

II 629.572

Проф. Др. Інж. І. ФЕЩЕНКО-ЧОПІВСЬКИЙ

# НОВОЧАСНЕ ГАРТУВАННЯ СТАЛІ ТА ДВОВЕРСТОВА КУПІЛЬ.

„ЗБІРНИК МАТ.-ПРИР.-ЛІК. СЕКЦІЇ НАУК. ТОВ. ІМ. ШЕВЧЕНКА”  
ТОМ XXXII — ВИПУСК I (ВІДБИТКА).

[Львів 1938.]

ЛЬВІВ, 1938.

З друкарні Наукового Товариства ім. Шевченка, Львів, вул. Чарнецького 26.



II-629.512

## Новочасне гартування сталі та двоверстова купіль.

Термічна обробка надає сталям убагроднені прикмети.

Гартування у водяній купелі, що має кімнатну температуру, хоч надає сталям найвищу твердість, згідно міцність, одночасно переводить сталь в стан найбільшого напруження і найбільшої крихкості. Щоби усунути ці напруження, а разом й надмірну крихкість, інструмент по загартуванні дещо відгартують, а то значить — наново ogrивають протягом деякого часу в температурах „кольорів відгартування“, т. з. в розмірно низьких температурах.

Конструкційні сталі відгартують в розмірно значно вищих температурах. При так високім відгартуванні (однаке в температурах пониже температури алотропових перемін) ми доцільно тратимо дещо міцности й твердості, щоби натомісь сильно зискати на тягучости та здобути добру відпорність на динамічні обтяження. Таким способом дістають в конструкційних сталях високу міцність, а разом і добру відпорність на удари.

Віддавна шукають способу, аби оба ці процеси (гартування та відгартування) получити в одно; аби замісь двох ogrивань, обі чинности доконувати по однім ogrиванню. Довго спроби ріжних дослідників були без більшого практичного висліду, аж ось американським металознавцям E. S. Davenport'ові та E. C. Bain'ові\*) пощастило найти залежність будови сталі, і тим самим — її властивостей, від швидкости, з якою охолоджувано сталь від температури гартування та від температури гартівничої купелі і від часу, що його протягом перебувала гартована проба в гартівничій купелі. Інакше, вище згадані дослідники найшли залежність будови й властивостей гартованої проби від температури середовища, в якій відбувається розпад австеніту, та від часу потрібного теоретично й зужитого практично на цей розклад.

\*) Transact. Am. Soc. for. Metals 1934 ст. 289/310.

На рис. I представлено в логаритмічній шкалі уклад „S“ Bain'a, де буквою  $S_1$  означено криву початку, а  $S_2$  — кінець розкладу австеніту для вуглястої сталі з евтектоїдальним вмістом вугля (коло 0,9% C) для всіх практично можливих температур оточення, почавши від температури трохи нижчої від температури алотропової переміни (721°) аж до звичайних температур.

З перебігу цих кривих робимо висновок, що повільне охолодження сталі, оґрітої до температур тривалого стану фази „γ“, дозволяє на закінчення розпаду австеніту в температурах близьких і лише трохи нижчих від температури алотропової переміни ( $\sim 715^\circ$ ), що доводить до найбільше зрівноваженої структури — перліту з пересічною твердістю 170° Вр. (крива „7“\*).

