



УКРАЇНА

(19) UA (11) 80010 (13) C2
(51) МПК (2006)
C22C 38/54
C21D 8/02
C22C 38/44

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ДЕТАЛЬ ТА СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ АБО ЛИСТА ІЗ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ, ЩО ПРИДАТНА ДО ЗВАРЮВАННЯ

1

(21) а200505983
(22) 13.11.2003
(24) 10.08.2007
(86) PCT/FR2003/003361, 13.11.2003
(31) 02 14422
(32) 19.11.2002
(33) FR
(46) 10.08.2007, Бюл. № 12, 2007 р.
(72) Бегіно Жан, FR, Бріссон Жан-Жорж, FR
(73) ЕНДЮСТЕЛЬ КРЬОЗО, FR
(56) JP 06017188 A, 25.01.1994
JP 03031443 A, 12.02.1991
JP 04297548 A, 21.10.1992
WO 9622396 A1, 25.07.1996
EP 0725156 A1, 07.08.1996
US 4854976 A, 08.08.1989
US 6159312 A, 12.12.2000
JP 01298116 A, 01.12.1989
JP 11279690 A, 12.10.1999
EP 0974678 A1, 26.01.2000
EP 0974677 A1, 26.01.2000
(57) 1. Деталь із конструкційної сталі, що придатна для зварювання, яка **відрізняється** тим, що до хімічного складу сталі входять, мас. %:
С не менше 0,10 і не більше 0,22
Si не менше 0,50 і не більше 1,50
Al не більше 0,9
Mn не більше 3
Mo + W/2 не більше 1,5
В не менше 0,0005 і не більше 0,010
N не більше 0,025,
щонайменше один елемент, вибраний з групи, до якої входять Ti та Zr з вмістом, меншим або рівним 0,5, при цьому решту складають залізо та домішки, утворені при варінні сталі, при цьому значення вмісту алюмінію, бору, титану, цирконію та азоту, виражені у тисячних частках %, згаданого складу додатково повинні відповідати такому відношенню:
$$B \leq \min \left(\frac{1}{3} \times K + 0,5, \quad (1) \right)$$

при $K = \min (I^*; J^*)$,
 $I^* = \max (0; I)$ та $J^* = \max (0; J)$
 $I = \min (N; N - 0,29 (Ti + Zr/2 - 5))$
 $J = \min (N; 0,5 (N - 0,52 Al + \sqrt{(N - 0,25 Al^2 + 283)}))$,

2

при цьому вміст кремнію та алюмінію в складі повинен додатково відповідати таким умовам:
якщо С більше 0,145, то Si + Al менше 0,95,
і структура якої є бейнітною, мартенситною або мартенситно-бейнітною та додатково містить від 3 до 20 об. % залишкового аустеніту.
2. Деталь за п. 1, яка **відрізняється** тим, що в хімічний склад сталі додатково входять, мас. %:
Ni не більше 5
Cr не більше 4
Si не більше 1,
при необхідності щонайменше один елемент, вибраний з групи, до якої входять V, Nb, Ta, S та Ca, з вмістом, меншим за 0,3.
3. Деталь за п. 1 або 2, яка **відрізняється** тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому відношенню:
 $1,1 Mn + 0,7 Ni + 0,6 Cr + 1,5 (Mo + W/2)$ не менше 1.
4. Деталь за п. 3, яка **відрізняється** тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому відношенню:
 $1,1 Mn + 0,7 Ni + 0,6 Cr + 1,5 (Mo + W/2)$ не менше 2.
5. Деталь за будь-яким з пп. 2, 3, яка **відрізняється** тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому відношенню:
 $Cr + 3 (Mo + W/2)$ не менше 1,8.
6. Деталь за п. 5, яка **відрізняється** тим, що хімічний склад сталі додатково відповідає такому відношенню:
 $Cr + 3 (Mo + W/2)$ не менше 2,0.
7. Спосіб виготовлення деталі із конструкційної сталі, що придатна для зварювання за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що:
- заготовку деталі аустенізують нагріванням до температури, яка знаходиться в межах від Ас₃ до 1000 °С, потім її охолоджують до температури, меншої або рівної 200 °С, таким чином, щоб у серцевині деталі швидкість охолодження від 800 °С до 500 °С перевищувала або була рівною критичній бейнітній швидкості.
8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що заготовку деталі аустенізують нагріванням до температури, краще, від Ас₃ до 950 °С.

