



УКРАЇНА

(19) UA (11) 81929 (13) C2
(51) МПК (2006)
C22C 38/54
C21D 8/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ДЕТАЛЬ З КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ, ЩО ПРИДАТНА ДО ЗВАРЮВАННЯ, ТА СПОСІБ ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

1

2

(21) а200505977

(22) 13.11.2003

(24) 25.02.2008

(86) PCT/FR2003/003360, 13.11.2003

(31) 02 14423

(32) 19.11.2002

(33) FR

(72) БЕГІНО ЖАН, БРИССОН ЖАН-ЖОРЖ

(73) ЕНДЮСТЕЛЬ КРЬОЗО

(56) EP, 0881306, A1, 02.12.1998

US, 4171233, 16.10.1979

US, 5879474, 09.03.1999

US, 5695576, 09.12.1997

JP, 06299242, 25.10.1994

JP, 05320749, 03.12.1993

JP, 60005820, 12.01.1985

(57) 1. Деталь з конструкційної сталі, що придатна до зварювання, до хімічного складу якої входять, мас. %:

C не менше 0,40 та не більше 0,50

Si не менше 0,50 та не більше 1,50

Mo + W/2 не більше 1,50

B не менше 0,0005 та не більше 0,010

N не більше 0,025

Al не більше 0,90,

решту складає залізо та домішки, що утворилися при плавленні,

причому Si + Al не більше 2,0, крім того значення вмісту алюмінію, бору та азоту згаданого складу, додатково відповідають такому відношенню:

$B \geq 1/3 \cdot K + 0,5$

при $K = \min(I; J)$

$I = \max(0; I)$ та $J = \max(0; J)$

$I = \min(N; N - 0,29(Ti - 5))$

$J = \min(N; 0,5(N - 0,52Al + \sqrt{(N - 0,52Al)^2 + 283}))$,

і структура якої є бейнітною, мартенситною або мартенситно-бейнітною та додатково містить від 3 до 20 % залишкового аустеніту.

2. Деталь зі сталі за п. 1, яка відрізняється тим, що сталь додатково містить Mn не більше 3,0 мас. %.

3. Деталь зі сталі за пп. 1 або 2, яка відрізняється тим, що сталь додатково містить Ni не більше 5,0 мас. %.

4. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-3, яка відрізняється тим, що сталь додатково містить Cr не більше 4,0 мас. %.

5. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-4, яка відрізняється тим, що сталь додатково містить Si не більше 1,0 мас. %.

6. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-5, яка відрізняється тим, що сталь містить Mo + W/2 не більше 1,50 мас. %.

7. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-6, яка відрізняється тим, що сталь додатково містить щонайменше один елемент, вибраний з групи, яка включає: V, Nb, Ta, S та Ca, з вмістом, меншим 0,3 мас. %, та/або з Ti та Zr з вмістом, що є меншим або дорівнює 0,5 мас. %.

8. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-7, яка відрізняється тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому співвідношенню, мас. %:

$(1,1 \cdot Mn + 0,7 \cdot Ni + 0,6 \cdot Cr + 1,5 \cdot (Mo + W/2))$ не менше 1,0.

9. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-7, яка відрізняється тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому співвідношенню, мас. %:

$(1,1 \cdot Mn + 0,7 \cdot Ni + 0,6 \cdot Cr + 1,5 \cdot (Mo + W/2))$ не менше 2,0.

10. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-9, яка відрізняється тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому співвідношенню, мас. %:

$(Cr + 3 \cdot (Mo + W/2))$ не менше 1,8.

11. Деталь зі сталі за будь-яким з пп. 1-9, яка відрізняється тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому співвідношенню, мас. %:

$(Cr + 3 \cdot (Mo + W/2))$ не менше 2,0.

12. Спосіб виготовлення деталі зі сталі, що придатна до зварювання, за будь-яким з пп. 1-11, який відрізняється тим, що: заготовку деталі аустенізують нагріванням до температури, що знаходиться в межах від Ac_3 до $1000^\circ C$, краще, від Ac_3 до $950^\circ C$, потім її охолоджують до температури, що є меншою або дорівнює $200^\circ C$, таким чином, щоб у серцевині деталі швидкість

(13) C2

(11) 81929

(19) UA

оохолодження від 800 °С до 500 °С перевищувала критичну бейнітну швидкість або дорівнювала їй.

