматичного зварювання в суднобудуванні сприяло створення електромагнітних стендів із флюсовими подушками.

1952 - для зварювання коротких швів, розташованих у важкодоступних місцях були впроваджені шлангові напівавтомати.

1950 - на Дніпропетровському трубопрокатному заводі ім. Леніна, Дніпропетровському металургійному заводі ім. Г.І. Петровського і заводі ім. Ілліча (м. Жданов) освоєний спосіб наплавлення прокатних валків під флюсом, на Краматорському заводі важкого верстатобудування було створено серійне виробництво вальценаплавочних верстатів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних і архівних джерел показав, що багато матеріалу з історії зварювання не розроблено й залишилися поза уваги документи, що підтверджують значний внесок вітчизняних учених і винахідників в розвиток зварювального виробництва.

2. Розроблена методика аналізу науково-технічних досягнень, внеску в розвиток техніки і визначення пріоритетів винаходів на основі порівняння суттєвих ознак винаходів, їх значення для подальшого розвитку окремих технічних галузей.

3. Досліджена історія зварювання з давніх часів до середини ХХ ст. у світовому контексті. Перші способи зварювання з'явилися в період освоєння людиною металу і вміщали технічні прийоми, згодом розвинуті і використані при інших способах з'єднань.

4. Встановлено, що потреба у другій половині ХІХ ст. в розробці нових технологій з'єднання і ремонту металевих конструкцій та частин машин виникла у зв'язку зі створенням нових засобів транспорту, енергетики та інших відповідальних інженерних конструкцій. Основою для створення нових способів зварювання металів стали досягнення фундаментальних і прикладних наук – фізики, хімії, електротехніки, металургії та відповідних галузей техніки: відкриття законів і явищ електрики, винайдення джерел струму, комутуючої апаратури, електродів досвід плавлення і обробки металів то що.

5. Документально доведено, що перший у світі спосіб дугового зварювання створений у 1881 р. М.М. Бенардосом, який розробив систему живлення зварювальної дуги, різні типи зварних з'єднань і елементів конструкцій, технологію зварювання; запропонував подавати в зону зварювання газу і флюс. Його винаходи запатентовані у Росії, Франції, Бельгії, Великобританії, Німеччині, Швеції, Італії, США, Іспанії, Австро-Угорщині, Данії, Норвегії і Фінляндії. Г.Т. Церенер розробив пальники для зварювання дугою непрямої дії, яка керується магнітним полем, американський винахідник; Ч.А. Коффін запропонував принципово нові схеми взаємного розміщення електродів, дуг та зварюваного виробу; задачу підвищення якості зварного з'єднання М.Г. Славянов.

6. В 1884 – 1885 рр. Е. Томсон створив технологію і обладнання першого способу стикового контактного зварювання, в 1888 р. М.М. Бернардос запропонував точкове зварювання, яке удосконалив О. Кляйншмідт. Протягом наступних двох-трьох десятиріч були розроблені принципові схеми машин і техніка різних способів контактного зварювання.

7. Протягом ХІХ ст. вдосконалювались пальники і способи отримання і збереження кисню і горючих газів. Ефективне використання ацетилено-кисневого зварювання і напилення почалося після розробки спеціальних газових пальників Ш. Пикаром, Е. Фуше та ін. В 1898 р. Г. Гольдшмідт здійснив термітне зварювання, вирішив проблему з'єднання крупних деталей, виконування швів великої площі перетину.

8. Покращанню якості зварного шва, розширенню технологічних можливостей дугового зварювання сприяв винахід в 1904 р. О. Кьельбергом металічного штучного електрода, вкритого шаром оксидів і силікатів. На початку ХХ ст. помітні вдосконалення електродів зробили А. Строменгер, Дж. Чайл, Р. Саразен та ін. Одним із шляхів розширення діапазону матеріалів, які зварюються і підвищення якості з'єднань стало створення в 1920–х рр. І.Ленгмюром, П.П. Александером та іншими технологій, які основані на нагріванні дугою й багатоатомними газами: атомно-водневого зварювання, зварювання у воднево-азотних сумішах, суміші з оксидом вуглецю.

9. До першої чверті ХХ ст. Зварювання використовували переважно для ремонту металевих конструкцій. Використання зварювання замість клепання підвищилось з 1920-х рр. З 1930-х рр. в багатьох промислово - розвинутих країнах суднобудівництво, мостобудівництво, промислове і громадянське будівництво та інші галузі переходять на виробництво оригінальних зварних виробів, що дозволило знизити витрати металу і працевитрати, покращити експлуатаційні характеристики.

10. Наприкінці 1920- х рр. В СРСР, США, Німеччині, Франції і ряді інших країн накопичився досвід емпіричного дослідження особливостей різних видів зварювання. Протягом 1930-х рр. наукові праці були направлені на покращання зварного обладнання, на вивчення міцності і деформацій зварних конструкцій, металургії зварювання. Д. Розентадем і М.М. Рикаліним були закладені основи теорії

теплових процесів. І. Ленгмюр, К.К. Хренов, В. Спрараген, В.П. Вологдин та інші вчені досліджували зварну дугу, а також запропонували численні показники, які характеризують процес зварювання. А. П. Едсон, В. Спрараген, Г. Клаусон, Х. О'Нейл, В.І. Дятлов та інші сформувавши уявлення про дугове зварювання як про металургійний процес. Є.О. Патон, В.В. Шеверницький, О.О. Керенський, Г.А. Ніколаєв та інші визначили службові характеристики і розробили принципи конструювання зварних виробів та окремих вузлів. Перший етап формування науки про зварювання закінчується в 1940-х рр., коли за окремими розділами науки були сформовані основні положення, необхідні для подальшої розробки технологій, обладнання і матеріалів.

11. Одним з основних напрямків розвитку зварювального виробництва була і залишається механізація і автоматизація усіх складових технологічних процесів. Автоматизація різних видів зварювання відрізняється одне від одного, але загальним в першу чергу є керування процесами вводу енергій (нагріву, стиснення тощо) і керування переміщенням впродовж лінії зварювання відповідно до інформації про стан формування шву в реальному часі. Основою керування процесами вводу є удосконалення джерел живлення. На початку 1930-х років склалася уява про переваги і шляхи автоматизації зварювання. Основними завданнями було підвищення продуктивності, виключення впливу суб'єктивних факторів на якість виробу, зниження витрат енергії й матеріалів.

12. Нова стадія розвитку автоматизації зварювального виробництва розпочалася на засадах відкриття в ІЕЗ В.І.Дятловим вперше в світі явища саморегулювання процесів плавлення електродів. Стимулами к розвитку автоматизації в значній степені є економічні і ергономічні фактори (монотонність, втомлюваність, небезпечність праці тощо). На протязі досліджуваного періоду інтенсивно розвивалася елементна база, з якої складалося зварювальне обладнання, створювалися наукові основи регулювання і контролю в реальному часі параметрів зварювальних процесів, що і визначило стадії автоматизації. В історії зварювання цього періоду можна визначити три стадії автоматизації.

13. На початку 1930-х рр. Є.О. Патон розробив комплексну програму наукових досліджень проблем зварного виробництва, структуру науково-дослідного

інституту з функціональними можливостями виконання наукових праць, технологічних досліджень, проектування і виготовлення дослідних зразків обладнання і матеріалів, впровадження нової техніки у виробництво. Наприкінці 1930- х рр. В Інституті електрозварювання під керівництвом Є.О. Патона були розроблені раціональні зварні конструкції, технологія, матеріали і обладнання для виконання вітчизняних виробів машинобудування, промислового будівництва та ін. За постановою Раднаркому СРСР автоматичне дугове зварювання під флюсом до середини 1941 р. було впроваджено на 20 заводах.

14. У роки Другої світової війни в багатьох країнах різні види зварювання були використані у виробництво зброї. Вперше у світі в ІЕЗ ім. Є.О. Патона було створено автоматичне зварювання під флюсом броньованих сталей, що дозволило прискорити випуск танків, авіабомб. В СРСР були виготовлені зварний трубопровід через озеро Ладога з використанням підводного зварювання; демонтовані і відновлені мости і причали з використанням підводного дугового зварювання (К.К. Хренов), побудовані мостові переходи та ін. В США автоматичне зварювання було використано в суднобудуванні й автомобілебудуванні.

15. В 1940-1950 рр. на основі широкомасштабного дослідження була розроблена техніка зварювання високоміцних сталей, алюмінієвих і титанових сплавів, що дозволило вирішити проблеми атомної енергетики, ракетобудування, електроніки та інших галузей промисловості. Створене в ІЕЗ ім. Є.О. Патона електрошлакове зварювання знайшло своє використання при виготовленні потужного енергетичного, ковальсько-пресового і хімічного обладнання.

16. Впровадження дугового автоматичного зварювання під флюсом Інститутом електрозварювання (з 1945 р. - ІЕЗ ім. Є.О. Патона), ЦНДІТМаш і рядом інших організацій дозволив у післявоєнні роки в найкоротші терміни відновити й побудувати нові металоконструкції, виготовити різноманітні машини, шахтні вагонетки, труби, трубопроводи, резервуари й т.п.

17. За темпами розвитку, рівню розробок і масштабам використання дугового автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом Радянський Союз випередив інші країни. Наприкінці 1940 –х рр. були створені технологія зварювання в різних просторових положеннях, багатодугове зварювання, зварювання

неповоротних стиків та інших типів з'єднань; універсальні автоматичні апарати, спеціалізовані установки. Однією з характерних особливостей виявилось включення зварювальних автоматів у поточні виробничі лінії й створення нових конструкцій, які придатні до автоматизації складально-зварювальних операцій.

18. Протягом семи десятиріч установи та підприємства України, в першу чергу – ІЕЗ ім. Є.О.Патона, займають одне з провідних місць в світі в галузі зварювального виробництва. Патонівська наукова школа спромоглася вирішити усі проблеми, що виникали на шляху з'єднання нових матеріалів і виготовлення відповідальних інженерних конструкцій, зробила вагомий внесок в науково-технічний прогрес.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корниенко А.Н. 100-летие со дня изобретения электродуговой сварки металлов. / А.Н. Корниенко //Париж: Бюлетень ЮНЕСКО. Новости информ. -1981. - №5. –С.16-19
2. Патон Е.О. О первенстве советской науки и техники в области сварки под флюсом. /Е.О. Патон. - Изд-во АН УССР, 1951.- 25 с.
3. Тимирязев А.К. Очерки по истории физики в России. / А.К. Тимирязев М.: 1920. -350с.
4. Хренов К.К. 50 лет изобретения Бенардоса. Николай Николаевич Бенардос, изобретатель электросварки. / К.К Хренов //Автогенное дело. –1936. - №1.- С.1-7
5. Хренов К.К. Николай Николаевич Бенардос - 125-летию со дня рождения). / К.К Хренов // Автомат. сварка.- 1967. - №6. – июнь, с. 1-6.
6. Никитин В.П. Русское изобретение – электрическая дуговая сварка. / В.П.Никитин.. – М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1952. – 215с.
7. Никитин.В.П. Современное состояние и пути развития сварки в СССР. / В.П. Никитин.. //Автогенное дело. – 1941. - №6. – С. 4.
8. Никитин В.П.. Ведущая роль отечественной науки и техники в развитии электросварки металлов./ В.П. Никитин-М.: 1953.

9. Кузнецов А.П. Россия – родина электросварки. – Саратов. – Общество по распространению полит. и науч. знаний. – 1950. 40с.

10. Огиевецкий А. С., Радунский Л. Д. Николай Гаврилович Славянов. — А.С.Огиевецкий., Л.Д Радунский М; Л.: Госэнергоиздат, 1952. — 187 с.

11. Огиевецкий А.С., Радунский Л.Д. Николай Николаевич Бенардос / А.С.Огиевецкий., Л.Д Радунский. М.: - Госэнергоиздат. – 1952. – 206 с.

12. Данилевский В.В. Творцы электрической сварки /В.В. Данилевский / В книге «Русская техника».Изд. 2-е, испр. и допол.- Л. Ленинград. 1949.-547 с./ С.376-381

13. Новые материалы о Н. Н. Бенардосе и Ф. А. Пироцком в комиссии по истории техники // Известия ОТН АН СССР. – 1952.- №2 – С.327.

14. Чеканов А. А., Николай Николаевич Бенардос (1842-1905.) /А. А. Чеканов— М.: Наука, 1983. – 142с.

15 Чеканов А.А.Николай Гаврилович Славянов. /А.А. Чеканов. М.: Наука.- 1977. – 60с.

16 Чеканов А.О. Євген Оскарович Патон. /А.А. Чеканов. Київ.: Наукова думка- 1979. – 100с.

17. Чеканов А.А. История автоматической электросварки. /А.А. Чеканов //Изд.- во Академии наук СССР. М.: - 1963.- 153с.

18. Матійко М.М. Розвиток дугового електрозварювання на Україні. / М.М Матійко. -К.: Вид. Акад. наук, 1960. – 156с.

19. Матійко М.М, Коренной О.І. Євген Оскарович Патон /М.М. Матійко - К.: Держ. видав. техн. літератури УРСР, 1961. – 119 с.

20. Математическое моделирование сварочных процессов для создания систем прогнозирования качества соединения и оптимального управления./ Патон Б.Е., Подола Н.В., Квачек В.Г. и др. //Автомат. сварка. – 1971. - №7.-С. 1-5

21. Сварка в СССР. В 2-х томах.(под ред.. В.А.Винокурова) – М.: Наука. -1981.- т.1.- 534с., т.2.- 494с.

22. Патон Б.Е. Исторический опыт и некоторые современные проблемы развития технологии //Тез. докл. Всесоюзн. Науч.- техн.конф. «Состояние и

перспективы развития электротехнологии», 3-5 июня. Т.1. – Иваново, 1987. – С. 36-38.

23. Патон Б.Е.. Достижения и задачи в области сварки под флюсом /Б.Е. Патон // Автомат. сварка. -1952 - №5 .-С.3-7

24. Патон Б.Е., Корниенко А.Н. Огонь сшивает металл. / Б.Е Патон., А.Н Корниенко. -М.: Педагогика. - 1980. — 128 с.

25. Сварка и специальная электрометаллургия: Сб. науч. труд. /Ред. кол. Патон Б.Е. (отв.ред.) и др. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 288с.

26. Оноприенко В.И., Кистерская Л.Д., Севбо П.И., Евгений Оскарович Патон. /В.И.Оноприенко., Л.Д. Кистерская– Киев: Наук.думка, 1988.- 240с.

27. Развитие электродуговой сварки и резки металлов в СССР / АН УССР. Ин-т электросварки. – К.: Наук. Думка.- 1982. – 144с.

28. Теория образования соединения, основные этапы, проблемы, пути развития. / И.В. Зуев, А.А. Чакалев //Рос. научн.- техн. конф. «Нов. матер. и технол. машиностр.».Москва. 18 – 19 ноябр., 1993://Тез. докл.. – М., 1993. – С. 148.

29. Григорьева И.С., Лукашина Н.Д., Синев В.П.. -Тезаурус. Информационно–поисковый по сварке. /С. И. Григорьева., М. :Изд-во. 1979. – с. 263. .

30. Политехнический словарь / Ред. кол. Ишлинский А.Ю. и др. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, - 1989. – 656с.

31. Белькинд Л.Д., Конфедератов И.Я., Шнейберг Я.А. История техникиб Учебник для энергет. и электротехн. Учеб. заведений и факультетов. /Л.Д Белькинд., – М.: Л.: Госэнергоиздат.- 1956. – 491с.

32. Матійко М.М.. Нариси розвитку прикладної електротехніки в СРСР. /М.М. Матійко.- Київ.: «Радянська школа»,1957.-397с.

33. История энергетической техники СССР: Т. 2. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1957. — 728 с.

34. Патон Є.О. Вибрані праці. Київ: Видавництво «Наукова думка» /Є.О Патон - 1970. - 456с.

35. Патон Е.О. Электросварка, сварные конструкции и сварочное производство /Е.О. Патон // Труды. — К.: Наукова думка, 1990. — 344 с.

36. Патон Е.О. Автоматическая сварка в судостроении. / Е.О. Патон -М.: Оборонгиз.,1943. 40с.
37. Сварка и контроль- 2004. Конференция посвященная 150-летию со дня рождения Н.Г. Славянова. // Сб. докл. Т1. Пермь. – 17-20 мая. 2004.- 368с.
38. Неорганическое материаловедение в СССР. –К.: Нак. думка, 1963.- 719с.
39. Полонський Л.Г. Техніка напилення газотермічних покриттів (машинна стадія розвитку XVI - XX ст./ Л.Г. Полонський. -Житомир: ЖДТУ.- 2004. -266с.
40. Полонський Л.Г. Аналіз конструктивної еволюції газополуменевих пальникових порошкових пристроїв напилення газотермічних покриттів. /Л.Г. Полонський //Вісник СУНУ ім. Володимира Даля. – 2003.- №11. (69). – С.99-108
41. Полонський Л.Г. Поширення газової техніки напилення покриттів в Україні (огляд) /Л.Г. Полонський //Вісник ЖІТІ. – 1988. - №7. – С.46-51
42. Т-34: Путь к победе. Воспоминания танкостроителей и танкистов. – К.: «Прапор», 1985.- 255с.
43. Неизвестный Т-34 /И. Желтов, М. Павлов, И. Павлов и др. – М.: ООО. Издательский центр «Эксперимент». – 2001 .
44. Танкоград: История. Люди. События. /Товажнянський Л.Л., Александров Е.Е., Бесов Л.М., Александрова И.Е – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 236.
45. Пархоменко А.А., Федоров А.А. Сражающаяся наука. /А.А. Пархоменко– М.: Изд-во «Знание», 1990.
46. Мазель А.Г. История развития отдела сварки ВНИИСТа /А.Г. Мазель //Стрво трубопроводов – 1995. - №2. -. С. 39-44
47. Тюрин В.Ф. Интервью с Н.М. Новожиловим / В.Ф. Тюрин //Сварочное производство 1993 - №1 –С.3-4
48. Красильников С.Г., Шаповалов К.П., Ястреб Я.Н. /Сотрудничество ИЭС и НКМЗ в области дуговых способов сварки. /С.Г Красильников //Сварщик. – 2004. - №4. – С. 12-13.
49. Отроков В.В. 70 лет на пути технического прогресса. /Отроков В.В. //Сварщик – 2004. - №4. С. 6-10.
50. Ефетов.Б.М. Ответственность принимаю на себя. /Б.М. Ефетов. К.: Изд. «Наукова думка». – 1984.- 126 с.

51. Хидикели А.В. Адреса винаходу. /А.В. Хидикели - Киев.: Книжково-газетне видавництво, 1962. – 69с.
52. Малишевский И. Рассказы о Патоне /И. К. Малишевский.:Наукова думка. – 1984. – 491с.
53. Патон Е. О. Воспоминания. — К.: Держ. вид-во художньої літ-ри, 1956. — 323 с.
54. Патон Б.Е. Наука техника прогресс. /Б.Е. Патон /Отв. ред. акад. Г.А. Николаев : Изд-во «Наука». – М.: 1987. – 413 с.
55. Патон Б.Е. Достижения и задачи в области сварки под флюсом /Патон Б.Е. // Автомат. сварка .-.1952 №5 .-С.3-7
56. Згуровський М.З., Сливінський А.М. Євгне ОскарівчПатон в столітній історії КПП./ М.З. Згуровський -: НТУУ «КПІ». -2003. -128с.
57. A history of technology. — Oxford, 1958. — 765 p.
58. Simonson R. D. The history of welding / R. D. Simonson. // Monticello Books, Morton Grove, Illinis, 1969. — 420 p.
59. Manna F. Storia della saldatura. Edizioni scientifiche Italiane. / F. Manna — Napoli: 1979. VI — 539 p, VII — 469 p.
60. Nunes A. C. Arc welding origins /A. C. Nunes // Welding journal. — 1976. — № 7. — P. 12–18.
61. Irving B. Way back when. The history of the welding industry, as recorded in the Welding Journal / B. Irving // Welding Journal – 1994. –, №4. –P. 14.
62. Irving B. What welding accomplished «Way back when» / B. Irving // Welding journal. — 1994. — № 1. — P. 59–70.
63. AWS Milestone — the first fifty years // Welding journal. — 1969. — № 11. — P. 15–18.
64. David S.A., Debroy T. Current issues and problems in welding science. / S.A David., T. Debroy // Science. -1992.- 5069. - S.497-502.
65. The history of welding industry, as recorded in the welding journal // Welding journal. — 1994. — № 10. — 16 p.
66. . Manz A. F. A history lesson / A. F. Manz // Practical welding today. — 1998. — 8 p.

67. An industry un retrospect — 50 years of progress // Welding journal. — 1969. — № 4. — P. 165–169.
68. Stacey H. In the Beginning. A look at the development of arc welding / H. Stacey //Welding Journal.- 1994.-, №6. — P. 45-46.
69. A brief history of the welding process // Canad. Mach. And Metalwork. — 1986. — № 6. — 33 p.
70. Barthelmeß H. Aspekte der schweißtechnischen Forschungsgeschichte / H. Barthelmeß //Praktiker, - 1997. — 49, №3. — S. J18-J23.
71. Wapler H.K. Fusschuß für Anlagentechnik / H.K. Wapler //Draht. — 1999. — 50. № 6. — S. 16-28, 30-32.
72. Хофе Д. 100-летие Германского сварочного общества. /Д. Хофе. //Автомат.сварка. — 1997. - №6. — С. 3-7.
73. 100 Jahre DVS. Berlin, 1997. — 232 p.
74. OK la saldatura e giustal Marassi Dino //Riv. mecc. — 1995. —№1069. — С. 70-72.
75. Costa G., Gerald J. History of the JJW–Commission XV / G.Costa, J. Gerald // Weld. World. — 1996. — № 8. — P. 345–355.
76. 100 years of arc welding // Welding review. — 1985. — № 2. — P. 47–48.
77. Winterton K. 5000 B. C.–1963 A. D.: A brief history of welding technology / K. Winterton. // Weld. And Metal Fabric. — 1963. — № 2. — P. 71–76.
78. Ditchfield S. A history of welding / S. Ditchfield // Found.–Weld. Product. Engin. — 1966. — № 11. — P. 21–27.
79. Houldcroft P.T. Sixty years of arc welding / P.T Houldcroft. //Welding Journal and Metal Fabr. — 1993. — 61. №1. —P. 31 – 32, 36.
80. Piersiq W Geschichtliche Entwicklunq der Schweißtechnik. /W. Piersiq //Fertiqunqstechn. und Betr.- 1987, №2. - 759 –760.
81. Die Entwicklung der Autogentechnik in Österreich. Trunschüty Valentin. //Schweisstechnik// (Osterr.),. 1984, №3,P.49-50
82. Anual report of activities during Fiscal 1985, p. 9. //Journal of light welding and construction// vol. 24, №6, 1986.
- 83.Review of the Japan Welding Society, p. 2 1985. //Journal of Japan welding society, 1986, vol. 55, № 5,.

84. Gerhardt A. Entwicklungstendenzen der Lichtbogenschweißtechnik. / A. Gerhardt. //Schweißen und schneiden. – 1986. - № 9- S. 421.

85. Beckert M. Aus der Geschichte des Schweißens – Altmeister und Lehrer der Schweißtechnik / M. Beckert. //Schweißen und schneiden. – 2003. – №12. – S.682, 684-685.

86. Meester D. Development des matériaux de base pour le soudage /D. Meester //Soudage et techniques connexes.-2000.-№ 7/8.-P.17-27. Развитие основных сварочных материалов.

87. Cullison A., Johnson M.R. Welding Forges into the Future. / A. Cullison //Welding journal.-1999.-Vol. 78,-№ 6.-P.37-41.

88. Cullison A., Tarafa C. Welding and the Society intertwined in History /A. Cullison //Welding journal (США).-1999.-Vol. 78. № 6.-P. 48-53.

89. Irving B. Blockbuster Events in Welding's Long History. / B. Irving. //Welding journal -1999.-Vol. 78, № 6– P. 61-64.

90. Aus dem Lot. Das Angebot ist größer als die Nachfrage und Anlagen zum Lichtbogenschweißen //Maschinenmarkt. – 1993. – 99, №33. – С. 24 – 25.

91. Kunzmann P, Harzenmoser V. Jubiläum IIW – Tagung in den USA. /P. Kunzmann //Technica (Suisse). – 1997. -№ 25-26. – S. 65-67

92. Predlog razvistične strznskin zic //Tusek Varil. Tehn. – 1994 – 43. №4. С.107-113|

93. Vanschen W. Vom autogenen Brennschneiden bis zum Elektronenstrahlbohren. /W. Vanschen //Praktiker. – 1993. – 45, №11. – С. 668-670, 673 – 674.

94. Geerlings H. G. Lassen - vast en zeker /H. G Geerlings // Lastechnik. - 1980.- 1,4,7,-8,11-12

95. Акимо Киёаки История развития сваривания сварки в Японии /Акимо Киёаки //Кинзоку, Кинзоки. – 1980. -№1, С.5-6

96. Barthelmeß H. Aspekte der schweißtechnischen Forschungsgeschichte /H Barthelmeß. //Praktiker, - 1997. – 49, №3. – С. J18-J23.

