



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **88745** (13) **C2**
(51) **МПК (2009)**
C22C 37/00
C22C 37/10 (2009.01)
C22C 33/08 (2009.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЧАВУН ЗНОСОСТІЙКИЙ

1

(21) а200811402
(22) 22.09.2008
(24) 10.11.2009
(46) 10.11.2009, Бюл.№ 21, 2009 р.
(72) ХРИЧИКОВ ВАЛЕРІЙ ЄВГЕНОВИЧ, ІВАНОВА
ЛЮДМИЛА ХАРИТОНІВНА, КОЛОТИЛО ЄВГЕН
ВІКТОРОВИЧ, ІВОНІН ІЛЛЯ ВАЛЕРІЙОВИЧ
(73) НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ
УКРАЇНИ
(56) UA, 38928, У, 26.01.2009
SU, 1696562, А1, 07.12.1991
SU, 1227706, А1, 30.04.1986
SU, 831851, 23.05.1981
DE, 10320397, А1, 02.12.2004
(57) Чавун зносостійкий, що містить вуглець, крем-
ній, марганець, нікель, ніобій, церій, ітрій, лантан,

2

неодим та залізо, який відрізняється тим, що він
додатково містить титан при наступному співвід-
ношенні компонентів, мас. %:

вуглець	3,5-4,2
кремній	1,2-1,8
марганець	2,5-4,0
нікель	1,5-2,5
ніобій	0,05-0,10
титан	0,20-0,25
церій	0,06-0,10
ітрій	0,06-0,10
лантан	0,04-0,08
неодим	0,04-0,08
залізо	решта.

Винахід відноситься до чорної металургії, зокрема до розробки складу чавуну для виготовлення литих деталей, що мають підвищену зносостійкість та міцність (прокатні валки, модельні тіла та ін.).

Відомий чавун [А. с. № 831851 СРСР МКИ C22C 37/10, опубл. Б.І. № 19, 1981 р.], який містить по мас. %:

вуглець -	2,60-3,60
кремній -	1,00-2,00
марганець -	0,50-1,00
хром -	0,20-1,00
ванадій -	0,10-0,25
титан -	0,15-0,40
алюміній -	0,10-0,30
мідь -	0,60-1,40
кальцій -	0,03-0,30
рідкісноземельні метали -	0,02-0,15
залізо -	решта.

Недоліком цього чавуна є високий модуль пружності, недостатня міцність та зносостійкість з-за наявності у структурі великої кількості ледебуритної евтектики.

Найбільш близьким по технічній сутності до складу, що заявляється, є чавун [А. с. № 1227706 СРСР МКИ C22C 37/00 опубл. Б.І. № 16, 1986 р.], що взятий за найближчий аналог, який містить вуглець, кремній, марганець, нікель, ніобій, церій,

ітрій, лантан, неодим, залізо, при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

вуглець -	3,5-4,2
кремній -	1,2-1,8
марганець -	2,5-4,0
нікель -	1,5-2,5
ніобій -	0,15-0,30
церій -	0,06-0,10
ітрій -	0,06-0,10
лантан -	0,04-0,08
неодим -	0,04-0,08
залізо -	решта.

Чавун має низьку зносостійкість 0,04-0,048г.

В основу винаходу поставлена задача одержання чавуну з підвищеною характеристикою зносостійкості, яку потребує сучасне виробництво.

Технічний результат досягається тим, що чавун, додатково легований титаном, має у структурі істотного підвищену дисперсність структурних складових мартенситу та пластинчастої карбідної фази, а також велику кількість високо твердих спеціальних карбідів, що сприяє підвищенню зносостійкості. Зважано й те, що у чавунах легованих ніобієм карбіди мають розгільковану форму, причому гілки розміщені переважно під кутом 120°, сумісне же легування титаном і ніобієм призводить до

(19) **UA** (11) **88745** (13) **C2**

зміни форми карбідів ніобію на найбільш схвальну - кубічну, крім того у структурі виділяється велика кількість дрібнодисперсних карбідів титану. Крім того, модифікування церієм, ітрієм, лантаном і неодимом у вказаних границях сприяє кристалізації чавуну за метастабільною системою, що дозволяє підвищити міцність чавуну.

