



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122482** (13) **C2**
(51) МПК (2020.01)
C21D 9/00
C21D 1/00
C22C 33/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

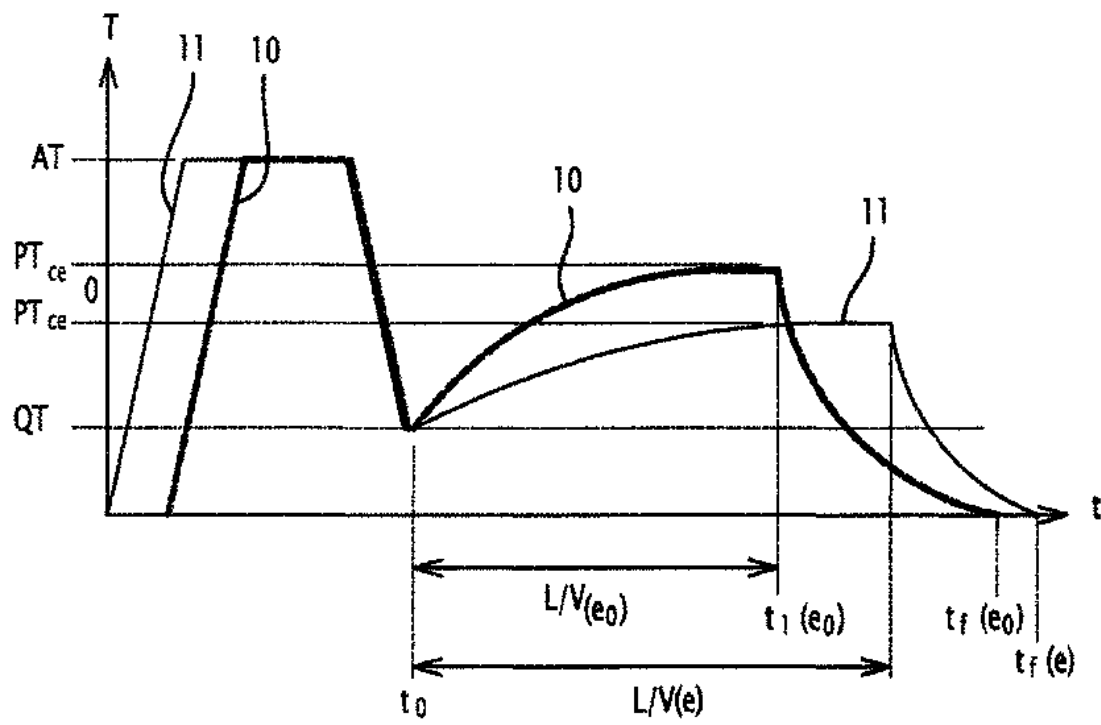
(21) Номер заявки:	а 2017 00771	(72) Винахідник(и):	Арлазаров Артем (FR)
(22) Дата подання заявки:	23.07.2015	(73) Володілець (володільці):	АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	26.11.2020	(74) Представник:	Слободянюк Тарас Олександрович, реєстр. №217
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	PCT/IB2014/002342	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	EP 2039791 A1, 25.03.2009 EP 2524970 A1, 27.11.2012 EP 2325346 A1, 25.05.2011 EP 2683839 A1, 15.01.2014 WO 2013010968 A1, 24.01.2013 WO 2004022794 A1, 18.03.2004 Lauralice C. F. Canale. A historical overview of steel tempering parameters / Lauralice C. F. Canale. et al // International Journal of Microstructure and Materials Properties. - Vol. 3. - No. 4 - 5. - P. 474 - 522 Song Taejin. On the Processing of Martensitic Steels in Continuous Galvanizing Lines: Part 1 / Taejin Song, Jaihyun Kwak, B. C. De Cooman // Metallurgical and Materials Transactions A. - Vol. 43A. - 2012. - P. 245 - 262
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	30.07.2014		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	IB		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.04.2017, Бюл.№ 8		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	25.11.2020, Бюл.№ 22		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/IB2015/055580, 23.07.2015		

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОМІЦНОЇ СТАЛЕВОЇ ДЕТАЛІ

(57) Реферат:

Спосіб виготовлення високоміцної сталевий деталі, що має задані механічні властивості, які отримують за допомогою стандартної термообробки, що включає першу стандартну обробку і кінцеву стандартну обробку, яка включає принаймні перестарювання, спосіб, що містить стадію термообробки на устаткуванні, що включає принаймні пристрій перестарювання, для якого можна задати принаймні один експлуатаційний режим, кінцева обробка включає перестарювання, для якого можна розрахувати два параметри кінцевої обробки OAP1 і OAP2 залежно від експлуатаційного режиму пристрою перестарювання. Мінімальний OAP1 min і максимальний OAP2 max параметри кінцевої обробки визначають для того, щоб набути необхідних властивостей, принаймні один експлуатаційний режим секції пристрою перестарювання визначається таким чином, що $OAP1 \geq OAP1 \text{ min}$ і $OAP2 \geq OAP2 \text{ max}$. Деталь піддають термообробці відповідним чином. Параметри є T(t) температурою у момент часу t формули (I).

UA 122482 C2



Фиг. 2

Даний винахід стосується виготовлення високоміцних сталевих деталей, зокрема, на лінії безперервного відпалу.

Зокрема, в цілях підвищення енергетичної ефективності автомобілів потрібне зниження ваги. Це можливо з використанням сталевих деталей або листів, що мають покращену межу текучості і межу міцності, для виготовлення деталей кузова. Такі сталі також повинні мати відповідну пластичність, щоб легко формуватися.

З цією метою було запропоновано використовувати деталі, виготовлені з C-Mn-Si сталей, з такою термообробкою, щоб мати структуру, що містить принаймні мартенсит і залишковий аустеніт. Термообробка включає принаймні стадію відпалу, стадію гартування і стадію перерозподілу вуглецю. Відпал проводять при температурі вище за температуру перетворення сталі A_{c1} , щоб отримати принаймні частково аустенітну початкову структуру. Гартування проводять швидким охолодженням до температури гартування в інтервалі між температурами перетворення M_s і M_f початковою принаймні частково аустенітної структури, щоб отримати структуру, що містить принаймні деяку кількість мартенситу і залишкового аустеніту, із залишком фериту та/або бейніту. Переважно температуру гартування вибирають, щоб отримати максимально можливу частку залишкового аустеніту з урахуванням температури відпалу. Коли температура відпалу вище за температуру перетворення сталі A_{c3} , початкова структура є повністю аустенітною і структура, що отримується безпосередньо гартуванням при температурі між M_s і M_f , містить тільки мартенсит і залишковий аустеніт.

Розподіл вуглецю (який також називатиметься "перестарюванням" в контексті цього винаходу) проводять нагрівом від температури гартування до температури, яка вища за температуру гартування і нижча за температуру перетворення сталі A_{c1} . Це дозволяє розподілити вуглець між мартенситом і аустенітом, тобто вуглець дифундує з мартенситу в аустеніт, без утворення карбідів. Ступінь розподілу зростає із збільшенням тривалості стадії перестарювання. Таким чином, тривалість перестарювання вибирається так, щоб бути досить тривалою, щоб забезпечити якомога повніший розподіл. Проте дуже велика тривалість може викликати розкладання аустеніту і дуже високе розділення мартенситу і, отже, зниження механічних властивостей. Таким чином, тривалість перестарювання обмежується так, щоб уникнути, наскільки це можливо утворення фериту.

Крім того, ці деталі можуть бути покриті гарячим покриттям, яке здійснює додаткову термообробку. Таким чином, якщо деталі повинні бути покриті гарячим покриттям після первинної термообробки, ефект гарячого покриття потрібно враховувати при визначенні умов початкової термообробки.

Деталь може бути сталевим листом, виготовленим на лінії безперервного відпалу, на якій швидкість переміщення листа залежить від його товщини. Оскільки довжина лінії безперервного відпалу є фіксованою, тривалість термообробки конкретного листа залежить від його швидкості переміщення, тобто від його товщини. Таким чином, повинні бути визначені умови термообробки і конкретніше температура і тривалість перестарювання для кожного листа не тільки відповідно до його хімічного складу, але і з його товщиною.

Оскільки товщина листів може варіюватися в межах певного діапазону, дуже велику кількість випробувань необхідно провести, щоб визначити умови термообробки різних листів, отриманих на певній лінії.

Альтернативно деталь також може бути заготівкою, викуваною нагарає, яку піддають термообробці в печі після формування. В цьому випадку нагрів зразка від температури гартування до температури перестарювання залежить від товщини і розміру деталі. Таким чином, велика кількість випробувань, також необхідні для визначення умов обробки різних деталей, виготовлених з однієї і тієї ж сталі.

