



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 93093

(13) C2

(51) МПК (2011.01)

C22C 19/05

C22B 23/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЗНОСО- І КОРОЗІЙНОСТІЙКИЙ СПЛАВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

1

2

(21) a200900322

(22) 13.06.2007

(24) 10.01.2011

(86) PCT/US2007/013793, 13.06.2007

(31) 60/814,081

(32) 16.06.2006

(33) US

(31) 11/752,584

(32) 23.05.2007

(33) US

(46) 10.01.2011, Бюл.№ 1, 2011 р.

(72) ВОЙЦЕШИНСЬКІ АНДЖЕЙ Л., US

(73) КОМПЕКСН ЕНД РЕСЕРЧ ЕКВІЗІШН ЕЛЕЛСІ,
US

(56) UA, 64615, A, 16.02.2004

US, 4727740, 10.03.1988

EP, 1647606, A1, 19.14.2006

US, 6238620, B1, 29.05.2001

US, 4576642, 18.03.1986

EP, 0773305, A1, 14.05.1997

(57) 1. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав,
який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 1-6

хром – 14-25

ванадій – 8-22

молібден – 6-15

кобальт – 5-14

титан – 1-7

алюміній – 1-4

цирконій – до 2

кремній – до 1

нікель та можливі домішки – решта.

2. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п.

1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 2-5,5

хром – 16-22,5

ванадій – 10-20

молібден – 8-13

кобальт – 6-12

титан – 2,5-5

алюміній – 1-2,5

цирконій – до 1,5

кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

3. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п.

1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 4-5

хром – 20-23

ванадій – 12-15

молібден – 10-12,5

кобальт – 6,5-8

титан – 4-6

алюміній – 1,5-2,5

цирконій – до 1,2

кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

4. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п.

1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 5-6

хром – 19-21

ванадій – 18-20

молібден – 8,5-10,5

кобальт – 6-8

титан – 4-5

алюміній – 1,5-2,5

цирконій – до 2

кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

5. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п.

1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 1,5-2,5

хром – 17-19

ванадій – 9,5-12

молібден – 8-10

кобальт – 9-11

титан – 2,5-4

алюміній – 1-2

цирконій – до 0,5

кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

6. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п.

1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 2-3

хром – 17-19

ванадій – 11-13

молібден – 8-10

кобальт – 9-11

титан – 2,5-4

алюміній – 1-2

цирконій – до 0,5

кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

7. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п.

1, який включає наступні компоненти, мас. %:

(13) C2

(11) 93093

(19) UA

вуглець – 2,5-3,5
хром – 15,5-18
ванадій – 14-16
молібден – 8-10
кобальт – 8-10
титан – 2,5-4
алюміній – 1-2
цирконій – до 0,5
кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

8. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п. 1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 3,25-4,25
хром – 21-23
ванадій – 14-16
молібден – 11-13
кобальт – 7-9
титан – 3-4
алюміній – 1-2
цирконій – до 0,5
кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

9. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п. 1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 2-3

хром – 19-21
ванадій – 11-13
молібден – 11-12
кобальт – 10-12
титан – 2,5-4
алюміній – 1-2
цирконій – до 0,5
кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

10. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за п. 1, який включає наступні компоненти, мас. %:

вуглець – 2,25-3,25
хром – 19-21
ванадій – 12-14
молібден – 11-13
кобальт – 9-11
титан – 3-4,5
алюміній – 1-2
цирконій – до 0,5
кремній – до 0,5

нікель та можливі домішки – решта.

11. Зносо- і корозійностійкий нікелевий сплав за будь-яким з пп. 1-10, одержаний газовою атомізацією попередньо легованого розплаву, які містять 10-55 мас. % первинних легованих карбідів.

У цій заявці заявлено пріоритет на основі попередньої заявки США №60/814,081, поданої 16 червня 2006 року і заявки на патент США №11/752,584, поданої 23 травня 2007 року, зміст якої включений до цієї заявки через посилання.