Зазначена задача вирішується тим, що в чавуні зносостійкому, що містить вуглець, кремній, марганець, нікель, ніобій, церій, ітрій, лантан, неодим, залізо, додатково міститься титан при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

Вуглець -	3,5-4,2
Кремній -	1,2-1,8
Марганець -	2,5-4,0
Нікель -	1,5-2,5
Ніобій -	0,05-0,1
Титан -	0,20-0,25
Церій -	0,06-0,10
Ітрій -	0,06-0,10
Лантан -	0,04-0,08
Неодим -	0,04-0,08
Залізо -	решта.

За наявними у авторів відомостями сукупність ознак, що заявляються та характеризують сутність чавуну є раніше невідомими. Таким чином, запропонований винахід відповідає критерію «новизна».

Вплив окремих елементів на структуру і властивості чавуну дуже різноманітний, і так само є багато додаткових факторів, які можуть змінювати вплив того або іншого елементу. Змінний якісний і кількісний вплив різних елементів на структуроутворення сплавів ускладнює можливість їхньої класифікації за ознакою інтенсивності цього впливу, тим більше, що в багатьох випадках, наявність у сплаві двох карбідоутворюючих елементів не обов'язково посилює їх окремий вплив, а іноді нівелює його. Тому задача з підбирання легуючого комплексу, зводилася до того, щоб нейтралізувати небажаний вплив окремих елементів і посилити їх спільний вплив.

Вміст хімічних елементів у чавуні обґрунтовується наступним:

Вуглець. Є основним зміцнювачем залізобуглецевих сплавів і відповідно при концентраціях у межах 3,5-4,2мас.% забезпечує мартенситну структуру і підвищену зносостійкість чавуну. Верхня практична границя вмісту вуглецю у більшості випадків обумовлюється евтектичним складом, тому що при більш високому вмісті вуглецю з'являються надлишкова карбідна фаза (первинний цементит), що відповідно приводить до окрихчування чавуну і зросту зносу. При вмісті вуглецю менше нижньої границі, що рекомендується, значно зменшується кількість карбідної фази, що приводить до зниження твердості й, як наслідок, зносостійкості.

Кремній в обраних границях нейтралізує карбідизуючу дію марганцю, тобто забезпечує одержання необхідного ступеня графітизації чавуну (K_g). При зменшенні вмісту кремнію нижче 1,2мас.% параметр графітизації чавуну K_g низький, а тому такий чавун має недостатню міцність. Збільшення вмісту кремнію вище верхньої границі, що рекомендується, не дозволяє одержати білий без графітний чавун.

Марганець. Найбільші міцність та зносостійкість білих чавунів з пластинчастою евтектикою й високотвердими спеціальними карбідами ніобію можуть бути досягнуті тільки на разі, якщо вони знаходяться у твердій і міцній матриці. В пропонуємому чавуні для одержання мартенситної матриці передбачається легування марганцем у границях 2,6-4,0мас.% в комбінації з 1,5-2,5 нікелю. Зменшення концентрації марганцю нижче 2,5мас.% не дозволить одержати мартенситну матрицю, у структурі буде присутнім тростит, що зменшує зносостійкість. Підвищення вмісту марганцю більше за 4,0мас.% не призводить до подальшого поліпшення властивостей.

Нікель. Як вже вказувалося вище, границі вмісту нікелю обрано виходячи з необхідності одержання мартенситної матриці. Нижня границя вмісту нікелю, що забезпечує в комбінації з 2,5-4,0мас.% марганцю одержання мартенситної матриці складає 1,5мас.%. Оптимальну міцність та зносостійкість забезпечує легування 2,5мас.% нікелю. Підвищення концентрації нікелю більше за 2,5мас.% до значного збільшення властивостей не призводить, а собівартість такого чавуну зростає значно.

Ніобій. У запропонованому чавуні однією з причин підвищення зносостійкості є утворення високо твердих спеціальних карбідів найсприятливішої форми. Досягається це сумісним введенням ніобію та титану. За нашими даними оптимальним вмістом ніобію є 0,05-0,10мас.%. При вмісті ніобію менше за 0,05мас.% в комплексі з 0,15-0,20мас.% титану кількість карбідів ніобію мала й зносостійкість таких чавунів менше оптимальної. Підвищення ж вмісту ніобію вище за 0,10мас.% (при 0,20-0,25мас.% титану) не призводить до подальшого збільшення зносостійкості.

