



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 47524

(13) C2

(51) 6 C22C37/10,37/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЧАВУН

1

2

(21) 99126976

(22) 21 12 1999

(24) 15 07 2002

(46) 15 07 2002, Бюл. № 7, 2002 р.

(72) Лупандін Георгій Степанович, Агарков Віктор
Яковлевич, Дюбін Валерій Юрьович(73) ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДА-
ЛЬНІСТЮ БАГАТОПРОФІЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"АЗОВМАШПРОМ"

(56) SU 791784, 30 12 80

SU 1782248 A3, 15 12 92

JP 07003380 A, 08 01 95

(57) Чавун для покриття, яке наноситься на повер-
хню мідних виробів методом наморозування, що
вміщує вуглець, кремній, марганець, сірку, фос-
фор, алюміній, залізо який відрізняється тим, що
до його складу додатково введений нікель і/або
мідь при такому співвідношенні інгредієнтів, мас

%

Вуглець	3,1-3,6
Кремній	2,5-3,3
Марганець	0,15- 0,50
Сірка	0,01-0,10
Фосфор	0,02-0,15
Алюміній	0,03-1,80
Нікель і/або мідь	0,3-1,5
Залізо	решта,

причому вміст вуглецю, кремнію, марганцю, сірки,
фосфору, нікелю та міді визначається співвідно-
шенням

$$\frac{C [Si - 0,2(Mn - 1,75 S - 0,3) + 0,1P + 0,4(M + Cu)]}{h} = 0,4 - 2,9,$$

де C, Si, Mn, S, P, Ni, Cu - числа, що дорівнюють
вмісту відповідних легуючих елементів, мас %,
h - число, що дорівнює товщині стінки мідного ви-
робу, ммВинахід відноситься до металургійної промис-
ловості і може бути використаний в технології на-
несення захисного покриття на поверхню мідних
виробів методом наморозуванняЦя технологія є новою, її положення захищені
заявкою на видачу патенту України за №
99031461. Суть методу наморозування полягає в
тому, що заздалегідь підготовлену деталь зану-
рюють на певний час у рідкий чавун, забезпечуючи
кристалізацію щільного чавунного шару на повер-
хні деталі. Досвід використання цієї технології по-
казує, що чавунне покриття забезпечує значне
підвищення експлуатаційної стійкості вузлів, які
контактують з газовими середовищами з темпера-
турою до 1500 °C і вище. Одним з таких вузлів є
мідна фурма (з водяним охолодженням) гарячого
дупта доменної печі. Чавунне покриття на фурмах
не тільки дозволяє значно скоротити витрати на їх
заміну, але й також дає можливість зменшити то-
вщину мідної стінки і, таким чином, заощадити
дефіцитний кобальтовий метал.Чавун, що використовують при наморозуванні
повинен відповідати певним вимогам. По-перше,
він повинен забезпечувати добре механічне зчеп-
лення металу покриття з поверхнею мідного виро-бу без утворення крихкого переходного шару. По-
друге, кристалізація рідкого металу має супро-
воджуватися мінімальним рівнем напруг, які можуть
призвести до утворення тріщин, а іноді - до руйну-
вання покриття.Інші вимоги відносяться до поведінки чавуну
при експлуатації фурм. Якщо під час роботи з'яв-
ляється зазор між поверхнею фурми та чавунним
покриттям, це призводить до швидкого ерозійного
зношування фурми. Поява зазору спричиняється
збільшенням об'єму шару за рахунок процесів рос-
ту. Окрім того, чавунне покриття повинно швидко
відводити тепло від поверхні контакту з газами до
охолоджувача, що циркулює всередині фурми (при
щільному контакті покриття з фурмою температура
захисного шару складає 650 - 700°C). Це дасть
змогу запобігти підплавленню і руйнуванню захи-
сного шару. Таким чином, чавун повинен мати до-
бре зчеплення з мідною поверхнею, кристалізува-
тися з мінімальними напруженнями, мати високу
ростостійкість і теплопровідність.Оскільки найбільшу теплопровідність з усіх ча-
вунів мають сплави з пластинчастим графітом,
пошук оптимального хімічного складу вели в ме-
жах структурного класу сірих чавунів.