97. Kunzmann P, Harzenmoser V. Jubiläum IIW – Tagung in den USA. /P. Kunzmann., V.Harzenmoser //Technica (Suisse). – 1997. -№ 25-26. – S. 65-67

98. Хоббахер А. Эволюция проектирования и изготовления стальных конструкций /А. Хоббахер // В сб. “Сварные конструкции: достижения и

перспективы нового тысячелетия”. Международная конференция МИС, Флоренция, Италия, 13 июля. – 2000. – с. 85-119

99. A brief history of the welding process. //Can, Mach. and Metalwork.- 1986, - № 6. P.33.

100. Milestones in ESAB’s history. — Göteborg, 1994. — 11 p.

101. Beckert M. S. Aus der Gtschichte des Schweissens, /Schweisstechnische Messen zwischen 1932 und 1939. /S. Beckert M. //Schweissen und schneiden. 2003- №11-S. 631-633

102. Історія Національної академії наук України в суспільно-політичному контексті. 1918-1998. /Кульчицький С., Павленко Ю., Руда С.Храмов Ю. Київ: Фенікс.2000

103. Развитие металлургии в Украинской ССР. – К.: Наукова думка, 1980.

104. Создатели новой техники в Украинской ССР. – К.: Наукова думка, 1991.

105. Кириллин В.А. Страницы истории науки и техники. / В.А. Кириллин– М.: Наука. -1986.

106. Литература о жизни и деятельности Е.О. Патона / Сост. А.Д.Ульянова //Сборник, посвященный 80-летию со дня рождения и 55-летию научной деятельности Героя Социалистического труда, действительного члена АН УССР Евгения Оскаровича Патона. – Киев. .1951. – С.28-30

107. Творцы электросварки Н.Н.Бенардос и Н.Г.Славянов. Библиографический указатель /Сост.: О.Н.Флоринская под ред. В.В.Данилевского. – Л.: Публич. библ. им. М.Е.Салтыкова-Щедрина, 1951. – 45с.

108. Голян-Никольский А.Ю. История техники. / А.Ю. Голян-Никольский. Ч.1-2. К.; Изд-во Киевского политехнического института. 1953-1957. Ч.1,1953. – 154с.; Ч.2. 1957. – 160с.

109. Крик Э. Введение в инженерное дело. /Э. Крик– М., 1970. – 214с.

110. Історія світової культури: навчальний посібник /Кер. авт. кол. Л.Т.Левчук,- 4-е вид., Київ: Либідь,- 2003. -368с.

111 Нормативные основы культуры: Материалы региональной научной конференции. – Уфа: Башкирский гос университет.- 2001, 154с.

112. Бесов Л.М. Наша мета – широкий погляд майбутнього спеціаліста / Л.М. Бесов // Політехнік. – 2006. - №1 – С.3

113. Корнієнко О.М., Жадкевич О.М. Вивчення історії, оцінка напрямків і прогнозування розвитку технологій / О.М. Корнієнко., О.М. Жадкевич. –/Історія науки і техніки у вищих навчальних закладах України: Зб. Наук. праць: За матер. Всеукр. наук.-метод. конференції 13-14 квітня 2006 р. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. С.136-145

114. Салахутдинов Г. М. Методологические проблемы истории техники /Г. М Салахутдинов // Вопросы истории естествознания и техники.- 1985.- №4.- С.40-57

115. Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития / Под ред. К.В. Фролова. / А.Ф. Каменев. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284с.

116. Бесов Л.М. История науки и техники. – 3-е вид., переробл. і доп. / Л.М Бесов – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – 382с.. – Х., 2000.

117. Гріффін Л.О. Технічні науки в загальній системі наук ./ Л.О. Гріффін // Питання історії науки і техніки.- 2007. - №1. -8-16

118. Храмов Ю.А. Школы в науке / Ю.А. Храмов // Вопросы истории естествознания и техники. – 1982. - №3. – С.54-67

119. Наука о науке. Введение в общее науковедение. / Г.М. Добров К.: Наук.думка.-1970.- 320с.

120. Методологические проблемы истории техники и научно-технической революции: Сб. статей. – М.,- 1989.- 112с.

121. Мелешенко Ю.С. Техника и закономерности её развития. / Ю.С. Мелешенко Л.: Ленидат, 1970. - 305с.

122. Ковальченко И.Д. Теоретико – методологические проблемы исторических исследований / И.Д. Ковальченко // Новая и новейшая история .-1995, -№1, с.3-8

123. Корниенко А..Н. Проблемы и методы исследования вклада в развитие техники /А.Н.Корниенко //Тезисы Всесоюзной научно - технической конференции. – Ч. I. – Пермь: ППИ. – 1989. – С. 14 – 19.

124. Корнієнко О.М., Літвінов О.П.. Деякі проблеми застосування джерел історії техніки (на прикладі історії зварювання). /О.М.Корнієнко, О.П.Літвінов // Питання науки і техніки. – 2008. - №1. – С.44-51.

125. Архів АН СРСР, ф.585, д.15, л.1-10

126. Пиленко А.Д. Привилегия на изобретения. / А.Д. Пиленко–СПб. -1889. - 540с.

127. Корниенко А.Н. Состояние вопроса, методы и проблемы исследования жизни и деятельности русских ученых XIX века /А.Н.Корниенко // Материалы Всесоюзной конференции “Развитие электродуговой сварки и резки металлов”. – Киев: Наукова думка. - 1982. – С. 59 – 71.

129. Рудометов И.И. Русские электротехники. Краткий очерк жизни и деятельности. / И.И. Рудометов / Под ред Л.Д.Белькинда. М.- Л.: Ленинград.-1949. – 547с.

130. The centenary of modern welding a commemoration. London, 1985. — 185 p.

131. Корниенко А..Н. Проблемы и методы исследования вклада в развитие техники /А.Н.Корниенко //Тезисы Всесоюзной научно - технической конференции. – Ч. I. – Пермь: ППИ. – 1989. – С. 14 – 19.

132. Хроника. //Автогенное дело .- 1936.- №2.- С.47-48.

133. Корнієнко О.М., Жадкевич О.М. Вивчення в музейних експозиціях історії технології металів / О.М.Корнієнко О.М.Жадкевич // Матеріали 4-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції “ Український технічний музей: історія, досвід, перспективи “,12-13 травня 2005р.- Київ: КПІ, 2005.-С.110-113

134. Конфедератов И.Я. К вопросу о периодизации истории техники / И.Я. Конфедератов //там же. – 1957, вып.4, С.143-146

135. Зворыкин А.А. О некоторых вопросах периодизации истории естествознания и техники» / А.А. Зворыкин. //Вопросы истории естествознания и техники. -1957, вып.4, С.168 - 173

136. Алексеенко В.Д. К вопросу об этапах развития технологии / В.Д. Алексеенко //Там же. – 1957, вып.4, С.29-35

137. Маркс К. Капитал, т.1./ К. Маркс. – М.: Госполитиздат, 1955, 530 с.

138. В.В. Данилевский. Вооружить будущих специалистов знанием истории техники. /В.В. Данилевский -//Вестник высшей школы. – 1948 - №3. – С.18-26
139. Преподавание истории науки и техники в ВУЗах // Вестник высшей школы..- 1948.- №3. - стр. 37-38
140. Пікашова Т.Д., Шашкова Л.О. Основи історії науки і техніки. / Т.Д. Пікашова., Л.О. Шашкова– К.:1997. – 180с.
141. Історія світової культури: навчальний посібник /Кер. авт. кол. Л.Т.Левчук,- 4-е вид., Київ: Либідь,- 2003. -368с.
142. Анализ тенденций и прогнозирование научно-технического прогресса. /Отв. Редактор Г.М.Добров - К.: Наук. думка, 1967. - 344.
143. Добров Г.М. Наука о науке: Начала науковедения. /Г.М.Добров – 3-е изд., доп. и перераб. – К.: Наук.думка, 1989. - 301
144. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. /К.В. Багрянский //Харьков. – Изд-во Харк. университета.- 1968. - 503с.
145. Патон Б.Е. Сварочное производство и проблема качества. / Б.Е. Патон– К.: ИЭС им. Е.О. Патона. - 2001. – 12с.
146. Mutz A. Ne soudage dans l'Antiquité et au Moyen Age / A. Mutz // Journal de la Soudure. — 1980. — № 12. — P. 257–261.
147. Maryon H. Welding in ancient times / H. Maryon // Welding and Metal Fabric. — 1955. — № 10. — P. 383–389.
148. Корнієнко О.М. Генезис і розвиток деяких суттєвих елементів перших способів зварювання /О.М. Корнієнко // Дослідження з історії техніки. 2003. - Вип.3 - С.31-38.
149. Тереножкин А. И. Предскифский период на Днепровском побережье. / А.И. Тереножкин — К.: Изд-во АН УССР, 1961. — 248 с.
150. Халиков А. Х. Железные кинжалы с бронзовыми рукоятками из Волго– Камья /Древности Восточной Европы. / А. Х. Халиков — М.: Наука, 1969. — С. 275–281.
151. Tylecote R. F. The archaeology of metal fabrication in the British Island / R. F. Tylecote // Brit.Weld.J. — 1962. — № 9. — P. 512.

152. Черных Е.Н. Древняя металлообработка на Юго-Западе СССР /Е.Н Черных. – М.: Наука, 1976,
153. Корнієнко О. М., Розвиток джерел нагріву і техніки паяння.: Методичний посібник /О.М.Корнієнко, С.В.Олексієнко., О.М.Жадкевич // Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2006. – 58 с.
154. Рындина Н.В. Древнейшее металлообрабатывающее производство Юго-Восточной Европы./ Н.В. Рындина – М.: 1998
155. Вознесенская Г. А. Техника обработки железа и стали. /Г. А Вознесенская // Металл Черняховской культуры. — М.: Наука, 1972. — С. 8–49.
156. Колчин Б. А. Ремесло Древней Руси / Б. А. Колчин // Очерки русской культуры XIII–XV вв. — М.: Изд-во МГУ, 1969. — С. 156–260.
157. Корнієнко О.М. Тайна булатної сталі. / А.Н. Корниенко // Науковий світ. - 2002.- С.34-37
158. Беккерт М. Мир металла. /М.Беккерт-М.: Мир, 1980. -152с.
159. Татаринов С.И. Древние горняки-металлурги Донбасса./ С.И.Татаринов. – Славянск: Печатный двор, 2003. – 131с.
160. Сварочное дело в СРСР. М.: Машгиз, 1937. – 415с.
161. Машиностроение: Энциклопедический справочник. Т. 5. — М.: Машгиз, 1947. — 543 с.
162. Петров В. В. Известие о гальвани-вольтовых опытах, которые проводил профессор физики Василий Петров. /В. В. Петров — С.–Петербург, 1803. — 194 с.
163. Корниенко А.Н. 200 лет электрической дуге /А.Н Корниенко //Сварочное производство. 2002.-№3.-С.58-59
164. Crowther J. G. British scientists of the nineteenth century. —/ Crowther J. G. London, 1935. — 520 p.
165. История энергетической техники СССР. Т.2. – М.: Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 728с.
166. Корниенко А.Н. У истоков дуговой сварки Ч.І. Електрогефест /А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. – 1996. - № 3. – С. 48 – 55.

167. Корниенко А Н .Возникновение и развитие электрометаллургии в XIX веке. Ч.1 Техника нагрева и оборудование / А.Н. Корниенко // Проблемы СЭМ.-1996. - №2. – С.64-70

168. Сиско Ф. Производство электростали / Ф. Сиско // Пер. с англ. — Л., 1927. — 208 с.

169. Корнієнко О.М. До 100-річчя Першого Всесвітнього конгресу електриків /О.М.Корнієнко // Нариси з історії природознавства і техніки. – Київ. – 1981. – Вип. 28. – С.79 – 84.

170. Корниенко А. Н. У истоков дуговой сварки. Ч.1 Электрогефест / А.Н. Корниенко // Автомати. сварка – 1996. №3 .- С.48 -56

170. Государственный архив Костромской области, ф.121, оп 1, д. 7410.

171. То же, ф.133, оп.25, д. 1528.

172. С.- Петербургский государственный исторический архив, ф. 990, ф. 2, д. 2708.

173. Центральный государственный исторический архив г. Москва, ф. 228, оп. 3, д.302.

174. Центральный государственный исторический архив Российской Федерации, ф. 24, оп. 1, д.56.

175. То же, ф. 24, оп.4, д. 69.

176. То же, ф. 24, оп.4, д. 950.

177. То же, ф. 24, оп. 5, д. 502.

178. Тоже, ф. 24, оп. 5, д. 559.

179. Корниенко А.Н. Создание Бенардосом первого способа дуговой электросварки /А.Н.Корниенко // Тр. Всесоюзной коференции по электродуговой сварке. Киев. –Институт электросварки им. Е.О. Патона.-1981.- С.5-7

180. Корниенко А.Н. Николай Николаевич Бенардос /А.Н. Корниенко //Сварщик. – 2001.- №2.- С.38

181.Хренов К.К., Корниенко А.Н. Сварка металлов в дореволюционной России /К.К. Хренов., А.Н. Корниенко. // Сварка в СССР. – М.: Наука, -1981. –Т.1. –С.19-35.

182. Центральный государственный исторический архив Российской Федерации, ф. 24, оп.4, д.951

183. То же, ф.24, оп.4, д. 928

184. То же, ф. 90, оп. 1, д. 461.

185. Приоритет Н. Н. Бенардоса в применении действия теплоты электрической дуги к свариванию и спаиванию металлов. — Электричество, 1887. № 14/15., июль–август. — 156 с.

186. Центральный государственный исторический архив Российской Федерации, ф. 37, оп. 53, д. 263.

187. То же, ф. 1343, оп. 17, д. 2363, 2364.

188. Kornienko A. N. One hundred years of arc welding./ A. N. Kornienko // Metal construction. — 1982. — № 3. — P. 144–147.

189. Stirrat A. One hundred years of arc welding Letters /A Stirrat // Metal construction. — 1983. — № 2. — 73 p.

190. Корниенко А.Н. Создание Бенардосом первого способа дуговой электросварки. /А.Н.Корниенко. //Тезисы Всесоюзной конференции по электродуговой сварке. — Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. — 1981. — С. 5 – 7.

191. Hospitalier E. Le travail électrique des métaux /E.Hospitalier // Sci. Amer. Suppl. — 1887. — № 610. — P. 9745–9746.

192. Das Benardos'sche Verfahren // Dingjer's Polytechn. J. — 1888. — № 1. — S. — 483–484.

193. Sarcia J. Procédé de M. De Benardos pour le travail électrique des métaux / J.Sarcia // Electrical World. — 1887. — № 2. — 15 p.

194. Трунин Е.Н. Обработка металлов электрическим током по способу Н.Н. Бенардоса: Особое прил. / Е.Н. Трунин.- В. кн.: Баллинг К.А.М. Начальные основания электрометаллургии / Пер. с нем. А.М. Ломоносова. Спб., 1889, с. 125-159.

195. Rühlmann R. Das Benardosische elektrische Löth und Schweissverfahren, denant Electro-Nephaest /R. Rühlmann // Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure. — 1887. — № 40. — S. 863–867.

196. Флоренсов В.Я. Речь при открытии IV электрической выставки. / В.Я.Флоренсов // – Электричество, 1892, янв., с. 7-19.

197. Архив Академии наук РФ, ф. 585, оп.1, д. 25.

198. Hospitalier E. Le travail électrique des métaux / E.Hospitalier // Nature. — 1887. — № 754. — P. 57–58.

199. Лачинов Д. А. Электрическое паяние по способу «электрогефест» /Д. А. Лачинов // Электричество, 1887. — № 7. — С. 64–66.

200. Корниенко А.Н. Четыре поколения Бенардосов на службе новому отечеству /А.Н. Корниенко // Тези міжнародної наукової конференції “Україна-Греція: історія та сучасність”.Київ: Інститут історії України . –1993, С.67-68.

201. Центральный государственный военно-исторический архив РФ, ф. 11, д. 12209, ч. 5.

202. Государственный архив Ивановской области, ф. 108. оп. 1, д. 133.

203. Центральный государственный исторический архив Российской Федерации, ф. 24, оп. 5, д.529.

204. Sarcia J. Soudure électrique de Benardos. /J.Sarcia // Bul.- Soc.- d'encouragement pour l'industrie nat., 4e sér., 1887, 2, juil, p. 478–479 (Séances du Conseil d'administration. Proces verbaux. Séance du 10 juin 1887).

204. Rühlmann R. Das Benardosische elektrische Loth und Schwei — verfahren. / R.. Rühlmann . // Elektrotechn. Z., 1887, № 11, S. 463–471.

205. Rühlmann R. Rundschau. (Die Bearbeitung der Metalle unter Anwendung der Elektrizität). / R.. Rühlmann // Elektrotechn. Z., 1887, № 2, S. 57–60.

206. Rühlmann R. Rundschau. (Die Bearbeitung der Metalle unter Anwendung der Elektrizität). / R. Rühlmann . //Z. VDI, 1887, 31, № 14. — S. 281–284.

207. Рюльман Р. Способ г–на Бенардоса электрического спаивания и сваривания под названием «Электрогефест»./Рюльман Р. // Отчет. — Горн. журн., 1887. — С. 70–81.

209. Тийский. Электрогефест. /Тийский //Нижегородский вестник пароходства и пром–ти, 1887. — № 8, С. 6–67.

210. The Benardos system of electric welding. // Electrical World, 1892, 19, Jan. 16, P. 41–43.

211. Sarcia J. Procédé de M. de Benardoz pour le travail électrique des métaux ./ J. Sarcia // Lumiere électrique. — 1887. — № 25, Juin 18. — P. 551–552.

212. Döpp G. Löthen auf elektrischen Wege. / G. Döpp //Z. Elektrotechn. — 1887. — № 21 - Nov. 1. - S. 524–525.

213. Michaelis H. Procédé Benardos pour le travail électrique des métaux / H. Michaelis // Lumière électrique. — 1887. — № 45. — Nov. 5 — 291 p.

214. Ryves E. J. Welding by electricity: To the editor of the «Electrician». / E. J. Ryves // Electrician, 1887. — 20. Dec.20. — 87 p.

215. Троицкий А. А. О современном состоянии дела электрической обработки металлов по способам Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова: Докл. / А. А. Троицкий // Электротехн. вестн. — 1895. — № 16. — С. 87–97.

216. Kornienko A. N. He joint de feu / A. N. Kornienko // Bulletin «Commission de la R. S. S. d'Ukraine pour J'UNESCO, 1981. — № 2 (22). — P. 44–46.

217. Kornienko A. N. Se implinesc 100 de ani de cind s-au pus bazele procesului tehnologic de material / A. N. Kornienko // Sudura si incercari de materiale. — 1981. — № 2. — P. 43–44.

218. Kornienko A. N. 100 Jahre Lichtlogenschweissen /A. N. Kornienko // Schweisstechnik. — 1981. — № 10. — P. 175–177.

219. Foster H. On the application of the electric arc to machinery and boiler repairs. / H. Foster — Minutes Proc. North — East Inst. Eng. And Ship Builders, 1894/1895, 11. P 327–341.

220. Корниенко А.Н. История использования термохимических и металлургических особенностей дуговой сварки /Корниенко А.Н. //Сб. Управление сварочными процессами. — Тула. — 1980. — С. 3 – 9.

221. Бенардос Н.Н. Проект Всероссийского памятника «Царь-Колокольня» /составлен совместно с М.Ф.Коровиным / Н.Н Бенардос. — СПб.,1890. -16с.

222. Корниенко А.Н. Предложения по ремонту Царь – колокола /А.Н.Корниенко // Литейное производство. — 2000. — № 2. — С. 38 – 39.

223. Корниенко А.Н. Возникновение прогрессивных способов электросварки в последней четверти XIX в. /А.Н.Корниенко // Тезисы Всесоюзной научной конференции по истории науки и техники «В.И. Вернадский и отечественная наука». — Киев: Наукова думка. — 1988. — С. 211 – 213.

224. Корниенко А.Н. Столетие изобретения электрической дуговой сварки /А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. – 1981. - № 2. – С. 1 – 6.

225. Шателен М. А. IV электрическая выставка: Электр. паяние и электр. отливка металлов. /М. А. Шателен // Электричество, 1892. — № 8. — С. 115–121.

226. Корниенко А.Н. Деятельность Императорского Российского технического общества по развитию технологий. /Корниенко А. Н. //Сб. наукових праць “Дослідження з історії техніки”, вип..7: Київ. –КПІ –2005 – С.101-107.

227. Шателен М. А. IV электрическая выставка: Электрич. паяние и электр. отливка металлов. /М. А. Шателен //Электричество, 1892. — № 9/10. — С. 129–135.

228. Корниенко А. Н. У истоков «электрогефеста». /А. Н. Корниенко . — М.: Машиностроение, 1987. — 168 с.

230. Корниенко А.Н., Будяков В.В. Биографический очерк о жизни и деятельности Н.Н.Бенардоса /А.Н. Корниенко // Н.Н. Бенардос. Научно-технические изобретения и проекты. – Киев: Наукова думка, 1982. – С.59-71

231. Каталог изобретений Н.Н.Бенардоса, выставленный на Электрической выставке. – Спб., 1892 – 15с.

232. Каталог изобретений потомственного дворянина Николая Николаевича . Бенардоса. Спб.,1890 – 12с.

233. . Richard G. La soudure électrique / G. Richard //Lumière électrique. — 1891. — № 43. — P. 159–160.

234. Центральный государственный исторический архив УССР, ф. 489, оп. 1, д. 96.

235. Корниенко А. Н. Становление и основные этапы развития дуговой сварки / А. Н. Корниенко // Сб. науч. тр. Всес. науч.–техн. конф. Ч.2. — Пермь, 1989. — С. 219–224.

236. Электрическая отливка металлов горного инженера Николая Славянова // Электричество. — 1891. — № 18. — С. 239–240.

237. Славянов Н. Н. Воспоминания об отце. / Н.Н.Славянов . //Электричество. — 1954. -№6. –С.83-85 .

238. ЦГИА, ф. 40, оп. 2, д.109, л.57

239. Славянов Н. Г. Электрическая отливка металлов: Руководство к установке и практическому применению ее. / Н. Г. Славянов — СПб. — 1892. — 52 с.
240. Архив АН СССР, ф.585, оп.74, д.166, л.9
241. Голубовский Электрическая отливка металлов и ее практическое применение / М. Н. Голубовский // Моск. ведом. — 1892. — 21 дек. — С. 4–5.
242. О реставрации Царь–колокола при помощи электрической сварки // Русские ведомости. — 1893. — 2 апр. — № 88. — 2 с.
243. Возможность исправления Царь–колокола по способу Н. Г. Славянова // Наука и жизнь. — 1893. — № 6. — С. 89–93.
244. Soudure electrique. // Industrie electrique, 1892, 1, N1, Jan. 10, p. 2.
245. Электрическая отливка металлов горного инженера Н. Славянова. — СПб. — 1891. — 35 с.
246. Архив АН СССР, ф. 585, д.23, л.6
247. Всемирная выставка 1900 года в Париже. Очерк работ русских по электротехнике с 1880 по 1900 гг. Объяснительный каталог. — СПб.: Типография Маркушева, 1900. — 105 с.
248. Славянов Н. Г. Труды и изобретения. / Н. Г. Славянов — П.: Пермское изд-во. — 1968. — 299 с.
249. Корниенко А.Н. У истоков дуговой сварки. Ч.II. Электрический горн. Электроотливка /А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка. –1996. -№ 4. –С.48 –56.
- 250 .Корниенко А.Н. Изобретения Н.Г. Славянова и пути развития дуговой сварки /А.Н.Корниенко // Сб. Тезисы “Славяновские чтения (Сварка XXI века)”. – Липецк. – 1999. – С. 17 – 24.
252. Richard G. La soudure électrique / G. Richard // Lumière électrique. — 1891. — № 43. — P. 159–160.
253. Zoethout G. Sviluppo ed impiego pratica degli elettrodi basici / G. Zoethout // Riv. It. Sald. — 1953. — № 1. — P. 12–15.
254. Kjellberg O. Elektrisches schweissen /O. Kjellberg // ESAB–Schriften. — 1967. — № 53. — P. 2–4.
255. Fast J. D. Low–hydrogen welding rods /J. D. Fast . // Welding journal. — 1953. — № 6. — P. 516–520.

256. Snyder W. L. Nested electrodes metal–arc welding / W. L. Snyder . // Ibid. — 1951. — № 11. — P. 557–564.

257. Корниенко А.Н. Оскар Кьельберг – изобретатель сварочного электрода /А.Н.Корниенко //Сварщик. – 2002. - № 2. – С. 47.

258. Hansfield A. The electric furnace, its construction, operation and uses. / A.Hansfield — New York; London, 1914. — 415 p.

259. Корниенко А.Н. Элихью Томсон /А.Н.Корниенко // Сварщик. – 2001. - № 3. – С. 38.

260. Корниенко А.Н. Первые изобретения в области контактной сварки “Ч.І. Электрическая ковка. Стыковая сварка” /А.Н. Корниенко //Автоматическая сварка.– 1996.- № 5.– С 45–52.

