



УКРАЇНА

(19) UA (11) 35414 (13) A

(51) 6 C22C19/05

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ЖАРОМІЦНИЙ КОРОЗІЙНОСТІЙКИЙ НІКЕЛЕВИЙ СПЛАВ

(21) 99105517

(22) 11.10.1999

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Андрієнко Анатолій Георгійович, Гайдук Сергій  
Валентинович, Коваль Анатолій Данилович,  
Склярєвська Вікторія Миколаївна, Петрик Ігор  
Андрійович, Шмирко Віра Іванівна, Михайлов  
Сергій Борисович(73) ЗАПОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ(57) Жароміцний корозійностійкий нікелевий сплав,  
який містить вуглець, хром, кобальт, вольфрам,молібден, титан, алюміній, ітрій, бор, лантан, який  
відрізняється тим, що сплав містить компоненти  
у такому співвідношенні, в мас. %.

|          |              |
|----------|--------------|
| Вуглець  | 0,22 - 0,32  |
| Хром     | 14,3 - 22,0  |
| Кобальт  | 4,0 - 6,0    |
| Вольфрам | 6,5 - 8,0    |
| Молібден | 0,5 - 1,25   |
| Титан    | 4,0 - 5,5    |
| Алюміній | 2,8 - 4,0    |
| Ітрій    | 0,03 - 0,05  |
| Бор      | 0,01 - 0,05  |
| Лантан   | 0,005 - 0,02 |
| Нікель   | решта.       |

Дійсний винахід належить до області металургії, зокрема до виробництва жароміцних корозійностійких сплавів, призначених для виготовлення литих деталей газотурбінних двигунів, що працюють в умовах високотемпературного тертя, наприклад, втулок поворотних лопаток.

Відомі корозійностійкі сплави з підвищеною зносостійкістю, призначені для виготовлення втулок газотурбінних двигунів, на основі кобальту.

Наприклад, відомий корозійностійкий сплав із підвищеною зносостійкістю на основі кобальту (Симс Ч., Хагель В., Жаропрочні сплави. М., 1976, 293-320), що містить (у мас. %):

|           |              |
|-----------|--------------|
| Вуглець   | 1,2 - 1,4    |
| Хром      | 28 - 32      |
| Молібден  | 1,2 - 1,6    |
| Марганець | 0,8 - 1,0    |
| Вольфрам  | 3,5 - 6,5    |
| Нікель    | 2,0 - 4,0    |
| Кремій    | 1,0 - 2,0    |
| Залізо    | 2,0 - 4,0    |
| Бор       | 0,01 - 0,012 |
| Кобальт   | решта.       |

Відомий сплав має необхідну жароміцність, зносостійкість, а також стійкість до ВТК (високотемпературної корозії). Деталі газотурбінних двигунів, виготовлені з нього, мають необхідну довговічність. Проте відомий сплав на кобальтовій основі є дорогим і дефіцитним, до того ж є матеріалом імпортного виробництва.

Найбільш ефективним рішенням цього питання є розробка сплаву-аналога на нікелевій основі. Нікелеві сплави менш дефіцитні та більш дешеві при тих же фізико-технічних характеристиках.

Заміна кобальтових сплавів у виробках, відповідно, нікелевими сплавами з аналогічними властивостями дозволяє:

- істотно знизити закупівлю деталей за рубежом;

- знизити вартість деталей газотурбінних двигунів у порівнянні з імпортними деталями (зокрема втулки поворотних лопаток).

- розвивати промислову базу України;

Відомий жароміцний корозійностійкий сплав (авт. свід. № 869362, СРСР, М.Кл. C22C 19/05, надрук. у БВ № 47, 1986 р.) на основі нікелю, що містить (у мас. %):

|          |              |
|----------|--------------|
| Вуглець  | 0,07 - 0,15  |
| Хром     | 12,5 - 14,0  |
| Кобальт  | 4,0 - 6,0    |
| Вольфрам | 4,0 - 6,0    |
| Молібден | 1,5 - 2,5    |
| Ітрій    | 0,01 - 0,03  |
| Церій    | 0,02 - 0,05  |
| Цирконій | 0,005 - 0,01 |
| Ніобій   | 0,05 - 1,0   |
| Бор      | 0,01 - 0,05  |
| Алюміній | 2,8 - 3,2    |
| Титан    | 4,5 - 5,5    |
| Нікель   | решта.       |

(19) UA (11) 35414 (13) A

Відомий сплав має низьку твердість - 20-25 HRC.