(13) C2

(11) 47524

(19) UA

Широко поширеними є сірі чавуни марок СЧ15-СЧ18, які, згідно з ГОСТ 1412-85, мають такий хімічний склад, в мас %

Вуглець	3,4 - 3,7,
Кремній	1,9 - 2,4,
Марганець	0,5 - 0,8,
Сірка	не більше 0,15,
Фосфор	не більше 0,20,
Залізо	решта

Застосування цього чавуну при наморозуванні не є ефективним по причині наявності в структурі грубопластинчастого графіту, що значно підвищує схильність до росту при експлуатації та призводить до швидкого руйнування поверхні фурми

Більш дисперсну графітну фазу мають чавуни марок СЧ30 - СЧ35, які, згідно з ГОСТ 1412-85, характеризуються таким хімічним складом, в мас %

Вуглець	2,9 - 3,2,
Кремній	1,0 - 1,3,
Марганець	0,7 - 1,0,
Сірка	не більше 0,12,
Фосфор	не більше 0,20,
Залізо	решта

Незважаючи на більш високу (порівняно з СЧ18) ростостійкість, чавуни СЧ30 - СЧ35 кристалізуються з підвищеною усадкою, яка призводить до розтріскування покриття на фурмах ще до початку їх експлуатації

Найбільш близьким до винаходу є чавун за а с 791784 СРСР (С22С 37/10),

прийнятий за прототип, який вміщує, в мас %	
Вуглець	3,4 - 4,0,
Кремній	1,9 - 2,3,
Марганець	0,7 - 1,0,
Сірку	0,007 - 0,15,
Фосфор	не більше 0,30,
Алюміній	0,4 - 1,0,
Залізо	решта

Завдяки тому, що склад цього чавуну є близьким до евтектичного, він визначається невеликою усадкою, і це дає змогу отримувати покриття без тріщин. Однак даний чавун не був впроваджений в технологічний процес наморозування, тому що його застосування не забезпечило необхідної щільності металу на границі «чавун - мідь» зважаючи на наявність в цьому місці значної кількості порожнин та надривів. Крім того, структура покриття з цього чавуну виявилася дуже чутливою до зміни товщини мідної стінки, на яку наносили захисний шар. Це призводило до одержання шарів з різною ступінню дисперсності графіту, а також до появи ледебурита, що негативно впливало на стабільність об'єму покриття при експлуатації і зумовлювало недостатньо високу стійкість фурм.

В основу винаходу поставлена задача розробки нового чавуну для застосування в технології нанесення чавунного покриття на мідну поверхню, в якому додаткове введення компонентів та їх масове співвідношення, що вибирається відносно товщини стінки деталі, дозволяє забезпечити високу щільність металу на границі «чавун - мідь», запобігти утворенню тріщин в покритті та появи зазору між покриттям і поверхнею міді, та за рахунок цього підвищити експлуатаційну довговічність мідних виробів, що працюють в контакт з печною

атмосферою

Для рішення поставленої задачі у чавун, що вміщує вуглець, марганець, кремній, сірку, фосфор, алюміній, залізо, додатково вводиться нікель і (або) мідь при такому масовому співвідношенні елементів, мас %

Вуглець	3,1 - 3,6,
Кремній	2,5 - 3,3,
Марганець	0,15 - 0,50,
Сірка	0,01 - 0,10,
Фосфор	0,02 - 0,15,
Алюміній	0,03 - 1,80,
Нікель і (або) мідь	0,3 - 1,5,
Залізо	Решта

причому вміст вуглецю, кремнію, марганцю, сірки, фосфору, нікелю та міді визначається співвідношенням

$$\frac{C\{Si - 0,2(Mn - 1,75S - 0,3) + 0,1P + 0,4(Ni + Cu)\}}{h} = 0,4 - 2,9 \quad (1),$$