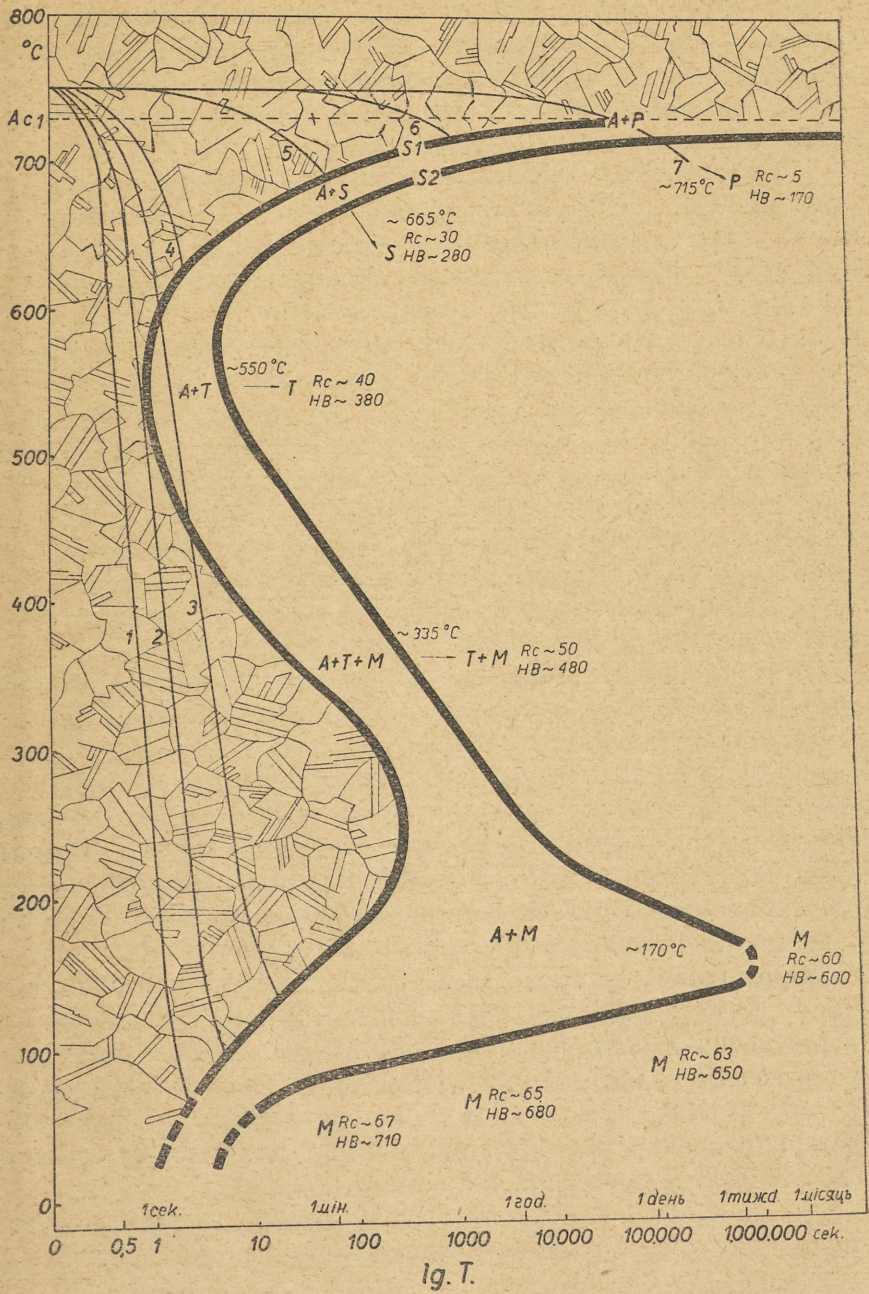
Дещо прискіпшене охолодження (на рис. I — крива „5“) обнижує температури розпаду австеніту до 665° та допроваджує до сорбітичної структури з пересічною твердістю 280° Вр. Дальше прискіпшене охолодження причинюється до повстання підгартованої „трооститової“ структури з пересічною твердістю 380° Вр. В разі, коли температура розпаду австеніту обнизилася до 335°, в цьому останньому випадку твердість буде виносити 480° Вр. (на рис. I. — крива 4).

Швидкість розкладу австеніту збільшується в міру, як обнижується температура оточення, в якому відбувається оцей розклад. Найбільша швидкість розкладу відповідає температурі около 540°. В міру дальшого обниження температури (нижче 540°) розпад австеніту відбувається що раз повільніше й лівніше.

Оскільки швидкість остигання австеніту була така велика, що унеможливила розпад австеніту в горішнім обсягу температур (721—540°), тоді і в даному обсязі температур (540—150°), при тій самій швидкості остигання, розпад не відбудеться; це є обсяг „безвладности“. Однак скоро оточення буде мати температуру нижчу як 150°, перехолоджений австеніт розпадається майже зараз, а наслідком такої наглої і швидкої переміни буде мартензитична структура, найтвердша (710—600° Вр) та найбільше напружена і крихка. Найдовше відбувається переміна в температурі около 170° С; продуктом розпаду австеніту в цій температурі буде зістарілий (відгартований) мартензит з твердістю заледве 600° Вр (крива N 3).

Найменшу швидкість остигання, що однак дозволяє дістати мартензитичну структуру, називаємо „критичною швидкістю“; вона означена на рис. I кривою „2“.

