



УКРАЇНА

(19) UA (11) 11692 (13) U
(51) МПК
C22C 37/10 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ХОЛОДОСТІЙКИЙ ЧАВУН

(21) u200504511
(22) 16.05.2005
(24) 16.01.2006
(46) 16.01.2006, Бюл. № 1, 2006 р.
(72) Зелений Борис Григорович, Бубликов Валентин Борисович, Хуснутдінов Гіль Давлєєвич, Берчук Дмитро Миколайович
(73) ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ НАН УКРАЇНИ
(57) Холодостійкий чавун, що містить вуглець, кремній, марганець, нікель, магній, рідкоземельні метали, кальцій, алюміній, фосфор, залізо, який **відрізняється** тим, що додатково містить ванадій та кобальт при наступному співвідношенні компонентів, мас.ч. %:

вуглець	2,8-3,25
кремній	2,0-2,5
марганець	0,3-0,45
нікель	0,35-0,75
магній	0,025-0,06
рідкоземельні метали (церієвої групи)	0,005-0,05
кальцій	0,005-0,05
алюміній	0,01-0,1
ванадій	0,15-0,3
кобальт	0,1-0,15
фосфор	0,02-0,07
залізо	решта,
як неминучі домішки: сірки - не більше 0,01 %, хрому - не більше 0,1 %.	

Корисна модель стосується галузі чорної металургії та ливарного виробництва, зокрема складу чавунів з кулястим графітом, що застосовуються для виготовлення деталей автомобілів, тракторів і інших машин та механізмів, що експлуатуються в умовах ударно-циклічних навантажень, в тому числі за низьких (до мінус 60°C) температурах.

Відомий чавун з кулястим графітом [патент 2112073. Росія МПК⁶ C22C37/10, опубл. 27.05.98, бюл. №5] слідує складу (мас.ч. %):

вуглець	2,7-3,8
кремній	2,1-2,9
марганець	0,15-0,45
мідь	0,1-0,35
нікель	0,4-1,0
магній	0,03-0,08
залізо	решта.

Недоліком чавуну такого складу є його нестабільність по показнику ударної в'язкості, яка не корегується з показником пластичності (відносного подовження). Характерним для чавуну такого складу являється падіння показників пластичності при зростанні показників міцності.

За вмісту складових на верхній межі значно погіршуються показники відносного подовження (пластичності) при досить високих показниках міцності, внаслідок збільшення в структурі перлітної

складової, що веде до падіння показників ударної в'язкості навіть при кімнатній температурі.

Аналогічні недоліки властиві і чавуну [патент 2138576, Росія, МПК⁶ C22C37/10 опубл. 02.09.99, бюл. №27], який містить в своєму складі (мас.ч. %):

вуглець	3,6-3,8
кремній	1,6-2,8
марганець	0,06-0,4
хром	0,05-0,15
ванадій	0,04-0,2
титан	0,01-0,1
магній	0,04-0,08
мідь	0,05-1,8
сірка	≤ 0,02
фосфор	≤ 0,1
залізо	решта.

Чавун наведеного складу при широкому інтервалі коливань по вмісту елементів (особливо по вмісту марганцю, хрому, міді, ванадію) характеризується значними відмінностями в структурі виливків з різними товщинами стінок (від феритоперлітної до перлітної). Наслідком цього є значна розбіжність показників механічних властивостей:

$\sigma_B = 500-1000 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 330-350 \text{ МПа}$; $\delta = 5-15\%$; $HV = 170-300 \text{ МПа}$, а показники ударної в'язкості взагалі не регламентуються. Навіть при досить високих значеннях пластичності ($\delta = 15\%$) по пока-

(19) UA (11) 11692 (13) U

зниках ударної в'язкості чавун не відповідає вимогам до матеріалів деталей, що експлуатуються в умовах ударно-циклічних навантажень, в тому числі за низьких температур.

Найбільш близьким по складу інгредієнтів, технічній суті та досягнутому ефекту до чавуну, що пропонується, є чавун [А.С. 985120, МПК³ C22C37/04, опубл. 30.12.82, бюл.№48], який містить вуглець, кремній, марганець, хром, нікель, титан, магній, церій, кальцій, алюміній, мідь при наступному вмісті компонентів (мас.ч.%):

вуглець	3,35-3,95
кремній	2,2-3,5
марганець	0,1-0,65
хром	0,005-0,25
нікель	0,26-0,85
титан	0,001-0,045
магній	0,02-0,08
церій	0,001-0,08
кальцій	0,002-0,04
алюміній	0,002-0,15
мідь	0,005-0,15
залізо	решта.

Чавун в якості домішок містить сірку (0,001-0,026%) та фосфор (0,001-0,09%). Відомий чавун має задовільні показники міцності, ударної в'язкості за температури мінус 30°C та твердості і може застосовуватись для виготовлення автомобільних деталей.