Винахід належить до сімейства сплавів на основі нікелю, призначених для застосування у висококорозійних та абразивних середовищах. Більш точно, цей винахід належить до сімейства стійких до корозії сплавів на основі нікелю, які містять крупну фракцію частинок карбіду, що забезпечує підвищення стійкості до абразивного зносу. Такі сплави одержують плавленням визначеної композиції в індукційній печі і газовою атомізацією з одержанням частинок порошкового сплаву. Після цього одержані частинки порошкового сплаву консоліднують за допомогою способу гарячого ізо-статичного пресування (ГІП) з одержанням твердого бруска сплаву, або ж порошковий сплав може використовуватися для ГІП/плакування з одержанням зносо/корозійностійкого шару на критичних поверхнях компонентів, які зазнають дії абразивного/корозійного середовища. Одержаний порошок може також наноситися на критичні поверхні з одержанням зносо/корозійностійкого шару із використанням альтернативних методик, таких як різні методики осадження розпиленням, переносу плазми, лазерного напilenня і подібних.

Розвиток виробничих технологій та розробка нових способів виробництва є причиною постійної потреби у матеріалах, які використовуються для конструювання високотехнологічної техніки, що використовується на таких виробництвах із спеціальними вимогами. Ряд застосувань пов'язані із складними і агресивними середовищами, в яких

машинні компоненти та інструмент зазнають впливу ряду факторів, таких як динамічне навантаження, сильна корозія і високий знос. Переробка сухих харчових продуктів і переробка пластмаси, наприклад ливарне пресування або екструзія пластмас є декількома прикладами застосувань із найвищими вимогами. Сучасні пластмаси часто містять добавки керамічних волокон для покращення їх функціональних властивостей. Такі добавки волокон суттєво підвищують абразивність пластмас, що створює складні умови для матеріалів, які використовуються для виготовлення деталей апаратів для ливарного пресування пластмас та екструдерів, а саме циліндрів екструдера, шнеків, гвинтових наконечників, зворотних клапанів і т.д. Найбільш вимогливим застосуванням є переробка фторполімерів, таких як ТЕФЗИЛ, ТЕФЛОН і подібні. Для сприяння формуванню належної структури полімера такий процес вимагає підвищеної температури і вологого середовища. Таке середовище спричиняє утворення фторводневої кислоти (HF), яка є висококорозійною. Також під час переробки нефторполімерних пластмас можуть утворюватися деякі органічні і/або неорганічні корозійні кислоти, що спричиняє формування висококорозійного середовища.

Подібні проблеми мають бути вирішені і у галузі виробництва сухих харчових продуктів. Всі сухі харчові продукти є високоабразивними внаслідок їх консистенції та дисперсії. Сухі харчові продукти, як правило, містять сіль в якості основної консервуючої добавки, яка є висококорозійною відносно сплавів заліза. Також у сухих харчових продуктах часто присутні органічні кислоти, такі як оцтова кислота, які є висококорозійними щодо

сплавів заліза. Такі агресивні середовища роблять традиційні зносостійкі інструментальні сталі непридатними для таких цілей, і навіть зносо- і корозійностійкі покращені інструментальні сталі не забезпечують задовільних показників у таких складних умовах.

Матеріали, які традиційно використовуються для виготовлення деталей ливарних пресів і екструдерів, включають зносостійкі нагартвані інструментальні сталі, такі як CPM® 9V і CPM® 10V, зносо- і корозійностійкі інструментальні сталі, такі як CPM® S90V і нікелеві сплави. Традиційні нагартвані інструментальні сталі, такі як CPM® 9V або CPM® 10V, незважаючи на їх хорошу зносостійкість, мають недостатню корозійну стійкість у випадку ряду застосувань, пов'язаних з переробкою пластмас або сухих харчових продуктів. У деяких із таких застосувань навіть зносостійкі нержавіючі інструментальні сталі, такі як CPM® S90V, не мають достатньої корозійної стійкості. Комерційні нікелеві суперсплави мають прекрасну корозійну стійкість, і з точки зору корозії вони були б задовільними для більшості із таких застосувань. Однак, їх головним недоліком є недостатня або відсутня зносостійкість. Було розроблено декілька сплавів шляхом змішування порошкового нікелевого сплаву, який утворює матрицю сплаву, із твердими частинками, такими як карбід вольфраму, для покращення характеристик зносостійкості сплаву, або шляхом "просочування" нікелевого субстрату твердими частинками. Проте, такі методики мають свої обмеження, найважливішими з яких є:

- великі частинки карбіду зазвичай є некатаними і негативно позначаються на міцності кінцевого продукту;
- тверді частинки мають схильність до сегрегації або під час перемішування, або під час плавлення, що призводить до їх нерівномірного розподілу, внаслідок чого виникають «м'які ділянки» у готовій мікроструктурі і неоднорідні характеристики зношуваності захисного шару.