13. Спосіб за п. 12, який **відрізняється** тим, що в серцевині згаданої заготовки деталі швидкість оохолодження між 500 °С і температурою, що є меншою або дорівнює 200 °С, знаходиться в межах від 0,07 °С/с до 5 °С/с.

14. Спосіб за пп. 12 або 13, який **відрізняється** тим, що при необхідності здійснюють відпуск при температурі, що є меншою або дорівнює A_{c1} .

15. Спосіб за будь-яким з пп. 12-14, який **відрізняється** тим, що відпуск здійснюють при температурі, меншій 300 °С, протягом часу менше 10 годин, після оохолодження до температури, що є меншою або дорівнює 200 °С.

16. Спосіб за будь-яким з пп. 12-14, який **відрізняється** тим, що після оохолодження до температури, що є меншою або дорівнює 200 °С, відпуск не виконують.

17. Спосіб виготовлення деталі зі сталі, що придатна до зварювання, зокрема листа зі сталі, товщина якого складає від 3 мм до 150 мм, який **відрізняється** тим, що здійснюють загартовування згаданого листа, при цьому швидкість V_R оохолодження в серцевині деталі між 800 °С та 500 °С і склад сталі вибирають таким чином, щоб він відповідав наступному співвідношенню, мас. %:

$(1,1 \cdot Mn + 0,7 \cdot Ni + 0,6 \cdot Cr + 1,5 \cdot (Mo + W/2) + \log V_R)$ не менше 5,5.

18. Спосіб виготовлення листа зі сталі за п. 17, який **відрізняється** тим, що здійснюють загартовування заготовки згаданого листа, при цьому швидкість V_R оохолодження в серцевині заготовки деталі між 800 °С та 500 °С і склад сталі вибирають таким чином, щоб він відповідав наступному співвідношенню, мас. %:

$(1,1 \cdot Mn + 0,7 \cdot Ni + 0,6 \cdot Cr + 1,5 \cdot (Mo + W/2) + \log V_R)$ не менше 6,0.

Даний винахід стосується зварюваних деталей з конструкційної сталі та способу їхнього виготовлення.

Конструкційні сталі повинні мати певний набір механічних характеристик, щоб відповідати вимогам застосування, і, зокрема, повинні мати підвищену твердість. Для цього використовують сталі, які мають здатність до загартовування, тобто, у яких можна одержати мартенситну або бейнітну структуру за допомогою досить швидкого та ефективного оохолодження. Таким чином, визначають критичну, бейнітну швидкість, за межами якої одержують бейнітну, мартенситну або мартенситно-бейнітну структуру, залежно від досягнутої швидкості оохолодження.

Загартовуваність цих сталей залежить від вмісту в них елементів, що підвищують прогартовуваність. Як правило, чим вище кількість таких елементів у сталі, тим нижче критична бейнітна швидкість.

Крім механічних характеристик, конструкційні сталі повинні мати гарну зварюваність. Однак, при зварюванні сталевих деталей зона зварювання, яку називають також зоною термічного впливу або ЗТВ, зазнає впливу надвисокої температури протягом короткого часу, а потім різкого оохолодження, що надає цій зоні підвищеної твердості, яка може призвести до утворення тріщин, що обмежує зварюваність сталі.

Звичайно зварюваність сталі оцінюють за допомогою обчислення її «вуглецевого еквівалента» за такою формулою:

$C_{eq} = (\%C + \%Mn/6 + (\%Cr + (\%Mo + \%W/2) + \%V)/5 + \%Ni/15)$

У першому наближенні, чим нижче вуглецевий еквівалент сталі, тим вище зварюваність сталі. Тому зрозуміло, що поліпшення загартовуваності, яке досягається за рахунок більш високого вмісту елементів, що підвищують прогартовуваність, погіршує її зварюваність.