261. Final tribute is paid prof. Thomson // General Electric: River Works News. — 1937. — March 15. — P. 1–4.

262. Lemp H. Automatic electric welding machines /H. Lemp // Electrical World. — 1890. — June 7.

263. Thomson E. Electric welding / E.Thomson // Journal Franklin–Institute. — 1887. — 123, № 737. — P. 245–247.

264. Electrical Welding // Engineering. — 1887. — Jan. 7. — 22 p.

265. Thomson E. Electrical Welding /E. Thomson // Electrical World. — 1886. — Dec. 25.

266. McManus J. A. Early contributions of Elihu Thomson to alternating–current development /McManus J. A. // General Electric Review. — 1937. — September. — P. 402–411.

267. Simonson R. D. Resistance becomes a major force in production history of welding. Chapter 3 /R. D. Simonson // Welding Engineer. — 1966. — № 4. — P. 63–66.

268. Catting E. Elektrische Widerstandsschweißmaschinen für Punkt– und Nahtschweißverbindungen von Stahl und Nichteisemetallen /E. Catting . // Werk. und Betr. — 1952. — № 5. — 180 p.

269. Soncini G. C. Macchine saldatrici /G. C. Soncini. // Riv. di Mecc. — 1960. — № 232. — 57 p.

270. Ross I .O. Le macchine per la saldatura a resistenza — za. /I .O. Ross // Ibid. —

63 p.

271. Корниенко А.Н. Первые способы контактной сварки. “Ч. II. Точечная сварка. Роликовая и рельефная сварка / А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. — 1996.- № 6. — С.41 —48

272. Mac Forland A. M. Hints on maintenance of resistance welding /A. M. Mac Forland / Welding Engineer. — 1938. — № 8. — P. 18–19.

273. Spice S. M., Skidmore L. M. Automobile welding. /S. M. Spice ., L. M. Skidmore //Welding journal. — 1941. — № 11. — P. 792–796.

274. Haessly W. F. Fundamentals of multi–spot welding. /W. F. Haessly // Welding Engineer. — 1965. — № 10. — P. 49–52.

275. Gengenbach O. Vielpunkt–Schweisseinrichtungen /O.Gengenbach // Werk. u. Betr. — 1955. — № 6. — P. 297–305.

276. Chapellier E. Les presses et les machines á souder par points multiples /E. Chapellier . // Mach. Outil. — 1956. — № 11. — P. 127–132.

277. Fassbinder. Les électrodes pour la soudure électrique par résistance / Fassbinder.// Techn. Mod. — 1936. — № 4. — P. 7–8.

278. Hal I.M. Years of resistance welding. / I. M. Hal // Welding Engineer. — 1954. — № 3. — P. 36–37.

279. Fletcher T. A. New commercial application of oxygen /T. A. Fletcher // J. Soc. Chemical Industry. — 1888. — № 3. — P. 182–185.

280. Корниенко А.Н. Истоки газэлектросварки /А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка. — 1996. - №9. — С. 52 – 57.

281. Lebrun M. Fifty years of welding in France ./ M.. Lebrun // Brit. Weld. J. — 1954. — № 7. — P. 25–28.

282. Le Chatelier H. Sur la combustion de l’acétylène. /H. Le Chatelier // Comptes rendus des séances de l’Académie des sciences. — 1895. — № 27. — P. 1144–1147.

283. Jefferson T. B. A brief history of welding /T. B. Jefferson // Welding Engineer. — 1966. — № 1. — P. 46–48.

284. Chalmarès G. Le chalumeau oxy–acétylénique, soudure autogène el lampe de projecteur /G. Chalmarès // La Nature. — 1404. — № 1613. — 328 p.

285. Lebrun M. La soudure, le brasage et l'oxycoupage des métaux. 3500 ans d'histoire. / M.. Lebrun — Paris. Académie de Marine, 1961. — 27 p.

286. Weirs A., Orn. T. An early history of oxyacetylene welding and cutting in the United States /A. Weirs .,T. Orn. // Welding Engineer. — 1935. — № 6. — P. 22–24.

287. Гранжон, Дегранж и Роземберг. Выбор и оборудование кислородно-ацетиленовой установки. / Гранжон, Дегранж и Роземберг — Наука и школа, 1927. — 95 с.

288. Liider E. Zur Geschichte der Schweisstechnik. // Schweisstechnik. — 1962. — № 3. — P. 27–32.

289. Курбанов В. Я. Самосварка и различные способы спаивания металлов. / В. Я. Курбанов — Пг.: Науч.-техн. отд. ВСНХ. — 1918. — 204 с.

290. Корнієнко О.М. Газове зварювання /О.М.Корнієнко //Енциклопедія Сучасної України, Т.3, К.: ЕСУ. –2006. - С. 291

291. Турченко Я. И. Николай Николаевич Бекетов. /Я. И. Турченко — М.: Наука, 1954. — 230 с.

292. Корниенко А.Н. Термохимические процессы на службе сварки Автогенная обработка. Термитная сварка /А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка.– 1996. - № 7. – С.42–50.

293. Goldschmidt H. Gesammelte veroffentlichungen./ H. Goldschmidt . — Essen, 1914. — 370 p.

294. Корниенко А.Н. Ирвинг Ленгмюр и атомно-водородная сварка /А.Н.Корниенко //Сварщик. – 2002. - № 3. – С. 47.

295. Митчел У. Американские ученые и изобретатели. /У. Митчел . — М.: Знание, 1975. — 136 с.

296. Alexander P. P. Electric arc and its function in the welding process./ P. P. Alexander // J. AIEE. — 1927. — № 3. — P. 23–29.

297. Alexander P. P. Arc welding in hydrogen and other gases /P. P. Alexander . // G. E. Review. — 1926. — № 29. — P. 169–171.

298. Храмов Ю.А. Ленгмюр И. С.638. / В кн. «История физики».- Киев: «Феникс», 2006. – 1176 с.

299. Добрецов Л. Н. Электронная и ионная эмиссии. / Л. Н. Добрецов — М.; Л.: Наука, 1952. — 415 с.
298. Семенченко В. К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. /В. К Семенченко . — М.: Металлургия, 1957. — 521 с.
299. Langmuir I. Gas Filled tungsten filament lamps high vacuum electron device. /I. Langmuir — N. Y. — 1913. — 380 p.
300. Weinman, Langmuir I. Atomic hydrogen and welding /Weinman, I. Langmuir // General Electric Review. — 1926. — № 29. — P. 160–163.
301. Хренов К. К., Ярхо В. И. Технология дуговой электросварки. /К. К. Хренов., В. И. Ярхо — М.; Л.: НКТМ СССР, 1940. — 405 с.
302. Munter H. Der Einfluss von Schweiß und Schutzgas flammen auf die Vorgänge im Schweißlichtbogen /H. Munter // Elektroschweißung. — 1933. — № 7. — S. 80–84.
303. Шимпке П. Новейшие способы сварки. / П Шимпке— М.: ГОНТИ, 1928. — 120 с.
304. Вишневский М. Н. Атомно–водородная сварка в самолетостроении./ М. Н. Вишневский — М.: Оборонгиз, 1939. — 215 с.
305. Истоки газозлектрической сварки /А.Н. Корниенко // Автом. сварка. – 1996. -№7.-С.42-52.
306. Muller G. Gas, Gasgemische und Dampfe für das Schweißgasweissen / G. Muller // Schweißtechnik. — 1965. — № 11. — S. 501–506.
307. Doan G. E., Smith M. C. Arc welding in controlled atmospheres /G. E. Doan ., M. C Smith . // Welding journal. — 1940. — № 3. — P. 110–116.
308. Alexander P. P. Stability of the welding arc. /P. P. Alexander . // J. AIEE. — 1928. — № 1. — P. 15–18.
309. Gerdien H., Lotz A. Über eine Lichtquelle von sehr hoher Föhelligkeit /H. Gerdien ., A. Lotz . // Wiss. Veröff. Siemens. — 1922. — № 2. — 489 p.
310. Сидлин З.А. История электродного производства. /З.А. Сидлин. – М.: НМЦ “РОТЕКС”, 2004. – 19 с.
311. Корниенко А. Н. Становление и основные этапы развития дуговой сварки /А. Н. Корниенко // Сб. науч. тр. Всес. науч.–техн. конф. Ч.2. — Пермь, 1989. — С. 219–224.

312. Корниенко А.Н. На пути к созданию покрытых электродов /А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. – 1996. - № 10. – С. 45 – 53.

313. De Rop C. Die Automatschweissung mit Netzmantelektroden ./C.De Rop. // Schweissen und Schneiden. — 1953. — № 8. — P. 315–318.

314. Alexander P. P. Welding high carbon steel./P. P. Alexander . // J. A. W. S. — 1932. — № 2. — 8 p.

315. Хренов К. К., Матийко Н. М., Чеканов А. А. Сварка в СССР в период построения и укрепления социалистического общества (1917–1941 гг.) /К. К. Хренов., Н. М. Матийко ., / Сварка в СССР. Т. 1. — М.: Наука, 1981. — С. 60–76.

316. Дятлов В. И. Характеристика существующих толстых электродных покрытий для сварки малоуглеродистой стали. \В. И. Дятлов . — К.: Изд-во ВУАН, 1937. — 70 с.

317. Штерлинг С. З. Достижения сварочной техники в США /С. З. Штерлинг — М.: Оргаметалл. — 1935. — С. 87–89.

318. Wörtmann F. Historique du début des electrodes de soudure a l'arc /F.Wörtmann // Rev. Sécheron. — 1958. — № 11. — P. 1–5.

319. Механизированное изготовление тонко- и толстообмазанных электродов для ручной сварки // Автогенное дело. — 1938. — № 5. — С. 3–6.

320. Лавров С. И. Электроды для дуговой сварки /С. И.Лавров // Сварочный вестник. — 1928. — № 2. — С. 23–24.

321. Санделовски С. Испытания электродов для сварки вольтовой дугой /С.Санделовски // Тр. Третьего всесоюзного автогенного съезда. — Вып. VI. — М.: ОНТИ, 1932. — С. 3–5.

322. Дятлов В. І., Фрумін І. І. Виготовлення товстих електродних покриттів із синтетичних шлаків /В. І.Дятлов., І. І. Фрумін — К.: Вид-во АН УРСР. — 1938. — 47 с.

323. Саханович В. Е. Электроды с внутренней обмазкой для автоматической дуговой сварки /В. Е Саханович . // Автогенное дело. — 1939. — № 1. — С. 7–10.

324. Абиндер А. А., Грязнов И. М. Подготовка сварочной присадки с флюсом внутри для сварки алюминиевых сплавов. /А. А. Абиндер ., Грязнов И. М. // Авиапромышленность. — 1939. — № 5. — С. 38–42.

325. Бардтке П. Сварка / П. Бардтке / Техническая энциклопедия. — М.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. — Т.20. — С. 179–250.
326. Welding progress in 1933. Pictorial review // J. American Weld. Soc. — 1934. — № 5. — P. 4–
327. Novak W., Proschek F. Das aluminothermische schweißen von grangub / W. Novak // Schweißtechnik. — 1965. — № 11. — P. 497–500.
328. Ahlert W. Neuzeitliches Thermit–Schuweißen // Schweißen und Schneiden. — 1963. — № 9. — P. 430–434.
329. Гельман А.С. Точечная сварка стальных листов толщиной 8-10мм /А.С.Гельман.//Автогенное дело . – 1941. - №4. – 1-7с.
330. Доенин В.Н., Ковалёв Н.П., Шварцбург П. М.- :Контактная сварка /В.Н Доенин., Оргаметалл. -1936. – 56с.
331. Доценко В.Е. Контактная сварка рельсов. / В.Е. Доценко М.: Машгиз. -1948. – 310с.
332. Knobbe K. H. Moderne Hochfrequenz / К. Н. Knobbe // Generatoren zum Verschweissen tnermoplastischer Kunststoffe, Elektronische Rundschau. — 1959. — № 6. — 201 p.
333. Автоматизация процесса сварки оплавлением // Автогенное дело. — 1940. — № 6. — С. 16–18.
334. Сукновалов А. Е. Завод «Электрик»: Исторический. Очерк. / А. Е. Сукновалов — Л.: Лениздат, 1967. — 411 с.
335. Корнієнко Р.О. «Форд», «Дженерал Електрик» та початок розвитку контактного зварювання в СРСР / Р.О. Корнієнко //Дослідження з історії техніки. Київ.–«Політехніка»-«Екмо». – 2003. – С.68-75.
336. Алексеев А.А., Ахун А.И. Электрическая контактная сварка. /А.А. Алексеев, А.И. Ахун. М.;Л.: ОНТИ, 1935. -218с.
337. Page M. L. Trends in stud welding / M. L Page // Metal Construction and Brit. / Welding journal. — 971. — № 11. — P. 398–399.
338. Electric welding for repairs. // Engineering. — 1895. — May 10. — P. 610–611.
339. Spizig S. Energiesysteme der modernen Punkt–und Nahtschweissmaschinen / S.

Spizig // Schweissen und Schneiden. — 1954. — № 5. — P. 192–196.

340. Корниенко А.Н. Применение сварки в искусстве скульптуры /А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. – 1996. - № 2. – С. 51 – 56.

341. Сварка в судостроении / В. С. Головченко, А. А. Казимиров, В. Д. Мацкевич и др. // Сварка в СССР. Т.2. — М.: Наука, 1981. — С. 251–266.

342. Корниенко А.Н. Создание первых сварных металлических конструкций. Ч. I. Корабли. Воздушный и наземный транспорт / А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка. – 1996. - № 11. – С. 40 – 47.

343. Wallin H. N., Schade H. A. The design and construction of an arc welded naval auxiliary vessel / H. N Wallin ., H. A Schade . // J. A. W. S. — 1932. — № 12. — P. 5–7.

344. Abel I.A. Experiments on the application of electric welding to large structures /I.A. Abel // Proceed of the Institute of civil Engineering. — 1918. — Vol. 207, Pt. II. — 104 p.

345. Masumoto C., Okuda N., Nomura H. Development of arc welding technology in Japan / C. Masumoto // The Centenary of Modern Welding 1885–1985. — London: Welding Institute. — 1985. — P. 811–819.

346. Мацкевич В. Д. Виктор Петрович Вологдин. К. 100–летию со дня рождения / В. Д. Мацкевич / Сварочное пр–во. — 1983. — № 9. — С. 1–2.

347. Горбачев И. В. Деятельность В. П. Вологодина на Дальнем Востоке /И. В. Горбачев. // Сварочное пр–во. — С. 2–4.

348. Корниенко А.Н. Вологдин Виктор Петрович – первый сварщик-судостроитель /А.Н. Корниенко. // Сварщик. –2002. -№4. –С.54

349. Диденко Б. А. Практика электросварки в речном судостроении. /Б. А. Диденко . — Х.: Машстройиздат, 1936. — 176 с.

350. Maurice L. Fifty years of welding in France /L.Maurice // Brit. Welding Journal. — 1954. — № 7. — P. 293–295.

351. Gawne I. O. Welding on U. S. S. New Orleans. /I. O. Gawne // J. A.W.S. — 1932. — № 4. — P. 9–22.

352. Moore G. H. Welding in a large shipyard. /G. H. Moore // Ibid. — 1933. — № 11. — P. 26–31.

353. Мацкевич В. Д. Применение толстообмазанных электродов ОММ-2 для судостроения /В. Д. Мацкевич . // Судостроение. — 1936. — № 11. — С. 810–815.
354. Davis A. F. Arc welding in transportation /A. F. Davis // J. A. W. S. — 1934. — № 7. — P. 3–4.
355. Jahre Strecker. Shweißtechnik // Bruht. — 1979. — № 4. — S. 209–212.
356. Wood I. P. Welding in the aircraft industry / I. P. Wood . // Welding Journal. — 1940. — № 6. — P. 476–481.
357. Clexton E. W. Welding in the construction of naval aircraft. /E. W. Clexton . // J. A. W. S. — 1933. — № 2. — P. 9–10.
358. Owens C. J. Welding corrosion-resisting steels /C. J. Owens // Ibid. — 1934. — № 4. — P. 9–13.
359. Ganahl C. Spot welding of stainless steel in applied to aircraft /C.Ganahl . // Ibid. — 1932. — № 4. — P. 60–62.
360. Научно-производственное объединение по технологии машиностроения ЦНИИТМАШ. — М.: Машиностроение, 1980. — 229 с.
361. West L. M. Hardenability evaluation of welding electrodes / L. M. West // Welding Journal. — 1955. — № 5. — P. 399–404.
362. Попов С. В. Точечная сварка алюминиевых сплавов - /С. В. Попов // Авиапромышленность. — 1938. — № 3. — С. 3–7.
363. Поплавко М. В. Контактная сварка в самолетостроении /М. В. Поплавко // Ibid. — № 10. — С. 8–11.
364. Корниенко А.Н., Арсенюк В.В. Сварка в самолетостроении СССР до 1940г. /А.Н.Корниенко, В.В. Арсенюк. // Сб. Тезисы Всесоюзной научно - технической конференции. — Ч. III. — Пермь: ППИ. — 1988. — С. 4 – 5
365. Гельман А. С., Чередничок В. Т. Контактная сварка / А. С. Гельман ., В. Т. Чередничок // Сварка в СССР. Т. 1. — М.: Наука, 1981. — С. 351–376.
366. Davis A. F. Automatic carbon arc welding in the automotive Held / A. F. Davis // J. AWS. — 1934. — № 3. — P. 16–20.
367. Bowlus C.A. Welding in the Automotive Industry /C.A. Bowlus. // Journal of the AWS. — 1933. - №11. - P.12-16

368. David P.C. Welding operations on the Ford V-8 P./C. David //Welding journal. – 1935. - №10. – P.8-10.
369. Mac Forland A.M. Hints on maintenance Welding machines /A.M. Mac Forland // Welding Engineer. – 1938. -№8. -P.18-19
370. История героической борьбы за Нижегородский автозавод. – Н.-Новгород, 1931. – 85с.
371. Бобринский Ю. Н. Сварка в автомобилестроении /Ю. Н. Бобринский // Сварка в СССР. — М.: Наука, 1981. — С. 300–311.
372. Keogh A. F. Automobile repair welding / A. F. Keogh // J. A. W. S. — 1932. — № 11. — P. 5–7.
373. Meadowcroft J. W. Manufacturing all-steel automobile bodies / J. W. Meadowcroft // Ibid. — 1926. — № 3. P. 24–26.
374. Welding progress in 1933 // Ibid. — 1934. — № 1. — P. 4–11.
375. Чистосердов А.Н. Сварка на Коломенском машиностроительном заводе им. В.В.Куйбышева /А.Н. Чистосердов // Автогенное дело. – 1938. - №11. – С.23-27.
376. Черных В. В., Гитлевич А. Д. Сварка в тяжелом транспортном и энергетическом машиностроении В. В.Черных ,А. Д. Гитлевич // Сварка в СССР. — М.: Наука, 1981. — С. 267–284.
377. Lebrun M. Fifty years of welding in France /M. Lebrun . // British Welding journal — 1954. — № 7. — P. 293–295.
378. Gooderham R. M. Arc welding bridges in Great Britain /R. M. Gooderham // J. A. W. S. — 1933. — № 7. — P. 11–13.
379. Горбачев И. В. Виктор Петрович Вологдин и дальневосточная школа сварки /И. В.Горбачев // В кн.: Наш Дальневосточный политехнический. — Владивосток: Дальневост. кн. изд-во. — 1971. — С. 206–217.
380. Николаев Г. А., Возняк В. И. Сварное пролетное строение со сквозными фермами длиной 12 м./Г. А. Николаев // Исследование сварных конструкций. — М.; Л.: Гострансиздат, 1932. — С. 105–114.
381. Barthelmeß H. Aspekte der schweißtechnischen. Foyschungs-geschichte / H. Barthelmeß // Praktiker. — 1997. — № 3. — S. 18–23.

382. Bryla S. The first arc-welding bridge in Europe / S. Bryla // Welding journal. — 1930. — № 9. — P. 71–75.

383. Сварка в мостостроении / В. И. Труфяков, В. Ю. Шишкин, К. П. Большаков, В. И. Кириенко // Сварка в СССР. Т.2. — М.: Наука, 1981. — С. 218–251.

384. Передерий Г. П. Методы проектирования сборных железобетонных мостов / Г. П. Передерий // Сварка на мосту лейтенанта Шмидта. — М.: Трансжелдориздат, 1946. — 79 с.

385. Kelly D. S. An arc-welding highway bridge design /D. S. Kelly . // J. A. W. S. — 1933. — № 5. — P. 18–21.

386. Mac Cormack T. B. Bridge welding practice in Australia . /T. B. Mac Cormack // Ibid. — 1933. — № 5. — P. 10–12.

387. Fish G. D. Adaptable types of welded connections for buildings /G. D. Fish // Ibid. — 1934. — № 1. — P. 20–23.

388. Tracy H. H. Welding joints for seismic stresses in tall building /H. H. Tracy // Ibid. — 1932. — № 11. — P. 14–16.

389. Bryla S. Prudential house in Warsaw (Poland) . /S. Bryla // Ibid. — 1934. — № 5. — P. 26–29.

390. Whitney I. T. Pediatric building for the Boston city hospital, shop and field welding /I. T. Whitney . // Ibid. — 1932. — № 7. — P. 20–22.

391. Гудаев М. М. Дуговая сварка металлоконструкций: Из практики СССР /М. М. Гудаев . — К.: Оргметалл, 1936. — 176 с.

392. Шухман А. Электросварка железных конструкций Днепростроя /А. Шухман // Автогенное дело. — 1930. — № 9. — С. 10–12.

393. Jenning C. H. Boulder dam cylinder gate and nose liner welding problems / C. H. Jenning // J. AWS. — 1934. — № 5. — P. 17–23.

394. Davis A. F. Arc welding helps save \$ 1000000 on Boston o tunnel /A. F. Davis // Ibid. — 1932. — № 6. — P. 15–16.

395. Reisser S. M. Welding of structures — past, present and future / S. M. Reisser // Metal constr. and British welding journal. — 1972. — № 2. — P. 68–72.

396. Корниенко А.Н. Создание первых сварных конструкций. Мосты. Резервуары. Трубопроводы /А.Н. Корниенко. // Автомат. сварка. 1996.- №12.- С. 38-46.
397. Welding progress in 1934 // J. AWS. — 1935. — № 1. — P. 4–12.
398. Davis A. F. Some welding applications /Davis A. F. // Ibid. — 1934. — № 10. — P. 2–9.
399. Bright T. F. Use of welding in plate fabrication /T. F. Bright // Ibid. — 1932. — № 3. — P. 5–10.
400. Ferguson B. Arc welding in penetrating new construction fields /B. Ferguson // Ibid. — 1933. — № 3. — P. 12–13.
401. Barkow A. G. History of pipe line welding /A. G. Barkow // Ibid. — 1977. — № 9. — P. 15–23.
402. Патон Е. О., Дятлов А. В. Ударные испытания электросварных и клепаных балок. /Е. О. Патон , А. В. Дятлов — М.: Транспечать НКПС, 1930. — 20 с.
403. Shoonmaker T. P. The Welding Journal — six decades of reporting. /T. P. Shoonmaker // Welding journal — 1982. — № 1. — P. 17–23.
404. Патон Е. О., Козловский Н. И., Горбунов Б. Н. Двутаверовые балки, сваренные из трех листов. / Е. О. Патон — К.: ВУАН, 1931. — 20 с.
405. Патон Е. О. Изыскание рационального типа электросварочных сквозных ферм. / Е. О. Патон, — К.: ВУАН, 1931. — 18 с.
406. Патон Е. О., Козловский Н. И. Опытное сравнение прикрепления продольных балок к поперечным. / Е. О. Патон, Н. И. Козловский — К.: ВУАН, 1931. — 17 с.
407. Шалевич В.А. Общие основы техники, или политехника /В.А.. Шалевич/ Учеб. Пособие. – К.: УМК Минобр., 1989. –116 с.
408. Патон Б. Е. Сварочные головки и питание их током /Б. Е Патон . / Отв. ред. Е. О. Патон. — К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 67 с.
409. Патон Б. Е. Электрооборудование автосварочных установок / Б. Е. Патон // В кн.: Руководство по автоматической сварке под флюсом. / Под ред. Е. О. Патона и В. В. Шеверницкого. — К.; Львов: Гостехиздат, 1948. — С. 103–116.

410. Патон Б. Е. Принципы действия сварочных головок /Б.Е. Патон // Ibid. — С. 217–240.

411. Патон Б. Е. Автоматическое регулирование мощности сварочной дуги / Б.Е. Патон // Ibid. — С. 260–277.

412. Никитин В. П. Развитие научно–технической мысли в области электрической дуговой сварки /В. П. Никитин // В кн.: Юбилейный сб., посвященный 30–летию Великой Октябрьской соц. революции. — М.; Л.: Изд–во АН УССР, 1947. — Т. 2. — С. 634–644.