В основу цього винаходу поставлена задача отримання зносостійкого нікелевого сплаву, в якому зносостійкість може досягатися шляхом осадження "in-situ" твердих фаз, головним чином карбідів металів, із гомогенного розплавленого металу з одержанням однакового і гомогенного розподілу твердих частинок у гомогенній матриці.

Сплави згідно з винаходом представляють собою нікелеві сплави, які містять добавку вуглецю і добавки сильних твердосплавоутворюючих елементів, таких як хром, ванадій, вольфрам, молібден і титан. Всі елементи збалансовані для забезпечення формування крупної фракції легованих карбідів, які головним чином містять ванадій, хром, титан і молібден. Головна роль таких частинок карбіду полягає у покращенні характеристик зносу та підвищенні стійкості до стирання сплавів згідно з винаходом. Крім того, легуючі елементи, які залишаються у матриці, додають твердості сплаву завдяки зміцненню твердого розчину і завдяки осадженню інтерметалічних фаз. Сплави згідно з винаходом складаються із наступних компонентів:

Вуглець - присутній у кількості 1,0-6,0 мас.%, переважно 2,0-5,5 мас.%, і його головна роль поля-

гає в утворенні карбідів з карбідоутворюючими елементами, такими як ванадій, хром і молібден. Інші елементи, присутні у меншій кількості, такі як титан і цирконій, можуть частково розчинятись у збагачених ванадієм карбідах або утворювати невелику кількість окремого карбіду. Надлишковий вуглець, що розчиняється у матриці, є небажаним, оскільки він розділяє границі між зернами і послаблює міцність. Кількість вуглецю тісно пов'язана з кількістю карбідоутворюючих елементів (CFE) через відношення:

$$1,1 < \text{CFE}/\text{C} < 2,5$$

де:

$$\text{CFE} = 0,2 * \%V + 0,25 * \%Ti + 0,06 * \%Mo + 0,063 * \%Cr;$$

C - кількість вуглецю у сплаві у мас. %;

%V, %Ti, %Mo, %Cr - кількість ванадію, титану, молібдену і, відповідно, хрому, у сплаві згідно з винаходом у мас. %.

Хром - присутній у кількості 14,0-25,0%, переважно 16,0-22,5%. Частина хрому утворює карбіди, які роблять свій внесок у підвищення зносостійкості сплавів. Решта вмісту хрому розчиняється у матриці, забезпечуючи зміцнення твердого розчину. Хром також утворює тонкий адгезивний шар оксиду на поверхні сплаву, який захищає такий сплав від корозійних середовищ.

Ванадій - присутній у кількості 8,0-22,0%, переважно 10,0-20,0%. Головна ціль додавання ванадію полягає в утворенні твердих, зносостійких збагачених ванадієм карбідів MC, де M вказує на атом металу, головним чином ванадій. Також до таких MC карбідів можуть приєднуватися інші атоми металів, таких як хром, титан і молібден, які можуть замішувати атоми ванадію, або утворювати окремий карбід. Ванадій повинен бути присутній у кількості, яка щонайменше утричі перевищує кількість вуглецю, а саме $\%V/\%C > 3$. Менші кількості ванадію призводять до виникнення надлишку вуглецю, наявного для утворення карбідів з іншими елементами, такими як хром, титан і молібден, що є небажаним. Додавання ванадію у надто малих кількостях призводить до недостатності об'єму фракції карбідів і посередніх характеристик зносостійкості у сплаву. Коли ванадій і вуглець додаються у надмірно великих кількостях, це може призвести до надмірно великого об'єму фракції карбідів, що має негативний вплив на показники міцності сплаву. Надмірний об'єм фракції карбідів також створює додаткові виробничі труднощі і погіршує характеристики придатності сплаву для машинної обробки і розмелювання.