Титан. Роль титану у запропонованому чавуні подвійна: утворення дисперсних високо твердих карбідів титану та зміна на більш сприятливу форми карбідів ніобію. Найбільш високі значення зносостійкості досягаються при концентраціях титану 0,20-0,25мас.% та наявності 0,05-0,10мас.% ніобію. При вмісті титану менше за 0,20мас.% зносостійкість чавуну значно зменшується, а збільшення його концентрацій понад 0,25мас.% не призводить до подальшого росту зносостійкості.

Рідкісноземельні метали. При виборі модифікаторів для подавлення виділення ледебуриту у білому чавуні та підвищення властивостей було прийнято до уваги, що відомі модифікатори (церій, ітрій, лантан, неодим) значною мірою відрізняються один від одного за хімічною активністю, модифікуючим впливом, мають різні температури плавлення, кипіння, теплоти утворення сполук та енергії Гібса. Однозначно встановлено, що, наприклад, максимальну мікротвердість цементиту та перліту дозволяє одержати модифікування ітрієм та лантаном, а фериту - модифікування церієм та неодимом. Механізм такого впливу в теперішній час вивчено недостатньо. Комплексне модифікування вказаними модифікаторами призводить до переважному утворенню CeO₂, енергія Гібса якого значно нижче, ніж у La₂O₃ та Y₂O₃. Таким чином, ураховуючи вищевикладене, встановили ни-

жні границі вмісту вказаних елементів, що забезпечує подавлення виділення ледебуритної евтектики та перетворення її в пластиноподібну. За нашими даними нижні границі концентрацій модифікаторів повинні бути такими, мас. %: церій - 0,06, ітрій - 0,06, лантан - 0,04, неодим - 0,04. Зменшення концентрацій модифікаторів (будь-якого з вказаних) нижче за границі, що рекомендуються, не дозволяє повністю одержати пластиноподібну евтектику, у структурі присутній ледебурит, який призводить до зниження зносостійкості. Верхні границі концентрацій ітрію та лантану визначали зі ступенем зростання мікротвердості карбідної фази. При концентраціях 0,1мас. % ітрію та 0,08мас. % лантану мікротвердість карбідної фази була максимальною. Подальше збільшення вмісту цих елементів призводило до утворення великої кількості неметалевих включень, які зменшували зносостійкість. Ураховуючи, що церій у першу чергу витрачається на рафінування розплаву розраховували максимально необхідні його вмісти, а потім за ступенем зростання мікротвердості матриці визначали максимальну його концентрацію. Верхня границя неодиму також визначали за ступенем зростання мікротвердості матриці. При вмістах 0,1мас. % церію та 0,08мас. % неодиму (в комплексі з 0,1мас. % ітрію та 0,08мас. % лантану) мікротвердість матриці була максимальною. Подальше збільшення концентрацій вказаних елементів не призводило до підвищення мікротвердості та, як слідство, зносостійкості. Слід відмітити, що ступінь модифікуючого впливу індивідуальних елементів-модифікаторів, що розглянуто, значною мірою зростає при комплексному використанні та у більшості випадків модифікування індивідуальним елементом-модифікатором не дозволяє досягти результатів, що були одержані при комплексному модифікуванню. Механізм такого взаємного впливу у технічній літературі практично не описаний.

Суть винаходу, що заявляється, не визначена у явному вигляді з відомого авторам рівня техніки. Сукупність ознак, які характеризують відомі рішення, не забезпечують досягнення нових властивостей, і тільки наявність означеної відмінної ознаки дозволяє одержати новий технічний результат. Таким чином, винахід, що заявляється відповідає критерію «винахідницький рівень».

Для оцінки властивостей, запропонованого чавуну і його структурного стану, у порівнянні із найближчим аналогом, отримали експериментальний чавун.

Були застосовані наступні шихтові матеріали:

- чавун переробний ПВК1, ПВК2, ПВК3 ДСТУ 3133-95;
- чавун ливарний Л1, Л2 ДСТУ 3132-95;
- чавун валковий ЧВ-1, ЧВ-2 ГОСТ 1465-80;
- лом сталі 1А, 2А, 3А ГОСТ 2787-75;
- феросиліцій ФС75 ГОСТ 1415-91;
- феромарганець ФМн78, ФМн70 ДСТУ 3547-97;

Легувальні елементи відповідали таким параметрам:

- феротитан ФТи30 ГОСТ 4761-91;
- фероніобій ФНБ60 ГОСТ 4765-91;
- титан губчастий ТГ-130 ДСТУ 3079-95.