413. Корниенко А.Н. История создания первых систем автоматического управления сварочными процессами /Корниенко А.Н. //Сб. Управление сварочными процессами. – Тула: ТПИ. – .1979. – С. 70 – 75.

414. Никитин В. П. Свойства вольтовой дуги в применении к электрической сварке металлов, обуславливающие свойства источника тока, питающего дугу /В. П. Никитин // Электричество. — 1928. — № 9–10. — С. 59–71.

415. Simonson R. D. Electricity sparks the history of welding. /R. D. Simonson . // Welding Engineer. — 1966. — № 3. — P. 35, 42, 44.

416. Procedure handbook of arc welding design and practice. — Cleveland Lincoln Electric Co. — 1957. — 185 p.

417. Хренов К. К. Производство электросварочных машин и аппаратуры в СССР /К. К. Хренов. // Автогенное дело. Труды 2–го съезда по автогенному делу. — Ленинград, 1930. — С. 18–24.

418. Малевич К. К. История завода — пути становления и развития /К. К. Малевич // Сварочное пр–во. — 1996. — № 11. — С. 2–3.

419. Burke J. First arc–welding generator /J. Burke // J. A. W. S. — 1933. — № 5. — P. 30–32.

420. Самойлов П. В. Электрическая сварка металла вольтовой дугой переменного тока./ П. В. Самойлов // Вестн. металлопромышленности. — 1925. — № 1–2. — С. 17–21.

421. Tilton D. A. Automatic A. C. arc welding of class I pressure vessel ./D. A. Tilton // Welding journal. — 1934. — № 12. — 27 p.

422. Holslag C. J. The disadvantages and history of A. C. arc welding./ C. J. Holslag // J. A. W. S. — 1934. — № 3. — P. 12–16.
423. Holslag C. J. Thomson E. Electric welding /C. J. Holslag . // J. Franklin–Inst. — 1887. — № 737. — P. 245–247.
424. Корниенко А.Н. Развитие источников питания и аппаратов управления электрической сваркой / А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. – 1997. - № 8. – С. 41 – 49.
425. Briggs R. L. The development of resistance welding I electrical power control devices /R. L. Briggs // J. A. W. S. — 1934. — № 3. — P. 8–11.
426. Алексеев А. А. Регулирование дуги при дуговой сварке /А. А. Алексеев // Вести инженеров и техников. — 1940. — № 11. — С. 15–17.
427. Патон Е. О. Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса. — 2-е изд. /Е. О. Патон — М.; Л.: Машгиз. — 1941. — 110 с.
428. Корниенко А.Н. Создание дуговой автоматической сварки Ч. I. Автоматизация процесса. Механизмы регулирования, подачи и перемещения /А.Н.Корниенко // Автоматическая сварка. – 1997. - № 3. – С. 38–45.
429. Viall E. Electric welding./ E. Viall — New York, 1921. — 218 p.
430. Алексеев А. А. Автоматическая дуговая сварка./ А. А. Алексеев — М.: ОНТИ, 1937. — 210 с.
431. Лашкевич Р. И. Автоматическая головка для дуговой электросварки металлическим электродом / Р. И. Лашкевич // Автогенный работник. — 1932. — № 9. — С. 14–16.
432. Буштедт П. П. За сварочный автомат советской конструкции. Автомат для дуговой электросварки металлическим электродом /П. П. Буштедт // Автогенное дело. — 1932. — № 4. — С. 3–7.
433. Патон Е. О. Институт электросварки Всеукраинской академии наук / Е. О. Патон // Автогенное дело. — 1934. — № 10. — С. 5–6.
434. Патон Е. О. Современное положение автоматической сварки в СССР / Е. О. Патон // Автогенный работник. — 1937. — № 1. — С. 1–4.

435. Кунис М. И. Сварка автоматической головкой переменного тока типа «АГЭ» системы инж. Шапиро / М. И. Кунис . // Автогенное дело. — 1938. — № 12. — С. 20–21.

436. Automatic tractor type Tornado // Electrical world. — 1928. — № 13. — 667 p.

437. Штерлинг С. З. Достижения сварочной техники в США. / С. З. Штерлинг— М., Л.: Оргаметалл. — 1935. — С. 87–89.

438. Level L. R. Automatic welding with heavily coated electrodes ./L. R. Level . // J. American Weld. Soc. — 1932. — № 11. — P. 29–30.

439. Патон Є. О. Конференція з питань техніки автоматичного зварювання / Є. О. Патон // Вісті АН УРСР. — 1936. — № 7/8. — С. 121–128.

440. Патон Е. О., Островская С. А. Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса (достижения за последние три года). / Патон Е. О. — М.: Машгиз, 1944. — С. 21–22.

441. Патон Е. О. Установки для автоматической сварки балок. / Патон Е. О. — Изд-во Харьковского дома техники, 1941. — 33 с.

442. Devoe R. N. Development and research in welding /R. N. Devoe // J. A. W. S. — 1927. — № 4. — P. 55–59.

443. Дятлов В. І., Слущька Т. М., Фрумін І.І. Автоматичне зварювання стрижневими електродами великого діаметра. / В.І. Дятлов., Т. М. Слущька., І. І. Фрумін — К.: Вид-во АН УРСР, 1938. — 48 с.

444. Чеканов А.А. История автоматической электросварки. / А.А. Чеканов М.: Изд-во АН СССР. -1963. -158с.

445. Дульчевский Д. А. Электросварка металлов закрытой вольтовой дугой / Д. А. Дульчевский // Железнодорожные мастерские. — 1923. — № 4. — С. 17–18.

446. Radecker W. Das Ellira-schweissverfahren /W.Radecker . // Stahl und Eisen. — 1947. — № 3–4. — P. 42–45.

447. Патон Б. Е., Макара А. М. Экспериментальное исследование процесса автоматической сварки под слоем флюса. / Б. Е Патон., А. М. Макара — К.: ИЭС АН УССР, 1944. — 92 с.

448. Hruska J. Automatic welding in the construction of diesel–electric locomotives / J. Hruska . // Welding journal. — 1940. — № 2. — P. 114–118.

449. Whittemore C. R. Welded steels pipe for city of Toronto water works extension /C. R. Whittemore // Ibid. — 1939. — № 3. — P. 159–162.

450. Wallace R. M. Single-pass electric welding of unfired pressure vessels / R. M. Wallace // Ibid. — 1939. — № 1. — P. 17–19.

451. Хренов К. К., Кушнерев Д. М. Керамические флюсы для автоматической сварки и наплавки. / К. К. Хренов., Д. М. Кушнерев — К.: Держтехвидав УРСР., 1961. — 263 с.

452. Cohn W. M. Automatic arc welding / W. M. Cohn // Welding Engineer. — 1940. — № 9. — P. 17–19.

453. Патон Е.О..Автоматическая сварка голым электродом под слоем флюса./ Е.О. Патон.- Харків, 1940. – 32с.

454. Севбо П. И. Автосварочные головки Института электросварки АН УССР. / П. И. Севбо // Сб., посвященный семидесятипятилетию со дня рождения и пятидесятилетию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1946. — С. 141–152.

455. Патон Е.О.. До історії розвитку автоматичного електродугового зварювання / Е.О. Патон. // Вісті АН УРСР.-1941.-№ 2/3. –С.28-37

456. Патон Б. Е. Усовершенствование флюсовой аппаратуры /Б. Е. Патон // Автогенное дело. — 1943. — С. 153–158.

457. Патон. Б.Е. Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны./ Б.Е. Патон. // Электричество,1945. - № 3. С.14-19

458. Корниенко А.Н. Создание дуговой автоматической сварки. Ч II. Защита зоны сварки и легирование металла шва. Опыт внедрения /А.Н. Корниенко. //Автоматическая сварка. – 1997. - № 4. – С. 51 – 58.

459. Патон В. Е. Усовершенствование флюсовой аппаратуры /В. Е. Патон . // Сб., посвященный семидесятипятилетию со дня рождения и пятидесятилетию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1946. — С. 153–158.

460. Бринберг И. Л., Хробастов М. Ф. Передвижная установка для автоматической сварки под флюсом типа сварочный трактор / И. Л. Бринберг // Автогенное дело. — 1945. — № 11/12. — С. 30–31.

461. Бринберг И. Л. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. / И. Л. Бринберг — М.: НТО Машпром, 1960. — 92 с.

462. Сборник трудов по автоматической сварке под флюсом. — К.: Изд-во АН УССР, 1948. — Т.1. — 390 с.

463. Электродуговая сварка и наплавка // Новое оборудование и материалы. — М.: Машгиз, 1945. — 64 с.

464. Патон Б. Е. Американское оборудование для автоматической сварки под флюсом / Б. Е. Патон // Автогенное дело. — 1947. — № 2. — С. 29–31.

465. Патон Б. Е. Исследование процесса нагрева электрода при автоматической сварке под флюсом / Б. Е. Патон // Тр. по автомат. сварке под флюсом. — 1948. — № 2 — С. 13–28.

466. Патон Б. Е., Остапенко Н. Г. Электрические процессы при сварке под флюсом / Б. Е. Патон., Н. Г. Остапенко / Автомат. сварка под флюсом / Под ред. Е. О. Патона, В. В. Шеверницкого и Б. И. Медовара. / Б. Е. Патон — М., К.: Машгиз, 1948. — С. 8–22.

467. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Элементы расчетов цепей и аппаратов переменного тока для дуговой сварки. / Б. Е. Патон., В. К. Лебедев — К.: Изд-во АН УССР, 1953. — 145 с.

468. Аппаратура для механизированной дуговой и электрошлаковой сварки и наплавки / А. И. Чвертко, В. Е. Патон, М. Г. Бельфор и др. — К.: Наукова думка, 1978. — 200 с.

469. Kratz J. A. Shape welding by submerged-melt process // Welding Engineering. / J. A. Kratz — 1948. — № 1. — P. 36–39

470. Frei M. Un nouveau pont de chemin de fer en acier soude / M. Frei // Rev. Soudure. — 1953. — № 3. — P. 119–125.

471. Zeyen K. L. Die Verfahren der Lichtbogenschweißung / Zeyen K. L // Schweißen und Schneiden. — 1953. — № 1. — S. 12–26.

472. Патон В. Е., Новиков И. В. Универсальный сварочный трактор ДТС–23 / В. Е. Патон., К. L. Zeyen // Автоматическая сварка. — 1951. — № 2. — 17 с.

473. Михайлов Г. П. Сварка трехфазной дугой. / Г. П. Михайлов — М.; Свердловск: Машгиз, 1956. — 239 с.

474. Scott R. F. Fabrication and welding of steel penstocks . / R. F.Scott // Welding journal. — 1954. — № 7. — P. 663–669.

475. Hofman J. H. Fabrication of bridge plate girders by submerged arc welding / J. H. Hofman // Ibid. — 1955. — № 8. — P. 741–761.

476. Cut maintenace costson tough welding jobs with the new unionmelt DSH welding head // Ibid. — 1955. — № 1. — P. 36–39.

477. Automatic head mount // Ibid. — 1954. — № 9. — 914 p.

478. Wahlstedt I. Swedish ship welding /I. Wahlstedt // Welding and metal fabric. — 1956. — № 3. — P. 86–92.

479. Combination welding ang trimming machine // Ibid. — 1954. — № 12. — 1211 p.

480. High–speed welding of nonferraus tubing // Ibid. — 1953. — № 11. — P. 1098–1099.

481. Целиков А. И., Патон Б. Е. Производство сварных труб больших диаметров в ФРГ и во Франции / А. И. Целиков, Б. Е. Патон // Сталь. — 1960. — № 3. — С. 243–253.

482. Knight D. E. Multiple electrode welding by «Union-melt» process /D. E Knight . // Welding journal. — 1954. — № 4. — P. 303–312.

483. Чвертко А. И., Патон В. Е. Создание оборудования для механизированной сварки и спецэлектрометаллургии / А. И. Чвертко., В. Е. Патон // Сварка и специальная электрометаллургия. — К.: Наукова думка, 1984. — С. 209–220.

484. Авторское св-во СССР 82915. Способ автоматической электродуговой сварки / Г. З. Волошкевич. Заявл. 27.11.48 № 389336; Оpubл. Б. И. 1950, № 12. МКИ-12h, 30/17.

485. Патон В. Е. Магнитные аппараты для сварки с принудительным формированием / В. Е. Патон // Проблемы дуговой и контактной электросварки. — М.; К.: Машгиз, 1956. — С. 301–309.

486. Внедрение новых способов сварки в промышленности / Сб. Под ред. Б. Е. Патона. — К.: Гостехиздат, 1954. — № 1. — 192 с.

487. Патон Б. Е., Дудко Д. А., Рублевский И. Н. Шланговая полуавтоматическая сварка под флюсом. / Б. Е. Патон., Д. А. Дудко — М., К.: Машгиз, 1952. — 92 с.

488. McKeighan J. S. Manual «Hidden-ars» process / J. S. McKeighan // Welding Engineering — 1948. — № 7. — 40 p.

489. Kubli R. A.. Manually guided submerged-arc welding / R. A. Kubli // Welding journal. — 1954. — № 9. — P. 835–838.

490. Патон Б. Е. Дроссель насыщения в сварочной цепи . / Б. Е. Патон // Тр. по автомат. сварке под флюсом. — 1949. — № 5. — С. 53–71.

491. Никитин В. П. Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. / В. П. Никитин — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 380 с.

492. Патон Б. Е. Автоматическое регулирование электрошлаковой сварки / Б. Е. Патон // Автоматическая сварка. — 1955. — № 3. — С. 39–50.

493. Рабинович И. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги: Учеб. пособие для вузов. / И. Я. Рабинович— М.: Машгиз, 1958. — 325 с.

494. Заруба И. Я. Минимальное напряжение холостого хода генераторов постоянного тока для автоматической сварки под флюсом /И. Я. Заруба // Автоматическая сварка. — 1950. — № 3. — С. 26–30.

495. Каспржак Г. М., Рабинович И. Я., Сидорков В. Б. Выбор рациональных схем выпрямителей для дуговой сварки / Г. М. Каспржак, И. Я. Рабинович, В. Б. Сидорков . // Ibid. — 1960. — № 3. — С. 3–11.

496. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. / Б. Е. Патон — М.: Машиностроение, 1966. — 359 с.

497. Богданов В. Н., Вилль В. И. Работы ВНИИЭСО в области создания сварочного оборудования / В. Н. Богданов ., В. И. Вилль // Автоматическая сварка. — 1970. — № 5. — С. 25–28.

498. Корнієнко О.М. Електрозварювання та генезис спеціальної електрометалургії / О.М.Корнієнко // Сварка и родственные технологии.- .Київ: ІЕЗ ім.. Є.О.Патона, 2002. –С.5-6

499. Патон Б. Е. Автоматическое регулирование электрошлаковой сварки./ Б. Е. Патон // Автоматическая сварка. — 1955. — № 3. — С. 39–50.

500. Корнієнко О.М.. Про розвиток дугового електрозварювання /О.М.Корнієнко // Нариси з історії природознавства. – 1981. - № 27. – С.19-24.

501. Патон Б. Е. 100 лет электродуговой сварке /Б. Е. Патон / Сб.: Развитие электродуговой сварки и резки металлов в СССР. — К.: Наукова думка, 1982. — С. 4–16.

502. Патон В. Е. Магнитные аппараты для сварки с принудительным формированием /В. Е. Патон // Проблемы дуговой и контактной электросварки. — К.: Машгиз, 1956. — С. 301–309.

503. Meyer A. R. Automatic horizontal and vertical welding of field erected structures /A. R. Meyer. // Welding journal. — 1954. — № 7. — P. 651–655.

504. Деятельность общества // Записки Император. Русского технического общества. — 1880. — Вып. 2. — С. 68–69.

505. Корнієнко О.М. Діяльність Імператорського Руського технічного товариства з розвитку електротехнологій. /О.М.Корнієнко //Дослідження з історії техніки. 2005 - Вип. 7.– С. 18-23

506. Деятельность общества // Записки Русского технического общества, СПб, 1888. – вып.9

507. Устав Русского технического общества // Записки. Рус. техн. о–ва. — 1867. — Вып. 1. — С. 15–18.

508. Корниенко А.Н История становления научно-технических обществ, исследовательских и учебных центров в области сварки (1890 – 1940 гг.) /А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка. – 1997. - № 2. – С. 48 – 54.

509. Деятельность общества // Записки Император. русского технического общества, СПб, 1891. – Вып.4. –С.192

510. О лекции Ф.А.Пироцкого «Передача силы на любые расстояния с помощью гальванического тока (проводники – рельсы и провод)» 12 апреля 1880г. //С.-Петербургские ведомости. – 1880. -12 апр. (№102); 16 апр. (№106).

511. Деятельность общества // Записки Император. русского технического общества, СПб, 1888. – Вып.9

512. . Деятельность общества // Записки Император. русского технического общества, СПб, 1881. – Вып.2. –С.64

513. Флоренсов В. Я. Речь при открытии IV электрической выставки /В. Я. Флоренсов // Записки Император. рус. техн. о–ва. — 1892. — Вып. 5. — С. 82.

514. Корнієнко О.М. Історичні передумови формування наукових основ зварювання /О.М. Корнієнко. //Тр. 3-ї Всеукраїнської “Актуальні питання з історії техніки.” - Київ: 2004.- С.83-84.

515. Деятельность общества // Записки Император. русского технического общества, СПб, 1892. – Вып.5. –С.134

516. Об избрании Н.Н.Бенардоса в члены Руського технического общества.// Записки Император. рус. техн. о-ва. — 1894. — Вып. 7. — Прил., С.107

517. Шателен М.А. Электрическое паяние, отливка и уплотнение металлов в применении к заводской практике. /М.А. Шателен–СПб., 1896. – 13с.

518. Постановление Президиума Высшего совета народного хозяйства СССР № 37 от 17 января 1931 г. // Автогенное дело. — 1931. — № 2. — 4 с.

519. Николаев Г. А. Подготовка инженерных и научных кадров по сварке в СССР /Г. А. Николаев // Вопросы сварки и мостостроения. — К.: КГУ, 1972. — С. 22–30.

520. Николаев Г.А. Элементы сварных конструкций. /Г.А. Николаев– М., Л.: Госстройиздат, 1033 – 318 с.

521. Корниенко А.Н. Переход сварки на научные основы /А.Н. Корниенко // Автоматическая сварка – 1998.- №4. С.40-48

522. Никитин В. П. Электрические машины и трансформаторы для дуговой сварки. /В. П. Никитин — М.: Энергоиздат, 1934. — 260 с.

523. Дуэль А.М. Итоги производственной деятельности Украинского автогенного треста за 1932-1934 гг./ А.М. Дуэль // Автогенный работник. – 1935. - №1.- С.15-19

524. КорнієнкоО.М. Засновник радянської школи зварювання /О.М.Корнієнко //Нариси з історії природознавства. –1981. вип..27. – С.115-121

525. Simonson R. D. Out of nessity an awakening. The history of welding / R. D. Simonson // Welding Engineer. — 1966. — № 7. — P. 55–59.

526. Корниенко А.Н. Конфорд Эвери Адамс и Американское сварочное общество /А.Н.Корниенко // Сварщик. – 2004. №2. –С.43-44

527. Shoonmaker T. P. Ninety–nine years of welding in the United States of America — a perspective / T. P. Shoonmaker // The Centenary of Modern Welding 1885–1985. — London, 1985. — P. 12–18.

528. Submerged melt welding: Welding handbook. — N. Y.: AWS, 1942 — P. 243–267.

529. Корниенко А.Н. Маккензи – первый «сварочный» журналист /А.Н.Корниенко // Сварщик.- 2003 - №1 – С.40

530. Out golden jubilee // Welding Engineer. — 1966. — № 1. — P. 43–45.

531. Foysungsgeschichte // Praktiker. — 1997. — № 3. — S. 18–23.

532. Parsloe G. Fifty years of the Welding Institute / G. Parsloe // Metal Construction and Brit. Weld. J. — 1973. — № 1. — P. 3–6.

533. From an art to a science // Weld. and metal fabrication. — 1993. — № 1. — P. 19–30.

534. Gerbeaux H. Welding in France /Gerbeaux H. // Metal Construction and Brit. Weld. J. — 1973. — № 11. — P. 458–463.

535. Rougeron R. Soudure: un Institut et un peuple d'utilisateurs /R Rougeron // Ind. et Techn. —1976. — № 331. — P. 49–58.

536. The Swiss welding association // Welding Review. — 1988. — № 2. — 102 p.

537. 45 years ago // Welding Engineer. — 1966. — № 1. — 88 p.

538. Klosse P. 40 Jahre Schweistechnische Zentralanstalt Wien /P. Klosse // Schweissen und Schneiden. — 1970. — № 8. — P. 335–336.

539. Bylin E. Svetskommissione — 40 ar. / E. Bylin // Svetsen. — 1971. — № 3. — P. 35–36.

540. 50–летие Японского общества по сварке // Есэцу гаккай–Яп. Weld. Soc. — 1976. — № 9. — С. 745–762 [Яп.].

541. Николаев Г. А. Подготовка кадров сварочного производства /Г. А. Николаев // Сварка в СССР. — Т.1. — М.: Наука, 1982. — С. 241–245.

542. Simonson R. D. Welding and the war / R. D. Simonson // Welding Engineer. — 1966. — № 6. — P. 53–58.

543. Research work in welding at the university of Illinois // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 273–277.

544. Репецкий В. А. Международному институту сварки 40 лет / В. А. Репецкий // Сварочное пр-во. — 1989. — № 5. — 45 с.

545. Вологдин В. П. Исследование скорости плавления электродов при сварке металлической вольтовой дугой / В. П. Вологдин // Вести Дальневост. отд. Академии наук СССР. — 1932. — № 1, 2. — С. 15–21.

546. Окерблом Н. О. Проектирование сварных конструкций. —/ Н. О. Окерблом Л.: КУБУЧ. — 1934. — 326 с.

547. Патон Е. О., Горбунов Б. Н. Расчет и проектирование электросварных конструкций в промышленном строительстве. / Е. О. Патон — М.; Л.: Госстройиздат, 1933. — 120 с.

548. Испытание сварного буксирного парохода на 150 л.с. / Е. О. Патон, Н. И. Козловский, В. В. Шеверницкий и др. — К.: ВУАН, 1932. — 21 с.

549. Патон Е. О., Гребельник П. Г. Опытное сравнение сварной и клепаной рам тракторной сеялки. / Е. О. Патон., П. Г. Гребельник — К.: Изд-во ВУАН, 1932. — 19 с.

550. Шеверницкий В. В. Плоские днища сварных цилиндрических резервуаров/В. В. Шеверницкий — К.: Изд-во АН УССР, 1941. — 28 с.

551. Вопросы сварного вагоностроения. — К.: Изд-во АН УССР, 1941. — 223 с.

552. Paton E. O, Gorbounov B. M., Berstein D. O. Behavior of residual stresses under external load and their effect on strength of welder structures /E. O Paton // Welding journal. — 1944. — № 9. — P. 473–480.

553. Paton E. O. Effect of high welding current intensify on shrinkage /E. O Paton // Ibid. — 1944. — № 1. — P. 60–62.

554. Vice-president talks to young people // Brit. Weld. J. — 1968. — № 2. — 95 p.

555. Bibber L. C. The experimental determination of the values of fillet welds in tension /L. C. Bibber // Amer. Weld. Soc. J. — 1932. — № 5. — P. 16–19.

556. Freeman F. R. Strength of arc welding joints /F. R.. Freeman . // Ibid. — 1932. — № 6. — P. 16–24.

557. Rosenthal D. The effect of ductility on security in welded connections — methods of its measurement /D. Rosenthal // Ibid. — 1932. — № 5. — P. 5–9.

558. Charpy G. Note on the testing of metals by bending of a notched bar in impact /G Charpy // Bullet. Soc. Eng. Civil. — 1901. — № 6. — P. 213–218.

559. Standart tests for weld // Amer. Weld. Soc. J. — 1930. — № 10. — P. 67–71.

560. A list of fundamental research problems in welding // Ibid. — 1935. — № 8. — 1–13.

561. Christoph H. Prufung der Handschweisser — der Weg zur weltweiten Normung /H. Christoph . // 100 Jahre DVS. — Berlin, 1997. — P. 29–37.

562. Кислюк Ф. И. Выбор рода электрического тока для электрической сварки. /Ф. И. Кислюк — М.; Л.: ОНТИ, 1935. — 139 с.

563. Научно–технические работы по сварке. — М.: Госмашметиздат, 1934. — 216 с.

564. Mc Manus J. L. Early contribution of Elihu Thomson to alternating–current development / J. Л Mc Manus // Gener. Electr. Rev. — 1937. — September. — P. 402–411.

565. Алексеев А. А., Ахун А. И. Электрическая контактная сварка. /А. А. Алексеев., А. И. Ахун — Л.: Ленинград, КУБУЧ. — 1935. — 30 с.

566. Кочергин К. А. Контактная сварка. /К. А. Кочергин — Л.; М.: ОНТИ, 1936. — 104 с.

567. Рабинович И. Я. Основы теории контакта и теплопередачи при стыковой сварке сопротивлением /И. Я.Рабинович // Тр. МММИ им. Н. Э. Баумана. — М.: Машгиз, 1939. — 88 с.