Молібден - присутній у кількості 6,0-15,0%, переважно 8,0-13,0%. Він розділяється між карбідами і матрицею. Він може утворювати окремі карбіди M_6C або $M_{23}C_6$, або у сплавах з великими кількостями ванадію він може розчинятись у MC карбідах. Молібден, розчинений у матриці, впливає на зміцнення твердого розчину.

Кобальт - присутній у кількості 5,0-14,0%, переважно 6,0-12,0%. Він не утворює карбідів і залишається у матриці. Атоми кобальту можуть бути заміщені атомами нікелю у первинних гамма (γ) виділеннях.

Титан - присутній у кількості 1,0-7,0%, переважно 2,5-5,0%. Головна роль титану полягає в

утворенні γ' виділень і зміцненні матриці. Однак, титан є сильним карбідоутворюючим елементом, і значна частина титану зв'язується з вуглецем внаслідок наявності останнього. У зв'язку з цим вміст титану у сплавах згідно з винаходом є відносно високим порівняно із його вмістом у комерційних нікелевих суперсплавах.

Алюміній - присутній у кількості 1,0-4,0%, переважно 1,0-2,5%, і його головна роль полягає в утворенні γ' виділень і зміцненні матриці сплаву. Він також утворює адгезивний шар оксиду при підвищених температурах, що сприяє захисту сплаву при таких температурах.

Цирконій - може бути присутній у кількості до 2,0%, переважно до 1,5%. Він є сильним карбідоутворюючим елементом і поєднується з вуглецем. Решта цирконію схильна до відділення до границь зерен.

Кремній - може бути присутній у кількості до 1,0%, переважно не більше, ніж 0,5%. Він є сильним розкислювачем і має розглядатися як залишковий елемент у процесі плавлення.

Нікель - основа. Він є основним елементом матриці, який надає ключових властивостей сплаву, головним чином міцність при високих температурах. Він також утворює γ' виділення, які також визначають міцність сплаву.

Всі відсотки відповідають масовим відсоткам.

Слід мати на увазі, що як вищенаведений загальний опис, так і наведений нижче детальний опис носять лише ілюстративний характер і не

обмежують об'єму правової охорони заявленого винаходу.

Наведені далі креслення, які становлять частину цієї заявки, ілюструють декілька варіантів винаходу і разом з описом пояснюють суть цього винаходу.

Короткий опис креслень

На Фіг.1(a) показана протравлена мікроструктура (збільшення 200X) сплаву згідно з винаходом і зокрема сплаву WR-11;

На Фіг.1(b) показана протравлена мікроструктура (збільшення 1000X) сплаву згідно з винаходом і зокрема сплаву WR-11;

На Фіг.2(a) показана протравлена мікроструктура (збільшення 200X) сплаву згідно з винаходом і зокрема сплаву WR-9;

На Фіг.2(b) показана протравлена мікроструктура (збільшення 500X) сплаву згідно з винаходом і зокрема сплаву WR-9;

На Фіг.3(a) показане отримане скануючою електронною мікроскопією (SEM) зображення мікроструктури (збільшення 100X) сплаву згідно з винаходом і зокрема сплаву WR-12;

На Фіг.3(b) показане зображення розсіяних електронів, отримане з допомогою SEM, у мікроструктурі (збільшення 1000X) сплаву згідно з винаходом і зокрема сплаву WR-13.

Далі детально описані варіанти реалізації винаходу, приклади яких ілюструються на наведених далі кресленнях.

