



УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **107101**

(13) **U**

(51) МПК

**C22C 1/05** (2006.01)

**C22C 19/03** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: **u 2015 10428**

(22) Дата подання заявки: **26.10.2015**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.05.2016**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.05.2016, Бюл.№ 10**

(72) Винахідник(и):

**Бєлоконь Юрій Олександрович (UA),  
Бєлоконь Каріна Володимирівна (UA)**

(73) Власник(и):

**ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА  
АКАДЕМІЯ,  
пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006 (UA)**

**(54) ЖАРОМІЦНИЙ ІНТЕРМЕТАЛІДНИЙ СПЛАВ**

(57) Реферат:

Жароміцний інтерметалідний сплав містить нікель, кобальт, ніобій, алюміній. Він додатково містить хром.

**UA 107101 U**



Корисна модель належить до металургії, зокрема до порошкових сплавів на основі інтерметаліду  $\beta$ -NiAl, і може бути використана для виготовлення деталей гарячого тракту газотурбінних двигунів.

Відомий інтерметалідний сплав [патент РФ № 2065325, B01J 23/10, 1996], що містить (мас. %): алюміній - 52-75; нікель - 25-48. Процес ведуть з наступним формуванням шихти, що утворилася, її термічною обробкою локальним запалюванням в інертному середовищі.

Недоліком відомого сплаву є низька пластичність, а саме здатність до витягування під час холодної деформації та низька тривала міцність ( $\sigma_{100}$ ) - при температурі 800 °C у  $\beta$ -NiAl сплаву дорівнює всього 30 МПа.

Найближчим аналогом до корисної моделі є інтерметалідний сплав [патент РФ № 2368684, C22C 1/05, C22C 19/03, 2009], що містить (мас. %): алюміній - 24-30; кобальт - 8-18; ніобій - 3-5; нікель - решта, і включає додатково оксид ітрію в кількості 2-2,5 об. %. Процес ведуть з наступним формуванням шихти та її екструзії з коефіцієнтом витяжки 15 при температурі 1000-1200 °C. Отриману заготовку піддають термічній обробці в вакуумній пічці при температурі 1450-1550 протягом 1 години.

Отриманий сплав має підвищену жароміцність при 1100 °C і стійкість до окислення в порівнянні з нелегованим  $\beta$ -NiAl сплавом. Однак при більш високих робочих температурах стійкість до окислення, тривала і короткочасна міцність сплаву значно знижуються.

В основу корисної моделі поставлено задача розробки сплаву, в якому за рахунок введення хрому забезпечується підвищення характеристик: жаростійкості та жароміцності сплаву при температурі, що перевищує робочі температури нікелевих суперсплавів (вище 1100 °C) з збереженням показників пластичності сплаву при низьких температурах.

Для вирішення поставленої задачі сплав, що містить нікель, алюміній, кобальт і ніобій згідно з корисною моделлю він, додатково містить хром, при наступному співвідношенні компонентів (мас. %): нікель - 58-62; кобальт - 8-10; ніобій - 1-3; хром - 3-5; алюміній - решта.

Приведене співвідношення легувальних елементів дозволяє отримати в сплаві, що заявляється, після деформації однорідну дрібнозернисту структуру з більш високими механічними характеристиками при високих температурах.

Вибране співвідношення компонентів визначається наступними факторами.

При концентрації нікелю у сплаві, що заявляється, весь нікель входить до складу фази  $\beta$ -NiAl, відповідно до реакції  $\text{Ni} + \text{Al} = \text{NiAl}$  і перебуває в зоні гомогенності фази  $\beta$ -NiAl. Отже мінімальна концентрація нікелю повинна становити не менше 58 % по масі. Зменшення концентрації нікелю менше 58 % приводить до утворення фази  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>. Низька температура плавлення і висока крихкість фази  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Al<sub>2</sub> ускладнюють використання цієї фази в сплаві. Верхня границя вмісту нікелю - 62 % обумовлена зоною гомогенності  $\beta$ -NiAl фази.

Кобальт в системі Ni-Al є аналогом нікелю, кобальт заміщає нікель в обох підрешітках впорядкованої B2-решітки, знижує прагнення надлишкових атомів нікелю до впорядкування в підрешітку алюмінію і помітно розширює область гомогенності  $\beta$ -фази в потрібній системі Ni-Co-Al. Введення кобальту приводить до появи в сплаві гетерогенної структури з пластичною фазою  $\gamma$ -Ni<sub>3</sub>Al, яка утворює прошарок по границям  $\beta$ -зерен. Внаслідок цього підвищується низькотемпературна пластичність сплаву ( $\delta$ ) і збільшується опір поширення тріщини ( $K_{1C}$ ). Вміст кобальту менш ніж 8 % не забезпечує ефективного подрібнення структурних складових  $\beta$ -фази, що негативно впливає на пластичність сплаву. При вмісті більш ніж 10 % кобальту спостерігається пересичення розплаву цим компонентом і зростанням долі  $\gamma$ -фази, що призводить до зменшення міцності і твердості сплаву, а також збільшення його щільності.