\*) Крива „7“ відповідає грубозернистому перлітові; крива „6“ — дрібнозернистому перлітові.



Вичерк „S“ Bain'a розважаємо як підставу новочасної термічної обробки. Цей вичерк дозволяє згори усталити вислід гартування в так названих „гарячих купілях“, окреслює швидкість розпаду австеніту на кожному температурному поземі, його характер, початок і кінець, будову, ступінь аномальности будови та фізичні властивости (твердість, міцність).

Представлений на рис. I вичерк „S“ відноситься тільки для „нормальних“ сталей, т. з. грубозернистих, що глибоко гартуються. Сталі дрібнозернисті, які часто бувають „анормальні“, гартуються плитко та від вищих температур. Розпад австеніту відбувається в них значно легше й швидче, ніж в грубозернистих сталях, а цементит виказує нахил до коагуляції. Криві  $S_1$  і  $S_2$  для дрібнозернистих сталей пересунуться вліво, т. з. до більших швидкостей, та до гори, т. з. до трохи вищих температур; крім цього, обі криві будуть зближені до себе, що вказує на прискішений розклад австеніту у цих сталях. Зменшений вміст вугля (сталі маловуглясті!) ділає апальогічно, т. з. пересуває криві  $S_1$  і  $S_2$  вліво; патомість присутність більшости спеціальних домішок (хром, нікель, манган, вольфрам, ванад, молібден і т. п.) пересуває криві  $S_1$  і  $S_2$  вправо, т. з. утруднює розпад австеніту (твердого розтвору!).

Кожда стопова й нестопова домішка зменшує критичну швидкість остигання; випяток кобальт, який ділає навпаки!

Розважаючи вичерк Bain'a приходимо до внеску, що ідеальним осередком до гартування булаб купіль, яка посідала б найбільшу швидкість охолодження в обсягу легкого розпаду австеніту, т. з. до температури, означеної на вичерку II буквою B (відтенок АВ кривої  $ABD_0$ ). Даліший розклад австеніту мав би відбуватися в температурах „повільного“ розкладу (т. з. 200—150°) т. з. як найповільніше (відтенок  $BD_0$ ).

Опрацьовано до нині два варіянти:

а) сходкове гартування, крива  $AB_1B_2C_2$  згл.  $AB_1B_2D_2$  т. з. швидке охолодження гартованої проби в купелі о температурі  $t_1$  перетримання проби в гартівничій купелі, доки проба не осягне температури  $t_1$ , а тоді розпад австеніту відбувається або в часі дальшого остигання у воді (+ 20°, крива  $B_2C_2$ ), або в часі дальшого остигання на повітрі (крива  $B_2D_2$ ).

б) ізотермічне гартування; крива  $AB_1B_3C_3$  зглядно  $AB_1B_3D_3$  що різниться від попереднього тим, що гартована проба остає в гартівничій купелі при температурі  $t_1$  аж майже до цілковитого розкладу австеніту, т. з. достаточо довго. Тому що

температура  $t_1$  міститься в обсягу температур найбільшої повільності розпаду австеніту, а темпо розпаду австеніту, як і темпо кожної фізико-хімічної реакції, затримується в міру наближення до кінця реакції, то практично закінчують ізо-гартування в часі десь на ліво від точки  $B_3$ , а кінець розпаду остального австеніту відбувається в часі остигання в дещо нижчих температурах, де швидкість розкладу австеніту знова є дуже велика.

Вичерк II представляє схематично перебіги остигання сталевих проб в різних гартівничих середовищах.

Крива ABC зглядно  $B_2C_2$  і  $B_3C_3$  представляє остигання у воді.

Крива AMNO представляє остигання в олійовій купелі.

Крива АК представляє остигання у воді + 6% клею.

Крива AP, зглядно  $B_1D_1$ ;  $B_2D_2$ ;  $B_3D_3$  представляє остигання на повітрі.

Крива  $ABD_0$  представляє остигання у комбінованій купелі (води на олії).

Крива  $AEE_1$  представляє остигання в емульзії 60% у воді.