Хімія

Таблиця 1

Зносо/корозійностійкі нікелеві сплави згідно з винаходом

Сплав	Брус	Ni	Cr	V	Mo	Co	Ti	Al	Zr	Si	Mn	C
WR-9	01-184	бал.	21,73	13,83	11,07	7,31	4,97	1,88	0,75	0,06		4,49
WR-10	02-173	бал.	20,19	19,38	9,40	6,89	4,42	2,06	1,35	0,12		5,25
WR-11	02-259	бал.	18,15	10,20	8,75	10,10	3,04	1,46	-	-		2,00
WR-12	02-260	бал.	18,18	11,93	8,74	10,00	2,98	1,54	-	-		2,45
WR-13	02-261	бал.	16,77	15,15	8,64	9,23	3,04	1,55	-	-		3,00
WR-14	02-262	бал.	22,06	15,82	12,03	7,91	3,49	1,68	-	-		3,74
WR-15	04-033	бал.	19,87	12,09	11,93	10,95	3,39	1,45	0,12	0,06		2,38
WR-16	04-034	бал.	19,96	12,70	11,91	9,88	3,85	1,36	0,01	0,00		2,75
Стандартні сплави, відомі з рівня техніки												
440C		бал. Fe	17,50		0,50					0,30	0,50	1,00
CPMOS90V		бал. Fe	14,00	9,00	1,00					0,40	0,50	2,30
Сплав 625		бал.	22	4,0 Nb	9	3,0 Fe	0,2	0,2		0,3	0,15	0,05

Експериментальні сплави

Таблиця 2

Зносостійкість і корозійна стійкість сплавів згідно з винаходом та стандартних сплавів

Сплави згідно з винаходом					
Позначення сплаву	Позначення бруска	Твердість по шкалі С Роквела [HRC]	Знос [мг]	Пітингова корозія vs. SCE 5% NaCl потенціал пітингування E _{pit} , [mB]	Ступінь корозії 5% HF [мм/рік]
WR-9	01-184	61,4	109		0,41
WR-10	02-173	63,4	71		
WR-11	02-259	50,1	424		
WR-12	02-260	51,7	240		

Продовження таблиці 2

WR-13	02-261	52,9	155	503	0,7
WR-14	02-262	62,7	60	357	0,34
WR-15	04-033	55,2	301		0,4
WR-16	04-034	55,0	284	389	0,43
Стандартні сплави					
440C		57,0	646	-220	
CPM® S90V		59,0	34	5	27
Сплав 625		34	3275		07

Композиції експериментальних сплавів визначали точним балансуванням вмісту легуючого компонента і вуглецю. Розроблялися сплави, які б забезпечували достатню кількість вуглецю для утворення первинних карбідів. Композиції експериментальних сплавів наведені у Таблиці 1. Всі сплави плавлять в індукційній електропечі і атомізували у газовій фазі з одержанням попередньо легованого порошку. Одержаний порошок збирали, відсіювали фракцію - 16меш, завантажували у циліндричні контейнери і консолидували гарячим ізостатичним пресуванням (ГІП). Всі сплави успішно консолидували у тверді бруски, з яких виділяли секції зразків для дослідження зносу і корозії. Дослідження зносу і корозії проводили на сплавах згідно з винаходом в умовах ГІП. Однією з переваг сплавів згідно з винаходом є те, що вони можуть використовуватися в умовах, подібних до ГІП, і не вимагають теплової обробки. Це може скоротити і спростити весь виробничий процес в цілому. З метою порівняння проводились випробування декількох сплавів згідно з винаходом та стандартних сплавів. Такі сплави включають дві зносо- та корозійностійкі мартенситні інструментальні сталі, традиційний 440C і отриманий з допомогою порошкової металургії CPM S90V. Ці сплави вибрали для порівняння, оскільки вони є типовими інструментальними матеріалами, які часто використовуються за тим самим призначенням, що і сплави згідно з винаходом. Крім того, нікелевий суперсплав, Сплав 625, був включений до порівняльного тесту, оскільки він інколи використовується за призначеннями, в яких має місце середовище, що містить HF. Однак, його показники часто є незадовільними, так як він має неадекватну зносостійкість.

Сплави згідно з винаходом поєднують у собі робочі характеристики інструментальних сталей на основі заліза і суперсплавів на основі нікелю, а саме сплави згідно з винаходом мають зносостійкість, подібну до зносостійких мартенситних інструментальних сталей і зберігають стійкість до корозії, подібну до нікелевих сплавів.