Ніобій найсильніше з усіх лігатур подрібнює зерно і зменшує схильність до перегрівання. Він різко збільшує межу міцності та текучості без зменшення пластичності сталі. Верхня границя вмісту ніобію - 3 % обумовлена необхідністю забезпечення вимогам рівня пластичності сплаву, а нижня - 1 % - забезпечення вимогам рівня міцності.

Хром, який додатково введено в склад сплаву, бере участь спільно з алюмінієм і кобальтом у формуванні щільної багаточислової оксидної плівки, що містить тугоплавкі шпінелі типу (Ni, Co)Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub> і (Ni, Co)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> з проміжним шаром (Al, Cr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, відрізняється малою швидкістю росту, що призводить до ущільнення оксидної плівки, поліпшення її адгезії і зниження проникнення кисню в основу металу. Верхня границя вмісту хрому обмежена його розчинністю в  $\beta$ -фазі (не більше 5 % по мас), а нижня - забезпеченням вимогам жароміцності і жаростійкості сплаву.

Інтерметалідний сплав був випробуваний у лабораторних умовах. Як вихідні компоненти використовували металеві порошки нікелю, кобальту, ніобію, хрому і алюмінію дисперсністю 100-250 мкм. Перед змішуванням порошки просували при температурі 75-120 °C протягом 3 годин. Змішування порошків проводили в сталевих кульових млинах протягом 2 годин. Співвідношення компонентів вибиралося відповідно до заявленого складу інтерметалідного

сплаву. Підготовлену таким чином змішану реакційну суміш зважували на електронних вагах і засипали в реактор. Для компактування початкових заготовок використовували гідравлічний прес, що розвиває зусилля до 1,25 МН. Процес пресування складався з двох стадій. Перша стадія - початкова, де з суміші вихідних порошків в окремій прес-формі виготовляли шихтовий брикет. З метою більш рівномірного розподілу тиску пресування за об'ємом заготівлі проводили витримку під тиском до 20 с. Щільність шихтової заготовки складала 60-80 %. При проведенні другої стадії брикет поміщали в реакційну прес-форму (матрицю гарячого пресування). Реакцію синтезу продукту проводили в режимі теплового самозаймання. У підігрітій заготівлі ініціювалася реакція синтезу, а по закінченню горіння проводилося додаткове пресування продукту синтезу (до щільності 0,99 від теоретичної і вище). По закінченню пресування проводили ізотермічну витримку при температурі 1100 °С протягом 1,5-2 годин для регулювання співвідношенням структурних складових інтерметалідного сплаву.

Випробувано склади інтерметалідного сплаву, що заявляється, представлені в таблиці 1, містять компоненти в кількості, відповідно нижній границі відповідає сплав № 2; верхній границі відповідає сплав № 4; оптимальному складу відповідає сплав № 3; нижче за нижню границю - сплав № 1; вище за верхню границю - сплав № 5.

Таблиця 1

## Хімічний склад інтерметалідного сплаву

№	Сплав	Вміст легувальних елементів, мас. %				
		Ni	Co	Nb	Cr	Al
1	Запропонований	58	8	1	1	решта
2		58	8	1	3	решта
3		58	8	3	5	решта
4		62	10	3	5	решта
5		62	10	3	7	решта

Механічні властивості сплаву визначали за ГОСТ 1497-84. Зразки отриманого сплаву випробовували на жароміцність при температурі 1100 °С. Випробування на жаростійкість проводилися у окислювальній атмосфері при температурі 1300 °С протягом 100 годин. Результати випробувань приведені у таблиці 2.

Таблиця 2

## Результати порівняльних випробувань

№	Сплав	Механічні властивості		
		Границя міцності $\sigma_b$ при температурі 1100 °С, МПа	Жаростійкість при температурі 1300 °С $\Delta G_{100}$ , г/м <sup>2</sup>	$\delta$ , %
Прототип		185-190	35-38	16-17
1	Запропонований	180-190	33-35	14-15
2		210-220	29-32	15-16
3		220-240	25-28	16-17
4		230-250	25-28	15-16
5		230-250	25-28	14-15

Результати випробувань показали, що раціональним легуванням хромом вдається підвищити на 20-27 % жароміцність та жаростійкість сплаву фактично без погіршення в'язко-пластичних характеристик.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Жароміцний інтерметалічний сплав, що містить нікель, кобальт, ніобій, алюміній, який **відрізняється** тим, що він додатково містить хром при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

нікель	58-62
кобальт	8-10
ніобій	1-3
хром	3-5
алюміній	решта.

---

Комп'ютерна верстка О. Рябко

---

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