Корозійна стійкість, яка необхідна в межах що припускаються, та зносостійкість сплаву недостатні для того, щоб деталі газотурбінних двигунів виготовлені з нього мали необхідну довговічність.

Сплав набуває найкращих фізико-механічних властивостей після термообробки, що проводиться в два етапи:

I етап - гомогенізація. Виливок нагрівають протягом 4 годин до температури 1180°C, охолоджують до 1150°C, витримують 2-4 години, охолоджують на повітрі;

II етап - старіння. Проводять нагрів деталі до 830°C, витримують 24 години, охолоджують на повітрі.

У результаті такої термообробки сплав відомого складу набуває структури, що містить 48 - 48%  $\gamma$ -фази розміром 0,3 - 0,7  $10^{-6}$  м, а також 0,4 - 0,5% карбідів метал - вуглець MC і  $M_{23}C_6$  і боридів  $M_3B_2$ . Через недостатнє утримання  $\gamma$  - фази і карбідів у структурі сплав має низьку твердість, а отже недостатню зносостійкість. У результаті цього деталі газотурбінних двигунів, виготовлені з відомого сплаву, є недовговічними - термін їх служби не перевищує 8-10 тис. годин.

Найбільше близьким по технічній сутності і до досягнених результатів є жароміцний корозійно-стійкий нікелевий сплав (авт. свід. № 1072497, СРСР, М.Кл.<sup>5</sup> C22C 19/05 надрук. у БІ № 25,1993 р.), що містить (у мас. %):

|          |              |
|----------|--------------|
| Вуглець  | 0,07 - 0,15  |
| Хром     | 12,5 - 14,0  |
| Кобальт  | 4,0 - 6,0    |
| Вольфрам | 6,5 - 8,0    |
| Молибден | 0,5 - 1,35   |
| Титан    | 4,0 - 5,5    |
| Алюміній | 2,8 - 4,0    |
| Ітрій    | 0,03 - 0,05  |
| Бор      | 0,01 - 0,05  |
| Лантан   | 0,005 - 0,02 |
| Нікель   | решта.       |

Відомий сплав має недостатні показники твердості і зносостійкості для того, щоб деталі газотурбінних двигунів, що виготовляються з нього, мали необхідну довговічність.

Відомий сплав після термічного оброблювання, що включає гомогенізаційне відпалювання при 1180°C протягом 4 годин, охолодження та витримку при 1050°C протягом 2 годин і наступне старіння протягом 24 годин, має структуру, де зміст карбідів метал - вуглець MC і  $M_{23}C_6$  складає усього 0,6 - 0,8%. Низьким є також і утримання  $\gamma$ -фази в структурі сплаву, усього 52 - 54%.

Через недостатню кількість  $\gamma$ -фази і низький склад карбідів у структурі сплаву він має недостатню твердість - 25-27 HRC, а також невисокі показники корозійної стійкості та зносостійкості. Деталі газотурбінних двигунів, виготовлені з відомого сплаву, мають низький ресурс роботи - не більш 10-12 тис. годин. Тоді як необхідно забезпечити ресурс роботи цих деталей протягом 35-40 тис. годин, тобто у 3 рази вище.

Основною задачею винаходу, що заявляється, є підвищення довговічності деталей за рахунок підвищення їх корозійної стійкості і зносостійкості. Зазначений технічний результат досягається тим,

що у сплаві, що заявляється, який містить вуглець, хром, кобальт, вольфрам, титан, алюміній, молибден, ітрій, бор, лантан, нікель передбачене співвідношення інгредієнтів (у мас. %):

|          |              |
|----------|--------------|
| Вуглець  | 0,22 - 0,32  |
| Хром     | 14,3 - 22,0  |
| Кобальт  | 4,0 - 6,0    |
| Вольфрам | 6,5 - 8,0    |
| Молибден | 0,5 - 1,25   |
| Титан    | 4,0 - 5,5    |
| Алюміній | 2,8 - 4,0    |
| Ітрій    | 0,03 - 0,05  |
| Бор      | 0,01 - 0,05  |
| Лантан   | 0,005 - 0,02 |
| Нікель   | решта.       |

