



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114978** (13) **C2**
(51) МПК

C21D 1/06 (2006.01)

C21D 1/09 (2006.01)

C21D 1/78 (2006.01)

C21D 9/28 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2016 03504**

(22) Дата подання заявки: **04.04.2016**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **28.08.2017**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **25.11.2016, Бюл.№ 22**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **28.08.2017, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):

**Єфременко Василь Георгійович (UA),
Чабак Юлія Геннадіївна (UA),
Федун Віктор Іванович (UA),
Зурнаджи Вадім Іванович (UA),
Білозерцева Надія Михайлівна (UA)**

(73) Власник(и):

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ",**

вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87500 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:

SU 1 815 067 A1, 15.05.1993

UA 52 054 A, 16.12.2002

UA 85 134 C2, 11.11.2013

RU 2 298 043 C1, 27.04.2007

EP 2 405 028 B1, 30.03.2016

JP 2014-047410 A, 17.03.2014

US 6 485 027 B1, 26.11.2002

Самотугин С.С. Плазменное упрочнение
инструментальных материалов/Самотугин С.С.,
Лещинский Л.К. – Донецк.: Новый мир, 2002.-
С.28- 65, 221-249

Гуреев Д.М. Влияние лазерной и термической
обработки на структуру и свойства
высокохромистого чугуна//МмТОМ. – 1985.- №
11.- С.6-9

Samotugin S.S. The influence of plasma modification
process on the structure and phase composition of
cutting-tool hardmetals/Samotugin S.S., Lavrinenko
V.L., Kudinova E.V., Samotugina Yu.S.//Journal of
superhard materials.- 2011.- vol. 33.- Iss. 3.- P.
200-207

Efremenko V.G. Kinetic parameter of secondary
carbide precipitation in high-Cr white iron Al-loyed by
Mn-Ni-Mo-V complex/Efremenko V.G., Chabak
Yu.G., Brykov M.N.//Journal of Vaterials Engineering
and Performance.- 2013.- vol. 22.- P. 1378-1385

(54) СПОСІБ ПОВЕРХНЕВОЇ ПЛАЗМОВОЇ МОДИФІКАЦІЇ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ЧАВУНІВ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі металургії та машинобудування, а саме до способу поверхневої плазмової модифікації високолегованих чавунів, яка включає попереднє об'ємне загартування та завершальне нагрівання поверхні постійним плазмовим струменем, при цьому попередньо виконують об'ємне загартування з досягненням максимальної твердості чавуну, а плазмову обробку проводять, забезпечуючи нагрівання поверхні до 1000-1200 °С. Винахід забезпечує підвищення експлуатаційної довговічності виробів з високолегованих білих чавунів за рахунок модифікації поверхневих шарів, яка підвищує їх твердість та абразивну зносостійкість.

UA 114978 C2

Винахід належить до галузі металургії та машинобудування і призначений для зміни механічних властивостей приповерхневих шарів деталей машин та інструмента за рахунок модифікації структури металу.

Високохромисті сплави з карбідною евтектикою (білі чавуни та інструментальні сталі ледебуритного класу) широко використовуються як інструмент та деталі машин, які працюють в умовах інтенсивного абразивного, ерозійного, адгезійного та інших видів зношування. Це пов'язано з присутністю в їх структурі значної кількості карбідних фаз, які забезпечують сплавам високий опір зношуванню. Важливим фактором також є структура металевої матриці, яка повинна складатися з мартенситу або метастабільного аустеніту, що перетворюється в мартенсит деформації при зношуванні. Подальше підвищення їх експлуатаційної довговічності можливо за рахунок модифікування поверхні висококонцентрованими джерелами енергії (електронні та іонні пучки, лазерний промінь, потоки плазми). При модифікуванні відбувається зміна мікроструктурного та субструктурного стану металевої матриці у приповерхневих шарах виробів, в результаті чого вони набувають підвищеної твердості та зносостійкості.

Відомою є обробка високохромистого чавуну лазерним променем [1]. Вона дозволяє суттєво підвищити стійкість деталей дробоочисного обладнання. Недоліком цієї технології є складність та дорожнеча обладнання та низька продуктивність обробки.