(13) C2
(11) 80010
(19) UA

9. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що при необхідності здійснюють відпускання деталі при температурі, меншій або рівній A_{c1} .

10. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що в серцевині згаданої деталі швидкість охолодження між 500°C і температурою, меншою або рівною 200°C , знаходиться в межах від $0,07^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

11. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що здійснюють відпускання при температурі, меншій за 300°C , протягом менше 10 годин після охолодження до температури, меншої або рівної 200°C .

12. Спосіб за п. 7 або 11, який **відрізняється** тим, що після охолодження до температури, меншої або рівної 200°C , відпускання не проводять.

13. Спосіб виготовлення листа із конструкційної сталі, що придатна для зварювання за будь-яким з

пп. 1-6, товщина якого становить від 3 мм до 150 мм, який **відрізняється** тим, що здійснюють загартування заготовки згаданого листа, при цьому швидкість охолодження V_R у серцевині між 800°C та 500°C та склад сталі вибирають таким чином, щоб:

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

14. Спосіб за п. 13, який **відрізняється** тим, що здійснюють загартування заготовки згаданого листа, при цьому швидкість охолодження V_R у серцевині деталі між 800°C та 500°C та склад сталі вибирають таким чином, щоб:

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

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 загартування, тобто, у яких можна одержати мартенситну або бейнітну структуру за допомогою досить швидкого та ефективного охолодження. Таким чином, визначають критичну бейнітну швидкість, за межами якої одержують бейнітну, мартенситну або мартенситно-бейнітну структуру, залежно від досягнутої швидкості охолодження.

Загартуваність цих сталей залежить від вмісту в них елементів, що підвищують прогартуваність. 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, називана також зоною термічного впливу або ЗТВ, зазнає впливу надвисокої температури протягом короткого часу, а потім різкого охолодження, що надає цій зоні підвищеної твердості, яка може призвести до утворення тріщин, що обмежує зварюваність сталі.

Звичайно зварюваність сталі

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

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

Для поліпшення загартуваності цих сталей без погіршення їхньої зварюваності були розроблені марки мікролегованої бором сталі за рахунок того, що, зокрема, дія цього елемента, який підвищує прогартуваність, знижується при підвищенні температури аустенізації. Таким чином, ЗТВ

стає менш прогартуваною, ніж вона була б у марки сталі з тією ж загартуваністю без бору, і, таким чином, можна знизити загартуваність та твердість цієї ЗТВ.

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

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

У цьому зв'язку першим об'єктом даного винаходу є зварювана деталь з конструкційної сталі, до хімічного складу якої входять, за вагою:

$0,10\% \leq C \leq 0,22\%$

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

$Al \leq 0,9\%$

$0\% \leq Mn \leq 3\%$

$0\% \leq Ni \leq 5\%$

$0\% \leq Cr \leq 4\%$

$0\% < Cu < 1\%$

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

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

$N \leq 0,025\%$

при необхідності, щонайменше, один елемент, вибраний з групи, до якої входять V, Nb, Ta, S та Ca, з вмістом, меншим $0,3\%$, та/або з Ti та Zr з вмістом, меншим або рівним $0,5\%$, при цьому решту складає залізо та домішки, що утворюються при варінні сталі, при цьому значення вмісту алюмінію, бору, титану та азоту, виражені у тисячних частках $\%$, згаданого складу додатково повинні відповідати такому відношенню:

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

при $K = \min(I^*; J^*)$

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

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

$$J = \min(N; 0,5(N - 0,52Al + \sqrt{(N - 0,25A)^2 + 283}))$$

при цьому вміст кремнію та алюмінію в складі повинен додатково відповідати таким умовам:

якщо $C > 0,145$, то $Si + Al < 0,95$,

і структура якої є бейнітною, мартенситною або мартенситно-бейнітною і 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:

$$1,1\%Mn + 0,7\%Ni + 0,6\%Cr + 1,5(\%Mo + \%W/2) > 1, \quad (2)$$

краще, > 2

В іншому кращому варіанті реалізації хімічний склад сталі деталі відповідно до даного винаходу додатково відповідає відношенню:

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

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

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

- при необхідності, здійснюють відпускання при температурі, меншій або рівній A_{c1} .

Приблизно між $500^\circ C$ та температурою навколишнього середовища, зокрема, між $500^\circ C$ та температурою, меншою або рівною $200^\circ C$, швидкість охолодження можна, при необхідності, уповільнити, зокрема, щоб сприяти явищу самовідпуску та утриманню залишкового аустеніту в межах від 3% до 20%. Краще, швидкість охолодження між $500^\circ C$ та температурою, меншою або рівною $200^\circ C$, у цьому випадку буде становити від $0,7^\circ C/c$ до $5^\circ C/c$, краще - від $0,15^\circ C/c$ до $2,5^\circ C/c$.

У кращому варіанті реалізації відпускання здійснюють при температурі, меншій $300^\circ C$, протягом часу менше 10 годин після охолодження до температури, меншій або рівній $200^\circ C$.

В іншому кращому варіанті реалізації спосіб відповідно до даного винаходу не включає відпускання після охолодження деталі до температури, меншій або рівній $200^\circ C$.

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

Третім об'єктом даного винаходу є спосіб виготовлення зварюваного листа зі сталі відповідно до даного винаходу, товщина якого становить від 3 мм до 150 мм, який відрізняється тим, що здійснюють загартування згаданого листа, при цьому швидкість охолодження V_R у серцевині листа між $800^\circ C$ та $500^\circ C$, виражену в $^\circ C/\text{годину}$, і склад сталі вибирають таким чином, щоб:

$1,1\%Mn + 0,7\%Ni + 0,6\%Cr + 1,5(\%Mo + \%W/2) + \log V_R \geq 5,5$, краще, > 6 , при цьому \log є десятковим логарифмом.

Даний винахід оснований на новому висновку про те, що додавання кремнію у вищевказаних кількостях дозволяє підвищити гартівну дію бору від 30% до 50%. Такий синергічний ефект проявляється без збільшення кількості бору, що додається, тоді як кремній не забезпечує істотної гартівної дії при відсутності бору.

С 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 відпускання при низькій температурі або навіть відмовившись від нього.

Дійсно, поліпшення загартуваності дозволяє охолоджувати деталі більш повільно, забезпечуючи при цьому в основному бейнітну, мартенситну або мартенситно-бейнітну структуру. Таке більш повільне охолодження в поєднанні з достатнім вмістом карбідотвірних елементів забезпечує осадження дрібних карбідів хрому, молібдену та/або вольфраму за рахунок явища, називаного самовідпуском. Цьому явищу самовідпуску, крім того, сприяє уповільнення швидкості охолодження при температурі нижче $500^\circ C$. Це уповільнення сприяє також одержанню 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, яке звичайно здійснюють в існуючій практиці. Разом з тим, залишається можливість здійснювати таке відпускання при звичайних температурах, тобто, менших або рівних A_{c1} .

Далі йде більш детальний опис винаходу, що не носить обмежувального характеру.