Завдання даного винаходу полягає в створенні засобу для зменшення числа випробувань, які необхідно виконати, щоб виготовляти сталеві деталі, виконані з однієї і тієї ж сталі, але що мають різну товщину і розмір, на конкретному устаткуванні, такому, як конкретна лінія відпалу або конкретна піч.

Таким чином, винахід стосується способу виготовлення високоміцної сталеві деталі термообробкою деталі на устаткуванні, що включає принаймні одну ділянку перестарювання або піч, на яких можна визначити принаймні один експлуатаційний режим, щоб набути потрібних механічних властивостей листа, термообробка включає принаймні кінцеву обробку, що включає принаймні одну стадію перестарювання, для якої можна обчислити два параметри кінцевої обробки OAP_1 і OAP_2 залежно від принаймні експлуатаційного режиму, тобто принаймні залежно від принаймні одного експлуатаційного режиму, в якому можна встановити принаймні експлуатаційний режим секції перестарювання, що характеризується тим, що він включає стадії:

- визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки $OAP1_{min}$ і максимального другого параметра кінцевої обробки $OAP2_{max}$ відповідно, щоб набути потрібних механічних властивостей,

5 - визначення принаймні одного експлуатаційного режиму секції перестарювання так, що перший параметр кінцевої обробки $OAP1$ і другий параметр кінцевої обробки $OAP2$ експлуатаційних режимів відповідають: $OAP1 \geq OAP1_{min}$ і $OAP2 \leq OAP2_{max}$,

- і термообробки деталі на устаткуванні, що виконується відповідно до заданих експлуатаційних режимів.

10 Спосіб є способом виготовлення деталі з високоміцної сталі, що має потрібні механічні властивості, деталь виконана із сталі, для якої відомо, що можна отримувати ці потрібні механічні властивості стандартною термообробкою, що включає першу стандартну обробку, що додає сталевій деталі певну структуру і кінцеву стандартну обробку, що включає принаймні перестарювання. Вказаний спосіб виготовлення високоміцної сталевій деталі включає стадію термообробки деталі на устаткуванні, що включає принаймні пристрої перестарювання для
15 набуття потрібних механічних властивостей деталі. Стадія термообробки включає принаймні кінцеву обробку, що виконується на сталевій деталі, що має ту ж структуру, що і задана структура, отримана вказаною першою стандартною обробкою. Кінцева обробка включає принаймні стадію перестарювання, що виконується на вказаних пристроях перестарювання, на яких можна реалізувати принаймні один експлуатаційний режим, для якого можна обчислити
20 два параметри кінцевої обробки $OAP1$ і $OAP2$ залежно від вказаного принаймні одного експлуатаційного режиму пристрою перестарювання. Спосіб включає стадії:

- визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки $OAP1_{min}$ і максимального другого параметра кінцевої обробки $OAP2_{max}$ відповідно для набуття потрібних механічних властивостей,

25 - визначення принаймні одного експлуатаційного режиму секції пристрою перестарювання так, що перший параметр кінцевої обробки $OAP1$ і другий параметр кінцевої обробки $OAP2$, обумовлені експлуатаційними режимами, відповідають:

$$OAP1 \geq OAP1_{min}$$

$$\text{та } OAP2 \leq OAP2_{max}$$

30 - і термообробки деталі на устаткуванні, що працює відповідно до певних експлуатаційних режимів,

- причому, якщо $T(t)$ температура в $^{\circ}\text{C}$ сталевій деталі у момент часу t , t_0 є часом початку кінцевої обробки і t_1 є часом закінчення кінцевої обробки:

- відповідний перший параметр кінцевої обробки $OAP1$ представлений:

$$35 \quad OAP1 = \int_{t_0}^{t_1} \exp(-Q/R(T(t) + 273)) dt, \text{ де}$$

Q - енергія активації дифузії вуглецю,

R - ідеальна газова постійна,

а другий параметр кінцевої обробки $OAP2$ представлений:

$$OAP2 = a * T_0 + b * \left(\int_{t_0}^{t_f} T(t)^2 dt \right)^2, \text{ де}$$

40 T_0 - температура у момент часу t_0 .

Відповідно до інших переважних аспектів винаходу, спосіб може включати одну або декілька з наступних ознак, що розглядаються окремо або відповідно до будь-якої технічно можливої комбінації:

45 - потрібні механічні властивості є мінімальними значеннями принаймні міцностних властивостей, наприклад, межа текучості та/або межа міцності і принаймні властивостей пластичності, таких як загальне подовження та/або однорідне подовження та/або коефіцієнт роздачі отвору та/або властивості при вигині,

50 - перша стандартна обробка включає відпал при температурі вищої, ніж температура перетворення сталі Ac_1 для отримання перед гартуванням структури, що містить принаймні 50 % аустеніту і гартування до температури QT нижчої, ніж температура перетворення сталі Ms , для отримання структури, що містить відразу після гартування принаймні мартенсит і аустеніт, і перестарювання, що виконується при температурі не нижчій, ніж температура гартування QT, і нижчій, ніж температура перетворення сталі Ac_1 ,

55 - відпал проводять при температурі вище Ac_3 , щоб отримати перед гартуванням повністю аустенітну структуру,

- температура гартування QT така, що структура, що отримується кінцевою обробкою, містить принаймні 10 % аустеніту,

- перестарювання полягає в нагріванні вказаної деталі від температури гартування QT до температури перестарювання P_{T_0} нижчої, ніж температура перетворення структури A_{c1} , що отримується охолодженням, стадією витримки при цій температурі перестарювання з тривалістю P_{t_0} ;

5 - термічна обробка включає перед кінцевою обробкою відпал при температурі відпалу вище за температуру перетворення сталі A_{c1} так, щоб додати сталі часткову або повністю аустенітну первинну структуру, стадію гартування до температури гартування QT нижчої, ніж температура перетворення M_s початкової структури, щоб отримати структуру, що містить принаймні мартенсит і залишковий аустеніт;

10 - кінцева обробка додатково включає стадію перестарювання, стадію гарячого покриття, наприклад, цинкування або стадію цинкування з відпалом,

- сталева деталь є сталевим листом, виготовленим на безперервній лінії, і пристрій перестарювання є секцією перестарювання лінії безперервного відпалу, перед входом в секцію перестарювання лист відпалюють і гартують відповідно до першої стандартної обробки,

15 - лист рухається із швидкістю V , і задані експлуатаційні режими, включають принаймні один з наступних експлуатаційних режимів: швидкість листа, теплова потужність і температура перестарювання;

20 - сталева деталь є деталлю викуваною нагаряче і пристрій перестарювання є піч, в якій витримують деталь, і перед входом в піч структура деталі викуваної нагаряче така ж, що і структура деталі після першої стандартної обробки,

- визначувані експлуатаційні режими включають принаймні один з наступних експлуатаційних режимів: тривалість витримки деталі в печі, теплова потужність і температура перестарювання;

25 - для визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки і максимального другого параметра кінцевої обробки виконують ряд експериментів з перестарюванням, що полягають в дуже швидкому нагріванні від температури QT до температури витримки T_h переважно при швидкості нагрівання більшій $10\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, стадії витримки при температурі витримки T_h для ряду тривалості t_m і дуже швидкого охолодження до кімнатної температури, переважно при швидкості охолодження вищій $10\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, але не дуже високій, щоб не формувати свіжий мартенсит в структурі,

30 - для визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки і максимального другого параметра кінцевої обробки, експерименти проводять на лінії безперервного відпалу, наприклад, за допомогою листа товщиною e ,

- хімічний склад сталі включає в масових %:

35 $0,1\% \leq C \leq 0,5\%$

$0,5\% \leq Si \leq 2\%$

$1\% \leq Mn \leq 7\%$

$Al \leq 2\%$

$P \leq 0,02\%$

40 $S \leq 0,01\%$

$N \leq 0,02\%$

необов'язково, один або декілька елементів, вибраних з Ni, Cr, Mo, Cu, Nb, V, Ti, Zr і B, вміст яких такий, що, мас. %:

$Ni \leq 0,5\%$

45 $0,1\% \leq Cr \leq 0,5\%$

$0,1\% \leq Mo \leq 0,03\%$

$Cu \leq 0,5\%$

$0,02\% \leq Nb \leq 0,05\%$

50 - $Q=148\ 000\text{ Дж/моль}$, $R=8,314\text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$, час в секундах, $a = b=0,016$. Ці величини дозволяють розрахувати зменшення межі текучості кінцевої структури, вираженої в МПа.

Винахід далі буде описаний детальніше, але без обмежень, з урахуванням наступних креслень, на яких:

Фіг.1 є схематичною кривою час/температура графіка термообробки - виконаною на лабораторному устаткуванні;

55 Фіг.2 є схематичними кривими час/температура для термообробки двох листів різної товщини, що виконується на лінії безперервного відпалу без гарячого покриття;

Фіг.3 є кривою час/температура для термообробки листа, що виконується на безперервній лінії, що включає стадію оцинковування;

60 Фіг.4 є кривою час/температура для термообробки листа, що виконується на безперервній лінії, що включає додаткову стадію цинкування з відпалом.