568. Кочановский Н. Я. О давлении паров металла при сварке оплавлением и влиянии их на качество сварки /Н. Я. Кочановский // Автогенное дело. — 1939. — № 10/11. — С. 17–21.

569. Миткевич В. Ф. О вольтовой дуге. /В. Ф.Миткевич // Изв. С.–Петербургского политехнич. ин–та. — 1905. Т.4. — С. 78–102.

570. Корниенко А.Н. Историческая обусловленность создания в XIX веке отечественной электротехники /А.Н.Корниенко //Тезисы научно-технической конференции. – Иваново: ГКНТ СССР. – 1983. – С. 3 – 5.

571. Нейман Л.Р., Академик Владимир Федорович Миткевич, его труды и прогрессивные идеи. К 100 летию со дня рождения. /Л.Р. Нейман // Электричество. — 1972. - №8.. — С. 12-18.

572. Корниенко А.Н. Выдающийся ученый, инженер, педагог /А.Н.Корниенко // К 100-летию К.К. Хренова // Автоматическая сварка. —1994. -№ 2. —С.56–57.

573. Spraragen W., Lengyel A. Physics of the arc and the transfer of metal in arc welding /W. Spraragen ., I .A. Lengye // Weld. J. — 1943. — № 1. — P. 2–42.

574. Saha M. N. Ionization in the solar chromosphere /M. N. Saha // Phizik. Mag. — 1920. № 11. — P. 472–488.

575. Langmuir I. Positive ion currents in the positive column of the mercury arc / I.Langmuir // Genereeng Elecktric Rev. — 1923. — № 10. — P. 731–735.

576. Langmuir I. The pressure effect in gaseous discharge /I. Langmuir // J. Franklin Inst. — 1923. — №11. — P. 751–762.

577. Jackson C. The science of ars welding /C Jackson .// Welding journal. — 1960. — № 4. — P. 129–140; № 5. — P. 177–190; № 6. — P. 225–231.

578. Fundamental research problems in welding — compiled by the American bureau of welding // Americ. Weld. Soc. J. — 1932. — № 2. — P. 5–7.

579. Slepian J. Transition from glow to arc discharge at atmospheric pressure /J. Slepian . // J. Franklin Inst. — 1926. — № 1. — P. 79–90.

580. Slepian J. Theory of current transference at the cathode of an arc /J.Slepian . // Phys. Rev. — 1926. — № 5. — P. 407–412.

581. Патон Б. Е., Макара А. М. Экспериментальное исследование процесса автоматической сварки под слоем флюса. /Б. Е. Патон., А. М. Макара . — К.: Изд-во Portevin A., Seferian D АН УССР. — 1944. — 92 с.

582. Jones O. C. Controlling heat effects /O. C.Jones // Amer. Weld. Soc. J. — 1935. — № 7. — P. 5–7.

583. Portevin A., Seferian D. The thermal study of welding /A.Portevin., D. Seferian // Chaleur et Industrie. — 1935. — № 9. — P. 409–417.

584. Portevin A., Seferian D. Mathematical theory of heat distribution during welding and cutting // Welding journal. — 1941. — №. 5. — P. 220–234.проверить.?

585. Rosenthal D., Schmerbeer R. Thermal study of arc welding, experimental verification Ibid. /D Rosenthal., R. Schmerbeer— 1938. — № 4. — P. 180–191.

586. Rosenthal D. Etude théorique du régime thermique pendant la soudure à l'arc /D. Rosenthal // 2 Congrès National des Sciences. — Bruxelles, 1935. — P. 1277–1292.

587. Рыкалин Н. Н. Распространение температуры в элементах конструкций при сварке /Н. Н. Рыкалин // Автогенное дело. — 1938. — № 5. — С. 7–12.

588. Рыкалин Н. Н. Сварка строительной стали повышенной прочности. /Н. Н. Рыкалин . — М.: Стройвоенмориздат. — 1948. — 76 с.

589. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. Н. Н./ Рыкалин . — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.

590. Paschkis V. Establishment of cooling curves of welds by means of electrical analogy /V. Paschkis . // Welding journal. — 1943. — № 10. — P. 462–483.

591. Doan G. E. and Schulte. The metallurgy of «pure iron welds» /G. E. Doan // Amer. Weld. Soc. J. — 1936. — № 9. — P. 229–235.

592. Spraragen W. and Claussen G. E. The effect of oxygen on the welding of steel a review of the literature to July 1, 1937 /W. Spraragen and G. E. Claussen // Welding journal. — 1939. — № 1. — P. 7–11.

593. Houldcroft P. T. Steps in welding innovation and achievement /P. T. Houldcroft // Metal Constr. and Brit. Weld. J. — 1973. — № 11. — P. 443–450.

594. А.с. СССР 64057. Способ дуговой автоматической сварки под слоем флюса / Б. А. Иванов, В. И. Дятлов // Заявл. 29.05.42; Оpubл. в бюлл. изобретений СССР. — 1944. — № 7/8. — 39 с.

595. Кузмак Е. М. Свариваемость стали /Е.М. Кузмак // Автогенное дело. — 1946. — № 8/9. — С. 18–22.

596. Harder O. E., Voldrich C. B. Weld-bead hardness tests on some carbon, nickel and nickel-chromium War Department Steels. /O. E. Harder., C. B. Voldrich // Welding journal. — 1943. — № 10. — P. 441–450.

597. Hopkins R. K. Physical properties of fusion-welded joints /R. K. Hopkins // Amer. Weld. Soc. J. — 1935. — № 3. — P. 4–7.

598. Weldable alloy materials // Welding Engineer. — 1942. — № 10. — P. 48–65.

599. Bibber L. C., Heuschkel J. The spot weldability of low carbon and other aircraft steels /L. C. Bibber., J. Heuschkel // Welding journal. — 1943. — № 12. — P. 616–632.

600. Edson A. P. Weld hardening and steel composition. /A. P. Edson // Metals and Alloys. — 1942. — № 6. — P. 18–21.

601. Spraragen W., Claussen G. E. Weldability–fusibility tests /W.Spraragen., G. E. Claussen // Welding journal. — 1942. — № 2. — P. 65–86.

602. Duma J. A. Fish–eyes in weld metal /J. A. Duma // Welding Engineer. — 1940. — № 10. — P. 25–28.

603. Hopkin G. L. A suggest cause and general theory for cracking of alloy steels on welding /G. L. Hopkin . // Welding journal. — 1944. — № 11. — P. 605–608.

604. Рабинович И. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги. /И.Я. Рабинович.— М.: Машгиз, 1958. — 170 с.

605. Никитин В. П. Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. /В.П. НИКИТИН — М.: Изд–во АН СССР, 1934. — 218 с.

606. Doan G. E. Concerning crater formation /G. E. Doan // J. A. W. S. — 1932. — № 7. — P. 17–18.

607. Hensel E. R., Larsen E. I. A study of the transformation points of fusion weld metal /E. R. Hensel., E. I. Larsen . // Ibid. — 1932. № 4. — P. 28–32.

608. Suits C. C. Arcs–recent investigations C.C. Suits/ // Welding journal. — 1938. — № 10. — P. 35–38.

609. Holslag C. J. Electro fusion /C.J. Holslag . // Ibid. — 1935. — № 8 — P. 11–12.

610. Hill P. M. Tests on NE 8630 steels welded air frames /P. M. Hill. // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 300–307.

611. Field G. H., Sutton H., Dixon H. E. Spot welding of light alloys / G. H., Field., H. Sutton., H. E. Dixon // Ibid. — 1943. — № 11. — P. 573–592.

612. Miller M. A. Aluminum brazing sheet–fundamentals of metal flow /M.A. Miller // Ibid. — 1943. — № 12. — P. 596–612.

613. Doan G. E., Stout D. A. Tentative system for preserving ductility in weldments /G. E Doan., D. A. Stout . // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 278–300.

614. Wilson W. M. The effect of speed of loading upon the ductility of steel structural members . /W. M.Wilson // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 317–325.

615. Houldcroft P. T. Welding process developments and future trends /P. T. Houldcroft . // The centenary of modern welding, 1885–1985. — Cambridge, 1985. — P. 5–1—5–9.

616. Fatigue strength of fillet, plug and slot welds in ordinary bridge steel // Welding journal. — 1945. — № 7. — P. 378–400.

617. Hoyt S. L., Sims C. E., Banta H. M. Metallurgical factors of underbead cracking / S.L. Hoyt., C. E. Sims., H.M. Banta // Ibid. — № 9. — P. 433–445.

618. Carr H. L. Weldability tests of value body material /H.L Carr // Ibid. — P. 446–451.

619. Ryan J. J. Photoelastic models reveal weld stress /J. J.Ryan // Welding Engeneer. — 1947. — № 2. — P. 46–48.

620. Timoshenko S., Mc Cullough G. H. Elements of strength of materials. /S. Timoshenko., G. H. Mc Cullough — 2nd ed. — New–York: Dwan Nostrand Comp., 1940. — 172 p.

621. Патон Є. О. Інститут електрозварювання / Є. О. Патон// План науково–дослідних робіт Академії наук УРСР на 1954 рік. — Київ, 1945. — С. 181–182.

622. Корниенко А.Н. Переход сварки на научные основы /А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка. — 1998. - № 4. — С. 40 – 48.

623. Корниенко А.Н. История становления научно-технических обществ, исследовательских и учебных центров в области сварки (1890-1940гг.) /А.Н. Корниенко //Автоматическая сврка. —1997. -№2 —С.48-54

624. Корниенко А.Н. Выдающийся учёный, инженер, педагог (к 100-летию акад. К.К. Хренова). /А.Н.Корниенко //Автомат. сварка.- 1994.-№2 —С.55-57

625. Электросварка под водой. /К.К. Хренов К.К. //Сварщик. — 1933. - №1,2. — С.23-24.

626. Корниенко А.Н. 50- лет дуговой автоматической сварке под флюсом /А.Н.Корниенко //Сб. “Юбилей науки”. — Киев: Наукова думка. — 1990. — С. 395–402.

627. Автоматическая сварка под флюсом / Под ред.. Е.О.Патона. — К.; М.: Машгиз, 1948. — 344с.

628. Патон Е.О., Шеверницкий В.В. Сталь для сварных мостов. / Е.О. Патон., В.В. Шеверницкий // Тр. по автомати. сварке под флюсом. — 1949. - №6. — С.3-7

629. Касаткин Б.С. О стали для сварных мостов / Б.С. Касаткин // Там саме. -1948. - № 5. С. 3-21
630. Osborn C.J. , Scotchbrook A.F., Stout R.D. Composition and property variation of two steels. / C.J. Osborn., A.F.Scotchbrook., R.D. Stout //Welding journal. – 1949. - №3. – P. 227-235
631. Sweeney E.F. Evaluation of brittle research / E.F. Sweeney..// Ibid. – 1953. – №1. – P. 1-13.
632. Diebold I.M. Fusion welding of sheet metal. / I.M. Diebold // Ibid. – 1946. – №8.- P.724-732.
634. Jackson C.E., Shrubbsall A.E. Energy distrution in electric welding / C.E Jackson., A.E. Shrubbsall. // Ibid. – 1950. - №5. – P. 231-241.
635. Проблемы дуговой и контактной электросварки / Сб., посвящённый памяти Е.О.Патона / Под ред. Б.Е.Патона. – М.: К.; Машгиз, 1956. – 320с.
636. Погодин-Алексеев Г.И. Теория сварочных процессов. /Г.И. Погодин-Алексеев– М.: Машгиз, 1950. – 416с.
637. Прохоров Н.Н. Горячие трещины при сварке. / Н.Н. Прохоров - М.: Машгиз, 1952 – 220с.
638. Дятлов В. И. Особенности металлургических процессов при сварке под флюсом. /В. И. Дятлов . // Сб., посвященный 80–летию со дня рождения и 55–летию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд–во АН УССР, 1951. — С. 261–268.
639. Рабкин Д. М. Распределение температур в ванне при автоматической сварке алюминия /Д. М. Рабкин // Автоматическая сварка. — 1956. — № 2. — С. 1–11.
640. Медовар Б. И. К вопросу о природе горячих трещин в сварных швах /Б. И. Медовар . // Автоматическая сварка. — 1954. — № 4. — С. 5–12.
641. Рыкалин Н. Н. Развитие теории распространения теплоты при сварке применительно к распределенным источникам. /Н. Н. Рыкалин . // Тепловые процессы при сварке. — М.: Изд–во АН СССР, 1953. — Вып. 2. — С. 3–9.
641. Рабкин Д. М., Фрумин И. И. Причины образования горячих трещин в сварных швах /Д. М. Рабкин., И.И. Фрумин // Автоматическая сварка. — 1950. № 2. — С. 3–43.

643. Фрумин И. И., Кирдо И. В., Подгаецкий В. В. Образование пор в сварных швах и влияние состава флюса на склонность к порам / И.И. Фрумин., И. В.Кирдо., В.В. Подгаецкий // Автогенное дело. — 1949. — № 10. — С. 1–11.

644. Астафьев А. С. Исследование свариваемости легированной конструкционной стали / А. С. Астафьев // Металловедение и терм. обработка. — М.: Metallurgizdat, 1950. — С. 284–301.

645. Любавский К. В. Металлургия сварки сталей плавлением: Спр. по сварке. / К.В. Любавский — М.: Машгиз, 1962. — Т. 1. — С. 51–140.

646. Кузмак Е. М. Проба металла на чувствительность к термическому циклу сварки / Е. М. Кузмак . // Автогенное дело. — 1951. — № 3. — С. 9–11.

647. Исследования по технологии сварки: Сб. статей / Под ред. К. В. Любавского. — М.: Машгиз, 1953. — 200 с.

648. Островская С. А. Влияние скорости остывания на структуру и механические свойства металла шва, сваренного автоматом и полуавтоматом под флюсом и вручную качественным электродом / С.А.Островская // Автоматическая сварка. — 1951. — № 6. — С. 3–22.

649. Патон Б. Е. Исследование процесса нагрева электрода при автоматической сварке под флюсом / Б. Е. Патон // Сб. тр. по автомат. сварке под флюсом. — 1948. — № 3. — С. 13–28.

650. Патон Б. Е. Процесс плавления электрода при автоматической сварке под флюсом / Б. Е. Патон // Тр. по автомат. сварке под флюсом. — 1949. — № 4. — С. 22–38.

651. Вопросы прочности и технологии сварки: Сб. статей / Под ред. Г. А. Николаева. — М.: Машгиз, 1955. — 256 с.

652. Исследования динамической прочности сварных конструкций вагонов: Сб. статей. К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 195 с.

653. Патон Е. О. Исследование работы пролетных строений мостов / Е. О. Патон // Избр. труды. — К.: Изд-во АН УССР, 1959. — Т. 1. — 579 с.

654. Николаев Г. А., Прохоров Н. Н. Напряжения в процессе сварки. / Г.А. Николаев., Н.Н. Прохоров — М.: Изд-во АН УССР, 1949. — 88 с.

655. Статическая прочность сварных соединений из малоуглеродистой стали / В. В. Шеверницкий, В. И. Новиков, Г. В. Жемчужников, В. И. Труфяков // Под ред. Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1951. — 87 с.

656. Окерблом Н. О. Сварочные напряжения в металлоконструкциях. /Н.О. Окерблом — М., Л.: Машгиз, 1950. — 144 с.

657. Current welding research problems // Welding journal. — 1953. — № 7. — P. 305–315.

658. Jackson C. E. This thing called weldability /C. E. Jackson // Ibid. — 1949. — № 6. — P. 246–264.

659. Luther G. G., Jackson C. E., Hartbower C. E. A review and summary of weldability testing carbon and low alloy steels /G. G. Luther., C. E. Jackson C. E. Hartbower // Ibid. — 1946. — № 7. — P. 376–396.

660. Feely F. J., Hrtko D., Kleppe S. R. Report on brittle fracture studies /F. J. Feely., D Hrtko., S. R. Kleppe . // Ibid. — 1954. — № 2. — P. 99–111.

661. Portevin A. Welding research in the European Universities /A. Portevin . // Ibid. — P. 98–112.

662. Макара А. М., Медовар Б. И. О характере первичной кристаллизации сварочной ванны /А.М. Макара., Б. И. Медовар // Автогенное дело. — 1948. — № 12. — С. 25–27.

663. Доброхотов Н. Н. Критические замечания о работах д-ра техн. наук, проф. К. В. Любавского по теории сварочных процессов /Н. Н. Доброхотов . // Ibid. — 1949. — № 3. — С. 26–28.

664. Алов А. А. Вопросы теории сварочных процессов. /А. А. Алов . — М.: Машгиз, 1959. — 160 с.

665. Любавский К. В. К вопросу взаимодействия элементов и их окислов в сварочной ванне /К. В. Любавский // Автогенное дело. — 1948. — № 10. — С. 30–31.

666. Петров Г. Л. Взаимодействие металла и шлака в процессе электрической дуговой сварки /Г. Л. Петров // Тр. ЛПИ, 1949. — № 3. — С. 33–51.

667. Бринберг П. Л. Вопросы управления режимом автоматической сварки под флюсом /П. Л. Бринберг. // Тр. ЛПИ, 1947. — № 6. — С. 19–21.

668. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Остапенко Н. Г. Замечания к статье П. Л. Бринберга «Вопросы управления режимом автоматической сварки под флюсом» /Б. Е. Патон., В.К. Лебедев., Н. Г. Остапенко. // Тр. ЛПИ, 1948. — № 4. — С. 30–32.

669. Skolnik M. Energy distribution in tltetric welding /M.Skolnik // Welding journal. — 1950. — № 10. — P. 520–521.

670. Flanigan A. E., Vocarsky S. I., McGuire G. B. Effect of low-temperature cooling rate on ductility of arc welds in mild steel /A. E. Flanigan., S. I. Vocarsky., G. B McGuire // Ibid. — № 9. — P. 459–466.

671. Mallett M. W., Rieppel P.J. Underbead cracking of welds cathodically charged with hydrogen /M. W. Mallett., P.J. Rieppel // Ibid. — № 7. — P. 343–347.

672. Carpenter S. T., Roop W. P. Tensile tests of internally notched plate specimens /S.T. Carpenter., W.P.Roop // Ibid. — № 4. — P. 161–183.

673. Henry O. H., Claussen G. E., Linnert G. E. Welding metallurgy-iron and steel /O. H. Henry., G. E., Claussen // Ibid. — № 3. — P. 216–226.

674. Henry O. H., Claussen G. E., Distribution of relative ductility in steel weldments /O. H. Henry., G. E. Claussen // Ibid. — № 2. — P. 59–73.

675. Comstock G. F. Discussion of article on stress corrosion cracking /G. F. Comstock // Ibid. — 1946. — № 10. — P. — 699–728.

676. Nippes E. F., Savage W. F. The weldability of ship steels /E.F. Nippes., W. F Savage // Ibid. — 1946. — № 11. — P. 776–787.

677. Патон Е. О. Автоматическая сварка швов с принудительным формированием /Е. О. Патон // Автогенное дело. — 1950. — № 11. — С. 5–9.

678. Волошкевич Г. З. Сварка вертикальных швов методом принудительного формирования /Г. З. Волошкевич . // Сб., посвященный 80–летию со дня рождения и 55–летию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд–во АН УССР, 1951. — С. 371–395.

679. Патон В. Е. Магнитные аппараты для сварки с принудительным формированием /В. Е. Патон . // Проблемы дуговой и контактной электросварки. — К.: Машгиз, 1956. — С. 301–309.

680. Meyer A. R. Automatic horizontal and vertical welding of field erected structures /A.R. Meyer // Welding journal. — 1954. — № 7. — P. 651–655.

681. Патон Б. Е. Современная сварочная техника и перспективы её развития. /Б. Е. Патон — К.; М.: Машгиз, 1957. — 99 с.

682. Мазель А. Г. Развитие сварки в газовой и нефтяной промышленности в послевоенный период /А. Г. Мазель // Сварочное пр-во. — 1996. — № 3. — С. 32–35; № 4. — С. 29–33.

683. Патон Б. Е. Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны /Б. Е. Патон . // Электричество. — 1945. — № 3. — С. 3–5.

684. Медовар Б.И. Автоматическая сварка под флюсом наклонным электродом /Б. И. Медовар .. — К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 83 с.

685. Патон Е. О., Медовар Б. И. Успехи в развитии автоматической сварки за последние 2–3 года /Е.О. Патон., Б.И. Медовар. // Вестник машиностроения. — 1950. — № 3. — 40 с.

686. Михайлов Г. П. Технология сварки трехфазной дугой./Г.П. Михайлов— М.; Свердловск: Машгиз, 1952. — 255 с.

687. Рыжков Н. И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. /Н. И. Рыжков — М.: Машиностроение, 1970. — 384 с.

688. Медовар Б. И., Потапьевский А. Г. Об автоматической сварке расщепленным электродом /Б. И. Медовар., А. Г. Потапьевский // Автоматическая сварка. — 1955. — № 3. — С. 60–69.

689. Ashotov T. Twinarc submerged arc welding /T Ashotov . // Welding journal. — 1954. — № 4. — P. 350–355.

690. Мандельберг С. Л., Лопата В. Е. О подключении сварочных трансформаторов при двухдуговой сварке с повышенной скоростью. С. Л. Мандельберг., В. Е. Лопата // Автоматическая сварка. — 1962. — № 10. — С. 85–87.

691. Мандельберг С. Л., Лопата В. Е. Влияние магнитного поля сварочного контура на форму швов, сваренных внутри трубы /С. Л. Мандельберг., В. Е. Лопата // Ibid. — 1962. — № 3. — С. 1–6.

692. Мандельберг С. Л. Многодуговая сварка на повышенной скорости с колебаниями электрода поперек шва /С. Л.Мандельберг // Автоматическая сварка. — 1965. — № 2. — С. 8–13.

693. Мандельберг С. Л., Сидоренко М. Н., Лопата В. Е. Трехдуговая сварка под флюсом труб большого диаметра с повышенной скоростью /С. Л. Мандельберг., М. Н. Сидоренко., В. Е. Лопата // Автоматическая сварка. — 1982. — № 1. — С. 36–38.

694. Патон Б. Е. Сварочные головки и питание их током / Б. Е. Патон / Отв. ред. Е. О. Патон. — К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 67 с.

695. Патон Б. Е. Электрооборудование автосварочных установок // В кн.: Руководство по автоматической сварке под флюсом. / Под ред. Е. О. Патона и В. В. Шеверницкого. — К.; Львов: Гостехиздат, 1948. — С. 103–116.

696. Патон Б. Е. Принципы действия сварочных головок / Б. Е. Патон // Ibid. — С. 217–240.

697. Патон Б. Е. Автоматическое регулирование мощности сварочной дуги /Б. Е. Патон // Ibid. — С. 260–277.

698. Никитин В. П. Развитие научно-технической мысли в области электрической дуговой сварки /В. П. Никитин // В кн.: Юбилейный сб., посвященный 30-летию Великой Октябрьской соц. революции. — М.; Л.: Изд-во АН УССР, 1947. — Т. 2. — С. 634–644.

699. Патон Б. Е., Медовар Б. И. Сварочная техника за рубежом. / Б. Е. Патон — М.: ВИНТИ, 1958. — 48 с.

700. Походня И. К. Горячие (кристаллизационные) трещины при наплавке высокоуглеродистых высокохромистых сталей. Горячие трещины в сварных соединениях, слитках и отливках. /И. К. Походня . — М., 1959. — С. — 68–91.

701. Походня И. К. О влиянии скорости охлаждения на образование кристаллизационных трещин /И. К. Походня // Автоматическая сварка. — 1955. — № 6. — С. 64–73.

702. Фруммин И. И., Походня И. К. Исследование температуры сварочной ванны /И. И. Фруммин., И.К Походня. // Ibid. — 1955. — № 4. — С. 13–30.

703. Опыт внедрения механизированной наплавки в металлургии / В. В. Подгаецкий, И. К. Походня, В. П. Субботовский и др. // Внедрение новых способов сварки в промышленность: Сб. ст. — К., 1960. — Вып. 3. — С. 115–139.

704. Лебедев В. К., Яворский Ю. Д. Применение критериев подобия для определения режимов контактной сварки. /В. К.Лебедев., Ю. Д.Яворский // Автоматическая сварка. — 1960. — № 8. — С. 37–44.

705. Кучук–Яценко С. И., Лебедев В. К. О сварке непрерывным оплавлением изделий, имеющих большое контактное сечение /С.И.Кучук–Яценко., В. К. Лебедев // Ibid. — 1956. — № 1. — С. 29–37.

570. Корниенко А.Н. Историческая обусловленность создания в XIX веке отечественной электротехники /А.Н.Корниенко //Тезисы научно-технической конференции. – Иваново: ГКНТ СССР. – 1983. – С. 3 – 5.

571. Нейман Л.Р., Академик Владимир Федорович Миткевич, его труды и прогрессивные идеи. К 100 летию со дня рождения. /Л.Р. Нейман // Электричество. – 1972. - №8.. – С. 12-18.

572. Корниенко А.Н. Выдающийся ученый, инженер, педагог /А.Н.Корниенко // К 100-летию К.К. Хренова // Автоматическая сварка. –1994. -№ 2. –С.56–57.