Більш високу продуктивність має метод обробки з використанням постійного плазмового струменю [2]. Генерація плазмового струменю забезпечується за допомогою плазмотрона непрямої дії [3], який утворює зону плазмового нагрівання діаметром 6 мм. При використанні струму силою 230-250 А від джерела живлення з напругою 220-300 В при швидкості обробки 0,2-0,6 м/с на металевій поверхні, що обробляється, досягається температура від 800 до 1550 °С. Цей метод широко використовується для поверхневого модифікування конструкційних та інструментальних сталей твердих сплавів, тощо [4]. В залежності від режиму плазмова обробка може вестись як без оплавлення, так і з оплавленням поверхні.

Найбільш близьким до винаходу є застосування нагріву з використанням постійного плазмового струменю по відношенню до сірих та високоміцних чавунів (в структурі яких присутній графіт). В цьому випадку максимальну ефективність забезпечує обробка з оплавленням, яка підвищує твердість поверхні до 750 HV за рахунок формування квазіледебуритної структури, що складається з цементиту, мартенситу, бейніту, залишкового аустеніту і продуктів дифузійного розпаду аустеніту [4]. Формування такої структури є можливим за рахунок розчинення графіту в рідині, що насичує її вуглецем. При швидкому охолодженні кристалізація рідини відбувається за метастабільною діаграмою "Fe-C", тобто, замість графіту утворюється карбідна евтектика ледебуритного типу, яка завдяки високій твердості цементитної складової забезпечує зростання твердості і зносостійкості поверхні чавуну. Втім, як було встановлено авторами даної заявки, відносно високолегованих білих чавунів (систем легування Cr-Mn, Cr-Mn-Ti, Cr-Mn-Mo, Cr-V-Mn, V-Mn) режим з оплавленням не є ефективним, оскільки його реалізація призводить до утворення на поверхні повністю аустенітної матриці (за відсутністю мартенситу або бейніту), що різко знижує твердість чавуну і його опір зношуванню. Таким чином, плазмова обробка високолегованих чавунів повинна проводитись в режимі без оплавлення поверхні.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалити спосіб поверхневої плазмової модифікації високолегованих чавунів, в якому за рахунок вибору попередньої термічної обробки та режиму плазмової обробки досягається можливість ефективного поверхневого модифікування високолегованих білих чавунів, що забезпечує підвищення їх абразивної зносостійкості.

Для вирішення поставленої задачі в способі поверхневої плазмової модифікації високолегованих чавунів, що включає нагрівання постійним плазмовим струменем, відповідно до винаходу, попередньо виконують загартування чавуну з досягненням його максимальної твердості, а плазмову обробку проводять, забезпечуючи нагрів поверхні до 1000-1200 °С.

Для суттєвого підвищення зносостійкості високолегованих білих чавунів за рахунок плазмової обробки сплави повинні мати певну мікроструктуру металевої матриці. Оскільки швидкість нагрівання плазмовим струменем перевищує 10^3 - 10^4 К/с і час взаємодії струменя з поверхнею не перевищує кілька секунд, при нагріві не встигають пройти процеси розчинення або виділення вторинних карбідів хрому. Це пов'язано з тим, що оскільки вторинні карбіди є спеціальними карбідами хрому (або ванадію чи молібдену), вони вміщують до 50 % легуючого елемента, а тому для їх утворення чи розчинення потребується значний час, необхідний для дифузії атомів легуючих компонентів. Якщо вихідна структура матриці чавуну є аустеніт (тобто чавун є в литому стані, або після високотемпературного загартування), то обробка не призводить до її суттєвої зміни, оскільки з аустеніту не встигнуть виділитись вторинні карбіди і

він залишиться насиченим вуглецем та карбідоутворюючими елементами. Коли вихідна структура металевої матриці чавуну складається з фериту і вторинних карбідів (внаслідок проведення відпалу), то вторинні карбіди не встигнуть розчинитися, тобто аустеніт не насититься вуглецем, що необхідно для перетворення в високовуглецевий (твердий) мартенсит при охолодженні.