У даній галузі техніки добре відомо, що, коли фахівець, який хоче виготовити деталь із сталі з потрібними властивостями, він знає, як вибрати відповідну сталь і термообробку здатну додати сталі потрібні властивості. Але він повинен адаптувати термообробку для кожної конкретної деталі і устаткування, яке використовуватиметься для виготовлення деталі.

5 Якщо деталлю є лист, що виготовляється на безперервній лінії, устаткування, наприклад, лінія безперервного відпалу, відома сама по собі, включає принаймні секцію перестарювання. Якщо лист повинен бути підданий гарячому покриттю, устаткування включає більш того принаймні пристрій гарячого покриття, який може бути відокремлений від лінії безперервного відпалу або включений в лінію безперервного відпалу.

10 Якщо деталь виготовляють шляхом гарячого формування і термообробки, устаткування включає принаймні печі перестарювання.

У всіх випадках пристрої перестарювання є печами для яких, як добре відомо в даній галузі техніки, задані значення фіксовані. Ці задані значення, наприклад, одна або декілька температур, теплова потужність, тривалість перебування деталі в печі, швидкість переміщення листа по безперервній лінії, і так далі. Для кожного устаткування фахівцям в цій галузі техніки 15 відомі задані значення, що фіксуються, і як визначити значення, яке необхідно фіксувати для того, щоб досягти конкретну термообробку, визначену термічним циклом, якому піддається деталь.

Як вказано вище, задачею даного винаходу є пропозиція фахівцеві, який повинен 20 виготовити конкретну деталь, що має потрібні властивості, і який знає яку сталь використовувати з яким типом термообробки, зокрема, гартування і перерозподілу, способу, за допомогою якого він може легко визначити відповідну термообробку деталі з використанням конкретного устаткування.

Високоміцні формовані сталеві деталі, виготовлені відпалом, частковим гартуванням і перестарюванням на лініях безперервного відпалу, часто виготовляють із сталей, що містять в масових %:

- $0,1 \% \leq C \leq 0,5 \%$. Вміст вуглецю не менше 0,1 % необхідний для забезпечення задовільної міцності і для стабілізації залишкового аустеніту, що необхідне, щоб отримати відповідну формованість. Якщо вміст вуглецю перевищує 0,5 %, зварюваність є недостатньою.

30 - $0,5 \% \leq Si \leq 2 \%$, щоб стабілізувати аустеніт, для забезпечення твердорозчинного зміцнення і уповільнення формування карбідів під час перестарювання. Коли вміст Si перевищує 2 %, оксиди кремнію можуть з'являтися на поверхні листа, що негативно позначається на покриванні.

35 - $1 \% \leq Mn \leq 7 \%$ для достатньої прожарюваності так, щоб отримати структуру з достатньою часткою мартенситу, і тим самим стабілізувати аустеніт, сприяючи таким чином, його стабілізації при кімнатній температурі. Для деяких застосувань вміст Mn переважно складає менше 4 %.

40 - $Al \leq 2 \%$ - при низькому вмісті (менше 0,5 %) алюміній використовується для розкислювання сталі. При вищому вмісті Al уповільнює формування карбідів, що придатне для перерозподілу вуглецю в аустеніт і для отримання в структурі високої частки залишкового аустеніту. Переважний вміст Al повинний бути не менше 0,001 %, щоб уникнути вибору дорогих матеріалів.

45 - $P \leq 0,02 \%$ - фосфор може зменшити формування карбідів і тим самим сприяти перерозподілу вуглецю в аустеніт. Проте дуже високий вміст фосфору окрихчує лист при температурах гарячої прокатки і знижує ударну в'язкість мартенситу. Переважний вміст P не повинний бути нижчим 0,001 %, щоб уникнути дорогої обробки дефосфоризації.

- $S \leq 0,01 \%$. Вміст сірки повинен бути обмежений, оскільки вона може окрихчувати проміжний або кінцевий продукт. Переважний вміст S повинний бути не нижчим 0,0001 %, щоб уникнути дорогої обробки знесірчування.

50 - $N \leq 0,02 \%$. Цей елемент є результатом процесу виготовлення. Азот може взаємодіяти з алюмінієм з утворенням нітридів, які обмежують укрупнення розміру аустенітного зерна в ході відпалу. Виробництво сталей із вмістом N нижчим 0,001 % є складнішим і не дає додаткових переваг.

55 - необов'язково сталь може містити, мас. %: $Ni \leq 0,5 \%$, $0,1 \% \leq Cr \leq 0,5 \%$; $0,1 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$ і $Cu \leq 0,5 \%$. Ni, Cr і Mo здатні збільшувати прожарюваність, що робить можливим отримання потрібних структур на виробничих лініях. Проте ці елементи є дорогими, і, отже, їх вміст обмежений. Cu часто присутній у вигляді залишкового елементу, здатного зміцнювати сталь і може зменшити пластичність при температурах гарячої прокатки, коли присутня з дуже високим вмістом.

- необов'язково $0,02 \% \leq Nb \leq 0,05 \%$, $0,02 \% \leq V \leq 0,05 \%$, $0,001 \% \leq Ti \leq 0,15 \%$, $0,002 \% \leq Zr \leq 0,3 \%$. Nb може бути використаний для подрібнення аустенітного зерна в ході гарячої прокатки. V може взаємодіяти з C і N з утворенням тонкодисперсних зміцнюючих виділень. Ti і Zr можуть бути використані для формування дрібнодисперсних виділень у феритних компонентах мікроструктури, збільшуючи таким чином міцність. Крім того, якщо сталь містить B, Ti або Zr можуть захистити бор від взаємодії з N. Сума $Nb+V + Ti+Zr/2$ повинна залишатися нижчою 0,2 %, щоб не погіршувати пластичність.

- необов'язково $0,0005 \% \leq B \leq 0,005 \%$. Бор може бути використаний для поліпшення прожарюваності і для запобігання формуванню фериту при охолодженні від температури повністю аустенітної витримки. Його вміст обмежений 0,005 %, оскільки вище за цей рівень подальше додавання неефективне.

Решта в складі є Fe і неминучими домішками, що виникають в процесі виготовлення. Цей склад наведений як приклад найчастіше використовуваних сталей, але не є таким, що обмежує.

За допомогою такої сталі виготовляють деталі, такі як катані листи або отримані гарячим штампуванням, і піддають термообробці для набуття потрібних властивостей, таких як межа текучості, межа міцності, однорідне подовження, загальне подовження, коефіцієнт роздачі отвору, властивості при вигині і так далі. Ці властивості залежать від хімічного складу і мікрографічної структури, отримуваною термообробкою.

Для листів, які розглядаються в даному винаході, потрібна структура, тобто кінцева структура після повної термообробки, повинна містити принаймні мартенсит і залишковий аустеніт, останнє ферит і, необов'язково деяка кількість бейніту. Звичайний вміст мартенситу складає більше 10 % і переважно більше 30 % і залишкового аустеніту більше 5 %, і переважно більше 10 %.

Як пояснювалося раніше, ця структура є результатом термообробки, що включає стадію відпалу так, щоб отримати первинну повністю або частково аустенітну структуру, частковий гартування (тобто гартування при температурі між M_s і M_f) безпосередньо з подальшим перестарюванням і необов'язково з подальшою стадією покриття зануренням, тобто стадією гарячого покриття. Частка фериту утворюється при температурі відпалу. Частка мартенситу і залишкового аустеніту утворюється при температурі гартування, тобто температурі, при якій припиняють гартування. Фахівці в даній галузі техніки знають, як визначити, або шляхом лабораторних досліджень або за допомогою розрахунків, структуру і механічні властивості, термообробки, що виходять в результаті, крива час/температура якої представлена на Фіг. 1.

Ця термообробка складається з:

- стадії нагрівання (1) до температури відпалу A_T , вищої, ніж температура перетворення сталі A_{c1} , тобто температури, при якій аустеніт починає з'являтися при нагріванні, переважно температура відпалу вибирається так, що структура при температурі відпалу містить принаймні 50 % аустеніту, і часто вища, ніж температура перетворення A_{c3} , щоб отримати повністю аустенітну структуру і переважно ця температура відпалу нижча 1050°C для того, щоб не дуже укрупнювався розмір аустенітного зерна,

- стадії витримки (2) при цій температурі,

- стадії гартування (3) до температури гартування Q_T , що знаходиться між M_s (початок мартенситного перетворення) і M_f (кінець мартенситного перетворення) температурами перетворення аустеніту в результаті відпалу, щоб отримати відразу після гартування структуру, що включає мартенсит і залишковий аустеніт; для того, гартування повинне бути виконане із швидкістю охолодження, достатньою для отримання мартенситного перетворення, фахівці в даній галузі техніки знають, як визначити таку швидкість охолодження,

- кінцевої термообробки, яка в даному випадку складається з швидкого нагрівання (4) до температури перестарювання P_{T0} , стадії витримки (5) при цій температурі протягом часу P_{t0} і стадії охолодження (6) до кімнатної температури. В цьому випадку швидкий нагрів може знаходитися в діапазоні від 10 до 500°C/s , наприклад.