573. Spraragen W., Lengyel A. Physics of the arc and the transfer of metal in arc welding /W. Spraragen., I.A. Lengye // Weld. J. — 1943. — № 1. — P. 2–42.

574. Saha M. N. Ionization in the solar chromosphere /M. N. Saha // Phizik. Mag. — 1920. № 11. — P. 472–488.

575. Langmuir I. Positive ion currents in the positive column of the mercury arc / I.Langmuir // Genereeng Elecktric Rev. — 1923. — № 10. — P. 731–735.

576. Langmuir I. The pressure effect in gaseous discharge /I. Langmuir // J. Franklin Inst. — 1923. — №11. — P. 751–762.

577. Jackson C. The science of arc welding /C Jackson. // Welding journal. — 1960. — № 4. — P. 129–140; № 5. — P. 177–190; № 6. — P. 225–231.

578. Fundamental research problems in welding — compiled by the American bureau of welding // *Americ. Weld. Soc. J.* — 1932. — № 2. — P. 5–7.

579. Slepian J. Transition from glow to arc discharge at atmospheric pressure /J. Slepian. // *J. Franklin Inst.* — 1926. — № 1. — P. 79–90.

580. Slepian J. Theory of current transference at the cathode of an arc /J.Slepian // *Phys. Rev.* — 1926. — № 5. — P. 407–412.

581. Патон Б. Е., Макара А. М. Экспериментальное исследование процесса автоматической сварки под слоем флюса. / Б. Е. Патон., А. М. Макара — К.: Изд-во АН УССР. — 1944. — 92 с.

582. Jones O. C. Controlling heat effects /O. C. Jones // *Amer. Weld. Soc. J.* — 1935. — № 7. — P. 5–7.

583. Portevin A., Seferian D. The thermal study of welding /A.Portevin., D. Seferian. // *Chaleur et Industrie.* — 1935. — № 9. — P. 409–417.

624. Rosenthal D. Mathematical theory of heat distribution during welding and cutting / D.Rosenthal // *Welding journal.* — 1941. — №. 5. — P. 220–234.

585. Rosenthal D., Schmerbeer R. Thermal study of arc welding, experimental verification Ibid. / D.Rosenthal., R.. Schmerbeer— 1938. — № 4. — P. 180–191.

586. Rosenthal D. Etude théorique du régime thermique pendant la soudure a l'arc / D.Rosenthal // 2 *Congres National des Sciences.* — Bruxelles, 1935. — P. 1277–1292.

587. Рыкалин Н. Н. Распространение температуры в элементах конструкций при сварке /Н.Н. Рыкалин // *Автогенное дело.* — 1938. — № 5. — С. 7–12.

588. Рыкалин Н. Н. Сварка строительной стали повышенной прочности /Н. Н. Рыкалин — М.: Стройвоенмориздат. — 1948. — 76 с.

589. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. /Н. Н. Рыкалин — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.

590. Paschkis V. Establishment of cooling curves of welds by means of electrical analogy /V. Paschkis // *Welding journal.* — 1943. — № 10. — P. 462–483.

591. Doan G. E. and Schulte. The metallurgy of «pure iron welds» /G.E. Doan . and Schulte // *Amer. Weld. Soc. J.* — 1936. — № 9. — P. 229–235.

592. Spraragen W. and Claussen G. E. The effect of oxygen on the welding of steel a review of the literature to July 1, 1937 /W Spraragen., and G. E. Claussen // Welding journal. — 1939. — № 1. — P. 7–11.

593. Houldcroft P. T. Steps in welding innovation and achievement. /P.T. Houldcroft // Metal Constr. and Brit. Weld. J. — 1973. — № 11. — P. 443–450.

594. А.с. СССР 64057. Способ дуговой автоматической сварки под слоем флюса / Б. А. Иванов, В. И. Дятлов // Заявл. 29.05.42; Оpubл. в бюлл. изобретений СССР. — 1944. — № 7/8. — 39 с.

595. Кузмак Е. М. Свариваемость стали /Е.М. Кузмак // Автогенное дело. — 1946. — № 8/9. — С. 18–22.

596. Harder O. E., Voldrich C. B. Weld-bead hardness tests on some carbon, nickel and nickel-chromium War Department Steels /O. E. Harder., C.B. Voldrich // Welding journal. — 1943. — № 10. — P. 441–450.

597. Hopkins R. K. Physical properties of fusion-welded joints /R. K. Hopkins . // Amer. Weld. Soc. J. — 1935. — № 3. — P 4–7.

598. Weldably alloy materials // Welding Engineer. — 1942. — № 10. — P. 48–65.

599. Bibber L. C., Heuschkel J. The spot weldability of low carbon and other aircraft steels /L. C. Bibber., J. Heuschkel . // Welding journal. — 1943. — № 12. — P. 616–632.

600. Edson A. P. Weld hardening and steel composition /A. P. Edson // Metals and Alloys. — 1942. — № 6. — P. 18–21.

601. Spraragen W., Claussen G. E. Weldability-fusibility tests. /W. Spraragen., G. E. Claussen // Welding journal. — 1942. — № 2. — P. 65–86.

602. Duma J. A. Fish-eyes in weld metal /J. A. Duma // Welding Engineer. — 1940. — № 10. — P. 25–28.

603. Hopkin G. L. A suggest cause and general theory for cracking of alloy steels on welding /G. L. Hopkin // Welding journal. — 1944. — № 11. — P. 605–608.

604. Рабинович И. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги /И. Я. Рабинович — М.: Машгиз, 1958. — 170 с.

605. Никитин В. П. Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. /В.П. Никитин — М.: Изд-во АН СССР, 1934. — 218 с.

606. Doan G. E. Concerning crater formation /G. E. Doan // J. A. W. S. — 1932. — № 7. — P. 17–18.

607. Hensel E. R., Larsen E. I. A study of the transformation points of fusion weld metal. /E.R. Hensel., E. I. Larsen // Ibid. — 1932. № 4. — P. 28–32.

608. Suits C. C. Arcs—recent investigations /C. C.Suits // Welding journal. — 1938. — № 10. — P. 35–38.

609. Holslag C. J. Electro fusion /C. J. Holslag // Ibid. — 1935. — № 8 — P. 11–12.

610. Hill P. M. Tests on NE 8630 steels welded air frames /P. M. Hill // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 300–307.

611. Field G. H., Sutton H., Dixon H. E. Spot welding of light alloys /G. H. Field., H. Sutton ., Dixon H. E // Ibid. — 1943. — № 11. — P. 573–592.

612. Miller M. A. Aluminum brazing sheet—fundamentals of metal flow /M. A. Miller // Ibid. — 1943. — № 12. — P. 596–612.

613. Doan G. E., Stout D. A. Tentative system for preserving ductility in weldments /G. E. Doan., D. A. Stout. // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 278–300.

614. Wilson W. M. The effect of speed of loading upon the ductility of steel structural members /W. M. Wilson . // Ibid. — 1943. — № 7. — P. 317–325.

615. Houldcroft P. T. Welding process developments and future trends. /P. T. Houldcroft . // The centenary of modern welding, 1885–1985. — Cambridge, 1985. — P. 5–1—5–9.

616. Fatigue strength of fillet, plug and slot welds in ordinary bridge steel // Welding journal. — 1945. — № 7. — P. 378–400.

617. Hoyt S. L., Sims C. E., Banta H. M. Metallurgical factors of underbead cracking /S. L Hoyt., C. E. Sims., H. M Banta // Ibid. — № 9. — P. 433–445.

618. Carr H. L. Weldability tests of value body material. /H. L. Carr // Ibid. — P. 446–451.

619. Ryan J. J. Photoelastic models reveal weld stress /J. J. Ryan // Welding Engeneer. — 1947. — № 2. — P. 46–48.

620. Timoshenko S., Mc Cullough G. H. Elements of strength of materials. — 2nd ed. /S Timoshenko., G. H. Mc Cullough — New–York: Dwan Nostrand Comp., 1940. — 172 p.

621. Патон Є. О. Інститут електрозварювання / Є. О. Патон// План науково-дослідних робіт Академії наук УРСР на 1954 рік. — Київ, 1945. — С. 181–182.
622. Корниенко А.Н. Переход сварки на научные основы / А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка. – 1998. - № 4. – С. 40 – 48.
623. Корниенко А.Н. История становления научно-технических обществ, исследовательских и учебных центров в области сварки (1890-1940гг.) /А.Н. Корниенко //Автоматическая сварка. –1997. -№2 –С.48-54
624. Корниенко А.Н. Выдающийся учёный, инженер, педагог (к 100-летию акад. К.К. Хренова) /А.Н. Корниенко. //Автомат. сварка.- 1994.-№2 –С.55-57
625. Хренов К.К. Электросварка под водой./ К.К. Хренов /. //Сварщик. – 1933. - №1,2. – С.23-24.
626. Корниенко А.Н. 50- лет дуговой автоматической сварке под флюсом /А.Н.Корниенко //Сб. “Юбилей науки”. – Киев: Наукова думка. – 1990. – С. 395–402.
627. Автоматическая сварка под флюсом / Под ред.. Е.О.Патона. – К.; М.: Машгиз, 1948. – 344с.
628. Патон Е.О., Шеверницкий В.В. Сталь для сварных мостов. / Е.О. Патон., В.В. Шеверницкий // Тр. по автомат. сварке под флюсом. – 1949. - №6. – С.3-7
629. Касаткин Б.С. О стали для сварных мостов / Б.С. Касаткин // Там саме. -1948. - № 5. С. 3-21
630. Osborn C.J. , Scotchbrook A.F., Stout R.D. Composition and property variation of two steels. / C.J. Osborn., A.F. Scotchbrook., R..D. Stout //Welding journal. – 1949. - №3. – P. 227-235
631. Sweeney E.F. Evaluation of brittle research / E.F. Sweeney.// Ibid. – 1953. – №1. – P. 1-13.
632. Diebold I.M. Fusion welding of sheet metal. / I.M. Diebold // Ibid. – 1946. – №8.- P.724-732.
634. Jackson C.E., Shrubsall A.E. Energy distrution in electric welding / C.E Jackson., A.E. Shrubsall. // Ibid. – 1950. - №5. – P. 231-241.
635. Проблемы дуговой и контактной электросварки / Сб., посвящённый памяти Е.О.Патона / Под ред. Б.Е.Патона. – М.: К.; Машгиз, 1956. – 320с.

636. Погодин-Алексеев Г.И. Теория сварочных процессов. /Г.И. Погодин-Алексеев— М.: Машгиз, 1950. — 416с.

637. Прохоров Н.Н. Горячие трещины при сварке. / Н.Н. Прохоров - М.: Машгиз, 1952 — 220с.

638. Дятлов В. И. Особенности металлургических процессов при сварке под флюсом / В.И.Дятлов // Сб., посвященный 80-летию со дня рождения и 55-летию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1951. — С. 261–268.

639. Рабкин Д. М. Распределение температур в ванне при автоматической сварке алюминия/ Д. М.. Рабкин // Автоматическая сварка. — 1956. — № 2. — С. 1–11.

640. Медовар Б. И. К вопросу о природе горячих трещин в сварных швах / Б. И. Медовар // Автоматическая сварка. — 1954. — № 4. — С. 5–12.

641. Рыкалин Н. Н. Развитие теории распространения теплоты при сварке применительно к распределенным источникам /Н. Н. Рыкалин . // Тепловые процессы при сварке. — М.: Изд-во АН СССР, 1953. — Вып. 2. — С. 3–9.

641. Рабкин Д. М., Фрумин И. И. Причины образования горячих трещин в сварных швах. /Д.М., Рабкин., И.И. Фрумин // Автоматическая сварка. — 1950. № 2. — С. 3–43.

643. Фрумин И. И., Кирдо И. В., Подгаецкий В. В. Образование пор в сварных швах и влияние состава флюса на склонность к порам И. И.Фрумин., И. В Кирдо., В. В. Подгаецкий // Автогенное дело. — 1949. — № 10. — С. 1–11.

644. Астафьев А. С. Исследование свариваемости легированной конструкционной стали /А. С. Астафьев // Металловедение и терм. обработка. — М.: Металлургиздат, 1950. — С. 284–301.

645. Любавский К. В. Металлургия сварки сталей плавлением: Спр. по сварке. /К.В. Любавский — М.: Машгиз, 1962. — Т. 1. — С. 51–140.

646. Кузмак Е. М. Проба металла на чувствительность к термическому циклу сварки /Е. М. Кузмак. // Автогенное дело. — 1951. — № 3. — С. 9–11.

647. Исследования по технологии сварки: Сб. статей / Под ред. К. В. Любавского. — М.: Машгиз, 1953. — 200 с.

648. Островская С. А. Влияние скорости остывания на структуру и механические свойства металла шва, сваренного автоматом и полуавтоматом под флюсом и вручную

качественным электродом /С. А. Островская // Автоматическая сварка. — 1951. — № 6. — С. 3–22.

649. Патон Б. Е. Исследование процесса нагрева электрода при автоматической сварке под флюсом. /Б. Е. Патон // Сб. тр. по автомат. сварке под флюсом. — 1948. — № 3. — С. 13–28.

650. Патон Б. Е. Процесс плавления электрода при автоматической сварке под флюсом / Б. Е. Патон // Тр. по автомат. сварке под флюсом. — 1949. — № 4. — С. 22–38.

651. Вопросы прочности и технологии сварки: Сб. статей / Под ред. Г.А.Николаева. — М.: Машгиз, 1955. — 256 с.

652. Исследования динамической прочности сварных конструкций вагонов: Сб. статей. К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 195 с.

653. Патон Е. О. Исследование работы пролетных строений мостов /Е. О. Патон / Избр. труды. — К.: Изд-во АН УССР, 1959. — Т. 1. — 579 с.

654. Николаев Г. А., Прохоров Н. Н. Напряжения в процессе сварки. /Г. А. Николаев., Н. Н. Прохоров — М.: Изд-во АН УССР, 1949. — 88 с.

655. Статическая прочность сварных соединений из малоуглеродистой стали / В. В. Шеверницкий, В. И. Новиков, Г. В. Жемчужников, В. И. Труфяков // Под ред. Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1951. — 87 с.

656. Окерблом Н. О. Сварочные напряжения в металлоконструкциях. /Н. О. Окерблом — М., Л.: Машгиз, 1950. — 144 с.

657. Current welding research problems // Welding journal. — 1953. — № 7. — P. 305–315.

658. Jackson C. E. This thing called weldability /C. E. Jackson // Ibid. — 1949. — № 6. — P. 246–264.

659. Luther G. G., Jackson C. E., Hartbower C. E. A review and summary of weldability testing carbon and low alloy steels /G. G. Luther., C. E. Jackson., C. E Hartbower // Ibid. — 1946. — № 7. — P. 376–396.

660. Feely F. J., Hrtko D., Kleppe S. R. Report on brittle fracture studies /F. J. Feely., D Hrtko., S. R.Kleppe . // Ibid. — 1954. — № 2. — P. 99–111.

661. Portevin A. Welding research in the European Universities. /A. Portevin // Ibid. — P. 98–112.

662. Макара А. М., Медовар Б. И. О характере первичной кристаллизации сварочной ванны /А. М. Макара., Б. И. Медовар. // Автогенное дело. — 1948. — № 12. — С. 25–27.

663. Доброхотов Н. Н. Критические замечания о работах д-ра техн. наук, проф. К. В. Любавского по теории сварочных процессов / Н. Н. Доброхотов. // Ibid. — 1949. — № 3. — С. 26–28.

664. Алов А. А. Вопросы теории сварочных процессов. / А.А. Алов. — М.: Машгиз, 1959. — 160 с.

665. Любавский К. В. К вопросу взаимодействия элементов и их окислов в сварочной ванне / К. В. Любавский // Автогенное дело. — 1948. — № 10. — С. 30–31.

666. Петров Г. Л. Взаимодействие металла и шлака в процессе электрической дуговой сварки / Г. Л. Петров // Тр. ЛПИ, 1949. — № 3. — С. 33–51.

667. Бринберг П. Л. Вопросы управления режимом автоматической сварки под флюсом. / П. Л. Бринберг. // Тр. ЛПИ, 1947. — № 6. — С. 19–21.

668. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Остапенко Н. Г. Замечания к статье П. Л. Бринберга «Вопросы управления режимом автоматической сварки под флюсом» / Б. Е. Патон., В.К. Лебедев., Н. Г. Остапенко. // Тр. ЛПИ, 1948. — № 4. — С. 30–32.

669. Skolnik M. Energy distribution in electric welding /M. Skolnik. // Welding journal. — 1950. — № 10. — P. 520–521.

670. Flanigan A. E., Vocarsky S. I., McGuire G. B. Effect of low-temperature cooling rate on ductility of arc welds in mild steel. /A.E Flanigan., S.I. Vocarsky., G.B. McGuire // Ibid. — № 9. — P. 459–466.

671. Mallett M. W., Rieppel P. J. Underbead cracking of welds cathodically charged with hydrogen / M. W. Mallett., P. J. Rieppel // Ibid. — № 7. — P. 343–347.

672. Carpenter S. T., Roop W. P. Tensile tests of internally notched plate specimens /S. T. Carpenter., W. P. Roop. // Ibid. — № 4. — P. 161–183.

673. Henry O. H., Claussen G. E., Linnert G. E. Welding metallurgy-iron and steel /O. H. Henry., G. E. Claussen., G. E. Linnert. // Ibid. — № 3. — P. 216–226.

674. Klinger L. I., Ebert L. I. Distribution of relative ductility in steel weldments. /L.I. Klinger., L.I. Ebert // Ibid. — № 2. — P. 59–73.

675. Comstock G. F. Discussion of article on stress corrosion cracking /G. F. Comstock // Ibid. — 1946. — № 10. — P. — 699–728.

676. Nippes E. F., Savage W. F. The weldability of ship steels /E.F. Nippes., W. F. Savage // Ibid. — 1946. — № 11. — P. 776–787.

677. Патон Е. О. Автоматическая сварка швов с принудительным формированием /Е. О. Патон // Автогенное дело. — 1950. — № 11. — С. 5–9.

678. Волошкевич Г. З. Сварка вертикальных швов методом принудительного формирования /Г. З. Волошкевич // Сб., посвященный 80-летию со дня рождения и 55-летию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1951. — С. 371–395.

679. Патон В. Е. Магнитные аппараты для сварки с принудительным формированием / В. Е Патон // Проблемы дуговой и контактной электросварки. — К.: Машгиз, 1956. — С. 301–309.

680. Meyer A. R. Automatic horizontal and vertical welding of field erected structures / A. R. Meyer // Welding journal. — 1954. — № 7. — P. 651–655.

681. Патон Б. Е. Современная сварочная техника и перспективы её развития. / Патон Б. Е. — К.; М.: Машгиз, 1957. — 99 с.

682. Мазель А. Г. Развитие сварки в газовой и нефтяной промышленности в послевоенный период / А. Г. Мазель // Сварочное пр-во. — 1996. — № 3. — С. 32–35; № 4. — С. 29–33.

683. Патон Б.Е. Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны / Б.Е. Патон // Электричество. — 1945. — № 3. — С. 3–5.

684. Медовар Б. И. Автоматическая сварка под флюсом наклонным электродом. / Б. И. Медовар . — К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 83 с.

685. Медовар Б.И. Успехи в развитии автоматической сварки за последние 2–3 года / Б. И. Медовар // Вестник машиностроения. — 1950. — № 3. — 40 с.

686. Михайлов Г. П. Технология сварки трехфазной дугой. / Г.П. Михайлов — М.; Свердловск: Машгиз, 1952. — 255 с.

687. Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. / Н. И. Рыжков. — М.: Машиностроение, 1970. — 384 с.

688. Медовар Б. И., Потапьевский А. Г. Об автоматической сварке расщепленным электродом / Б. И. Медовар., А. Г. Потапьевский // Автоматическая сварка. — 1955. — № 3. — С. 60–69.

689. Ashotov T. Twinarc submerged arc welding / T.Ashotov // Welding journal. — 1954. — № 4. — P. 350–355.

690. Мандельберг С. Л., Лопата В. Е. О подключении сварочных трансформаторов при двухдуговой сварке с повышенной скоростью /С. Л. Мандельберг., Лопата В. Е. // Автоматическая сварка. — 1962. — № 10. — С. 85–87.

691. Мандельберг С. Л., Лопата В. Е. Влияние магнитного поля сварочного контура на форму швов, сваренных внутри трубы. /С. Л. Мандельберг., В. Е. Лопата // Тоже самое. — 1962. — № 3. — С. 1–6.

692. Мандельберг С. Л. Многодуговая сварка на повышенной скорости с колебаниями электрода поперек шва /С.Л. Мандельберг // Тоже самое . — 1965. — № 2. — С. 8–13.

693. Мандельберг С. Л., Сидоренко М. Н., Лопата В. Е. Трехдуговая сварка под флюсом труб большого диаметра с повышенной скоростью /С. Л. Мандельберг., М. Н. Сидоренко., В. Лопата. // Тоже самое. — 1982. — № 1. — С. 36–38.

694. Патон Б. Е. Сварочные головки и питание их током / Б. Е. Патон / Отв. ред. Е. О. Патон. — К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 67 с.

695. Патон Б. Е. Электрооборудование автосварочных установок /Б. Е. Патон. // В кн.: Руководство по автоматической сварке под флюсом. /Под ред. Е. О. Патона и В. В. Шеверницкого. — К.; Львов: Гостехиздат, 1948. — С. 103–116.

696. Патон Б. Е. Принципы действия сварочных головок / Б. Е. Патон // Автоматич. Сварка под флюсом. К.: Машгиз, 1948. - — С. 217–240.

697. Патон Б. Е., Лебедев В.К. Автоматическое регулирование мощности сварочной дуги /Б. Е Патон // Тр. По автомат. Сварке под флюсом. – К.: Изд-во АН УССР, 1948. – Вып.1. — С. 260–277.

698. Никитин В. П.. Развитие научно-технической мысли в области электрической дуговой сварки / В.П.Никитин // В кн.: Юбилейный сб., посвященный

30-летию Великой Октябрьской соц. революции. — М.; Л.: Изд-во АН УССР, 1947. — Т. 2. — С. 634–644.

699. Патон Б. Е., Медовар Б. И. Сварочная техника за рубежом. / Б. Е. Патон., Б. И. Медовар — М.: ВИНТИ, 1958. — 48 с.

700. Походня И. К. Горячие (кристаллизационные) трещины при наплавке высокоуглеродистых высокохромистых сталей / И. К. Походня / Горячие трещины в сварных соединениях, слитках и отливках. — М., 1959. — С. — 68–91.

701. Походня И. К. О влиянии скорости охлаждения на образование кристаллизационных трещин /И. К. Походня // Автоматическая сварка. — 1955. — № 6. — С. 64–73.

702. Фрумин И. И., Походня И. К. Исследование температуры сварочной ванны /И. И. Фрумин., И.К Походня. // Тоже самое. — 1955. — № 4. — С. 13–30.

703. Опыт внедрения механизированной наплавки в металлургии / В. В. Подгаецкий, И. К. Походня, В. П. Субботовский и др. // Внедрение новых способов сварки в промышленность: Сб. ст. — К., 1960. — Вып. 3. — С. 115–139.

704. Лебедев В. К., Яворский Ю. Д. Применение критериев подобия для определения режимов контактной сварки / В.К Лебедев., Ю.Д. Яворский. // Автоматическая сварка. — 1960. — № 8. — С. 37–44.

705. Кучук–Яценко С. И., Лебедев В. К. О сварке непрерывным оплавлением изделий, имеющих большое контактное сечение /С. И. Кучук–Яценко., Лебедев В. К. // Тоже самое. — 1956. — № 1. — С. 29–37.

706. Кучук–Яценко С. И., Лебедев В. К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. С. И. Кучук–Яценко., В.К Лебедев. — К.: Наукова думка, 1976. — 214 с.

707. Остапенко Н.Г. Автоматическая сварка бортовых швов угольной дугой, стабилизированной струей углекислого газа / Н.Г. Остапенко //Автогенное дело .- 1951.- №5 .С.6-9

708. Jackson С. Е. The science of arc welding /С. Е. Jackson // Welding journal. — 1960. — № 4. — P. 129–140.

709. Ando K., Hasegawa M. Abstract of Papers Concerning the Welding arc Phenomena /K Ando., M. Hasegawa // Japan Welding Society. — № 11. — P. 675–679.

710. Orton L. H., Needham J. C. Short time phenomena in the iron welding arc. /L.H. Orton., J. C. Needham . // Welding Research, London, 3, February, 1949. — P. 17–24.

711. Maecker H. Plasma streams in arc resulting from eigenmagnetic compression. /H. Maecker // Zeitschrift für Physik. — 1955. — № 2. — P. 198–216.

712. Rohloff E. Flow speeds of the anode flame of the carbon arc /E. Rohloff // Ibid. — 1949. — № 1. — P. 175–184.

713. Mantel W. Considerations on the importance of the physical processes in the welding arc. /W. Mantel . // Schweissen and Schneiden. — 1956. — № 8. — P. 278–280.