Для поліпшення загартовуваності цих сталей без погіршення зварюваності були розроблені марки мікролегованої бором сталі за рахунок того, що, зокрема, дія цього елемента, який підвищує прогартовуваність, знижується при підвищенні температури аустенізації. Таким чином, ЗТВ стає менш прогартовуваною, ніж вона була б у марки сталі з тією ж загартовуваністю без бору, і, таким чином, можна знизити загартовуваність і твердість цієї ЗТВ.

Разом з тим, оскільки гартівна дія бору в незвареній ділянці сталі наближається до насичення при значеннях вмісту від 30 до 50 частин на мільйон, то додаткового поліпшення загартовуваності сталі можна досягти лише шляхом додавання елементів, що підвищують прогартовуваність, дія яких не залежить від температури аустенізації, що автоматично погіршує зварюваність цих сталей. Так само, поліпшення зварюваності досягається шляхом зменшення вмісту елементів, які підвищують прогартовуваність, що автоматично приводить до зниження загартовуваності.

Задачею даного винаходу є усунення цього недоліку шляхом розробки конструкційної сталі, яка має поліпшену загартовуваність без зниження її зварюваності.

У цьому зв'язку першим об'єктом даного винаходу є зварювана деталь з конструкційної сталі, до хімічного складу якої входять, у мас. %:

$0,40\% < C < 0,50\%$

$0,50\% < Si < 1,50\%$

$0\% < Mn < 3\%$

$0\% < Ni < 5\%$

$0\% < Cr < 4\%$

$0\% < Si < 1\%$

$0\% \leq Mo + W/2 < 1,5\%$

$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$

$N \leq 0,025\%$

$Al \leq 0,9\%$

$Si + Al \leq 2,0\%$

при необхідності, щонайменше, один елемент, вибраний із групи, яка включає V, Nb, Ta, S та Ca, з вмістом, меншим 0,3%, та/або з Ti та Zr з вмістом, що є меншим або дорівнює 0,5%, при цьому решту складає залізо та домішки, що утворилися при плавленні при цьому значення вмісту алюмінію, бору, титану та азоту, виражені в тисячних частках %, згаданого складу додатково відповідають такому відношенню:

$B \geq \frac{1}{3} \times K + 0,5$	(1)
-------------------------------------	-----

при $K = \text{Min}(I^*; J^*)$

$I^* = \text{Max}(0; I)$ та $J^* = \text{Max}(0; J)$

$I = \text{Min}(N; N - 0,29(Ti - 5))$

$J = \text{Min}(N; 0,5(N - 0,52 Al +$

$$\sqrt{(N - 0,52 Al)^2 + 283})),$$

і структура якої є бейнітною, мартенситною або мартенситно-бейнітною та додатково містить від 3 до 20% залишкового аустеніту, краще, від 5 до 20% залишкового аустеніту.

У кращому варіанті реалізації хімічний склад сталі деталі відповідно до даного винаходу додатково відповідає такому відношенню у мас.%

$1,1\%Mn + 0,7\%Ni + 0,6\%Cr + 1,5(\%Mo + \%W/2)1,$ краще, ≥ 2	(2)
--	-----

В іншому кращому варіанті реалізації, хімічний склад сталі деталі відповідно доданого винаходу додатково відповідає відношенню мас.%

$$\%Cr + 3(\%Mo + \%W/2) \geq 1,8, \text{краще, } \geq 2,0.$$

Другим об'єктом даного винаходу є спосіб виготовлення зварюваної деталі зі сталі відповідно до винаходу, який відрізняється тим, що:

- деталь аустенізують нагріванням до температури, що знаходиться в межах від A_{c3} до 1000°C , краще, від A_{c3} до 950°C , потім її охолоджують до температури, що є меншою або дорівнює 200°C , таким чином, щоб у серцевині деталі швидкість охолодження від 800°C до 500°C перевищувала або дорівнювала критичній бейнітній швидкості;

- при необхідності, здійснюють відпуску при температурі, що є меншою або дорівнює A_{c1} .