Переважно температура гартування вибрана так, що структура відразу після гартування містить принаймні 10 % мартенситу і принаймні 5 % аустеніту. Коли температура відпалу вища, ніж температура перетворення сталі A_{c3} тобто структура при температурі відпалу є повністю аустенітною, температура гартування переважно вибрана так, що структура відразу після гартування містить принаймні 10 % аустеніту і принаймні 50 % мартенситу.

Фахівці в цій галузі техніки знають, як визначити для кожної сталі умови відпалу (температуру відпалу і тривалість витримки) і умови гартування (температура гартування і швидкість охолодження), за допомогою якого можна отримати потрібну структуру. Вони також знають, як визначити стандартну кінцеву термообробку і механічні властивості, які досягаються такою обробкою. Таким чином, для кожної конкретної сталі фахівці в даній галузі техніки здатні

визначити, які рівні механічних властивостей можуть бути отримані за допомогою такої термообробки. Механічні властивості є, наприклад, міцностними властивостями, такими як межа текучості і межа міцності або пластичність, наприклад, загальне подовження, однорідне подовження, коефіцієнт роздачі отвору, властивості при вигині. Але, оскільки фактичні умови термообробки конкретного продукту, такого як лист або деталь, які виготовляють на конкретному виробничому устаткуванні, не завжди ідентичні стандартній термообробці, виробничі умови кожного конкретного продукту на кожному конкретному виробничому устаткуванні повинні бути адаптовані відповідним чином.

Для визначення умов виготовлення, тобто умов термообробки на конкретній лінії безперервного відпалу після прокатки або в конкретній печі, після гарячого формування, такого як гаряче штампування, які дозволяють досягти потрібних механічних властивостей, виконані експерименти, наприклад, з використанням лабораторного устаткування (тепловий моделюючий пристрій) для відтворення термообробки, як визначено вище, щоб визначити стандартну термообробку, що забезпечує потрібні властивості. Ця стандартна термообробка визначається температурою відпалу A_T , температурою гартування Q_T , температурою перестарювання P_{T_0} і тривалістю витримки P_{t_0} при цій температурі перестарювання.

Лабораторні пристрої, здатні здійснити таку термообробку, відомі як теплові моделюючі пристрої, добре відомі фахівцям в цій галузі техніки.

Як було пояснено раніше, ефект кінцевої термообробки при температурі P_{T_0} полягає в перерозподілі вуглецю в аустеніт. Такий перерозподіл призводить до перенесення шляхом дифузії вуглецю з мартенситу у фазу аустеніту. Це перенесення залежить від температури і тривалості витримки. Для термообробки, відповідної витримці протягом часу t при температурі T , тобто ідеального "прямокутного" теплового циклу, ефективність може бути оцінена за допомогою першого параметра кінцевої обробки OAP_1 , який дорівнює добутку коефіцієнта дифузії вуглецю при температурі витримки $D(T)$ на тривалість витримки T :

$$OAP_1 = D(T) \cdot t \quad (1)$$

Чим вище значення параметра, тим значніше перерозподіл і, як правило, пластичність, наприклад, загальне або однорідне подовження або коефіцієнт роздачі отвору, поліпшуються або не погіршується.

Крім того, під час кінцевої обробки межа текучості мартенситу зменшується від значення YS_0 перед кінцевою обробкою до величини YS_{ova} після кінцевої обробки, яка залежить від теплового циклу кінцевої обробки. Автори винаходу визначили, що межа текучості YS_0 свіжого мартенситу, тобто мартенситу, який не піддавався додатковій термообробці, може бути оцінена за хімічним складом сталі по наступній формулі:

$$YS_0 = 1740 \cdot C \cdot (1 + Mn/3,5) + 622 \quad (2)$$

де YS_0 виражається в МПа, а C і Mn є вмістом вуглецю і марганцю в сталі, вираженим в масових %.

Автори винаходу також недавно відзначили, що для теплового циклу, що полягає у стадії витримки при температурі T протягом тривалості t , межу текучості, тобто межу текучості мартенситу після кінцевої обробки можна розрахувати по наступній формулі:

$$YS_{ova} = YS_0 - 0,016 \cdot T \cdot (1 + \sqrt{t}), \quad (3)$$

де T - температура витримки, в °C

t - тривалість витримки при температурі T , в секундах.

За допомогою цієї формули, можна визначити другий параметр кінцевої обробки OAP_2 , який, для прямокутного теплового циклу, представлений:

$$OAP_2 = YS_0 - YS_{ova} = 0,016 \cdot T \cdot (1 + \sqrt{t}) \quad (4)$$

Оскільки межа текучості структури, що складається з різних компонентів, таких як мартенсит і аустеніт, визначається межею текучості цих складових, чим вищий параметр OAP_2 , тим вище зниження межі текучості кінцевої структури.

Оскільки по суті межа текучості мартенситу, яка залежить від розподілу, вплив розподілу вуглецю на межу текучості структури, що містить значну кількість компонентів, відмінних від мартенситу, наприклад, аустеніту і фериту, залежить від частки мартенситу в структурі. В цьому випадку, якщо $M\%$ є часткою мартенситу в структурі в %, і якщо можна припускати, що необхідно враховувати тільки пропорційний ефект мартенситу, зниження межі текучості структури складає $OAP_2 \cdot (M\%/100)$.

Зазвичай бажано, щоб розподіл, що виникає в результаті термообробки, був принаймні достатнім для отримання відповідною і покращеною, наскільки можливо, пластичності, і щоб межа текучості залишалася достатньо високою.

Таким чином, замість визначення стандартної обробки, можна визначити мінімальний перший параметр кінцевої обробки $OAP_1 \min$ і максимальний другий параметр кінцевої обробки

OAP2 max, так, що термообробка, відповідна цим параметрам додає потрібні властивості листу. І вважається, що фактична термообробка, використовувана для виготовлення листів, може відповідати першому параметру перестарювання OAP1 вищому за мінімальний перший параметр кінцевої обробки OAP1 min і другому параметру перестарювання OAP2 нижчому за

Можна відзначити, що ці два параметри OAP1 і OAP2 залежать тільки від графіка час/температура термообробки і не представляють властивості сталі.

Для визначення першого і другого параметрів кінцевої обробки можна діяти таким чином. Термічна обробка складається з відпалу, гартування до температури гартування і перестарювання, що виконуються з використанням теплового моделюючого пристрою добре відомого в даній галузі техніки. Відпал і гартування відповідають стандартній обробці з якою виходить потрібна структура. Перестарювання є прямокутним (або близький до прямокутному) тепловим циклом, що складається з швидкого нагрівання від температури гартування до температури перестарювання P_{t0} із швидкістю нагрівання принаймні $10\text{ }^{\circ}\text{C/c}$, витримки при цій температурі протягом часу t_{hol} і охолодження до кімнатної температури із швидкістю охолодження принаймні $10\text{ }^{\circ}\text{C/c}$, але не дуже високою, щоб не сформувати свіжий мартенсит. Фахівці в даній галузі знають, як визначити таку швидкість охолодження. Декілька обробок виконують з різною тривалістю витримки t_{hol1} , t_{hol2} , t_{hol3} , наприклад, і визначають механічні властивості. За цими результатами визначається мінімальна тривалість витримки, необхідна для отримання потрібної пластичності t_{holmin} і максимальна тривалість витримки t_{holmax} для якої межа текучості залишається вищою, ніж задане мінімальне потрібне значення YS_{min} . Фахівці в даній галузі знають, як визначити цю максимальну і мінімальну тривалість витримки. Потім мінімальний перший і максимальний другий параметри кінцевої термообробки визначають таким чином:

$$- OAP1_{min}=D(P_{t0})\cdot t_{holmin}$$

$$- OAP2_{max}=YS_0-YS_{min}=0,016\cdot P_{t0}\cdot (1+t_{holmax}^{1/2})$$

або, якщо необхідно враховувати вміст мартенситу $M\%$:

$$- OAP2_{max}=YS_0-YS_{min}=0,016\cdot P_{t0}\cdot (1+t_{holmax}^{1/2})/(M\%/100)$$

Таким чином, після визначення температури відпалу, температури гартування, мінімального першого завершального параметра обробки OAP1 min і максимального другого кінцевого параметра обробки OAP2 max, умови кінцевої обробки для фактичної термообробки даної сталевий деталі, яка виконується в промислових умовах на конкретному устаткуванні (наприклад, конкретній лінії безперервного відпалу або конкретної печі) можуть бути визначені, температура відпалу і температура гартування дорівнюють тим, які були визначені раніше.

