



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **116117** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
C22C 38/00
C21D 7/13 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2016 11448</p> <p>(22) Дата подання заявки: 11.11.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.05.2017</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2017, Бюл.№ 9</p>	<p>(72) Винахідник(и): Ахмед Сундус Мохаммед (UA), Акімов Олег Вікторович (UA), Костик Катерина Олександрівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків-2, 61002 (UA)</p>
---	--

(54) СПЛАВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ

(57) Реферат:

Сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми містить: залізо, марганець, кремній, вуглець, хром, нікель, кобальт, мідь, ванадій, ніобій, молібден. При цьому до сплаву додатково введено сірку та фосфор (ваг. %): марганець від 4 до 20; кремній від 1,0 до 4,5; вуглець від 0,1 до 1,0; хром від 10,0 до 25,0; нікель від 1,0 до 10,0; кобальт від 1,0 до 10,0; мідь від 1,0 до 4,0; ванадій від 0,5 до 2,0; ніобій від 0,3 до 1,5; молібден від 0,5 до 2,0; сірка до 0,01; фосфор до 0,045; залізо решта.

UA 116117 U

Корисна модель належить до металургії, а саме до дисперсійно-твердіючих аустенітних сталей, яким притаманний ефект пам'яті форми (ЕПФ), що можуть бути використані для беззварювального з'єднання конструкцій, паливопроводів, трубопроводів високого тиску, виконуючих елементів у вигляді муфт, пружин та ін.

5 Відома сталь 4 × 15Н7Г7Ф2МС [1] є жароміцною високолегованою сталлю аустенітного класу, яка використовується у промисловості як лопатки газових турбін, кріпильних деталей, що працюють при температурі 650 °С обмежений час.

Недоліком відомої сталі є недостатня кількість дисперсійно-твердіючих часток, що впливає на міцність даної сталі та низькі значення коефіцієнта ЕПФ.

10 Близьким до заявленого за технічною суттю є "Сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми" [2], що складається з (ваг. %): нікелю 22-25; кобальту 28-40; титану 8-11; залізо решта.

Недоліками цього сплаву є недостатній ступінь відновлення форми, а також невисокі механічні властивості. Це обумовлено тим, що відсутні такі важливі легувальні елементи, як мідь, ванадій, ніобій, молібден. Також цей сплав має досить низькі корозійну та

15 окислювальність, що негативно впливає на подальшу експлуатацію виробу.
Найбільш близьким до заявленого по технічній суті і призначенню є [3] "Сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми", який містить елементи (ваг. %): марганець від 5 до 40; кремній від 0,1 до 8,0; азот від 0,01 до 0,8; вуглець від 0,01 до 0,8; хром від 0,1 до 20,0; нікель від 0,1 до 20,0; кобальт від 0,1 до 20,0; мідь від 0,1 до 3,0; ванадій від 0,1 до 1,0; ніобій від 0,1 до 1,0; молібден від 0,1 до 3,0; рідкоземельні елементи (Скандій або Ітрій, або Лантан, або Церій.) від 20 0,0005 до 0,02; залізо решта при співвідношенні вмісту вуглецю до азоту: 0,6-1,0 і при загальному співвідношенні між усіма компонентами сплаву: $Ni+Co+0,5Mn+0,3Cu+20N+25C>0,3(Cr+2Si+5V+1,5Nb+1,5Mo)$.

25 Основним і суттєвим недоліком способу-прототипу є велика різниця процентного співвідношення легувальних елементів, сплав не є сталлю, тому що не містить сірку та фосфор, наявність рідкоземельних елементів та велика кількість дорогих легувальних елементів. Також недоліком прототипу є технологічна складність та дороговизна отримання даного сплаву. До того ж не вказано наявність термічної обробки.

30 Задача корисної моделі полягає в створенні сплаву на основі заліза, який є сталлю аустенітного класу з мінімальною кількістю дорогих легувальних елементів при забезпеченні високих показників механічних властивостей, корозійної стійкості, окислювальності та високим ступенем відновлення форми.

35 Поставлена задача вирішується тим, що сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми містить: залізо, марганець, кремній, вуглець, хром, нікель, кобальт, мідь, ванадій, ніобій, молібден, сірку та фосфор (ваг. %): марганець від 4 до 20; кремній від 1,0 до 4,5; вуглець від 0,1 до 1,0; хром від 10,0 до 25,0; нікель від 1,0 до 10,0; кобальт від 1,0 до 10,0; мідь від 1,0 до 4,0; ванадій від 0,5 до 2,0; ніобій від 0,3 до 1,5; молібден від 0,5 до 2,0; сірка до 0,01; фосфор до 0,045; залізо решта.