Перед плазмовою обробкою матриця повинна вміщувати мартенсит (або "мартенсит + залишковий аустеніт") з включеннями вторинних карбідів, при цьому вона повинна забезпечувати максимальну твердість чавуну. Така структура досягається шляхом загартування чавуну від оптимальної температури, при якій досягається необхідний рівень насичення твердого розчину вуглецем. При такій вихідній структурі при плазмовому нагріванні без оплавлення відбудеться зміна мікроструктурного стану мартенситної фази (подрібнення зерна, підвищення викривлень кристалічної ґратки, підвищення рівня стискаючих напруг), яка призведе до зростання мікротвердості та зносостійкості поверхні. Вторинні карбіди в цьому випадку не будуть приймати більш-менш значимої участі в формуванні структури модифікованих шарів, тобто швидкість їх розчинення (виділення) не буде істотно впливати на фазово-структурні перетворення в нагрітому шарі чавуну.

Якщо при попередньому загартуванні не буде досягнуто максимальної твердості чавуну, це означатиме, що насичення твердого розчину вуглецем не сягнуло оптимального рівня. При плазмовому нагріванні цей рівень не буде отримано внаслідок дуже високих швидкостей нагрівання і охолодження, які різко гальмують дифузійні процеси розчинення/виділення карбідів. Коли твердість після загартування нижча від максимальної, то це означає, що або 1) в процесі нагріву під загартування вторинні карбіди виділилися з аустеніту в недостатній кількості, а тому аустеніт залишився в структурі у великій кількості, або 2) не пройшло розчинення необхідної кількості вторинних карбідів, внаслідок чого недосичений вуглецем аустеніт перетворився в низько вуглецевий "м'який" мартенсит.

Якщо температура поверхні при плазмовій обробці є нижчою від 1000 °С, то не досягається необхідний ступінь перегрівання металу поверхні. Це призводить до того, що не відбувається повний перехід критичної точки Асі (яка різко підвищується у випадку нагрівання з великою швидкістю) з утворенням великої кількості зародків аустеніту, які при охолодженні формують наддрібнозернистий мартенсит з високою мікротвердістю. Тобто твердість в результаті такої обробки може не тільки підвищитися, але й погіршитися. У випадку, коли температура поверхні перевищує 1200 °С, можливо її оплавлення, що призведе до формування аустеніту та суттєвого зниження твердості і зносостійкості.

Приклад здійснення способу у відповідності до пункту формули.

Модифікуванню піддавали білий високохромистий чавун хімічного складу мас. %: 2,6 % С, 2,0 % Mn, 1 % Si, 0,9 % Ni, 14,6 % Cr, 0,4 % Mo, 0,4 % V, 0,1 % Ti. Попередня термічна обробка становила загартування від 950 °С з витримкою при цій температурі впродовж 2 год. та охолодженням в маслі. Режим вибирали згідно з даними наведеними в [5]. Загартування забезпечило досягнення максимальної твердості чавуну-61 HRC.

Після попередньої термообробки провели плазмову обробку з використання плазмотрону непрямої дії [2-4] за режимом: плазмоутворюючий газ - аргон, витрата газу 1-3 м³/год., тиск води в системі охолодження - 0,15-0,40 МПа, діаметр сопла плазмового генератора - 6 мм, довжина дуги - 150 мм, напруга - 220-300 В, струм - 230-250 А, швидкість обробки - 0,40-0,45 м/хв. Такий режим забезпечив досягнення на поверхні температури ~1000-1200 °С (по показаннях оптичного пірометра). Для порівняння використали такий же режим, але зі швидкістю обробки 0,30 м/хв. (~1350 °С), який привів до оплавлення поверхні.

Для порівняння такі ж самі режими плазмової обробки застосували для чавуну, загартованого від 1100 °С, що знизило його твердість до 45 HRC.