Для кінцевої обробки в промислових умовах слід зазначити, що тепловий цикл не є прямокутним, але включає безперервне збільшення температури до максимального значення, і потім витримку при цьому значенні, за цією стадією зазвичай слідує охолодження до кімнатної температури. Форма теплового циклу залежить від експлуатаційних режимів устаткування, яке використовується для реалізації кінцевої обробки, а також від геометричних характеристик оброблюваного продукту. Геометричними характеристиками листа є товщина і ширина. Фахівцям в даній галузі техніки відомо, які параметри повинні враховуватися відповідно до характеристик продукту.

Наприклад, якщо лист виготовляють на лінії безперервного відпалу без гарячого покриття, кінцева обробка є перестарюванням, загальна тривалість якого залежить від швидкості переміщення листа, яка залежить від товщини листа, як це відомо фахівцям в цій галузі техніки. Чим товщий лист, тим нижча швидкість, тобто тим більша тривалість проведення стадії перестарювання. Такі теплові цикли показані на Фіг.2. На цій фігурі перша крива (10) відображає тепловий цикл для першого листа, що має товщину e_0 . Температура збільшується після гартування при температурі QT , починаючи у момент часу t_0 , і стадія витримки закінчується у момент часу $t_1(e_0)$. Тривалість стадії перестарювання $(t_1(e_0) - t_0)$, дорівнює довжині L секції перестарювання на лінії безперервного відпалу, що ділиться на швидкість переміщення $v(e_0)$ листа: $(t_1(e_0) - t_0) = L/v(e_0)$.

На тій же фігурі друга крива (11) відображає тепловий цикл для другого листа, що має товщину e , яка вища, ніж e_0 . Для порівняння час, з якого розділення починається з температури QT , співпадає для першої і другої кривих. Таким чином, тепловий цикл починається у момент часу t_0 і закінчується у момент часу $t_1(e)$, який настає після моменту часу $t_1(e_0)$, оскільки товщина e листа вища, ніж e_0 , швидкість переміщення $v(e)$ нижча, ніж швидкість переміщення $v(e_0)$ першого листа.

Частина кривих, відповідних стадії нагрівання залежить від теплової потужності секції перестарювання на лінії безперервного відпалу, від товщини і ширини листа і від швидкості його

переміщення. Максимальна температура, яка досягається листом і при якій лист витримують в кінці перестарювання, визначається заданим значенням температури печі секції перестарювання.

Фахівці в цій галузі техніки знають, як розрахувати криву (температура/час), починаючи з моменту часу t_0 , відповідну листу, що має задану товщину і ширину, для заданої швидкості переміщення, теплової потужності і заданої температури секції перестарювання.

Це також підходить для заготівки, вирізаної з листа. Фахівці в цій галузі техніки знають, як розрахувати теоретичну (температура/час) криву для заготівки, що має задану товщину і розмір, для заданої тривалості витримки в печі і експлуатаційних режимів, таких як тепла потужність і задане значення температури.

Для визначення параметрів першої і другої кінцевої обробки OAP1 і OAP2, характерні для фактичної кінцевої обробки, можна відзначити, що параметри першої кінцевої обробки OAP1, відповідні двом прямокутним тепловим циклам, є адитивними, тобто, що перший параметр кінцевої обробки, відповідної застосуванню двох прямокутних циклів, дорівнює сумі двох відповідних перших параметрів кінцевої обробки. Тому можна обчислити перший параметр кінцевої обробки OAP1 шляхом інтеграції параметра по всьому тепловому циклу. Таким чином, якщо t позначає час, t_0 є часом початку циклу кінцевої обробки, t_1 є часом його закінчення і $T(t)$ температура листа у момент часу t , перший параметр кінцевої обробки OAP1 циклу представлений:

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_1} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt \quad (5)$$

де

$R = 8,314$ Дж/(моль·К),

Q - енергія активації дифузії вуглецю. Для сталі, що має переважний склад відповідно до винаходу, $Q=148000$ Дж/моль,

T - температура в °C.

У цій формулі, t_0 і t_1 можуть бути вибрані залежно від конкретних умов, тобто t_0 може бути, наприклад, початком нагрівання або початком витримки, і t_1 може бути, наприклад, кінцем витримки або кінцем охолодження до кімнатної температури. Фахівці в даній галузі знають, як вибрати t_0 і t_1 залежно від обставин.

Простіше кажучи, ця формула може бути записана:

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_1} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt$$

у якій t_1 є часом закінчення даного циклу обробки.

Оскільки можна розрахувати тепловий цикл $T(t)$ за швидкістю листа, теплової потужності і заданої температури перестарювання, можна визначити теплову потужність і задану температуру кінцевої обробки, так що:

$$OAP1 > OAP1 \text{ min.}$$

Таким же чином необхідно розрахувати параметр OAP2 будь-якого теплового циклу. Для цієї мети необхідно враховувати, що для прямокутного циклу, T_0 є початковою температурою, тобто температурою, при якій зразок швидко нагрівають на початку циклу, OAP2 можна розрахувати таким чином:

$$(OAP2 - a \cdot T_0)^2 = (YS_0 - YS_{ova} - a \cdot T_0)^2 = b^2 \cdot T^2 \cdot t \quad (6)$$

де

$a = b = 0,016$, якщо YS в МПа, T в °C і t в секундах.

Що стосується прямокутного циклу, $T = T_0$, то ця формула повністю еквівалентна формулі (3). Але, на відміну від формули (3), яка не є інтегрованою, її можна використовувати для обчислення OAP2 для будь-якого циклу.

Ефекти двох послідовних витримок з тривалістю t_1 і t_2 при двох температурах T_1 і T_2 є інтегральними і величини $(OAP2 - a \cdot T_0)^2$ відповідні сумі двох витримок дорівнюють сумі величин $(OAP2 - a \cdot T_0)^2$ для кожного періоду витримки:

$$[OAP2 ((t_1 \text{ при } T_1) + (t_2 \text{ при } T_2)) - a \cdot T_0]^2 = [OAP2 (t_1 \text{ при } T_1) - a \cdot T_0]^2 + [OAP2 (t_2 \text{ при } T_2) - a \cdot T_0]^2$$

Таким чином, можна розрахувати другий параметр кінцевої обробки, відповідної будь-якому конкретному тепловому циклу, оскільки тепловий цикл відомий.

Якщо $T(t)$ є температурою T у момент часу t , і якщо t_0 і t_1 є відповідно початковим і кінцевим часом циклу, можна обчислити:

$$\int_{t_0}^{tf} T(t)^2 dt$$

$$(OAP2 - a \cdot T_0)^2 = b^2 \cdot t_0 \quad (7)$$

І параметр $OAP2$ представлений:

$$OAP2 = a \cdot T_0 + b \cdot \left(\int_{t_0}^{tf} T(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

У цій формулі T_0 є температурою при $t=t_0$.

Ці параметри залежать тільки від фактичного графіка температура/час термообробки, оскільки для конкретного листа або деталі, які піддають термообробці на конкретному устаткуванні, цей графік температура/час залежить безпосередньо від експлуатаційних режимів цього устаткування і від геометрії листа або деталі. Фахівці в цій галузі техніки знають, як розрахувати експлуатаційні режими, такі як теплова потужність і задана температура так, що:

$OAP1 \geq OAP1 \min$ і $OAP2 \geq OAP2 \max$.

Можна відзначити, що, коли обробка проводиться з використанням безперервної лінії, по якій переміщається лист, фахівці в даній галузі техніки знають, що повинні враховуватися швидкість переміщення листа і товщина, і кінець кінцем, ширина листа.

Для листа, що виготовляється на лінії безперервного відпалу, лист виготовляється, відповідно, коли визначені параметри термообробки, тобто швидкість переміщення листа, температура відпалу, температура гартування, теплова потужність і задана температура перестарювання.

Коли лист покривають гарячим покриттям після перестарювання, кінцева обробка включає покриття і повинні враховуватися теплові цикли, відповідні покриттю.

Наприклад, коли лист оцинковують після перестарювання, лист витримують при температурі оцинковування T_c , як правило, ця температура складає біля 470°C , протягом часу t_g зазвичай між 5 с і 15 с (див. Фіг.3).

В цьому випадку, можна розрахувати параметри першої і другої кінцевої обробки $OAP1$ і $OAP2$, відповідні повному тепловому циклу після моменту часу t_0 , тобто включаючи покриття і необов'язкове охолодження до температури навколишнього середовища, і саме ці параметри повинні бути враховані. Теплова потужність і задане значення температури перестарювання повинні бути такими, щоб:

$OAP1$ (стадія перестарювання і стадія покриття) $\geq OAP1 \min$

$OAP2$ (стадія перестарювання і стадія покриття) $\geq OAP2 \max$

Необов'язково сталевий лист може бути оцинкований з відпалом, тобто підданий тепловому циклу після цинкування, що викликає дифузію заліза в цинкове покриття. Відповідний цикл (див. Фіг.4) включає стадію витримки при температурі T_g тривалістю t_g і подальшу стадію витримки при температурі T_{ga} тривалістю t_{ga} . Ці стадії витримки при температурі T_g і T_{ga} повинні враховуватися при розрахунках $OAP1$ і $OAP2$ відповідно до вищезгаданих виразів (5) і (8).