де С, Si, Mn, S, P, Ni, Cu - вміст вуглецю, кремнію, марганцю, сірки, фосфору, нікелю, міді, відповідно, в мас %,

h - товщина стінки мідного виробу, мм

За структурою запропонований чавун відноситься до сірих чавунів з Пікроана матрицею. Основні елементи, що входять до складу чавуну (C, Si, P, Al, Ni, Cu), справляють вирішальний вплив на ступінь його евтектичності і схильність до графітації, тобто на чинники, які сприяють досягненню мети винаходу. Введення нікелю та (або) міді посилює графітоутворення і запобігає кристалізації ледебурита (у цій якості нікель та мідь є аналогами, тому у винаході заявляється їхня сумарна кількість). Алюміній утворює велику кількість дисперсних Пікроан, які виступають центрами кристалізації і забезпечують диспергування усіх структурних складових, включаючи графіт. Марганець, як відомо, стабілізує цементит і підвищує рост чавуну, тому його вміст обмежується кількістю, необхідною для зв'язування сірки в сульфіді MnS, що покращує міцність чавунного шару та знижує негативний вплив сірки на графітоутворення.

Дослідження авторів дозволили встановити, що якість чавунного покриття, яка оцінюється станом макроструктури на границі «чавун - мідь», тріщинистістю, ростостійкістю та експлуатаційною стійкістю, функціонально пов'язана з Пікроанальним показником хімічного складу, який являє собою чисельник співвідношення (1), причому співвідношення (1) повинно бути в межах 0,4 - 2,9. В такому випадку на мідних виробках, наприклад, фурмах, одержують наморозжений чавунний шар, який щільно і без тріщин вкриває поверхню на протязі усього терміну експлуатації. При величині співвідношення менш ніж 0,4 знижується щільність металу на границі «чавун - мідь» і виникають тріщини, а при співвідношенні, більшому ніж 2,9, значно збільшується рост покриття, і фурма швидко виходить з ладу.

При вмісті вуглецю менш, ніж 3,1%, кремнію менш, ніж 2,5%, фосфору менш, ніж 0,02%, нікелю та (або) міді - менш, ніж 0,3%, не досягається стан чавуну, близький до евтектичного, і до того ж, при

кристалізації в структурі утворюється Пікроанал. Це призводить до підвищення рівня напруг в шарі і до його розтріскування. Збільшення концентрації C, Si, Ni, P, Cu понад верхньої границі, що заявлено, погіршує усі показники якості шару за рахунок утворення великої кількості грубих включень графту.

Введення алюмінію в кількості, що перевищує 1,80%, знижує ростостійкість і щільність металу на границі «чавун – мідь». При вмісті алюмінію менш ніж 0,03% Пікроаналізу структура і зростає схильність чавунного покриття до утворення тріщин.

При вмісті марганцю нижче 0,15% не досягається потрібна ступінь зв'язування сірки в сульфиди MnS, це сприяє утворенню надривів та порожнин на границі «чавун – покриття». Якщо вміст марганцю перевищує 0,50%, в структурі поряд з феритом утворюється перліт, і ростостійкість чавуну зменшується.

Кількість сірки в чавуні обмежена рівнем, перевищення якого різко погіршує експлуатаційну стійкість всього вузлу. Нижня границя концентрації сірки відображає практичні можливості десульфу-

рації чавунних розплавів.

Чавун для наморозування виплавляли в 400 – кг індукційній пічці, використовуючи ливарний чавун ЛКЗ, 75%-й феромарганець, 33%-й Пікроаналіт, металеві нікель, мідь, а також алюміній. Наморожений шар наносили на мідні фурми, одна з кількох фурм з шаром певного хімічного складу використовувалась для оцінки структури та проведення випробування.

Після охолодження фурм візуально визначали наявність тріщин в покритті, після чого з них вирізали зразки для Пікроаналізу і випробувань на ростостійкість. Ростостійкість чавуну оцінювали за збільшенням об'єму образців після нагріву при 700°C упродовж 150 годин. Щільність контакту, яку визначали на макрошліфах за величиною зазору на границі «чавун – мідь», вважали задовільною при величині зазору не більше 0,2 мм. Задовільний стан макроструктури металу на границі «чавун – мідь» відповідав відсутності в цьому місці порожнин, тріщин та надривів. Хімічний склад чавуну та його властивості наведені в таблицях 1 – 3.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджених чавунів з різною величиною співвідношення (1)