Приблизно між 500°C та температурою навколишнього середовища і, зокрема, між 500°C та температурою, що є меншою або дорівнює 200°C , швидкість охолодження можна, при необхідності, сповільнити, зокрема, щоб сприяти явищу самовідпуску та утриманню залишкового аустеніту в межах від 3% до 20%. Краще, швидкість охолодження між 500°C та температурою, що є меншою або дорівнює 200°C , у цьому випадку буде становити від $0,07^\circ\text{C}/\text{с}$ до $5^\circ\text{C}/\text{с}$, краще - від $0,15^\circ\text{C}/\text{с}$ до $2,5^\circ\text{C}/\text{с}$.

У кращому варіанті реалізації відпуск здійснюють при температурі, меншій 300°C , протягом часу менше 10 годин, після охолодження до температури, що є меншою або дорівнює 200°C .

В іншому кращому варіанті реалізації спосіб відповідно до даного винаходу не включає відпускання після охолодження деталі до температури, що є меншою або дорівнює 200°C .

Ще в одному кращому варіанті реалізації деталь, виготовлена способом відповідно до даного винаходу, є листом товщиною від 3 до 150мм .

Третім об'єктом даного винаходу є спосіб виготовлення зварюваного листа зі сталі відповідно до даного винаходу, товщиною від 3 мм до 150мм , який відрізняється тим, що здійснюють загартування згаданого листа, при цьому швидкість V_R охолодження в серцевині листа в інтервалі $800^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}$, виражена в $^\circ\text{C}/\text{годину}$, та склад сталі вибирають таким чином, щоб (у мас.%):

$$1,1\%Mn + 0,7\%Ni + 0,6\%Cr + 1,5(\%Mo + \%W/2) + \log V_R \geq 5,5 \text{ і краще, } \geq 6, \text{ де } \log \text{ позначає десятиковий логарифм.}$$

Даний винахід заснований на новому висновку про те, що додавання кремнію у вищевказаних кількостях дозволяє підвищити гартівну дію бору від 30% до 50%.

Такий синергійний ефект проявляється без збільшення кількості доданого бору, тоді як кремній не дає істотної гартівної дії за відсутності бору.

З іншого боку, додавання кремнію не заважає здатності бору знижувати, а потім припиняти свою гартівну дію при зростаючих температурах аустенізації, як це відбувається в ЗТВ.

Таким чином, використання кремнію в присутності бору дозволяє ще більше підвищити загартуваність деталі, не погіршуючи її зварюваності.

Крім того, було також виявлено, що, завдяки поліпшенню загартуваності цих марок сталі та додаванню мінімальної кількості карбідотвірних елементів, якими, зокрема, є хром, молібден і вольфрам, можна одержувати ці сталі, здійснюючи лише відпуск при низькій температурі або навіть відмовившись від нього.

Дійсно, поліпшення загартуваності дозволяє охолоджувати деталі більш повільно, забезпечуючи при цьому в основному бейнітну, мартенситну чи мартенситно-бейнітну структуру. Це більше повільне охолодження в поєднанні з достатнім вмістом карбідотвірних елементів забезпечує осадження дрібних карбідів хрому, молібдену та/або вольфраму за рахунок явища, що називається самовідпуском. Цьому явищу самовідпуску, крім того, сприяє уповільнення швидкості охолодження при температурі нижче 500°C . Це уповільнення сприяє також утриманню аустеніту, краще, в кількості від 3% до 20%. Тому процес виготовлення стає простішим при одночасному поліпшенні механічних характеристик сталі, яка не зазнає значного розм'якшення, що має місце під час відпускання при високій температурі, як звичайно роблять у сучасній практиці. У Разом з тим, залишається можливість здійснювати такий відпуск при звичайних температурах, тобто таких, що є меншими або дорівнюють A_{c1} .