У попередньому здійсненні винаходу характеристики термообробки визначені на підставі лабораторних випробувань. Проте відповідно до іншого здійснення винаходу також можна визначити стандартну термообробку по випробуванню з листом, що має товщину e_0 , на діючій лінії безперервного відпалу. За допомогою цих випробувань, необов'язково завершених лабораторними випробуваннями, можна визначити температуру відпалу, температуру гартування і мінімальний перший і максимальний другий параметри кінцевої обробки. Таким чином, можна визначити параметри лінії безперервного відпалу для листів будь-якої товщини.

Спосіб, який тільки що був описаний, стосується термообробки, що виконується на лінії безперервного відпалу. Але фахівці в даній галузі техніки здатні адаптувати спосіб до будь-якого іншого процесу виготовлення такого листа або деталі.

Як приклад, було встановлено лабораторними експериментами, що можна отримати межу текучості більшу 1100 МПа, межу міцності більшу 1300 МПа, загальне подовження принаймні 12 % для сталевих листа, що містять 0,21 % C, 2,2 % Mn, 1,5 % Si термообробкою, що полягає у відпалі при 850°C ($> A_{c3}$), температурі гартування 250°C і швидкому нагріванні на стадії перестарювання при температурі 460°C протягом часу принаймні 10 с. Структура сталі складається з мартенситу і близько 10 % залишкового аустеніту. Експериментальні зразки були визначені для трьох різних інтервалів перерозподілу: 10 с, 100 с і 300 с. Умови, структури і механічні властивості, що отримуються обробкою, наведені в таблиці 1.

На підставі лабораторних експериментів параметри кінцевої обробки $OAP1$ і $OAP2$ можуть бути визначені для кожного часу розділення з використанням наступних рівнянь:

$$OAP1 \text{ exp.} = [\exp(-148000/(8,314 \cdot (460+273)))] \cdot t$$

$$OAP2 \text{ exp.} = (0,016 \cdot 460) + (0,016 \cdot 460 \cdot t^{0,5})$$

Набутих значень $OAP1 \text{ exp.}$ і $OAP2 \text{ exp.}$ також наведені в таблиці 1.

Результати показують, що при термообробці, відповідній випробуванню 1, отримують потрібні властивості. Оскільки це випробування має найнижчий параметр $OAP1$, це означає, що відповідне значення параметра може бути вибрано як $OAP1 \text{ min.}$

Значення $OAP1 \text{ min.}$, визначене на підставі лабораторних експериментів, наступне:

$$OAP1 \text{ min.} = [\exp(-148000/(8,314 \cdot (460+273)))] \cdot 10 = 2,84 \cdot 10^{-10}$$

Відповідно до формули (2), межа текучості свіжого мартенситу YS_0 складає:

$$YS_0 = 0,21 \cdot 1740 \cdot (1+2,2/3,5) + 622 = 1217 \text{ МПа.}$$

В цьому випадку, оскільки структура містить близько 90 % мартенситу, це можна враховувати і максимальний другий параметр кінцевої обробки $OAP2 \text{ max}$ є:

$$OAP2 \text{ max} = 1217 - 1100 = 117.$$

Це значення вище, ніж значення параметра $OAP2 \text{ exp.}$ прикладів 1-2, але нижче, ніж в прикладі 3. Межа текучості, отримана експериментальною обробкою 1-2, вища 1100 МПа, приклади 1 – 2, дотримують умову $OAP2 < 117$, проте з іншого боку, приклад 3 показує значення $OAP2$ вище 117, і, отже, межа текучості не досягає значення 1100 МПа.

В решті решт, проведення циклів перестарювання відповідних: $OAP1 = 2,84 \cdot 10^{-10}$ і $OAP2 < 117$, дозволяє досягти потрібних механічних властивостей досліджуваного складу.

Таблиця 1

Тест	AT (°C)	QT (°C)	Температура перестарювання (°C)	Тривалість при температурі перестарювання (с)	Структура	YS (МПа)	TS (МПа)	TE %	OAP1 exp.	OAP2 exp.
1	850	270	460	10	M+12 % A	1186	1304	12,9	$2,84 \cdot 10^{-10}$	30,6
2	850	270	460	100	M+11 % A	1141	1284	13,1	$2,84 \cdot 10^{-9}$	81
3	850	270	460	300	M+9 % A	1054	1283	10,5	$8,51 \cdot 10^{-9}$	134,8

Наприклад, ми розглянемо два листи, один, що має товщину 0,8 мм, інший 1,2 мм, які виготовлені на безперервній лінії, що має секцію перестарювання, що включає першу частину для першого нагрівання і другу частину для другого нагрівання. Для кожної частини секції перестарювання визначають експлуатаційні режими, відповідні температурі, при якій лист нагрівають у вказаній секції. Крім того, швидкість руху листа визначається так, що, коли товщина складає 0,8 мм, час, протягом якого деталь листа зберігається в першій частині, складає 50 с, а в другій частині 100 с, коли товщина складає 1,2 мм, час в першій частині складає 70 с, і в другій частині складає 140 с.

За цих умов можна легко підрахувати, що для листа, що має товщину 1,2 мм, експлуатаційні режими можуть складати для першої частини 290 °C, а для другої секції 390 °C, і для листа, що має товщину 0,8 мм, експлуатаційні режими можуть складати для першої частини 350 °C і для другої частини 450 °C. З такими експлуатаційні режимами параметри такі, що $OAP1 > OAP1 \text{ min.} = 2,84 \cdot 10^{-10}$ і $OAP2 < OAP2 \text{ max} = 117$. Точніше, для листа, що має товщину 1,2 мм, $OAP1 = 3,07 \cdot 10^{-10}$ і $OAP2 = 117$, і для листа, що має товщину 0,8 мм, $OAP1 = 2,04 \cdot 10^{-9}$ і $OAP2 = 117$.

Коли визначені експлуатаційні режими, листи можуть бути виготовлені на лінії, рухомій з відповідною швидкістю.

Відповідно до іншого прикладу, ми розглянемо два листи, один з яких має товщину 0,8 мм, інший 1,2 мм, виготовлені на безперервній лінії, що має секцію перестарювання, що включає частину для нагрівання і секцію цинкування з відпалом, що включає секцію цинкування при температурі цинкування $T_G = 470$ °C, і секцію сплаву при температурі $T_{ga} = 520$ °C. Для стандартної обробки температура перестарювання складає 460 °C, і час при температурі перестарювання складає 220 с. Для секції перестарювання, секції цинкування і секції сплаву повинні бути визначені експлуатаційні режими, відповідні температурі, при якій лист нагрівають у вказаній секції. Крім того, швидкість руху листа визначається таким чином, що, коли товщина 0,8 мм, час, протягом якого частина листа знаходиться в секції перестарювання складає 270 с, час, протягом якого частина листа знаходиться в секції цинкування 8 с, час, протягом якого частина листа знаходиться в секції сплаву, друга частина, складає 25 с. Коли товщина складає 1,2 мм, час в секції перестарювання складає 180 с, час в секції цинкування складає 5 с, і час в секції сплаву складає 15 с.