№№ п/п	Вміст, мас %										Товщина мідної стінки, мм	Величина співвідношення (1)
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cu	Ni+Cu	Al	Fe		
1	3,15	2,61	0,40	0,019	0,02	0,11	0,2	0,31	0,95	решта	20,5	0,42
2	3,31	3,10	0,32	0,022	0,12	0,44	0,48	0,92	0,99	решта	4	2,88
3	3,37	2,99	0,28	0,025	0,074	0,40	0,75	1,15	1,03	решта	7	1,87
4	3,11	2,54	0,48	0,030	0,02	0,19	0,11	0,30	0,94	решта	26	0,31
5	3,28	3,00	0,30	0,021	0,10	1,00	0,40	1,40	0,91	решта	3,5	3,35
Відомий	3,81	2,06	0,83	0,030	0,065	-	-	-	0,58	решта	7	1,07

Таблиця 2

Хімічний склад досліджених чавунів з різним вмістом нікелю і (або) міді

№№ п/п	Вміст, мас %										Товщина мідної стінки, мм	Величина співвідношення (1)
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cu	Ni+Cu	Al	Fe		
6	3,35	2,99	0,28	0,022	0,06	0,16	0,15	0,31	0,55	решта	7	1,56
7	3,38	2,98	0,35	0,023	0,06	0,89	0,59	1,48	0,64	решта	7	1,73
8	3,30	2,75	0,22	0,019	0,05	0,58	0,34	0,92	0,58	решта	7	1,49
9	3,35	2,88	0,35	0,018	0,09	0,10	0,15	0,25	0,61	решта	7	1,49
10	3,28	2,95	0,18	0,019	0,08	1,25	0,38	1,63	0,57	решта	7	1,71

Таблиця 3

Властивості досліджених варіантів чавунного покриття

№№ п/п	Збільшення об'єму при нагріванні, %	Наявність тріщин в покритті	Стан макроструктури на границі «чавун - мідь»*	Площість Контакт	Стійкість фурм з покриттям, місяці
1	0,09	немає	задовільний	Задовільна	8
2	0,09	немає	задовільний	Задовільна	8,5
3	0,08	немає	задовільний	Задовільна	9
4	0,29	є	незадовільний	Незадовільна	2,5
5	0,35	є	незадовільний	Незадовільна	1,8
6	0,09	немає	задовільний	Задовільна	8,3

Продовження табл. 3

№№ п/п	Збільшення об'єму при нагріванні, %	Наявність тріщин в покритті	Стан макроструктури на границі «чавун - мідь»*	Площість Контакт	Стійкість фурм з покриттям, місяці
7	0,08	немає	задовільний	Задовільна	8,4
8	0,08	немає	задовільний	Задовільна	8,9
9	0,25	є	незадовільний	Незадовільна	2,6
10	0,41	є	незадовільний	Незадовільна	2,0
Відомий	0,26	немає	незадовільний	Незадовільна	1,5

Таким чином, чугун, що пропонується, дозволяє досягти рівня вимог, які висуваються до чавунного покриття, що наморажується на поверхню мідних виробів, працюючих в контакт з високотемпературними газами. Дані, наведені у таблиці 3, вказують на те, що оптимальне поєднання усіх показників якості чавунного покриття досягається в чавунах №№ 1, 2, 3, 6, 7, 8. У випадку, коли співвідношення (1) не досягає межі, що заявлена, спостерігається погіршення макроструктури на границі «чавун - мідь», а якщо воно перевищує ці межі, різко знижується експлуатаційна стійкість фурм. Втім, поряд з необхідністю виконання співвідношення (1), досягнення мети винаходу вимагає

обов'язкову наявність в чавуні нікелю і (або) міді (це стосується прототипу, який відповідає співвідношенню (1), але не має в своєму складі вказаних елементів).

В разі, якщо вміст елементів, які впливають на процеси кристалізації (наприклад, нікелю і (або) міді), знаходиться нижче границь інтервалу, що заявляється, в намороженому шарі виникають значні напруги, і покриття розтріскується. При перевищенні меж інтервалу чавунне покриття починає інтенсивно зростати при підвищених температурах. Все це також знижує довговічність намороженого з'єднання.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
(044) 216 – 32 – 71