Експериментальні плавки проводили в індукційній печі з кислотою футеровкою, вага шихти 40кг. Після розплавлення шихти потужність печі знижували до 30-40% від максимальної, знищували шлак періоду плавлення, заміряли температуру. При доводці сплаву при температурі металу 1520-1530°C вводили феросплави ніобію та титану.

Модифікування робили таким чином: модифікувальні елементи (церій, ітрій, лантан, неодим) вводили у ківш перед випуском металу у вигляді ітрій-церієвої та лантан-неодимової лігатур такого складу, мас. %:

- 1) ітрій 15...20
церій 15...20
вуглець 0,3...0,5
кальцій 0,4... 0,5
кремній 30...35
Залізо решта,
- 2) лантан 15...20
неодим 15...20
вуглець 0,3...0,5
кальцій 0,4...0,5
кремній 30...35
залізо решта.

При температурі $1500 \pm 5^\circ\text{C}$ чавун випускали у ківш з необхідною наважкою модифікаторів та при досягненні температури $1330...1340^\circ\text{C}$ заливали у кокільні форми. Виливки мали розміри: 1) куля діаметром 60мм, 2) циліндр діаметром 50мм, висотою 200мм. З цих виливків вирізали зразки для хімічного аналізу, металографічних досліджень, випробування границь міцності при розтягу та вигині, ударостійкості, зносостійкості. Випробування механічних властивостей проводили за стандартними методами. Зносостійкість сплаву визначали на установці СМЦ-2 при терті ковзання з зусиллям 700МПа. Модуль пружності визначали ультразвуковим методом на установці УЗИС-ЛЭТИ. Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 500Н. Випробування ударостійкості робили за кількістю ударів до руйнування литої кулі при падінні її з висоти 6м. Хімічний аналіз та властивості запропонованого чавуну та прототипу наведені у таблиці.

Як видно з таблиці, поставлена мета досягнута. Зносостійкість запропонованого чавуну вище, ніж відомого на 30%, модуль пружності нижче на 3%, при високому рівні міцностних властивостей (σ_r , σ_b та ударостійкість вище на 2-3%) Зважаючи на те, що у пропонованому чавуні зменшується вміст ніобію в середньому на 0,15% додатково зменшується вартість чавуну.

Винахід, що заявляється, засновано на теоретичних розробках, підтверджених експериментальними даними та може бути багаторазово відтворений у виробництві. Таким чином, винахід, що заявляється, відповідає критерію «промислова придатність».

Таблиця

Хімічний склад і властивості чавуну, що заявляється, та прототипу.

Сплав	№ вар	Хімічний склад, мас. %										Властивості						
		C	Si	Mn	Ni	Nb	Ti	Ce	Y	La	Nd	Модуль пружності $E \times 10^4$, КПа	Ударостійкість, разів	Зносостійкість, г	σ_p , МПа	σ_b , МПа	Мікротвердість карбідної фази, МПа	Мікротвердість матриці, МПа
Чавун, що заявляється	1	3,5	1,2	2,5	1,5	0,05	0,20	0,06	0,06	0,04	0,04	16,5	2365	0,018	795	655	14550	9200
	2	4,2	1,8	4,0	2,5	0,10	0,25	0,10	0,10	0,08	0,08	16,5	2400	0,016	805	668	14800	9550
	3	3,9	1,4	3,3	2,0	0,08	0,23	0,08	0,08	0,06	0,06	16,7	2350	0,015	795	660	14650	9400
	4	3,8	1,42	3,32	1,0	0,02	0,15	0,08	0,078	0,06	0,065	16,5	2300	0,022	790	660	14590	9250
	5	3,8	1,4	3,32	0,0	0,15	0,30	0,08	0,08	0,063	0,06	16,55	2400	0,014	800	660	14850	9500
Чавун за прототипом	6	3,5	1,2	2,5	1,5	0,15	-	0,06	0,10	0,08	0,06	17,0	2340	0,028	780	650	14500	8900
	7	4,2	1,2	2,52	0,30	-	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	16,8	2350	0,020	780	645	13800	9100
	8	3,9	1,4	3,32	0,0	0,22	-	0,10	0,08	0,06	0,06	17,4	2280	0,021	765	635	14150	9300