По завершенні обробки заміряли твердість на обробленій плазмою поверхні (за методом Роелла) та проводили випробування на абразивне зношування за схемою "tree-body-abrasion" [6] напівзакріпленим абразивом (електрокорунд). По результатах випробувань розраховували коефіцієнт відносної зносостійкості (ε):

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_{\text{em}}}{\Delta m_{\text{зр}}},$$

де $\Delta m_{\text{ст}}$ і $\Delta m_{\text{зр}}$ - втрата маси еталона (відомий режим) і експериментального зразка, відповідно.

Режими обробки і результати випробувань наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

Режими термообробки та результати випробувань зразків чавуну, попередньо загартованого на максимальну твердість

№ варіанта	Твердість після об'ємного загартування, HRC	Плазмове обробка		Твердість після плазмової обробки, HRC	ε
		Швидкість обробки, м/хв.	Температура нагрівання, °C		
1	61	0,40	1200	63	1,25
2	61	0,43	1150	64	1,30
3	61	0,45	1100	63	1,26
4	61	0,32	1350	50	1,05
5	61	0,53	1000	58	1,15
Відомий	61	0,25	1500	47	1,00

Таблиця 2

Режими термообробки та результати випробувань зразків чавуну, попередньо загартованого на низьку твердість

№ варіанта	Твердість після об'ємного загартування, HRC	Плазмове обробка		Твердість після плазмової обробки, HRC	ε
		Швидкість обробки, м/хв.	Температура нагрівання, °C		
6	45	0,40	1200	46	1,05
7	45	0,43	1150	47	1,05
8	45	0,45	1100	46	1,05
9	45	0,32	1350	47	1,00
10	45	0,53	1000	45	0,95
Відомий	45	0,25	1500	45	1,0

Аналіз даних таблиць показує, що у випадку реалізації заявлених параметрів режиму (№№ 1-3) було отримано максимальний комплекс твердості і абразивної зносостійкості поверхні (зносостійкість зростає по відношенню до відомого способу на 25-30 %). У випадках пониженої твердості після попереднього об'ємного загартування (варіанти 6-10), або при плазмовій обробці з оплавленням поверхні (варіант 9) твердість та зносостійкість були на рівні відомого способу. Таким чином, режим за варіантами №№ 1-3 слід вважати оптимальним.

Джерела, прийняті до уваги при складанні заявки:

- Гуреев Д.М. Влияние лазерной и термической обработки на структуру и свойства высокохромистого чугуна/ Д.М. Гуреев, А.Е. Зайкин, С.В. Ямщиков // МиТОМ. - 1985. - № 11. - С. 6-9.
- Samotugin S. S. The influence of plasma surface modification process on the structure and phase composition of cutting-tool hardmetals / S.S. Samotugin, V.I. Lavrinenko, E.V. Kudinova, Yu.S. Samotugina. // Journal of Superhard Materials. - 2011. - Vol. - 33. - Iss. 3. - P. 200-207.
- Патент SU 1815067. МКП В23Д 10/00. Плазмотрон / В.А. Петруничев, Г.Г. Псарас, С.С. Самотугин, И.И. Пирч. Заявлено 29.12.90 г. Оpubліковано 15.05.93 г.
- Самотугин С.С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С.С. Самотугин, Л.К. Лещинский. - Донецк: Новый мир, 2002. - 338 с.
- Efremenko V.G. Kinetic Parameters of Secondary Carbide Precipitation in High-Cr White Iron Alloyed by Mn-Ni-Mo-V Complex / V.G. Efremenko, Yu. G. Chabak, M.N. Brykov // Journal of Materials Engineering and Performance. - 2013. - Vol. 22. - P. 1378-1385.
- Inthidech S. Two-body and three-body types abrasive wear behavior of hypoeutectic 26 mass% Cr cast irons with molybdenum / S. Inthidech, A. Chooprajong, P. Sricharoenchai, and Y. Matsubara // Materials Transactions, 53 (2012), p. 1258.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 5 Спосіб поверхневої плазмової модифікації високолегованих чавунів, що включає нагрівання постійним плазмовим струменем, який **відрізняється** тим, що попередньо виконують об'ємне загартування з досягненням максимальної твердості чавуну, а плазмову обробку проводять, забезпечуючи нагрівання поверхні до 1000-1200 °С.

10

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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