40 Запропонований сплав відрізняється від відомого сплаву на основі заліза з ефектом пам'яті форми додатковим введенням сірки та фосфору, що визначає даний сплав, як сталь, також встановлено, що вміст у сплаві азоту та рідкоземельних елементів недоцільно. Це дає можливість значно здешевити процес отримання сплаву та отримувати масивні виливки зі значними показниками експлуатаційних властивостей.

45 Технічний результат забезпечується тим, що в даному сплаві, що заявляється, пропонується плавку проводити у вакуумній індукційній печі та отриманий сплав повинен мати такий хімічний склад (ваг. %): марганець від 4 до 20; кремній від 1,0 до 4,5; вуглець від 0,1 до 1,0; хром від 10,0 до 25,0; нікель від 1,0 до 10,0; кобальт від 1,0 до 10,0; мідь від 1,0 до 4,0; ванадій від 0,5 до 2,0; ніобій від 0,3 до 1,5; молібден від 0,5 до 2,0; сірка до 0,01; фосфор до 0,045; залізо решта.

50 Від прототипу сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми, що заявляється, відрізняється тим, що додатково введено сірку та фосфор, що визначає даний сплав, як сталь, до того ж сплав не містить недоцільні та дорогі домішки такі як азот та рідкоземельні елементи. Плавку проводити у вакуумній індукційній печі типу ОКБ-862, плавку проводили під вакуумом $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Розкислення для зменшення вмісту шкідливих домішок проводили алюмінієм.
55 Після плавки отримано виливки високої якості.

60 Легування сплаву кремнієм від 1,0 до 4,5 % приводить до зменшення енергії дефекту пакування аустеніту і підвищує його межа текучості, що позитивно позначається на властивостях пам'яті форми. Крім цього добавки кремнію у даному діапазоні підвищують корозійну стійкість і окислювальність матеріалу. Вуглець є аустенітоутворюючим елементом і додається до сплавів з метою створення перед їх деформацією аустенітної структури. Крім

цього він зміцнює аустеніт, так і мартенсит, що також позитивно впливає на властивості пам'яті форми, оптимальний ефект досягається при вмісті вуглецю від 0,1 до 1,0 %. Марганець додається до сплаву у кількості від 4 до 20 % як аустенітоутворюючий елемент, а також як елемент, що підвищує розчинність домішок впровадження в сплавах, які в свою чергу є аустенітоутворюючими, і, таким чином, забезпечує аустенітний стан сплаву перед деформацією. Суть легування хромом у кількості від 10,0 до 25,0 % полягає у зменшенні енергії дефекту пакування аустеніту і поліпшення корозійної стійкості сплавів. Нікель є дуже сильним аустенітоутворюючим елементом і додається у діапазоні від 1,0 до 10,0 % з метою створення аустенітної фази, а також для поліпшення корозійної і окалиностійкості сплавів. Вміст у сплаві кобальту від 1,0 до 10,0 % також сприяє утворенню аустенітної фази і, крім цього, покращує гарячу оброблюваність сплавів. Легування міддю від 1,0 до 4,0 % має на меті створення умов для формування аустенітної структури сплавів і поліпшення їх корозійної стійкості. Молібден у кількості від 0,5 до 2,0 % зменшує енергію дефекту пакування аустеніту і тим самим сприяє формуванню мартенситу при деформуванні, а також покращує окалиностійкість сплаву. Ванадій від 0,5 до 2,0 % і ніобій від 0,3 до 1,5 % додаються для підвищення межі текучості сплавів і поліпшення розчинності елементів впровадження в рідкій фазі сплавів. Одночасно їх наявність у сплавах дозволяє регулювати вміст вуглецю в твердому розчині методами термічної обробки. Збільшення чи зменшення вмісту легувальних елементів даних діапазонів призводить до значного погіршення експлуатаційних властивостей виробів із запропонованого сплаву.

Приклад реалізації способу.

Отриманий сплав, який містить: марганець, кремній, вуглець, хром, нікель, кобальт, мідь, ванадій, ніобій, молібден, сірку та фосфор (ваг. %): марганець від 4 до 20; кремній від 1,0 до 4,5; вуглець від 0,1 до 1,0; хром від 10,0 до 25,0; нікель від 1,0 до 10,0; кобальт від 1,0 до 10,0; мідь від 1,0 до 4,0; ванадій від 0,5 до 2,0; ніобій від 0,3 до 1,5; молібден від 0,5 до 2,0; сірка до 0,01; фосфор до 0,045; залізо решта піддавався наступній термічній обробки: відпал при температурі 900 °С різної тривалості залежно від розмірів зразків; гартування при температурі 1180 °С (одноступінчастий підігрів при 800 °С протягом 10 хвилин безпосередньо перед гартуванням, загартування при 1180 °С різної тривалості залежно від розмірів зразків, охолодження на повітрі) і старіння з двох режимів:

- 1) температура 1000 °С тривалістю 1 год. з наступним охолодженням на повітрі;
- 2) температура 800 °С тривалістю 10 годин з подальшим охолодженням на повітрі.