Стрілка „x“ означає зміни в швидкостях остигання гартуваних сталевих проб в гартівничій купелі, наколи емульзія тяжкої (вертничої) олії у воді буде збільшуватися від 0% (крива ABC) до 60% вертничої олії (крива AMNO). Стрілка „у“ означає зміни в швидкостях остигання гартуваних сталевих проб, коли вміст столярського клею у воді буде збільшуватися від 0% до 6%, зглядно вміст пектиніту або іншої органічної субстанції (колоїду). Додатки до води кухонної соли (кислоти), ділають відворотно, т. з. збільшують швидкості остигання гартуваних проб.

Черткована крива „ $S_1$ “ означає для кожної температури гартуючого осередку початок розпаду австеніту для сталі чисто вуглистої з евтектоїдальним вмістом вугля; крива „ $S_2$ “ означає кінець розпаду австеніту.

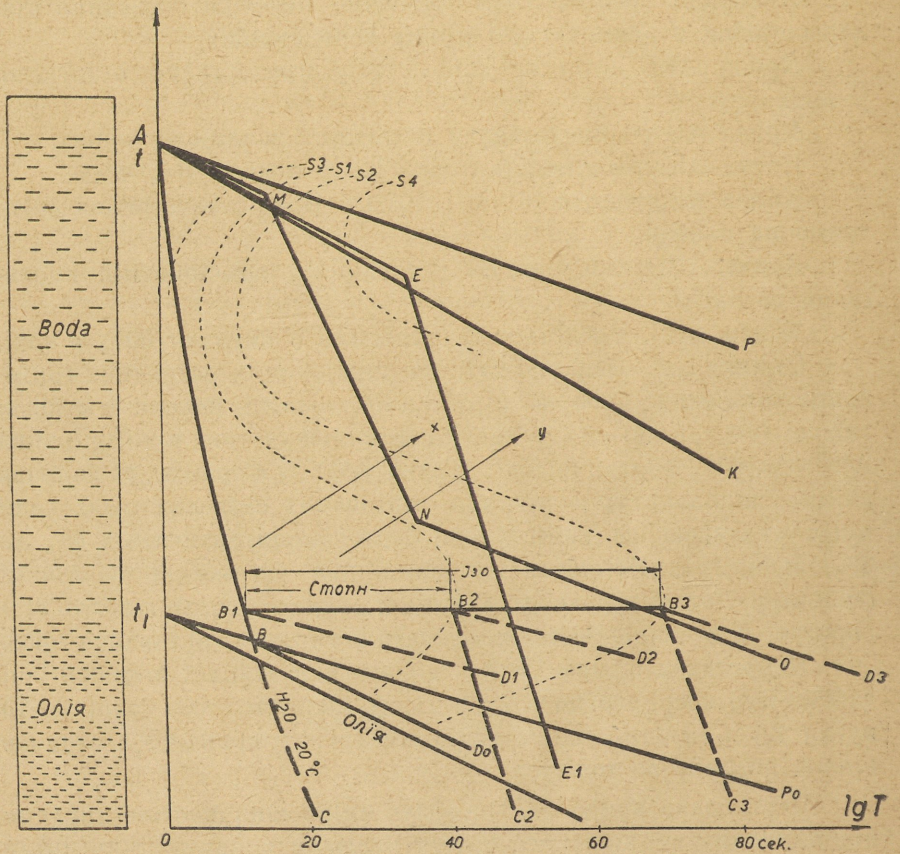
Черткована крива „ $S_3$ “ показує зміни швидкості остигання під впливом зменшуваного вмісту вугля, а крива „ $S_4$ “ — зміни швидкості остигання під впливом зростаючого вмісту стопової домішки (крім кобальту!).

Позема вісь представляє зміни часу в логаритмічній шкалі для укладу „S“ -- Vaina, а для інших кривих — в звичайній шкалі температур.

Інж. Ю. Вільк виконав на моє доручення ряд проб, шукаючи такої гартівничої купелі, що дозволяла б досягнути високі швидкості остигання в обсягу температур легкого розпаду ав-

стеніту, та повільні швидкості в обсягу повільного розкладу австеніту, що дало б можливість отримати відразу з одного ogrівання структури „термічного улiпшення“, без потреби наступного відгартування та без повстання великих і шкiдливих напружень, що зiстають в сталях гартованих до кiнця у водi.