Сталь деталі відповідно до даного винаходу містить, за вагою:

- більше 0,10% вуглецю, щоб одержати відмінні механічні характеристики, але менше 0,22%, щоб забезпечити гарну зварюваність, гарну оброблюваність різанням і 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 менше 1,5% мас, щоб не окрихувати сталь;

- більше 0,0005, краще, більше 0,01% бору, щоб скорегувати загартуваність, 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 одержаний 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 менше 1,50%, щоб одержати по суті бейнітну, мартенситну або мартенситно-бейнітну структуру; при цьому хром, молібден і вольфрам, крім того, сприяють утворенню карбідів, що підвищують механічну міцність; крім того, сума $\%Cr + 3(\%Mo + \%W/2)$, краще, перевищує 1,8%, ще краще - перевищує 2,0%, щоб, якщо буде потреба, мати можливість обмежити відпускання температурою 300 °C або відмовитися від нього;

- при необхідності, щонайменше, один елемент, вибраний з групи, до якої входять V, Nb, Ta, S, Ca, з вмістом менше 0,3%, або Ti та Zr з вмістом, меншим або рівним 0,5%, та/або алюміній з вмістом, меншим 0,9%. Додаванням V, Nb, Ta, Ti, Zr домагаються підвищення твердості шляхом осадження, надмірно не погіршуючи зварюваність. 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. Вміст алюмінію обмежують значенням 0,9%, щоб уникнути забивання жолобів під час лиття;

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

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

при $K = \min(I^*; J^*)$

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

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

$J = \min(N; 0,5(N - 0,52Al + \sqrt{(N - 0,25A)^2 + 283}))$,

при додержанні такої додаткової умови:

- якщо $C > 0,145$ (краще, $> 0,140$), то $Si + Al < 0,95$, краще, $< 0,90$, щоб чітко диференціювати винахід від попередньої [заявки EP 0725156];

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

Для виготовлення зварюваних деталей одержують сталь відповідно до даного винаходу, відливають її у вигляді напівфабрикату, якому потім надають форму шляхом гарячого пластичного деформування, наприклад, за допомогою прокатки або кування. Одержану деталь аустенізують нагріванням до температури, що перевищує A_{c3} , але меншої 1000°C, краще, меншої 950°C, потім охолоджують до температури навколишнього середовища таким чином, щоб у серцевині деталі швидкість охолодження від 800°C 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 деформу-

ванням 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, при необхідності, проводять класичне відпускання деталі при температурі, меншій або рівній A_{c1} , але краще, при цьому слід обмежити температуру межею 300°C або навіть відмовитися від цього етапу. Дійсно, відмова від відпускання може бути, при необхідності, компенсована явищем самовідпуску. Цьому самовідпуску сприяє, зокрема, швидкість охолодження при низькій температурі (тобто, приблизно нижче 500°C), яка, краще, має значення в межах від 0,07°C/с до 5°C/с, ще краще - від 0,15°C/с до 2,5°C/с.

Для цього можна застосовувати будь-які відомі способи загартування за умови можливості їхнього регулювання при необхідності. Так, наприклад, можна застосувати загартування у воді, якщо швидкість охолодження сповільнюється, 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, що 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 і, додатково до згаданого вище зниження загартуваності ЗТВ, присутність залишкового аустеніту в базовому металі поблизу ЗТВ дозволяє зафіксувати частину розчиненого водню, що може бути включений 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 і В з попереднього рівня техніки з такими складами, у тисячних % мас, за винятком заліза:

	C	Si	B	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Al	N
1	145	875	3	1160	180	1600	170	0	0	0	0	55	7
A	147	310	3	1140	210	1610	175	0	0	0	0	52	6
2	215	740	2	1120	190	1550	90	240	55	0	120	10	6
B	212	280	3	1090	200	1590	120	190	65	0	95	12	6

Після кування зливок загартуваність чотирьох сталей оцінюють за допомогою дилатометричного аналізу. У цьому випадку розглядали, наприклад, мартенситну загартуваність 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 по суті наскрізну мартенситну стру-

ктуру, що містить 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:

Зливки	V ₁	Макс. товщина (мм)			C _{eq} (%)
	(°C/годину)	A	H	E	
L1	12000	6	50	80	0,704

LA	30000	2	25	50	0,708
L2	7500	9	60	110	0,777
LB	17000	4	40	70	0,781

Відзначається, що критичні мартенситні швидкості деталей відповідно до даного винаходу істотно нижче відповідних швидкостей для зливків зі сталі з 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.