714. Wienecke R. Concerning the speed of the high current carbon arc /R. Wienecke // Ibid. — 1955. — № 2. — P. 128–140.

715. Wilson J. L., Claussen G. E., Jackson C. E. The effect of I^2R Heating on electrode melting rate /J. L. Wilson., G. E. Claussen., C. E. Jackson // Welding journal, Research Suppl. — 1956. — № 1. — P. 1–8.

716. Кушнарєв Л. Н. Исследование электрической дуговой сварки под флюсом /Л. Н. Кушнарєв // Автогенное дело. — 1947. — № 3. — С. 5–9.

717. Патон Є.О., Шеверницький В.В. Вишукання раціонального типу зв'язку між галузями стиснених трямів / Є.О. Патон., В.В. Шеверницький // Праці в галузі електросварних конструкцій.- К.: ВУАН. — 1934 — С. 3-20.

718. Патон Є.О., Шеверницький В.В. Вплив цупростіексцентрично прикріпленого стрижня на міцність флангових та лобових швів. / Є.О. Патон., В.В. Шеверницький // Там же С. 21-35

719. Патон Е. О. Сопротивление сварных балок при пластических деформациях под повторной нагрузкой /Е. О. Патон // Строит. пром-ть. — 1934. — 39. — С.55-59

720. Патон Е. О. Мостовые опорные части сварного типа // Сб. статей по металлическим конструкциям. /Е. О. Патон . — М.: ОНТИ. -1935. С.69-95

721. Патон Є. О., Горбунов Б.М., Берштейн Д.Й. Опір зварних сполук при вібраційному навантаженні. /Є. О. Патон., Б.М. Горбунов., Д.Й. Берштейн—К.: Вид. АН УРСР, 1936. — 42с.

722. Патон Е. О. Мостовые опорные части сварного типа. / Е.О. Патон. // Сб. статей по металлическим конструкциям. – М. – 1935. - №5. – С.3-4

723. Патон Є.О. Робота електрозварювальної лабораторії ВУАН на XV роковини Жовтня / Є.О.Патон // Журнал індустр.-техн. циклу; Природн.-техн. відділ ВУАН. 1932. - №3 С.2-3, ХУ – ХУ11

724. Патон Є.О., Горбунов Б.М. Електрозварні конструкції в промисловому будівництві: Посібник для проектування. / Є.О. Патон., Б.М.Горбунов.- К., ВУАН - 1933. – 96с.

725. Патон Е.О., Раевский Г.В. Новый способ испытания строительных ферм / Е. О. Патон., Г.В.Раевский // Строит. пром. – 1938. - №7. – С.26-27

726. Патон Є.О. Шляхи розвитку зварювання в другій п'ятирічці.- / Є.О. Патон Х.: Машбудвидав, 1932

727. Патон Е.О. Сварка в химаппаратостроении /Е.О. Патон // Сварочное дело в СССР. – М.: 1937. – С. 433-434

728. Патон Е.О., Горбунов Б.Н., Берштейн Д.И. Сварка тавров с предварительным выгибом / Е.О Патон., Б.Н. Горбунов., Д.И. Берштейн // Автоген. Дело. – 1936. - №12. – С.11-12

729. Патон Є.О., Горбунов Б.М., Берштейн Д.И. Вплив зсідальних напруг на міцність зварних конструкцій / Є.О. Патон, Б.М.Горбунов К., ВУАН. 1937. – С.5-133.

730. Патон Б. Е. О рациональном выборе электрических схем управления авто-сварочными установками / Б. Е. Патон // Автогенное дело. — 1943. — № 11–12. — С. 14–15.

731. Центральный государственный исторический архив Российской Федерации. – Ф. 1349, оп. 5, д. 3772

732. Корнієнко О.М. Деякі сторінки життя Є.О.Патона / О.М.Корнієнко // Сб. матеріалів наукових читань: «Видатні конструктори України: Академік Є.О.Патон». 10-11 квітня 2002.,-К.: КПІ «ЕКМО»,.С.25-32.

733. Там же. – Ф.1343, оп. 27, д. 1083. – Л.22

734. Центральной государственной архив Военно-Морского Флота. –Ф.165, оп.1, д.1983, -Л.22

735. Архив внешней политики России МИД СРСР. – Ф. ДЛС и ХД, оп.464, д.2579. – Л.7.

736. Корнієнко О.М. Засновник радянської школи електрозварювання /О.М. Корнієнко // Нариси з історії природознавства. – 1980. - № 26. – С. 115 – 121.

737. Корниенко А.Н. К 130- летию со дня рождения Е.О. Патона – выдающегося ученого, инженера, педагога / А.Н.Корниенко //Сварочное производство. – 2000. - № 4. – С. 57–58.

738. Центральный государственный исторический архив СССР. – Ф.1349, оп. 3772.

739.ЦГИА СССР. – Ф. 1343.оп. 27, д. 1083-Л.7.

740. Энциклопедический словарь. – 1897. – Т. 22. – С. 405 – 414.

741. Українська радянська енциклопедія. – 1962. – Т. 12. – С. 388.

742. Архив внешней политики России МИД СССР. – Ф. ДЛС и ХД, оп. 464, д. 2579. – Л. 8 об.

743.АВПР МИД СССР. – Ф. МИД-канцелярия, оп. 470, д. 99. 0- Л.2, 3, 3 об.

744. ЦГИА СССР. – Ф. 229, оп. 3, д. %%;. – Л. 3 об.

745. ЦГИА СССР. – Ф.229, оп. 19,д. 1725. – Л. 46.

746. ЦГИА СССР. – Ф. 231, оп. 1, д. 1552. – Л. 313.

747. ЦГИА СССР. – Ф. 25, оп. 1, д. 3441. – Л.2

747. Київський політехнічний і Київський сільськогосподарський інститути: ХХУ років, 1898 – 1923. – Київ, 1924. – С. 34.

748. Отчет о состоянии Киевского политехнического института за 1913 г. – Киев, 1914. – С. 79.

749. Центральный государственный исторический архив УРСР в Киеве. – Ф. 274, оп. Д. 504. – Л. 13.

750. Изв. Киев, обл. воен.-пром. Комп. – 1916. - № ½. – С. 4.

751. ЦГИА УССР. – Ф. 692, оп. 1, д. 2890. – Л. 323.

752. Патон Е.О. Киевская мостоиспытательная станция Высшего технического комитета в 1921 г. / Е.О. Патон // Техника и экономика путей сообщ. – 1922. – Т. 1, №2. – С. 53.

753. Государственный архив города Киева. – Ф. Р.- 308, оп. 1, д. 111. – Л. 30.

754. Ясиевич В.Е., Дехтяр С.Б., Сухоруков С.А. Выдающиеся ученые инженеры-строители В.Е./ Украины Ясиевич., С.Б Дехтяр., С.А. Сухоруков. – Киев, 1986. – С. 17.

755. Корнієнко О.М. Особливості формування патонівської школи /О.М.Корнієнко //Матеріали. VII-й Всеукраїнської наукової конф. «Актуальні питання історії науки і техніки». Київ. – 2-3 жовтня 2008

757. Корниенко А.Н. Є.О. Патон / А.Н. Корниенко. //УРЕ. – Т. 7. – 1981. – С. 213.

758. Великая Отечественная война Советского Союза 1941–1945: Краткая история. — М.: Воениздат, 1970. — 571 с.

759. Вторая мировая война: Краткая история. — М.: Наука, 1984. — 586 с.

760. Танк / А. С. Антонов,Б. А. Артамонов,Б. М. Коробков., И.И. Магидович. — М.: Воениздат, 1954. — 607 с.

761. Оружие победы. — М.: Молодая гвардия, 1975. — 160 с.

762. Малышев В. А. Советские танкостроители в годы Отечественной войны /В. А. Малышев // Трудовой подвиг советских танкостроителей. — М.: Профиздат, 1946. — С. 180–195.

763. Танкоград: История. Люди. События. /Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ., Е.Е. Александров., Л.М. Бесов., И.Е. Александрова – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 236.

764. Корниенко А. Н. В честь 40-летия внедрения сварки под флюсом на Уралвагонзаводе /А.Н. Корниенко. // Автоматическая сварка. — 1982. — № 9. — С. 75–76.

766. Руководство по автоматической сварке бронеконструкций./Под ред. Патона Е.О.— Б.м., 1943.— 139с.

767. Патон Е.О. Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса. 3-е изд./Е.О. Патон— М.; Свердловск.: Машгиз, 1942— 208с.

768. Жуков Г. К. Воспоминания и размышления. /Г. К. Жуков — М.: АПН, 1971. — 702 с.

769. Коренной А. И. Опыт производственного применения автоматов Института электросварки АН УССР. /А. И. Коренной // Тр. по автоматической сварке. — 1948. — № 9. — С. 57–65.

770. Дятлов В. И. Новый принцип построения сварочных автоматов /В. И. Дятлов. // Вестн. машиностроения. — 1943. — № 9–10. — С. 15–18.

771. Севбо П. И. Автосварочные головки Института электросварки АН УССР / П. И. Севбо. // Сборник, посвященный 75-летию со дня рождения и 50-летию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1946. — С. 141–152.

772. Медовар Б. И. Работа Института электросварки АН УССР в годы Отечественной войны. /Б. И. Медовар // Сборник, посвященный 75-летию со дня рождения и 50-летию научной деятельности Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1946. — С. 31–34.

773. Патон Е. О., Севбо П.И. Аппарат скоростной сварки, разработанный в проектом бюро Института электросварки в квартале 1941 года. /Е. О.Патон — Свердловск, 1942. — 20с.

774. Корниенко А. Н. Исторические предпосылки достижений отечественной технологии в период Великой отечественной войны /А. Н. Корниенко // Тр. Всесоюзной научн.-технич. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологий». — Иваново. —ИЭИ, 1985. —С.3-5.

775. Патон Е.О., Островская С.А. Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса: Достижения за последние три года. // Е. О. Патон. —Свердловск; Москва: Машгиз, 1944. —47с.

776. Корниенко А.Н. Сварочная техника в годы Второй мировой войны. Ч.1. Сварка в производстве оружия в СССР / А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка.— 1997. - № 6. — С. 41–50.

777. Корниенко А.Н. Танк Т-34 — памятник технологии военного времени /А.Н.Корниенко //Сб. Памятники науки и техники. — М.: Наука. — 1986. — С. 3 — 13.

778. Корнієнко О.М. Лупаренко Г.В. Внесок Інституту електросварювання у виробництво танків Т-34. /О.М.Корнієнко., Г.В.Лупаренко. //Сб. матеріалів наукових читань: «Видатні конструктори України».25-26 вересня 2002.-, КПІ «ЕКМО».,С.65-70.

779. Polenberg R. War and Society the United States, 1941-1945 /R. Polenberg / - Philadelphia, 1972. -751p.

780. Корниенко А.Н. Сварочная техника в годы Второй мировой войны Ч.П. Сварка в производстве оружия в зарубежных странах. /А.Н.Корниенко //Автоматическая сварка – 1997. - № 7. – С. 42 –51.

781. Вишняков В.А. Танк на пьедестале./ В.А Вишняков– М.: Воениздат, 1970. – 135с.

782. Ротмистров П.О. Время и танки. /П.О. Ротмистров– М.: Воениздат., 1972. – 335с.

783.Резниченко Т.И. Машина, ставшая памятником. Очерки о боевой технике. /Т.И. Резниченко– М.: ДОСААФ. – 1977. – С.25

784. Научно–производственное объединение по технологии машиностроения ЦНИИТМАШ. — М.: Машиностроение, 1980. — 229 с.

785. Ерыпалов Е.С. Развитие сварочного производства ПО «Уралмаш» /Е. С. Ерыпалов // Сварочное пр–во. — 1983. — № 7. — С. 1–2.

786. Синадский С. Е. Сварщики в борьбе с рельсовой войной гитлеровцев в Великой Отечественной войне /С.Е. Синадский // Сварочное пр–во. — 1985. — № 5. — С. 6–7.

787. Болотин Д. Н. Советское стрелковое оружие за 50 лет. /Д. Н. Болотин — Л.: Политиздат, 1967. — 385 с.

788. Корниенко А.Н., Тюрин В.Ф. Сварочная техника в годы Великой Отечественной войны /А. Н. Корниенко, . В. Ф. Тюрин // Сварочное пр–во. — 1985. — № 5. — С. 2–6.

789. Видуцкий Л. М. Судостроительная промышленность Ленинграда — фронту /Л. М. Видуцкий . // Технология судостроения. — 1975. — № 1. — С. 116–122.

790. Дзенискевич А. Р. Военная пятилетка рабочих Ленинграда (1941–45 гг.) /А. Р. Дзенискевич — Л.: Лениздат, 1972. –383 с.

791. Хренов К. К. Наставление по подводной электрической сварке и резке металлов./ К. К. Хренов — М.; Л.: Военмориздат, 1943. — 97 с.

792. Патон Б. Е. Шов длиною в 4000 000 метров // Т-34: путь к победе. /Б. Е. Патон — К.: Политиздат Украины, 1980. — С. 66–88.

793. Александров Н. С. Сварка в самолетостроении. /Н. С. Александров — М.: Оборонгиз, 1938. — 51 с.

794. Корниенко А. Н., Арсенюк В. В. Сварка в самолетостроении СССР до 1940 г. А. Н. Корниенко., /В.В. Арсенюк // Тез. докл. Всесоюз. Научно-техн. конф., Ч.Ш. — Пермь, 1988. — С. 4–5.

795. Behnisch H. 100 Jahre Qualitätssicherung in der Schweißtechnik / H. Behnisch // 100 Jahre DVS. — Berlin. — 1997. — P. 38–55.

796. Behnisch H.. War needs met again. The history of welding. Chapter 9/ H.Behnisch // Weld. engineer. — 1966. — № 10. — P. 57–62.

797. Соединенные Штаты Америки. / Под ред. П. И. Лебеды-Полянского. — М.: ОГИЗ, 1946. — 575 с.

798. Welding did it faster // Weld. engineer. — 1966. — № 10. — P. 57.

799. Boyd G. M. Welding from the viewpoint of Lloyed's Register of shipping / G. M Boyd . // Brit. weld. J. — 1959. — № 5. — P. 205–210.

800. Building Liberty ships // Weld. engineer. — 1942. — № 3. — P. 85–87.

801. Forman M. Sequence for shipbuilding /M. Forman // Ibid. — 1945. — № 4. — P. 42–44.

802. Outcalt F. G., Keir J. M. Survey of welding and cutting in ship construction / F. G. Outcalt., J.M. Keir. // Welding journal. — 1942. — № 1. — P. 5–15.

803. Thermit welded ship frame // Welding Engineer. — 1942. — № 12. — P. 30–32.

804. Davis A. F. The saga of welded ships /A. F. Davis . // Welding journal. — 1945. — № 1. — P. 80–82.

805. Ewertz E. H., West R. D. The application of welding in submarine construction / E. H. Ewertz ., R. D. West . // Welding journal. — 1943. — № 1. — P. 10–13.

806. Lacy E. D. Welding british submarines /E. D. Lacy // Welding Engineer. — 1947. — № 5. — P. 62–66.

807. Quinn R. J. Welding weapons for victory /R. J. Quinn // Ibid. — 1943. — № 2. — P. 31–33.

808. Brigadier W. B., Blagden O. B. E. Arc welding armor plate / W. B. Brigadier // Ibid. — 1945. — № 2. — P. 37–39.
809. Beese W. Welding M-4 tank hulls /R. J. Quinn // Ibid. — 1943. — № 12. — P. 46–48.
810. McFarland A. M. Welding for military preparedness /A. M. McFarland //Ibid — 1940. — № 12. — P. 21–23.
811. Osha W., Sheffer J. W. Transition from riveted to welded construction of light combat tanks. /W. Osha ., J. W. Sheffer // Welding journal. — 1943. — № 10. — P. 780–783.
812. Ritchie S. B. Welding as an aid in the fabrication of ordnance material /S. B. Ritchie . // Ibid. — 1945. — № 7. — P. 629–435.
813. Ritchie S. B. Welded weapons in war . /S. B. Ritchie // Ibid. — 1943. — № 11. — P. 893–901.
814. Beese W. Welding of armored tanks /W. Beese . // Ibid. — 1944. — № 5. — P. 416–420.
805. Welding developments of 1944 // Ibid. — 1945. — № 2. — P. 178–180.
816. Fast new H-24 combat tank unveiled // Ibid. — 1945. — № 3. — P. 265–266.
817. Oldenkamp H. A. Welded design as applied to lightweight Army and Navy structures / H. A. Oldenkamp // Ibid. — 1946. — № 1. — P. 33–37.
818. Zambrow J. L., Williams R. D. Pressure gas welding of alloy steel tubing / J. L. Zambrow ., // Ibid. — 1946. — № 10. — P. 585–596.
819. Mercer J. F. Trends in welding consumables: a preliminary centennial assessment / J. F. Mercer // «Trends steel consum. Weld». Int. conf., London. — Vol.1, paps. 5. — 1978. — P. 69–74.
820. Юрьев Б. Н. Избранные труды. — Б. Н. Юрьев - Т.2. История вертолетов. — М.: Наука, 1961. — С. 161–200.
821. Renn A. C. Welded tubular fuselages / A. C. Renn // Welding Engineer. — 1943. — № 5. — P. 38–39.
822. Wood I. P. Welding in the aircraft industry / I. P. Wood // Welding journal. — 1940. — № 6. — P. 476–481.

823. Lee F. A.. Spot welding armor plate / F. A.. Lee // Welding Engineer. — 1945. — № 10. — P. 44–54.

824. Davis A. F. Atomic bomb development was hastened by welding / Davis A. F // Welding journal. — 1946. — № 2. — P. 118–119.

825. Jefferson T. B. Robot bombs by welding / T. B. Jefferson // Welding Engineer. — 1945. — № 1. — P. 54–58.

826. Автоматическая сварка под флюсом строительных металлоконструкций / Е.О.Патон, П.И.Севбо, Г.В.Раевский, Б.Е.Патон.— М.: Стройиздат, 1944.— 70с.

827. Рябоконт Н. Г. Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства. / Н. Г. Рябоконт — М.: Машгиз, 1963. — 277 с.

828. Ковельман Г. М. Развитие сварки в промышленном строительстве СССР. / Г. М. Ковельман — М.: Стройиздат, 1948. — 219 с.

829. Патон Е. О., Островская С. А. Перспективы развития скоростной автоматической сварки / Е. О. Патон // Плановое хозяйство. — 1945. — № 2.

830. Патон Е. О. Развитие автоматической сварки под флюсом за 10 лет / Е. О. Патон // Автоматическая сварка. — 1950. — № 6. — С. 6–12.

831. Патон Б. Е. Сварка длинным, гибким электродом под флюсом / Б.Е. Патон // Автогенное дело. — 1945. — № 1. — С. 1–2.

832. Патон Е. О. Перспективы дальнейшего развития автоматической сварки в СССР / Е. О. Патон // Тр. Всесоюзной конференции по автоматич. сварке под флюсом. — К.: 1948. — С. 52–55.

833. Приходкин М. В. Автоматическая сварка под слоем флюса в поточном производстве шахтного оборудования / М. В. Приходкин // В кн.: «Сборник трудов межобластных научно-технических конференций сварщиков». — М.: Машгиз, К.-М, 1951. — С. 27–33.

834. Волошкевич Г. З. Автоматическая сварка в системе поточного производства железнодорожных цистерн / Г. З. Волошкевич // В кн.: «Сборник трудов по автоматической сварке. — К.: Изд-во АН УССР, 1948. — № 1.

835. Давыденко И. Д. Автоматическая сварка в котлостроении. / И. Д. Давыденко — М.: Машгиз, 1951. — 164 с.

836. Севбо П. И. Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. / П. И. Севбо — К.: Техника, 1974. — 410 с.

837. Казимиров А. А., Остафьев А. И. Сварка в речном судостроении // В кн.: Внедрение новых способов сварки в промышленность. / А. А. Казимиров — К.: Гостехиздат, 1954. — С. 103–118.

838. Казимиров А. А. Автоматическая сварка в речном судостроении / А. А. Казимиров // В кн.: Юбилейный сборник, посвященный 80-летию Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1951. — С. 183–212.

839. Раевский Г. В. Изготовление стальных вертикальных цилиндрических резервуаров методом сворачивания. / Г. В. Раевский — М.; Л.: Гостехиздат, 1952. — 115 с.

840. Высокопроизводительные методы сварки в нефтяной промышленности // Материалы конференции. — М.: Гостоптехиздат, 1952. — 296 с.

841. Тонкостенные плоскосворачиваемые трубы // Информац. Письмо ИЭС им. Е. О. Патона. — 1955. — № 2. — 3 с.

842. Базанов А. М. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка на паровозостроительном заводе им. Октябрьской революции / А. М. Базанов // В кн.: «Сборник докладов научно-технической конференции сварщиков» — М.: Машгиз, К.-М., 1953.

843. Гаврилов Н. Г. Внедрение полуавтоматической сварки на Крюковском вагоностроительном заводе / Н. Г. Гаврилов // В кн.: «Сборник докладов научно-технической сессии сварщиков». — М.: Машгиз, К.-М., 1953.

844. Гутман Л. М. О новом способе наплавки гребней железнодорожных бандажей. / Л. М. Гутман // Автоматическая сварка. — 1951. — № 1. — С. 75–78.

845. Фрумин И. И. Повышение стойкости прокатных валков посредством наплавки / Фрумин И. И. // Автоматическая сварка. — 1954. — № 3. — С. 3–25.

846. Хренов К. К., Кушнерев Д. М. Керамические неплавленные флюсы для автоматической сварки / К. К. Хренов., Кушнерев Д. М. // Автогенное дело. — 1951. — № 6. — С. 1–5.

847. Юзвенко Ю. А. Легирующие неплавленные флюсы для автоматической и полуавтоматической наплавки /Ю. А. Юзвенко // Автоматическая сварка. — 1959. — № 10. — С. 9–18.

848. Фрумин И. И., Походня И.К. Автоматическая наплавка некоторых высоколегированных сталей /И. И.Фрумин.,Походня И.К. // В кн.: «Проблемы дуговой и контактной электросварки». — К.; М.: Машгиз, 1956. — С. 162–175.

849. Фрумин И. И. Автоматическая наплавка высоколегированной стали./И. И. Фрумин // Сб. тр. научно–технической конференции по сварке. — К.: ВНИТО сварщиков, 1954.

850. Фрумин И. И. Современные методы механизированной наплавки /И. И. Фрумин // В кн.: «Сварка и специальная электрометаллургия. — К.: Наукова думка, 1984. — С. 130–138.

851. Тягун–Белоус Г. С. Наплавка резцов порошковой проволокой под флюсом /Г.С. Тягун–Белоус // Автоматическая сварка. — 1953. — № 4. — С. 18–21.

852. Шехтер С. Я. Восстановление оборудования механизированной наплавкой. /С.Я. Шехтер — М.: Metallurgy, 1965. — 136 с.

853. Любавский К. В. Флюсы для автоматической сварки /К.В. Любавский / Электродуговая сварка и наплавка. — М.: Машгиз, 1945. — С. 30–45.

854. . Подгаецкий В. В., Люборец И.И Сварочные флюсы. /В. В. Подгаецкий И.И. Люборец., В. В. Подгаецкий. К.: Техніка. – 1984. -167с.

855. Подгаецкий В. В., Рабкин Д. М. Флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки. /В.В.Подгаецкий., Д.М.Рабкин — К.: Изд–во АН УССР, 1954. — 56 с.

856. Низкокремнистые флюсы для автоматической сварки и наплавки / И. И. Фрумин, Д. М. Рабкин, В. В. Подгаецкий и др. // Автоматическая сварка. — 1956. — № 1. — С. 3–20.

857. Любавский К. В. Metallurgy сварки стали плавлением: Сп. по сварке. /К. В. Любавский — М.: Машгиз, 1960. — Т. 1. — 150 с.

858. Медовар Б. И., Гуревич С. М. Бескислородные флюсы для сварки высоколегированных сталей и сплавов . /Б. И.Медовар.,С. М.Гуревич // Автоматическая сварка. — 1955. — № 4. — С. 31–41.

859. Медовар Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей /Б. И.Медовар — К.; М.: Машгиз, 1958. — 339 с.

860. Рабкин Д. М., Гуревич С. М., Бугрий Ф. С. Сварка цветных металлов /Д. М. Рабкин., С.М.Гуревич — К.: Машгиз, 1959. — 72 с.

861. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов /Под ред. С. М. Гуревича. — К.: Наукова думка, 1979. — 300 с.

862. Рабкин Д. М. Новый способ автоматической сварки алюминия /Д.М. Рабкин // Автоматическая сварка. — 1953. — № 4. — С. 45–50.

863. Лейначук Е. И. Выплавка флюса в электропечи промышленного типа /Е.И.Лейначук // Автоматическая сварка. — 1951. — № 2. — С. 68–76.

864. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. Теория сварочных процессов. /К.В. Багрянский., З.А.Добротина.,— К.: Вища школа, 1976. — 423 с.

865. Підгаєцький В. В. Флюси для механізованого електрозварювання./В.В. Підгаєцький . — К.: Держтехвидав УРСР, 1961. — 135 с.