Далі йде більше докладний опис винаходу, що не носить обмежувального характеру. Сталь деталі відповідно до даного винаходу містить, у мас.%:

- більше 0,40% вуглецю, щоб одержати відмінні механічні характеристики, але менше 0,50%, щоб забезпечити гарну зварюваність, гарну оброблюваність різанням та гнуттям та мати достатню міцність;

- більше 0,50%, краще, більше 0,75% і ще краще, більше 0,85% мас, кремнію, щоб забезпечити синергію з бором, але менш 1,50% мас, щоб не окрихувати сталь;

- більше 0,0005% краще, більше 0,001% бору, щоб скорегувати загартовуваність, але менше 0,010% мас, щоб уникнути занадто високого вмісту нітридів бору, які негативно впливають на механічні характеристики сталі;

- менше 0,025%, краще, менше 0,015% азоту, при цьому отриманий вміст залежить від способу виплавки сталі;

- від 0% до 3%, і краще, від 0,3% до 1,8%, марганцю, від 0% до 5%, і краще, від 0% до 2%, нікелю, від 0% до 4% хрому, від 0 до 1% міді, при цьому сума кількості молібдену та половини кількості вольфраму повинна бути меншою за 1,50%, щоб одержати в основному бейнітну, мартенситну або мартенситно-бейнітну структуру; крім того, сума $\%Cr + 3\%Mo + \%W/2$, краще, перевищує 1,8%, і ще краще - перевищує 2,0%, щоб, при необхідності, мати можливість обмежити відпусковий температурою 300°C або відмовитися від нього;

- менше 0,9% алюмінію, який, при більш високому вмісті, негативно позначається на плинності (включеннями забиваються розливальні жолоби). Крім того, вміст алюмінію та кремнію разом повинен бути меншим 2,0%, щоб уникнути надривів під час прокатки;

- при необхідності, щонайменше, один елемент, вибраний з групи, яка включає V, Nb, Ta, S, Ca з вмістом менше 0,3%, та/або Ti і Zr з вмістом, що є меншим або дорівнює 0,5%. Додаванням V, Nb, Ta, Ti, Zr домагаються підвищення твердості шляхом осадження, без надмірного погіршення зварюваності. Титан, цирконій та алюміній можуть використовуватися для фіксації азоту, присутнього у сталі, що дозволяє захистити бор, при цьому титан повністю або частково може бути замінений подвійною вагою Zr. Сірка та кальцій сприяють поліпшенню оброблюваності марки різанням;

- крім того, вміст алюмінію, бору, титану та азоту в згаданому складі, виражений в тисячних частках %, повинен відповідати такому відношенню:

$B \geq \frac{1}{3} \times K + 0,5$	(1)
-------------------------------------	-----

при $K = \min(I^*; J^*)$

$I^* = \max(0; I)$ та $J^* = \max(0; J)$

$I = \min(N; N - 0,29(Ti - 5))$

$J = \min(N; 0,5(N - 0,52 Al +$

$$\sqrt{(N - 0,52 Al)^2 + 283})),$$

- решту складає залізо та домішки, що утворюються при варінні.

Для виготовлення зварюваної деталі одержують сталь відповідно до даного винаходу,

відливають її у вигляді напівфабрикату, якому потім надають форму шляхом гарячої пластичної деформації, наприклад, за допомогою прокатки або кування. Отриману деталь аустенізують нагріванням до температури, що перевищує A_{c3} , але є меншою 1000°C, краще, меншою 950°C, потім охолоджують до температури навколишнього середовища таким чином, щоб у серцевині деталі швидкість охолодження від 800 до 500°C перевищувала критичну бейнітну швидкість. Температуру аустенізації обмежують межею 1000°C, тому що вище цього значення гартівна дія бору стає занадто слабкою.

Разом з тим, можна також одержувати деталі безпосереднім охолодженням у нагрівальній установці для формування (без аустенізації), і в цьому випадку, навіть якщо нагрівання перед формуванням перевищує 1000°C, залишаючись при цьому нижче 1300°C, бор зберігає свою дію.

Для охолодження деталі до температури навколишнього середовища, починаючи від температури аустенізації, можна проводити загартування, використовуючи всі відомі способи (на повітрі, у маслі, у воді), але при цьому швидкість охолодження залишається вище критичної бейнітної швидкості.