Одночасне підвищення утримання вуглецю та хрому в складі сплаву до зазначених меж дозволяє одержати в результаті термічного оброблювання, що забезпечує найкращі фізико-механічні властивості - тобто після гомогенізації і старіння - структуру, що містить підвищене утримання карбідів і  $\gamma$  - фази.

Зокрема, запропонований сплав містить 0,8 - 1,2% карбідів типу MC і  $M_{23}C_6$ , що, у результаті термічного оброблювання, переходять у карбіди типу  $M_{23}C_6$  та  $\gamma$ -фазу відповідно.

За рахунок росту утримання карбідів типу  $M_{23}C_6$  і  $\gamma$ -фази в структурі сплаву підвищується його тривкість, збільшується корозійна стійкість, зносостійкість.

Підвищення кількості хрому забезпечує також підвищення корозійної стійкості сплаву за рахунок утворення на поверхні додаткового обсягу оксидних плівок з хімічною формулою  $Cr_2O_3$  та шпінелі  $Ni - Cr_2O_3$ , щільно зчеплених з основою сплаву.

Запропоноване оптимальне співвідношення інгредієнтів отримано експериментально. Шляхом додаткового запровадження окремих елементів, незначно зменшуючи жароміцність сплаву, збільшуємо його зносостійкість, що необхідна для деталей типу вал - втулка, працюючих в умовах сухого тертя в гарячому тракті двигуна в інтервалі температур 400°C - 600°C. Це збільшує довговічність роботи деталей газотурбінних двигунів і продовжує термін їхньої роботи до 35 - 40 тис. годин.

У таблиці 1 приведені дані хімічного складу сплавів, що виплавляються. Для проведення іслів були відлиті сплави які містять компоненти в кількості, що відповідає.

- нижній межі, що заявляється (сплав № 1),  
- верхній межі, що заявляється (сплав № 3),  
- оптимальному співвідношенню, що є середнім між нижнім і верхнім межами (сплав № 2).  
Отримані і випробувані також сплави, в яких:

- утримання хрому складає 13%, а вуглецю 0,18% (сплав № 4), що нижче межі, що заявляється;

- утримання хрому складає 23%, а вуглецю 0,37% (сплав № 5), що вище межі, що заявляється.

Інші компоненти у складі сплавів № 4 та № 5 узяті в оптимальному співвідношенні, обумовленому, як середні значення

Виплаву кожного сплаву проводили окремо у вакуумній індукційній печі порційно, вага плавки 3,5 кг. Заливання зразків із сплавів проводили ме-

тодом точного литва по виплавлюваних моделях у гарячі оболонкові керамічні форми. Потім виливки піддавали термічному оброблюванню.

Проводили гомогенізаційне відпалювання при 1180°C протягом 4 годин із наступним охолодженням із пічю до температури 1050°C, при якій здійснювали витримку протягом 2 годин і охолоджували на повітрі.

Для проведення іспитів на твердість і зносостійкість були виготовлені зразки - пластини розміром 35 x 3 x 5 мм і роликів діаметром 26 мм, довжиною 10 мм із запропонованого сплаву й еталонні зразки зі сплаву ЗМІ-3У, обрані в якості прототипу.

Твердість визначали за методом Роквелла.

Іспити на знос проводили на машині 2070 СМГ - 1 при 20°C і при 500°C на швидкості 600 хвил<sup>1</sup> протягом 30000 циклів. Тривалу жароміцність визначали при 900°C протягом 100 годин на машині АИМА-5.

Стендові іспити на високотемпературну корозію проводили протягом 250 годин при 750°C у розплаві солей, де утримання Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> складало 75%, а NaCl - 25%. Вимірювали також ударну в'язкість на маятниковому копрі МК - 30А.

У таблиці 2 подані значення вимірювальних характеристик у залежності від хімічного складу сплавів, що виплавляються.