866. Потапов Н. Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей. /Потапов Н.Н. — М.: Машиностроение, 1979. — 168 с.

867. Походня И. К., Суптель А. М. Механизированная сварка открытой дугой порошковой проволокой . /И.К.Походня.,Суптель А. М.// Автоматическая сварка. — 1959. — № 11. — С. 3–12.

868. Фрумин И. И., Походня И. К. Автоматическая наплавка порошковой электродной проволокой под флюсом — новый способ изготовления биметаллических изделий / Автоматическая наплавка износостойкими сплавами. /И. И. Фрумин., Походня И. К. — М., 1955. — С. 39–114. — № 5. — С. 71–76.

870. Stringham L. K. Rebuilding locomotive wheels by automatic shielded arc methods /L. K. Stringham // Welding journal. — 1946. — 336 p.

871. Волошкевич Г. З. Метод принудительного формирования и его применение /Г. З. Волошкевич. // Автоматическая сварка. — 1951. — № 1. — С. 3–19.

872. Волошкевич Г. З. Автоматическая сварка кожуха доменной печи /Г.З. Волошкевич .. // Ibid. — 1951. — С. 37–51.

873. Дудко Д. А., Грабин В. Ф., Млинов И. Б. Электрошлаковая сварка штанг для гидросооружений // Ibid. — 1956. — № 4. — С. 115–119.

874. Дудко Д. А., Походня И. К. Контактнo–шлаковая сварка деталей больших сечений /Д. А. Дудко., И.К. Походня // Ibid. — 1956. — № 4. — С. 70–75.

875. Медовар Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей. /Б. И. Медовар— К.: Изд–во АН УССР, 1954. — 152 с.

876. Макара А. М., Готальский Ю. Н., Грабин В. Ф. Исследование влияния режима ЭШС на проплавление кромок и ширину околошовной зоны в связи с задачей сварки легированных сталей. /А. М. Макара., Ю.Н. Готальский., В.Ф. Грабин // Автоматическая сварка. — 1955. — № 2. — С. 11–25.

877. Макара А. М., Грабин В. Ф., Новиков И. В. Околошовные трещины и механические свойства сварных соединений при ЭШС среднелегированных сталей /А.М. Макара // Ibid. — 1956. — № 4. — С. 1–21.

878. Розенберг О. О., Черных В. В. Электрошлаковая сварка станин ковочно–штамповочных прессов. /О.О. Розенберг., В.В. Черных // Ibid — 1956. — № 4. — С. 124–129.

879. Гузенко И. Г., Черных В. В. Внедрение электрошлаковой сварки на Ново–Краматорском машиностроительном заводе /И. Г.Гузенко.,В.В.Черных // Сварочное пр–во. — 1957. — № 2. — С. 15–18.

880. Сафонников А. Н. Сварка металлов пластинчатыми электродами. /А.Н. Сафонников— К.: Техніка, 1966. — 95 с.

881. А. с. 105103 СССР, МПК 21В 29/13. Способ электрошлаковой сварки /Г. З. Волошкевич, Д. А. Дудко, Л. П. Ерегин и др. — Оpubл. 05.01.57, Бюл. № 1.

882. Волошкевич Г. З., Сущук–Слюсаренко И. И. О точности размеров изделий, получаемых с помощью электрошлаковой сварки /Г. З. Волошкевич.,Сущук–Слюсаренко И. И. // Автоматическая сварка. — 1960. — № 2. — С. 34–43.

883. Походня И. К. Взаимодействие шлака и металла при дуговой и электрошлаковой наплавке высокохромистых ледебуритных сталей /И. К. Походня. // Ibid. — 1955. — № 5. — С. 33–46.

884. Походня И. К. Электрошлаковая наплавка изнашивающихся деталей. / И. К. Походня— К.: НТО «Машпром», 1957. — 24 с.

885. Сущук–Слюсаренко И. И., Лычко И. И., Семенов В. М. Основные и сварочные материалы для электрошлаковой сварки. /И.И. Сущук–Слюсаренко., И. И.Лычко — К.: Наукова думка, 1981. — 112 с.

886. Дудко Д. А., Рублевский И. Н. О капельном переносе электродного металла при электрошлаковой сварке. /Д.А.Дудко.,И. Н.Рублевский // Автоматическая сварка. — 1958. — № 4. — С. 24–31.

887. Островская С. А. К вопросу о структуре металла при электрошлаковой сварке углеродистых конструкционных сталей /С. А. Островская // Ibid. — 1957. — № 6. — С. 17–20.

888. Макара А. М., Готальский Ю. Н. Исследование температурного цикла околосварочной зоны при электрошлаковой сварке в связи с задачей сварки закаливающихся сталей /А. М. Макара., Ю. Н. Готальский. // Сварочное пр–во. — 1955. — № 5. — С. 13–15.

889. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для дуговой и электрошлаковой сварки. /Б.Е. Патон., В.К. Лебедев- М.: Машиностроение, 1966. — 350с.

890. Патон Б.Е. Автоматическое регулирование электрошлаковой сварки /Б.Е. Патон. // автоматическая сварка. - №3. — с.39-50

891. Сварочное оборудование. Каталог-справочник. Киев: Наукова думка, 1968 Ч.2 385с.

892. Электрошлаковая сварка в СССР. /Б.Е.Патон, Д.А.Дудко, Г.З.Волошкевич и др. /В кн. Сварка и специальная электрометаллургия. Сб. Науч. Тр./Ред. кол. Б.Е.Патон и др.. — Киев: Наук. думка, 1984, - 288с. (С.106-114).

893. Корниенко А.Н. Макаренко Н.А. История создания и развития электрошлаковой сварки и наплавки /А.Н.Корниенко,Н.А.Макаренко //Автоматическая сварка. — 1999. - № 9. — С. 81–90

894. А. с. 104248 СССР, МПК 21 В 29/13. Способ электрической сварки плавлением / Г. З. Волошкевич. — Оpubл. 05.04.56, Бюл. № 9.

895. Архив ИЭС им. Е. О. Патона. — Оп.1, д. 881, л. 9.

896. Архив ИЭС им. Е. О. Патона. — Оп. 1, д. 881. л. 8, 24.

897. Патон Б. Е., Дудко Д. А. Сварка в Чехословакии // Автоматическая сварка. — 1957. — № 1. — С. 103–116.

898. Lucey J. A., Smout D. D. Automatic vertical welding. /J.A. Lucey., D.D. Smout. // British Welding journal. — 1959. — № 9. — P. 396–405.

899. Fiskis M. M. Svarovani pod tavidlem bez oblouku magneticky kracejicimi hlavami /M. M. Fiskis // Strojidska vyroba. — 1957. — № 11. — S. 511–514.

900. Сварка в Германской Демократической Республике / А. А. Казимиров, В. К. Лебедев, Б. Е. Патон и др. // Автоматическая сварка. — 1957. — № 4. — С. 91–104.

901. Voloskevic G. Z. Das Elektroschlackeschweissen // Schweisstechnik. /G. Z. Voloskevic. — 1954. — № 6. — 177 s.

902. Paton B. E. Avtomatisches UP-Schweissen in UdSSR /B. E. Paton // Ibid. — 1957. — № 11. — 393 s.

903. Цуй Синь-Яан. Электрошлаковая сварка /Цуй Синь-Яан. // Dian shijie. — 1959. — № 5. — P. 257–260.

904. Тан Фу-гэн. Электрошлаковая сварка ковочных штампов // Jixie gongren rejiaogong. /Тан Фу-гэн — 1959. — № 10. — P. 53–56.

905. Применение электрошлаковой сварки в тяжелом машиностроении // Чжунсин той туньюн изисе. — 1959. — № 12. — С. 33–37.

906. Appelstam B. Formsvetsning — en svetsteknik pa djipet /B.Appelstam // Teknica (Sver.). — 1959. — № 4. — S. 11–18.

907. B.Lassen. Een methode die meer en meer toepassing vindt /B.Lassen // Metaalbewerking. — 1959. — № 6. — S. 116–118.

908. Schuster P. Electro-Schlacke-Schweißen mit abschmelzender Drahtzuführung /P. Schuster. // Schweißen und Schneiden. — 1959. — № 12. — S. 487–488.

909. Keel C. G. Die Elektroschlacke — schweissung /C. G.Keel. // Schweisstechnik. — 1959. — № 1. — S. 15–17.

910. Grossi O. Il procedimento di saldatura automatica sotto bagno di scoria O. Grossi // Machine. — 1958. — № 12. — S. 1151–1155.

911. Trippe P. Slag welding — is it a myth or a must /P. Trippe. // Scope's factory and office serv. — 1959. — № 11. — P. 13–5.

912. Producing thicker weld a single run // Engineering. — 1959. — № 4876. — P. 298–299.

913. Trippe P. Electro–slag welding in action /P. Trippe // Metalwork. Product. — 1959. — № 51. — P. 2050–2052.

914. Boag D. J., Marshall W. K. B. A new electro–slag welding process /D.J., Boag., W. K. B. Marshall // Brit. Welding journal. — 1959. — № 11. — P. 507–513.

915. Rockweld — Vus Vertomatic welding process /Rockweld // Ship–build. and Shipp. Rec. — 1959. — № 7. — 212 s.

916. Flintham E. A survey of some recent developments in arc welding /E. Flintham // BEAMA J. — 1959. — № 3. — P. 88–93.

917. Sobotka R. Reds receive awards for improving welding /R. Sobotka // Welding Engineering. — 1957. — № 11. — P. 53–54.

918. Peterson R. L. Electro–molding replaces forged engine components /R.L. Peterson . // Ibid. — 1959. — № 4. — P. 52–54.

919. Electro–slag welder // Ibid. — 1959. — № 4. — 102 p.

920. Ogden J. Progress in the welding industry . /J.Ogden // Australas manufacturer. — 1959. — № 5. — P. 115–120.

921. Barash M. M., Heginbotham W. B., Oxley L. Electro–slag method of welding metals of large thickness/M. M. Barash., W.B. Heginbotham., L Oxley // Welding journal. — 1959. — № 2. — P. 132–134.

922. Thomas D. R. Electroslag welding. A new process for heavy fabrication // Ibid. — 1960. — № 2. — P. 111–117.

923. Paton B. E. Electro–slag welding is the most progressive and most efficient method of joining thick metals /B.E Paton // Rev. soudure. — 1960. — № 2. — P. 153–163.

924. Paton B. E. Electro–slag welding of very thick material /B. E. Paton . // Welding journal. — 1962. — № 12. — P. 1115–1123.

925. Danhier F. G. Electro–slag welding, Western European Techniques /F. G. Danhier . // Ibid. — 1962. — № 1. — P. 17–23.

926. Электрошлаковая сварка / Под ред. Б. Е. Патона. — К.; М.: Машгиз, 1956. — 168 с.

927. Электрошлаковая сварка / Под ред. Б. Е. Патона. — 2 изд., испр. и доп. — М; К.: Машгиз, 1959. — 410 с.

928. Electro-slag welding / Ed. B. E. Paton // New York, 1962. — 467 p.

929. Electro-slag welding and surfacing / Ed. B. E. Paton. — Moscow: Mir, 1983. — Vol. 1. — 256 p., Vol. 2. — 264 p.

930. Архив ИЭС. — Оп. 1, д. 933, л. 83.

931. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.

932. Технология электрошлаковой сварки плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 400 с.

933. Увеличение ударной вязкости металла шва при электрошлаковой сварке / А. М. Макара, С. В. Егорова, И. В. Новиков и др. // Автоматическая сварка. — 1970. — № 10. — С. 43–46.

934. Сталь для толстостенных сварных корпусов химических реакторов и аппаратов / А. М. Макара, Ю. Я. Ковалев, А. С. Искра и др. // То же. — 1971. — № 1. — С. 62–66.

935. Электрошлаковая сварка стали 25ХНЗМФ больших сечений / В. В. Черных, Г. З. Волошкевич, И. И. Сущук–Слюсаренко и др. // То же— 1973. — № 6. — С. 72–73.

936. Исследование качества электрошлаковых сварных заготовок ротора диаметром 1500 мм из стали 25ХНЗМФА электрошлаковой выплавки / Б. И. Медовар, В. П. Андреев, Е. А. Рыжкова и др. // Вопросы спец. электрометаллургии. — К.; М., 1973. — С. 101–106.

937. Электрошлаковая сварка / Д. А. Дудко, И. И. Сущук–Слюсаренко, И. И. Лычко и др. // Сварка в СССР. — М.: Наука, 1981. — Т.1. — С. 292–309.

938. Рабкин Д. М., Ищенко А. Я., Синчук А. Г. Электрошлаковая сварка алюминия и его сплавов / Д. М. Рабкин., А. Я. Ищенко // Автоматическая сварка. — 1967. — № 6. — С. 72–73.

939. Опыт внедрения электрошлаковой сварки в производстве колец из титанового сплава ВТ6 / С. М. Гуревич, В. П. Дидковский, А. П. Матвеев и др. // Ibid. — 1960. — № 5. — С. 56–61.

940. Königsmark J. Prima pozorovani elektrostruskoveho procesu pri svarovani dratovou elektrodu prumeru 3,15 mm. /J. Königsmark // Zvaranie. — 1970. — № 9/10. — S. 265–296.

941. Исследование электрошлакового процесса с помощью кино- и фотосъемки через прозрачную среду / Д. А. Дудко, Г. З. Волошкевич, И. И. Сущук–Слюсаренко и др. // Автоматическая сварка. — 1971. — № 2. — С. 15–17.

942. Ерегин Л. П. Расчет параметров формы проплавления при электрошлаковой сварке плавящимся мундштуком /Л. П. Ерегин .// Сварочное пр-во. — 1974. № 4. — С. 27–29.

943. Ивочкин И. И. Электрошлаковая сварка с применением порошкового присадочного металла /И. И. Ивочкин . // Автоматическая сварка. — 1972. — № 5. — С. 43–45.

944. Сущук–Слюсаренко И. И., Лычко И. И. Техника выполнения электрошлаковой сварки /И. И. Сущук–Слюсаренко., И. И. Лычко.— К.: Наукова думка, 1974. — 95 с.

945. Патон Б. Е. Некоторые прогнозы развития сварки . /Б. Е.Патон // Автоматическая сварка. — 1971. — № 5. — С. 13–20.

946. Повышение производительности электрошлаковой сварки / К. А. Ющенко, А. М. Понизовцев, В. В. Фомин и др. // Ibid. — 1970. — № 5. — С. 72–73.

947. Корнієнко О.М. Електрозварювання та генезис спеціальної металургії. /О.М. Корнієнко. //Сварка и родственные технологии.- Киев: ІЕЗ ім. Є.О. Патона.- 2002.- С.5-6

948. Патон Б. Є. Прогрес радянського електрозварювання /Б. Є Патон // Наука і життя. –1953. -№3. –С.22-24

949. Директивы КПСС и Советского правительства по хозяйственным вопросам. Т.3., 1946–1952 г. — М.: Госполитиздат, 1958. — 23 с.

950. Давыденко И. Д. Автоматическая сварка в котлостроении. Давыденко И.Д. — М.: Машгиз, 1951. — 164 с.

951. Кряков И. М. Развитие электросварки на заводе «Красное Сормово» им. А. А. Жданова /И. М. Кряков // Автогенное дело. — 1949. — № 8. — С. 1–5.

952. Новожилова Н. И. Конструкция осуществленного цельносварного пролетного строения Института электросварки /Н. И.Новожилова.// Сб. НИИмостов, 1955. — Вып.4. — С. 26–35.

953. Сильницкий Ю. М. Конструкция осуществленного цельносварного пролетного строения типа НИИмостов /Ю. М.Сильницкий.// Сб. НИИмостов, 1955. — Вып.4. — С. 13–25.

954. Труфяков В. И. Опыт постройки цельносварного пролетного строения автодорожного моста /В. И. Труфяков // Автоматическая сварка. — 1954. — № 6. — С. 33–43.

955. Лебедь Д. П. Достижения в области изготовления сварных мостов /Д. П. Лебедь // В кн.: Сб. докл. науч.–техн. конф. сварщиков. — К.; Москва: Машгиз, 1953. — С. 20–29.

956. Патон Е. О., Труфяков В. И. Способы прикрепления раскосов и стоек к узлам цельносварных сквозных ферм /Е.О. Патон., В.И. Труфяков // Автоматическая сварка. — 1953. — № 1. — С. 3–9.

957. Корнієнко О.М. До 50-річчя відкриття мосту Патона у Києві /О.М. Корнієнко // Наука та наукознавство.-2003.-№4.- С.144-148

958. Ждан И. Т. Автоматическая сварка в производстве товарных полувагонов типа «Гондола». Опыт Крюковского вагоностроительного завода // В кн.: Сб. тр. межобластных науч.–техн. конф. сварщиков. /И.Т. Ждан.— М.: Машгиз, К.–М., 1951.

959. Гаврилов Н. Г. Внедрение полуавтоматической сварки на Крюковском вагоностроительном заводе . /Н. Г. Гаврилов // В кн.: Сб. докл. науч.–техн. сессии сварщиков. — М.: Машгиз, К.–М., 1953.

960. Рабкин Д. М., Звонков М. Л. Вопросы технологии автоматической сварки алюминия плавящимся электродом /Д.М. Рабкин., М.Л. Звонков // Автоматическая сварка. — 1956. — № 1.

961. Пашков И. В., Люленков Г. Г. Примеры применения автоматической сварки алюминия по флюсу /И.В.Пашков.,Люленков Г. Г// Сварочное производство. — 1957. — № 1.

962. Поповский Б. В., Раевский Г. В. Из опыта внедрения новой технологии резервуаростроения /Б.В. Поповский., Г.В. Раевский // В кн.: Внедрение новых способов сварки в промышленности. — К.: Гостехиздат, УССР, 1954.

963. Фалькевич А. С. Сварка нефтерезервуаров и нефтегазопроводов в зарубежной практике /А. С. Фалькевич // Сварочное производство. — 1956. — № 2.

964. Воронов Н. И. Технология изготовления емкостей 5000 м³ рулонным способом: Из опыта Запорожского завода металлоконструкций /Н.И.Воронов // Архів Харківського ВНІТТ зварників, 1954.

965. Мирлин Г.А. Сварка в автостроении. /Г.А. Мирлин -М.: Машгиз, 1963. — 268с.

966. Бобринский Ю. Н. Многоточечная электроконтактная сварка /Ю.Н. Бобринский // Сб. по обмену техническим опытом. — 1948. — № 4. — С. 7–10.

967. Мумриков П. В., Тарасов С. И. Многоточечная дуговая сварочная машина /П.В. Мумриков., С.И. Тарасов.// Технология автомобилестроения. — 1956. — № 5. — С. 70–72.

968. Кобзев И. Ф. Развитие сварки на Челябинском тракторном заводе. /И. Ф. Кобзев // Сварочное пр-во. — 1959. — № 3. — С. 23–27.

969. Mantle K. G. Pressure Vessel Development . /K. G. Mantle // Welding journal. — 1961. — № 5. — 204 p.

970. Сварные трубы для магистральных трубопроводов / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, С. Л. Мандельберг, В. И. Труфяков, С. М. Билецкий // В кн.: Сварка и специальная электрометаллургия. — К.: Наукова думка, 1984. — С. 12–33.

971. Андреев И. И. Опыт производства сварных труб /И. И. Андреев // Автоматическая сварка. — 1952. — № 5. — С. 81–84.

972. Гармашев А. П. Автоматическая электросварка в производстве труб /А.П. Гармашев // В кн.: Юбилейный сборник, посвященный 80-летию Е. О. Патона. — К.: Изд-во АН УССР, 1951. — С. 81–84.

973. Медовар Б. И. Автоматическая сварка под флюсом наклонным электродом. /Б.И. Медовар— К.: Изд-во АН УССР, 1947. — 83 с.

974. Медовар Б. И., Лашкевич Р. И., Гарагуля А. М. Автоматическая дуговая электросварка труб большого диаметра./Б.И.Медовар.,Р.И.Лашкевич.,А.М. Гарагуля — Сталь, 1951. — № 12. — С. 1104–1109.

975. О выборе схемы производства сварных прямошовных труб большого диаметра / Б. Е. Патон, С. Л. Мандельберг, Р. И. Лашкевич и др. //Автоматическая сварка. — 1960. — № 1. — С. 3–14.

976. Мандельберг С. Л., Забарилло О. С. Некоторые вопросы сварки под флюсом прямошовных газонепроводных труб большого диаметра из сталей повышенной прочности /С. Л. Мандельберг.,О.С. Забарилло. // Автоматическая сварка. — 1958. — № 1. — С. 56–62.

977. Лашкевич Р. И. Трубосварочный стан для автоматической сварки под флюсом труб с прямым швом /Р. И. Лашкевич // Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом, 1948. — № 1. — С. 315–326.

978. Патон Б. Е. Производство сварных труб большого диаметра в Федеративной Республике Германия /Б. Е. Патон // Автоматическая сварка. — 1958. — № 2. — С. 92–96.

979. А. с. 85276 (СССР). Стан для производства сварных труб из винтообразно навиваемой ленты / П. Г. Емельяненко, А. Д. Кузьмин, А. М. Рыбальченко и др. — Заявл. 4.03. 1947, № 352196 // Оpubл. в Б. И. — 1964. — № 10. — 103 с.

980. Осада Я. Е. Достижения в области трубного производства за 50 лет советской власти / Я. Е. Осада . // Сталь. — 1967. — № 10. — С. 939–942.

981. А. с. 182663 (СССР). Способ производства спиральношовных труб / Б. Е. Патон, С. Л. Мандельберг // Оpubл. в Б. И. — 1966. — № 12. — 20 с.

982. Заско Ф. А., Коган Г. Е. Опыт автоматической сварки магистральных трубопроводов / Ф. А. Заско // Сварочное пр-во. — 1959. — № 2. — С. — 10–12.

983. Фалькевич А. С. Сварка магистральных трубопроводов и заводских трубопроводов. / А.С. Фалькевич — М.: Гостехиздат, 1962. — 422 с.

984. Таран В. Д. Сварка магистральных трубопроводов и конструкций./ В.Д. Таран— М.: Недра, 1970. — 384 с.

985. Pipeline brings first natural gas to Florida // *Welding Engineering*.— 1959.— № 5. — P. 32–34.

986. L 9000000 Pipeline in Pakistan // *Welding and metal fabric*.— 1954.— № 10. — P. 374–376.

987. Clason C. B. Garwood Adapts Automatic welding /C.B. Clason // *Welding Engineering*. — 1948. — № 8. — P. 46–50.

988. Steel fabrication at A. O. Smith // *Welding and Metal fabric*. — 1952. — № 10. — P. 346–355.

989. Miles of welded Pipeline // *Ibid*. — 1954. — № 4. — P. 139–141.

990. Meyer A. R. Automatic horizontal and vertical welding of Field Erected Structures / A. R. Meyer // *Welding journal*. — 1954. — № 7. — P. 651–655.

991. Turner P. W. Evaluation of weld quality on a submarine pipe line /P. W Turner // *Ibid*. — 1960. — № 12. — P. 1215–1221

992. Корнієнко О.М., Храмов Ю.О. Патон Борис Євгенович / О.М. Корнієнко., Ю.О. Храмов // *Наука та наукознавство*. – 2008. -№4. – С.52-74.

993. Корнієнко О.М., Літвінов О.П. Особливості розвитку наукових засад і впровадження зварювання в УРСР з 1945 до середини 1950-х років. /О.М.Корнієнко, О.П.Літвінов // *Нариси з історії природознавства і техніки*.- 2005. – Вип.45.- С.123-131.

994. Корниенко А.Н. Институт электросварки им. Е.О. Патона /А.Н. Корниенко. // *Киев: Наукова думка, 1986. – 51 с.*

995. Корниенко А.Н. Исторический опыт управления развитием сварочного производства /А.Н.Корниенко // *Сб. Тезисы Всесоюзной научно-технической конференции “Бернардосовские чтения”.15-18 апреля 1989. – Иваново: ИЭИ – С. 151 – 152.*

996. Корнієнко О.М. Розробка технології виготовлення шаруватих конструкцій для ракет і апаратів що спускаються. / О.М.Корнієнко // *Сб. матеріалів наукових читань: ДКБ «Південне» 50 років». Киев: КПІ 20-21 травня 2005. – С.67-70.*

997. Корниенко А.Н 50–летие Института электросварки им. Е.О. Патона /А.Н.Корниенко // Вопросы истории естествознания и техники. – М.: Наука. - 1985. - № 2. – С. 167 – 168.

998. Корнієнко О.М. Праці Національної Академії наук в галузі космічного матеріалознавства /О.М.Корнієнко //Мат. наукових читань «Дніпровська орбіта-2006» (до 100-річчя О.М. Макарова). 14-16 вересня 2006. . Дніпропетровськ – С.56-60.

999. Патон Б.Е.. Сварка в космосе и в мировом океане – технологические проблемы XXI века / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. 1997. – С.3-8

1000. Патон Б.Е. Современные достижения ИЭС им. Е.О. Патона в области сварки и родственных процессов / Б.Е Патон // Там же.- 2005.- №8 - С.3-11