Корозійна стійкість: для порівняльної оцінки корозійної стійкості декількох сплавів згідно з винаходом та стандартних сплавів проводилися потенціодинамічні тести. Стійкість до пітингової корозії сплавів визначали у 5% розчині NaCl. Тести проводили відповідно до ASTM G5. Стійкість до пітингової корозії у сплавів визначається через потенціал пітингоутворення (E_{pit}), який одержували з даних потенціодинамічної кривої. Чим більш позитивним є потенціал пітингоутворення, тим більш стійким є сплав до пітингоутворення. Сплави згідно

з винаходом випробовували в умовах подібних до ГІП, стандартні сплави випробовували у типових умовах теплової обробки, які мають місце у стандартних застосуваннях. Результати корозійних випробувань наведені у Таблиці 2.

Потенціали пітингоутворення для сплавів заліза, 440C і CPM S90V, становили -220мВ і, відповідно, 5мВ. Потенціали пітингоутворення для деяких сплавів згідно з винаходом, а саме WR-13, WR-14 і WR-16, становили 503мВ, 357мВ і, відповідно, 389мВ, що вказує на значно кращу стійкість до пітингоутворення у сплавів згідно з винаходом, ніж у зносо/корозійностійких інструментальних сталей.

Другий тест на стійкість до корозії проводили у 5% розчині фторводневої кислоти (HF). Тести проводили відповідно до ASTM G59. Показники корозії, Таблиця 2, обчислювали на основі даних, зібраних під час тесту відповідно до ASTM F102. У цьому тесті чим нижчим є ступінь корозії, тим більш стійким є сплав до загальної корозії. В якості стандартів використовували сплави 625 і CPM S90V. Найкраща корозійна стійкість у розчині HF була встановлена для сплаву 625; його ступінь корозії становив 0,07мм/рік. Ступінь корозії у розчині HF для сплавів згідно з винаходом становив 0,34-0,7мм/рік. Цей ступінь корозії є дещо вищим, ніж ступінь корозії нікелевого суперсплаву, але він значно нижчий, ніж ступінь корозії CPM S90V, який за оцінками становить 27мм/рік. CPM S90V вважається однією із найкращих комерційно доступних зносо/корозійностійких мартенситних інструментальних сталей.

Тест на знос: Зносостійкість визначали з допомогою тесту на абразивне зношування з використанням абразивного апарату з сухою формою/гумовим валком, який часто використовується для тестування матеріалів з призначенням, таким як заливання пластмаси у форму під тиском методом вприскування, екструзія пластмас або технології виробництва харчових продуктів. Тестування проводили відповідно до ASTM Стандарту G65 з використанням абразивного апарату з сухою формою/гумовим валком. Так само сплави згідно з винаходом тестували в умовах, подібних до ГІП, а стандартні сплави піддавали тепловій обробці для типового застосування. Результати випробувань представлені в Таблиці II. Втрата маси внаслідок тертя у тесті ASTM G65 для інструментальної сталі CPM S90V становила 84мг, а для інструментальної сталі 440C вона становила 646мг. Втрата маси від тертя для сплавів згідно з винаходом становила від 60мг до 424мг залежно від складу сплаву та об'єму фракції карбідів. Сплави із біль-

шим вмістом вуглецю і карбід-утворюючих елементів (сплави WR-9, WR-10, WR-14) мали меншу втрату маси, за чим вони були подібними до CPM S90V. Сплави згідно з винаходом, які містять менші кількості вуглецю і карбід-утворюючих елементів, мали дещо вищу втрату маси, від 155мг до 424мг, але все ж нижчу, ніж інша зносо/корозійностійка інструментальна сталь 440C, для якої абразивна втрата маси становила 646мг. Втрата маси для суперсплаву Сплав 625 становила 3275мг, щонайменше в десятки разів вище, ніж у сплавів згідно з винаходом.