Вступні проби гартування в купiлях заправлених або після нiмецьких рецепт „пектинiтом“\*), або столярським клеєм не до-



провадили до добрих результатiв (порiвнай криву  $ABD_0$  з кривою  $AK$ ); до тогож оцi купелi по певнiм часi ужитку гублять свої властивостi гартування. Пектинiт (клей), рослиннi або звiриннi субстанцiї под впливом тепла, яке приходить до купелi в часi гартування, звершуються, — а гартiвнича купiль „старiє“, т. з. тратить свою попередньо набуту властивiсть лагiдного гарт-

\*) Спосiб фабрики „Potosin-Werke“ — у Франкфуртi н/М.



тування, та ділає як брудна вода. Рівнож завели надії застосування до гартівничих купелів штучних емульзій олії у воді, тому, що перший період остигання відбувається не як у воді (крива АВ), а як в олії (крива АЕ), т. з. дістаємо цілком відворотний ефект.

Найбільша технічна трудність — вишукати олію, якої питомий тягар був би більший від пит. тягару води. Инж. Ю. Вільк розв'язав цю проблему наступним способом: Газову смолу (пит. тягар 1,2) розпускано у технічній бензолі (пит. тяг. 0,86) у відношенні 5 : 1 при ogrіванню до около 80° і добрім розмішуванні.

Залишилося на практиці лише сконструувати апарат до гартування в двуверстових купілях. Був би це на наш погляд високий округлий збірник, де внизу находилася б тяжка олія, а висота цієї рідини була б розмірно невелика. Горішня верства води (найліпше дощевої!) була б змінна і залежна від розміру поодиноких предметів, що їх належало б гартувати, а також від їх кількості, що припадала б на одиницю часу. Чим коротшим був би стовп води, тим у вищих температурах відбулося б переломання кривої  $ABD_0$ , і тим м'якші структури повстали б в наслідок такого гартування.

Результати гартування в двуверстових купілях (вода на олії) для сталі: 1) 0,45% С; 0,82% Мn; 0,3% Si; 0,041 % Р і 0,038% S  
2) 1,15 „ 0,31 „ 0,3 „ 0,028 „ 0,026 „

| Температура в „В“ після кривої $ABD_0$ | Температура гартівничої купелі | Твердість в скалі Rockwell'a „С“ |         |
|--|--------------------------------|----------------------------------|---------|
|  |                                | Сталь 1                          | Сталь 2 |
| 700                                    | 25°                            | 21                               | 21      |
| 600                                    | „                              | 25                               | 22      |
| 500                                    | „                              | 28                               | 27      |
| 450                                    | „                              | 45                               | 35      |
| 400                                    | „                              | 58                               | 38      |
| 350                                    | „                              | 61                               | 43      |
| 300                                    | „                              | 63                               | 47      |
| 700                                    | 50                             | 20                               | 20      |
| 600                                    | „                              | 22                               | 21      |
| 500                                    | „                              | 24                               | 23      |
| 450                                    | „                              | 40                               | 28      |
| 400                                    | „                              | 50                               | 34      |
| 350                                    | „                              | 59                               | 38      |
| 300                                    | „                              | 61                               | 42      |

Середня з 10 проб

Звичайне гартування 25

Гарт. у двуверст. купілі „

66

66

66

66

Як бачимо з повищих даних, гартуванням у двуверстових гартівничих купілях можна кермувати і одержувати довільні результати, де твердість буде дорівнювати твердості, що її досягнемо гартуванням у звичайній водній купелі. Ударність проб, гартованих у двуверстовій гартівничій купелі, є кождоразово трохи вища як при звичайнім гартуванню,

Видається нам, що запропонована метода гартування в двуверстових купілях добре надається до застосування у промислі для масової продукції. Вода в гартівничій купелі може перепливати, а висота її верстви — змінитися, що легко можемо регулювати в залежності від маси, об'єму і кількості предметів, що мали б бути загартовані.

Загартовані предмети матимуть добру твердість і значно меншу скількість внутрішніх напружень, а рівнож належить припускати, що менші будуть явища пучіння, викривлення та деформації. Верства тяжкої олії буде охолоджуватися водою; факт, що охолоджуючийся предмет приходить до олії з розмірно не так високою температурою, утруднює зістаріння, т. з. випалювання легкоулетучуюхся похідних тяжкої олії.

Позатим добре змеханізоване гартування в двуверстових гартівничих купілях може цілковито усунути конечність наступного відгартування, що додатно відібється на економічній стороні цього процесу.





23.XI.1938

*MM.*