У таблиці 2 приведені також результати то- жових іспитів, проведених на зразках із сплаву

ЗМІ-3У, обраного в якості прототипа, захищеного авторським посвідченням СРСР № 1072497.

Дані, приведені в таблиці 2, підтверджують- ся актами іспитів. Як очевидно з таблиці 2 сплав запропонованого складу відрізняється від відомо- го, прийнятого в якості прототипу, великим значен- ням твердості, корозійної в'язкості та жароміцності.

Сплав № 1, який має співвідношення інгре- дієнтів, що відповідають нижній межі заявляемого складу, має недостатні значення вихідної твердості, корозійної стійкості і зносостійкості, але при цьо- му достатньо високі значення ударної в'язкості і жароміцності, необхідні для застосування сплаву при виготовленні втулок для газотурбінних двигунів.

Сплав № 3, який має співвідношення інгре- дієнтів, що відповідають верхній межі заявляемого сплаву, має високі значення вихідної твердості, зносостійкості і корозійної стійкості, при невеличко- му зменшенні значень ударної в'язкості та жароміц- ності. Проте верхня межа утримання хрому може викликати температурну нестабільність фазових складових, що може призвести до зниження жароміцності в процесі експлуатації.

Оптимальним є склад сплаву № 2, що має необхідне значення твердості, корозійної стійкості і зносостійкості при незначному зниженні ударної в'язкості та жароміцності.

Таблиця 1

Хімічний склад сплавів

| Компоненти | Склад, мас. % |        |       |        |        |             |
|------------|---------------|--------|-------|--------|--------|-------------|
|            | 1             | 2      | 3     | 4      | 5      | Прототип    |
| Вуглець    | 0,22          | 0,27   | 0,32  | 0,18   | 0,37   | 0,07-0,15   |
| Хром       | 14,3          | 18,15  | 22,0  | 13,0   | 23,0   | 12,5-14,0   |
| Кобальт    | 4,0           | 5,0    | 6,0   | 5,0    | 5,0    | 4,0 - 6,0   |
| Вольфрам   | 6,5           | 7,25   | 8,0   | 7,25   | 7,25   | 6,5 - 8,0   |
| Молібден   | 0,5           | 0,81   | 1,25  | 0,81   | 0,81   | 0,5 - 1,25  |
| Титан      | 4,0           | 4,75   | 5,5   | 4,75   | 4,75   | 4,0 - 5,0   |
| Алюміній   | 2,8           | 3,4    | 4,0   | 3,4    | 3,4    | 2,8 - 4,0   |
| Ітрій      | 0,03          | 0,04   | 0,05  | 0,04   | 0,04   | 0,03 - 0,03 |
| Бор        | 0,01          | 0,03   | 0,05  | 0,03   | 0,03   | 0,01 - 0,05 |
| Лантан     | 0,005         | 0,0125 | 0,02  | 0,0125 | 0,0125 | 0,005-0,002 |
| Нікель     | решта         | решта  | решта | решта  | решта  | решта       |

## Результати іспитів

| Випробовува-<br>ний сплав | Твер-<br>дість | Знос, $10^{-4}$ мм <sup>3</sup> /цикл |           | Швидкість корозії<br>при 900°C, $10^{-4}$<br>(г/мас) | Ударна<br>в'язкість,<br>кДж/м <sup>2</sup> | Жароміц. при<br>900°C, довгот-<br>рив. (за 100 г)<br>МПа |
|---------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------|--|--|--|
|                           |                | При 20°C                              | При 500°C |  |  |  |
| 1                         | 33             | 0,4                                   | 0,06      | 0,73   | 142  | 220  |
| 2                         | 36             | 0,35                                  | 0,03      | 0,5  | 138  | 200  |
| 3                         | 38             | 0,3                                   | 0,27      | 0,15   | 135  | 190  |
| 4                         | 30             | 0,45                                  | 0,07      | 1,1  | 145  | 230  |
| 5                         | 40             | 0,29                                  | 0,025     | 0,1  | 125  | 180  |
| Прототип                  | 25-27          | 0,5                                   | 0,08      | 11,5-13,0  | 147  | 220  |

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03