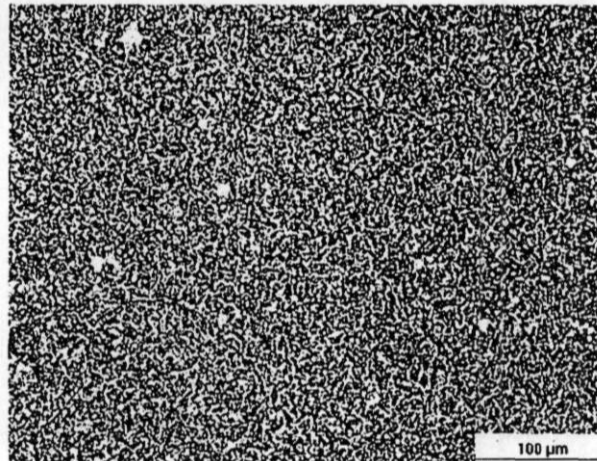
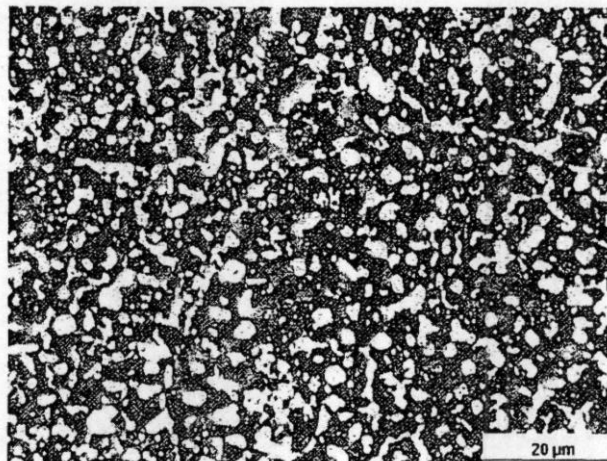
Мікроструктура: Мікроструктура сплавів згідно з винаходом вивчалась з допомогою оптичного і скандувального електронного мікроскопа (СЕМ). Металографічні зразки для дослідження під оптичним мікроскопом полірували і протравлювали протруювачем Бераха. Приклади оптичної мікроструктури представлені на Фіг.1 і Фіг.2. Мікроструктура складається із частинок карбіду сплаву, які рівномірно розподілені в нікелевій матриці. Об'ємна фракція первинних частинок карбіду залежить від вмісту вуглецю і кількості карбід-утворюючих елементів, при цьому у композиціях із найбільш високим вмістом вуглецю і карбід-утворюючих елементів об'єм фракції карбідів може становити до 55%. Дослідження СЕМ мікроструктури проводили на полірованих металографічних зразках. Приклад мікроструктури СЕМ представлений на Фіг.3. Ана-

ліз електронних даних щодо частинок карбіду виявив присутність трьох типів карбідів:

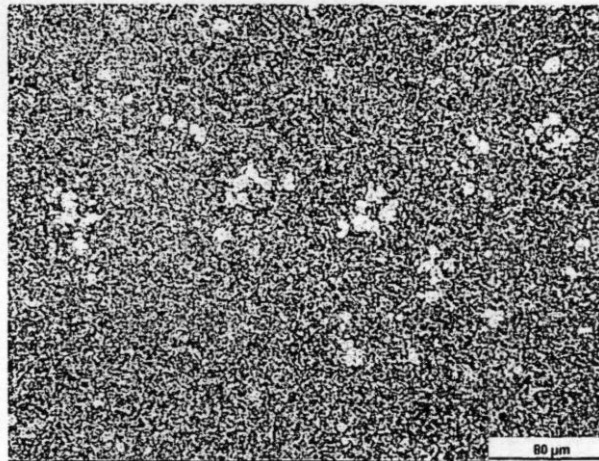
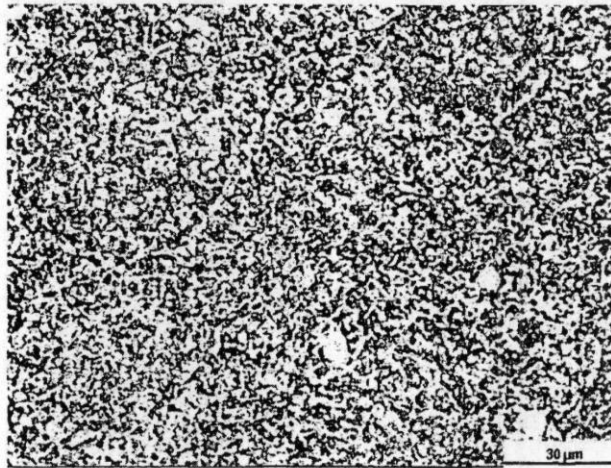
- збагачений металами титан-ванадій-молібден-хром;
- збагачений металами ванадій-молібден-титан-хром і;
- збагачений металами хром-молібден-ванадій.