За цих умов можна легко розрахувати, що для листа, що має товщину 1,2 мм, експлуатаційний режим для секції перестарювання може бути 480 °C, так що $OAP1=1,26 \cdot 10^{-8}$ і $OAP2=117$, і для листа що має товщину 0,8 мм, експлуатаційний режим для частини перестарювання може бути 410 °C, так що $OAP1=6,06 \cdot 10^{-9}$ і $OAP2=117$.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб виготовлення високоміцної сталеві деталі, що має задані механічні властивості, який включає визначення стандартної термообробки, за допомогою якої можна набути необхідних властивостей, стандартна термообробка включає першу стандартну обробку, що додає сталевій деталі певну структуру, і кінцеву стандартну обробку, що включає принаймні перестарювання, стандартна термообробка визначається температурою відпалу AT , яка вище, ніж температура перетворення сталі $Ac1$, температурою гартування QT , яка нижче, ніж температура початку мартенситного перетворення Ms , температурою перестарювання PT_0 , яка не нижче, ніж температура гартування QT , і нижче температури перетворення сталі $Ac1$, і тривалістю витримки Pt_0 при цій температурі перестарювання, зазначений спосіб виготовлення високоміцної сталеві деталі включає стадію термообробки деталі на устаткуванні, що містить принаймні пристрій перестарювання для набуття необхідних механічних властивостей деталі, при цьому стадія термообробки включає принаймні кінцеву обробку, що виконують із сталеві деталлю, яка має ту ж структуру, що і певна структура, отримана зазначеною першою стандартною обробкою, причому кінцева обробка включає принаймні стадію перестарювання, яку виконують на зазначеному пристрої перестарювання, для якої можна задати принаймні один експлуатаційний режим, для якого можна розрахувати два параметри кінцевої обробки $OAP1$ і $OAP2$, залежно від зазначеного принаймні одного експлуатаційного режиму пристрою перестарювання, який **відрізняється** тим, що сталеві деталь є сталеві деталлю, яку виготовляють на безперервній лінії, а пристрій перестарювання є секцією перестарювання в лінії безперервного відпалу, причому перед входом в секцію перестарювання лист відпалюють і гартують відповідно до першої стандартної обробки, при цьому лист пересувають із швидкістю V , при цьому спосіб включає наступні стадії: визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки $OAP1 \min$ і максимального другого параметра кінцевої обробки $OAP2 \max$ відповідно, для набуття необхідних механічних властивостей проведенням ряду експериментів з перестарювання, що полягають в нагріванні від температури QT до температури витримки Th із швидкістю нагрівання, більшою $10 \text{ }^\circ\text{C/s}$, стадії витримки при температурі витримки Th для ряду періодів часу tm і охолодження до кімнатної температури із швидкістю охолодження, вищою $10 \text{ }^\circ\text{C/s}$, але не дуже високою, щоб не формувався свіжий мартенсит в структурі, визначення принаймні одного експлуатаційного режиму секції пристрою перестарювання так, що перший параметр кінцевої обробки $OAP1$ і другий параметр кінцевої обробки $OAP2$, що отримують при експлуатаційних режимах, відповідають виразам:

$$OAP1 \geq OAP1 \min$$

і

$$OAP2 \leq OAP2 \max,$$

при цьому певні експлуатаційні режими включають принаймні один з наступних експлуатаційних режимів: швидкість листа, теплова потужність і температура перестарювання, і термообробку деталі на устаткуванні, що працює відповідно до певних експлуатаційних режимів,

причому, якщо $T(t)$ є температурою в $^\circ\text{C}$ сталеві деталі у момент часу t , t_0 - час початку кінцевої обробки, і t_f - час закінчення кінцевої обробки, то відповідний перший параметр кінцевої обробки

50 $OAP1$ визначають як:

$$OAP1 = \int_0^{t_f} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt$$

де

Q - енергія активації дифузії вуглецю, і R - ідеальна газова постійна,

а другий параметр кінцевої обробки $OAP2$ визначають як:

$$OAP2 = a * T_0 + b * \left(\int_0^{t_f} T(t)^2 dt \right)^2$$

55

де

T_0 є температурою у момент часу t_0 , де $a=b=0,016$.

2. Спосіб виготовлення високоміцної сталеві деталі, що має задані механічні властивості, який включає визначення стандартної термообробки, за допомогою якої можна набутти необхідних властивостей, при цьому стандартна термообробка включає першу стандартну обробку, що додає сталевій деталі певну структуру, і кінцеву стандартну обробку, що включає принаймні перестарювання, причому стандартну термообробку визначають температурою відпалу АТ, яка вище, ніж температура перетворення сталі Ас1, температурою гартування QT, яка нижче, ніж температура початку мартенситного перетворення Ms, температурою перестарювання РТ₀, яка не нижче, ніж температура гартування QT, і нижче температури перетворення сталі Ас1, і тривалістю витримки Рт₀ при цій температурі перестарювання,
- 10 зазначений спосіб виготовлення високоміцної сталеві деталі включає стадію термообробки деталі на устаткуванні, яке містить принаймні пристрій перестарювання для набуття необхідних механічних властивостей деталі, при цьому стадія термообробки включає принаймні кінцеву обробку, яку виконують із сталеві деталлю, що має ту ж структуру, що і певна структура, отримана зазначеною першою стандартною обробкою, кінцева обробка включає принаймні
- 15 стадію перестарювання, виконувани на зазначеному пристрої перестарювання, для якої можна задати принаймні один експлуатаційний режим, для якого можна розрахувати два параметри кінцевої обробки ОАР1 і ОАР2 залежно від зазначеного принаймні одного експлуатаційного режиму пристрою перестарювання, який **відрізняється** тим, що
- 20 сталеві деталь є сталеві деталлю, що виконують нагаряче, а пристрій перестарювання є піччю, в якій витримують деталь, при цьому безпосередньо перед входом в піч структура деталі, викуваної нагаряче, є такою ж, що і структура деталі після першої стандартної обробки, при цьому спосіб включає наступні стадії:
- 25 визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки ОАР1 min і максимального другого параметра кінцевої обробки ОАР2 max відповідно для набуття необхідних механічних властивостей проведенням ряду експериментів з перестарювання, що полягають в нагріванні від температури QT до температури витримки Тh із швидкістю нагрівання, більшою 10 °С/с, стадії витримки при температурі витримки Тh для ряду періодів часу t_m і охолодження до кімнатної температури із швидкістю охолодження, вищою 10 °С/с, але не дуже високою, щоб не формувався свіжий мартенсит в структурі,
- 30 визначення принаймні одного експлуатаційного режиму секції пристрою перестарювання так, що перший параметр кінцевої обробки ОАР1 і другий параметр кінцевої обробки ОАР2, що отримують при експлуатаційних режимах, відповідають умовам:
- ОАР1 ≥ ОАР1 min
і
- 35 ОАР2 ≤ ОАР2 max,
причому певні експлуатаційні режими включають принаймні один з наступних експлуатаційних режимів: час витримки деталі в печі, теплова потужність і температура перестарювання, та термообробку деталі на устаткуванні, що працює відповідно до певних експлуатаційних режимів,
- 40 причому, якщо Т(t) є температурою в °С сталеві деталі у момент часу t, t₀ - час початку кінцевої обробки, і t_f - час закінчення кінцевої обробки, то:
- відповідний перший параметр кінцевої обробки ОАР1 визначають як:
- $$ОАР1 = \int_0^{t_f} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt$$
- де
- 45 Q - енергія активації дифузії вуглецю, і R - ідеальна газова постійна,
і другий параметр кінцевої обробки ОАР2 визначають як:
- $$ОАР2 = a * T_0 + b * \left(\int_0^{t_f} T(t)^2 dt \right)^2$$
- де
- Т₀ є температурою у момент часу t₀, де a=b=0,016.
- 50 3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що необхідні механічні властивості є мінімальними значеннями принаймні міцнісних властивостей, таких як межа текучості та/або межа міцності, і принаймні пластичності, наприклад загального подовження та/або однорідного подовження, та/або коефіцієнта роздачі отвору, та/або властивостей при вигині.
4. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що перша стандартна обробка включає відпал при температурі, вищій, ніж температура перетворення сталі Ас1, для отримання перед гартуванням структури, що містить принаймні 50 % аустеніту, і гартування до температури QT, нижчої, ніж температура перетворення сталі Ms, щоб отримати структуру, що

містить відразу після гартування принаймні мартенсит і аустеніт, і перестарювання проводять при температурі, не нижчій, ніж температура гартування QT, і нижчій за температуру перетворення сталі Ac1.

5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що відпал проводять при температурі, вищій, ніж Ac3, щоб отримати перед гартуванням повністю аустенітну структуру.

6. Спосіб за п. 4 або 5, який **відрізняється** тим, що температура гартування QT така, що структура в результаті кінцевої обробки містить принаймні 10 % аустеніту.

7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що кінцева обробка включає на додаток до стадії перестарювання стадію гарячого покриття, наприклад стадію цинкування або цинкування з відпалом.

8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для визначення мінімального першого параметра кінцевої обробки і максимального другого параметра кінцевої обробки виконують експерименти на лінії безперервного відпалу.