Для першого режиму старіння характерно наявність великої кількості карбідів ванадію, тоді як другого режиму відповідає переважання карбідів хрому.

Механічні випробування були проведені при кімнатній температурі згідно ГОСТ 1497-84 на універсальній машині відповідної ГОСТ 28840-90. Випробуванню піддавалися стандартні зразки для випробувань на зонах розтягнення при кімнатній температурі, довжина зразків становила 100 мм. Зміни значень характеристик міцності сплаву залежно від режимів термічної обробки наведені в табл.

Таблица

Механічні характеристики сплаву

Номер режиму обробки сплаву	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
1	700	1110	20	24
2	720	1140	30	34

Візуальне дослідження окалиностійкості полягало в нагріві зразків до температур 600-1000 °С з кроком 50 °С на відкритому повітрі і подальшого огляду поверхні.

Результати досліджень показали, що при нагріванні зразків в даному діапазоні температур окислення поверхні не спостерігалось.

Експеримент на корозійну стійкість сплаву проводили ваговим методом у 10 % розчині сірчаної кислоти. У ході проведення експерименту на корозійну стійкість сплаву виявлено, що сплав корозійностійкий і не схильний до зміни маси при витримці в 10 %-ому розчині сірчаної кислоти.

Дослідження мікроструктури підтвердили наявність дисперсійного твердіння в сплаві після режимів старіння, причому з другого режиму обробки карбідних включень більше, ніж після першого режиму обробки.

Також був зроблений кількісний фазовий аналіз на наявність у сплаві залишкового аустеніту з допомогою рентгенівського апарату ДРОН-3, згідно зі стандартною методикою.

Дифрактограма сплаву після гартування при температурі 1180 °С і охолодження на повітрі показала сплеск, відповідний γ -Fe, отже, вміст у сплаві аустеніту залишкового - 100 %.

Для утонення зразків проводили гарячу прокатку. Прокатка проходила у три етапи:

1. Нагрівання до 500 °С і перековування у кузні до товщини близько 30 мм.
2. Нагрівання до 800 °С прокатка до товщини 2,7 мм.
3. Нагрівання до 1190 °С, прокатка до товщини 2,0-2,1 мм.

Властивості відновлення форми вимірювалися шляхом іспитів на розтягнення зразків товщиною 2,0-2,1 мм і довжиною 30 мм. Зразки були деформовані на 5 % при кімнатній температурі, а після цього нагріті вище температури зворотного мартенситного перетворення.

10 Ступінь відновлення форми (α) оцінювалася за формулою:

$$\alpha = \frac{(l_d - l_k)}{(l_k - l_0)} \cdot 100 \%,$$

де l_0 - початкова довжина зразка; l_d - довжина зразка після деформування; l_k - довжина зразка після нагрівання.

15 Результати досліджень показали, що ступінь відновлення форми запропонованого сплаву становить 73-95 %.

Таким чином, запропонований сплав має високий ступінь відновлення форми при збереженні таких важливих властивостей як міцність, в'язкість, корозійна та окалиностійкість.

Запропонований сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми може бути отриманий як в лабораторних умовах, так і на промисловому устаткуванні.

20 Джерела інформації:

1. ГОСТ 5632-2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. - М.: Стандартинформ. - Введ. 01.01.2015. - Изм. 18.07.2016.

25 2. № 1617035 СССР. МПК⁷ С22С 38/14. Сплав на основе железа с эффектом памяти формы /Корорин В.В.; Гунько Л.П.; заявитель патентообладатель Институт металлофизики АН УССР. - № 4646348/31-02; заяв. 03.02.1989; опубл. 30.12.1990, Бюл. № 48.

3. Пат. 29209 Україна, МПК С22С 38/04. Сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми /Яковенко П.Г., Гаврилук В.Г., Главацька Н.І., Уллакко Карі Мартті; - № u98010516; заяв. 30.01.1998; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.

30

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

35 Сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми, що містить: залізо, марганець, кремній, вуглець, хром, нікель, кобальт, мідь, ванадій, ніобій, молібден, який **відрізняється** тим, що додатково введено сірку та фосфор (ваг. %): марганець від 4 до 20; кремній від 1,0 до 4,5; вуглець від 0,1 до 1,0; хром від 10,0 до 25,0; нікель від 1,0 до 10,0; кобальт від 1,0 до 10,0; мідь від 1,0 до 4,0; ванадій від 0,5 до 2,0; ніобій від 0,3 до 1,5; молібден від 0,5 до 2,0; сірка до 0,01; фосфор до 0,045; залізо решта.

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601