Елементи розташовані у порядку зменшення вмісту у складі вказаного типу карбіду. Виробничий досвід: Сплави згідно з винаходом, WR-13 і WR-16, застосовували для одержання ГП/плакованих брусків для апаратів заливання пластмаси у форму під тиском методом вприскування. Обидва сплави успішно наносились по внутрішньому діаметру (ВД) отвору циліндра з допомогою гарячого ізостатичного пресування, внаслідок чого досягалась повна консолідація порошку та хороше зв'язування ГП/плакованого шару з субстратом циліндра. Обидва циліндри успішно оброблялись для відповідності вихідним специфікаціям і були готові до передачі споживачу для експлуатаційних випробувань.

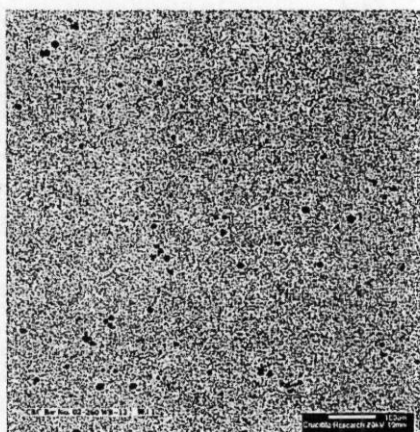
Інші варіанти реалізації винаходу очевидні фахівцям у цій галузі техніки на основі вивчення опису та описаних варіантів практичної реалізації винаходу. Наведений опис та приклади мають розглядатися виключно як ілюстративні, тоді як об'єм правової охорони і суть винаходу визначаються нижченаведеною формулою винаходу.

**ФІГУРА 1а****ФІГУРА 1б**

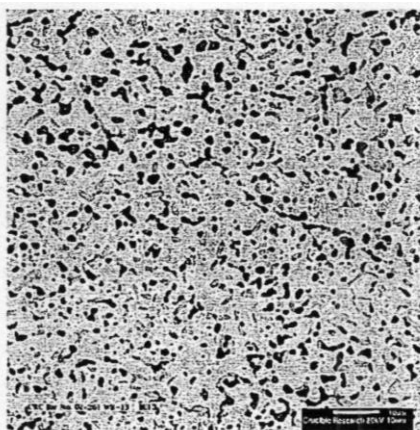
Приклад мікроструктури сплаву згідно з винаходом – оптична мікроструктура сплаву WR-11, протравленого протруювачем Бераха: нікелева матриця (темна фаза) з легованими карбідами (білі частинки): а) збільшення 200х, б) збільшення 1000х.

**ФІГУРА 2a****ФІГУРА 2b**

Приклад мікроструктури сплаву згідно з винаходом – оптична мікроструктура сплаву WR-9, протравленого протруювачем Бераха: нікелева матриця (темна фаза) з легованими карбідами (білі частинки): а) збільшення 200х, б) збільшення 500х. Зауважимо, що об'ємна фракція карбідів у цьому сплаві більша, ніж у сплаві WR 11.

**ФІГУРА 3а**

Отримане скануючою електронною мікроскопією (СЕМ) зображення мікроструктури сплаву згідно з винаходом, WR-12, де представлений подвійний розподіл карбідів: більші частинки карбіду розсіяні рідко, а дрібніші частинки карбіду розміщені густіше всередині легованої матриці;

**ФІГУРА 3б**

Зображення розсіяних електронів, отримане з допомогою СЕМ, у мікроструктурі сплаву згідно з винаходом і зокрема сплав, WR-13, де представлені частинки карбіду з різним складом (різний контраст).