Після цього, якщо буде потреба, проводять класичний відпуск деталі при температурі, що є меншою або дорівнює A_{c1} , але, краще, при цьому обмежувати температуру межею 300°C або навіть відмовитися від цього етапу. Дійсно, відмова від відпускання може бути, якщо буде потреба, компенсована явищем самовідпуску. Цьому самовідпуску сприяє, зокрема, швидкість охолодження при низькій температурі (тобто, приблизно нижче 500°C), яка, краще, знаходиться в межах від 0,07°C/c до 5°C/c, ще краще - від 0,15°C/c до 2,5°C/c.

Для цього можна застосовувати будь-які відомі способи загартування за умови можливості їхнього регулювання у разі потреби. Так, наприклад, можна застосувати загартування у воді, якщо швидкість охолодження сповільнюють, коли температура деталі опускається нижче 500°C, що можна здійснити, зокрема, витяганням деталі з води та завершенням загартування на повітрі.

Таким чином, одержують деталь, зокрема, зварюваний лист зі сталі з наскрізною бейнітною, мартенситною або мартенситно-бейнітною структурою, яка містить від 3 до 20% залишкового аустеніту.

Наявність залишкового аустеніту є особливою перевагою з погляду поведінки сталі при зварюванні. Дійсно, щоб обмежити можливість утворення тріщин при зварюванні та додатково до згаданого вище зниження загартовуваності ЗТВ, присутність залишкового аустеніту в базовому металі поблизу ЗТВ дозволяє зафіксувати частину розчиненого водню, який може бути використаний під час операції зварювання, оскільки водень, не будучи зафіксованим, може підвищити небезпеку тріщиноутворення.

Як приклад виготовили невеликі пробні зливки зі сталей 1 та 2 відповідно до даного винаходу, та

зі сталей А и В відповідно до попереднього рівня техніки, з такими складами, у тисячних мас%, і за винятком заліза:

	C	Si	B	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Al	N
1	415	870	2	1150	510	1110	450	-	-	-	-	55	6
A	420	315	3	1150	520	3	460	-	-	-	-	52	5
2	450	830	3	715	1410	1450	410	230	65	38	32	25	6
B	460	280	3	720	1430	1470	425	240	63	42	31	27	6

Після кування зливків загартовуваність чотирьох сталей оцінюють за допомогою дилатометричного аналізу. У цьому випадку розглядали, наприклад, мартенситну загартовуваність і, отже, критичну мартенситну швидкість V_1 після аустенізації при 900 °C протягом 15 хвилин.

На основі цієї швидкості V_1 виводять максимальні значення товщини листів, які можна одержати, зберігаючи в основному наскрізну мартенситну структуру, що включає також, щонайменше, 3% залишкового аустеніту. Ці значення товщини були визначені при загартуванні на повітрі (А), у маслі (Н) та воді (Е).

Нарешті, провели оцінку зварюваності двох сталей шляхом обчислення процентного вмісту в них еквівалентного вуглецю за формулою:

$$C_{eq} = (\%C + \%Mn/6 + (\%Cr + (\%Mo + \%W/2) + \%V)/5 + \%Ni/15)$$

Нижче наведені характеристики зливків L1 та L2 відповідно до даного винаходу та зливків LA та LB, узятих для порівняння:

Злиток	V_1 (°C/годину)	Макс. товщина (мм)			C_{eq} (%)
		A	H	E	
L1	8800	7	60	100	0,95
LA	15000	4	40	75	0,91
L2	5000	13	80	120	1,07
LB	8200	8	55	85	1,09

Відзначили, що критичні мартенситні швидкості деталей відповідно до даного винаходу є істотно нижчими за відповідні швидкості для зливків зі сталі попереднього рівня техніки, отже, їх загартовуваність істотно покращилася, і у той же час їхня зварюваність не змінилася.

Поліпшення загартовуваності дозволяє виготовити деталі зі структурою, прогартованою наскрізь у менш суворих умовах охолодження, ніж у відомих технічних рішеннях та/або при більших значеннях максимальної товщини.