9. Спосіб за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що хімічний склад сталі містить, в масових %:

$0,1 \leq C \leq 0,5$,

$0,5 \leq Si \leq 2$,

$1 \leq Mn \leq 7$,

$Al \leq 2$,

20 $P \leq 0,02$,

$S \leq 0,01$,

$N \leq 0,02$,

необов'язково, один або декілька елементів, вибраних з Ni, Cr, Mo, Cu, Nb, V, Ti, Zr і B, вміст яких є таким, що:

25 $Ni \leq 0,5$,

$0,1 \leq Cr \leq 0,5$,

$0,1 \leq Mo \leq 0,03$,

$Cu \leq 0,5$,

$0,02 \leq Nb \leq 0,05$,

30 $0,02 \leq V \leq 0,05$,

$0,001 \leq Ti \leq 0,15$,

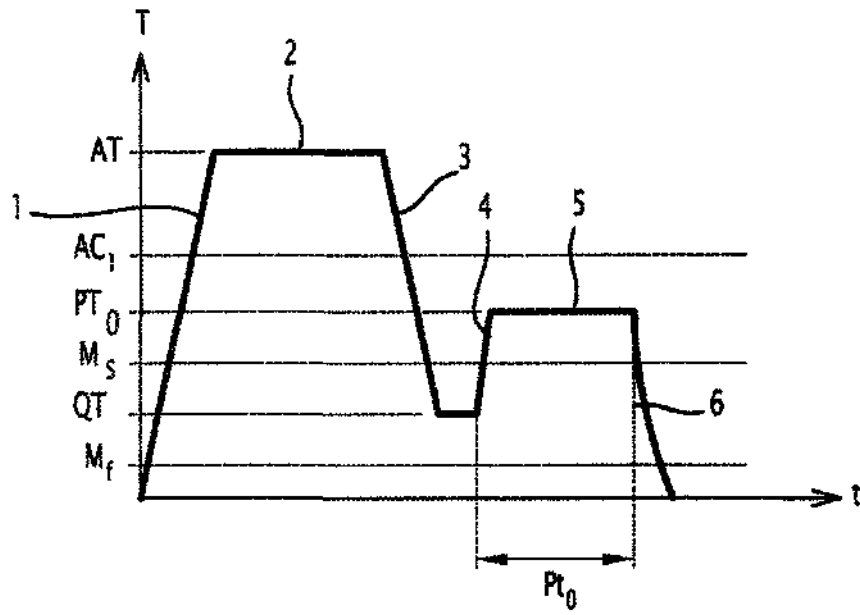
$0,2 \leq Zr \leq 0,3$,

$0,0005 \leq B \leq 0,005$,

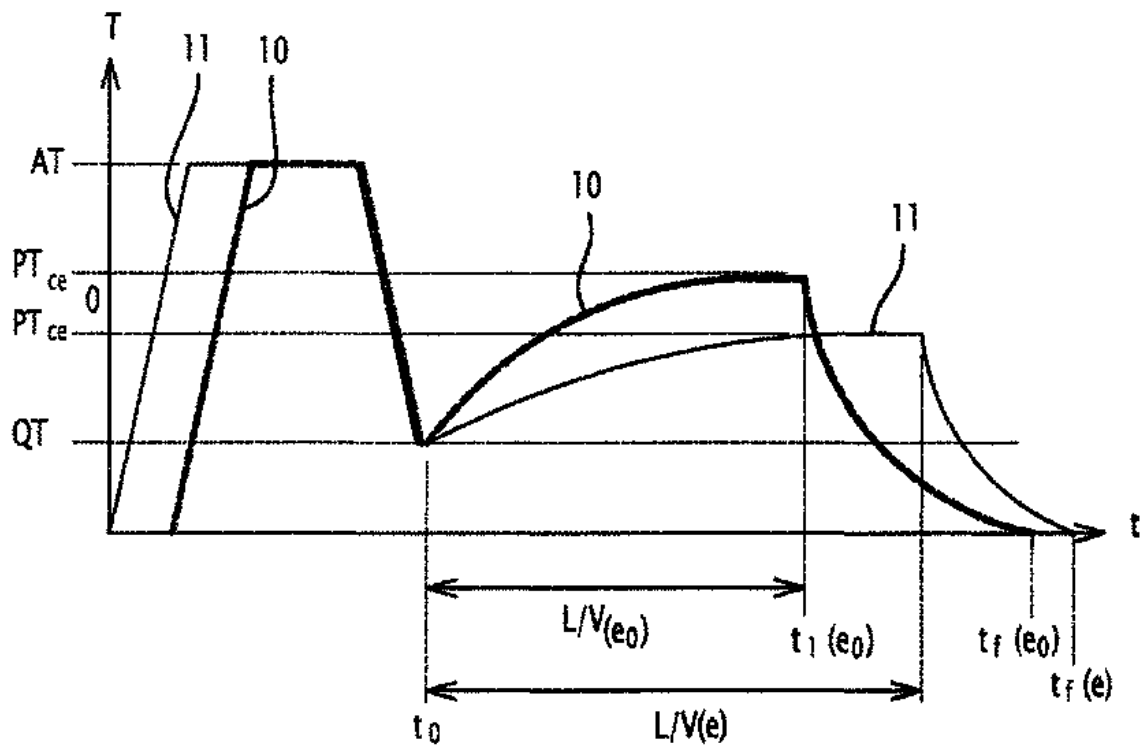
з: $Nb+V+Ti+Zr/2 \leq 0,2$,

35 решта - Fe і неминучі домішки.

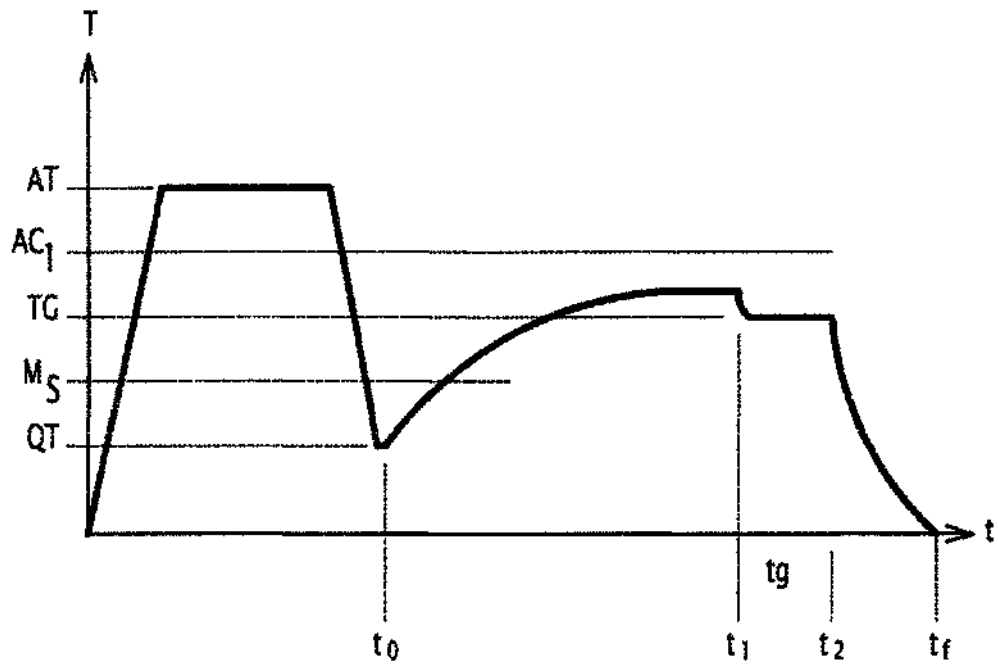
10. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що $Q=148000$ Дж/моль, $R=8,314$ Дж/(моль·К), $a=b=0,016$ і t в секундах.



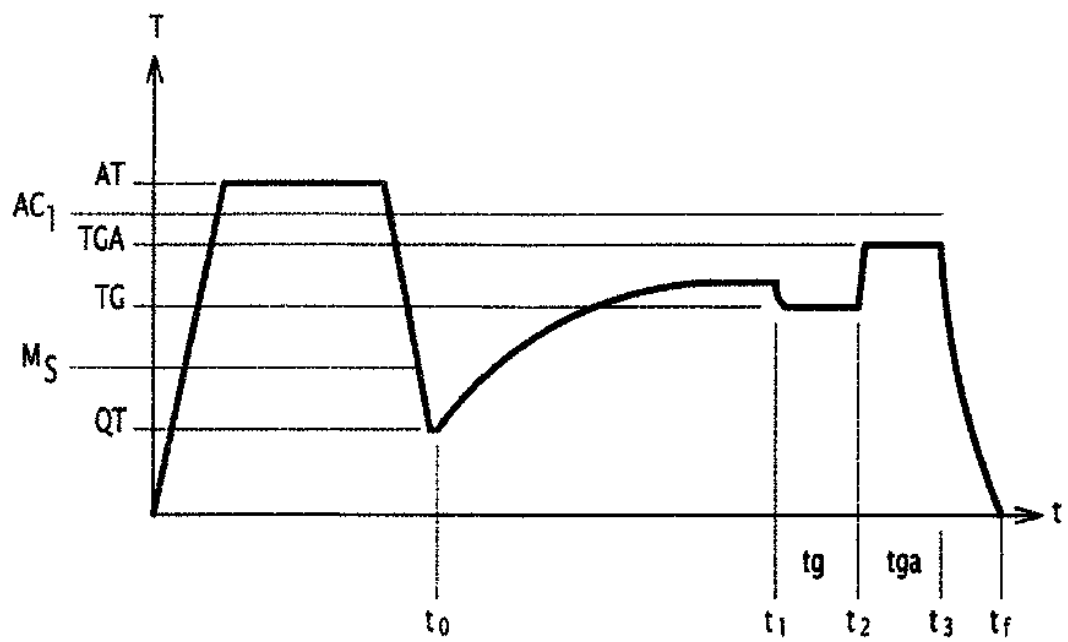
Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4