Стандартами України [ДСТУ3925-99], Росії [ГОСТ7293-85], США [ASTM A-536-80], Німеччини [DIN1693] та ін. показником холодостійкості чавуну є величина його ударної в'язкості за температури мінус 40°C, а для холодостійких сталей (наприклад 09Г2С, 14Г2,15Х і ін.) за температур мінус 40°C та мінус 60°C. Однак, недостатній рівень показників пластичності (5,8-8,5%) та низької ударної в'язкості за температур мінус 40°C та мінус 60°C значно звужують область застосування чавуну для виробництва деталей машин та обладнання, що експлуатуються в умовах динамічних навантажень при низьких температурах. Низький рівень холодостійкості відомого чавуну обумовлений високим вмістом кремнію (до 3,5%) та хрому (до 0,25%). Підвищення вмісту кремнію в чавуні супроводжується утворенням в його структурі твердого та малопластичного силікофериту. За вмісту кремнію біля 3,5% в чавуні значно знижується пластичність і, особливо, ударна в'язкість навіть при кімнатних температурах. Характерними для чавуну феритного класу (до якого відноситься чавун по А.С. 985120) являється те, що при вмісті кремнію більше 2,8% він може мати високі показники пластичності і міцності, але дуже низьку холодостійкість за температур мінус 40°C і нижче (ударна в'язкість менше 20Дж/см²). Негативний вплив кремнію в чавуні на ударну в'язкість посилюється високим вмістом вуглецю (3,38-3,95%), що унеможливає застосування його, як холодостійкого матеріалу за температур нижче мінус 30°C.

Навіть легування чавуну нікелем (0,26-0,85%) та міддю (0,005-0,15%), які в деякій мірі зміцнюють металеву основу, не в повній мірі усуває крихкість чавуну (особливо за температур нижче мінус 40°C) внаслідок утворення карбідної складової, що виділяється по межах зерен. Вказаний в наведеному

А.С. вміст міді (0,005-0,15%) практично не впливає на зміну параметрів структури при нижньому вмісті нікелю (0,26%), а за вмісту нікелю 0,85% дія міді підсилюється графітизуючим та перлітизуючим ефектом нікелю, що веде до зниження пластичності та ударної в'язкості при підвищенні міцності.

Метою винаходу, що пропонується, являється підвищення пластичності та ударної в'язкості чавуну з кулястим графітом та підвищення його холодостійкості до температур мінус 60°C.

Поставлена мета досягається тим, що чавун, який містить вуглець, кремній, марганець, нікель, магній, церій, кальцій алюміній, фосфор, залізо, згідно з корисною моделлю, додатково містить ванадій та кобальт при наступному співвідношенні компонентів (мас. ч. %):

вуглець	2,8-3,25
кремній	2,0-2,5
марганець	0,3-0,45
нікель	0,35-0,75
магній	0,025-0,06
рідкоземельні метали (церієвої групи)	0,005-0,05
кальцій	0,005-0,05
алюміній	0,01-0,1
ванадій	0,15-0,3
кобальт	0,1-0,15
фосфор	0,02-0,07
залізо	решта.

Чавун містить як неминучі домішки: сірка - не більше 0,01%, хром - не більше 0,1%.

Вказані в меті винаходу властивості чавуну забезпечуються феритною металевою основою, зміцненою ванадієм, нікелем та кобальтом. Механічні властивості чавуну з кулястим графітом багато в чому визначаються системою легування та складом сфероїдизуючого модифікатору. Особливо це позначається на показниках пластичності та ударної в'язкості. Поєднання легування та модифікування комплексними модифікаторами призводить до підвищення пластичності чавуну, що пов'язано не тільки зі збільшенням феритної складової структури, але і високою рафінуючою здатністю складових модифікатору (кальцію і РЗМ) та рівномірністю розподілу легуючих (нікелю, ванадію, кобальту) в структурних складових матриці. Введення до складу чавуну ванадію (0,15-0,3%) дозволяє зміцнити металеву основу, збільшити опір руйнуванню чавуну під дією ударних навантажень. В той же час ванадій є одним із карбідоутворюючих елементів. Тому при вмісті ванадію більше 0,3% можуть утворюватись карбіди, які спричиняють падіння показників пластичності та в'язкості руйнування чавуну. При вмісті ванадію менше 0,15% кількість його недостатня для зміцнення металевої основи чавуну та ефективного підвищення його ударної в'язкості, в тому числі при низьких температурах.

До складу чавуну введено кобальт (0,1-0,15%), який при сумісній дії комплексних модифікаторів, сприяє усуненню карбідів та збільшенню феритної складової структури. В цьому випадку не проявляється карбідоутворююча дія ванадію (за його вмісту 0,15-0,3%).

Механізм впливу цих елементів (ванадію, кобальту, нікелю) в комплексі, головним чином, по-

лягає в легуванні металевої основи і подрібненні продуктів розпаду аустеніту. Підвищення пластичних та ударних властивостей пов'язано зі збільшенням дисперсності структури, рівномірністю розподілу легуючих в структурних складових і їх зміцнення, сфероїдизацією неметалевих включень, усуненням структурно-вільних карбідів, які виділяються по межах зерен.

Співвідношення легуючих вибрано на основі аналізу металографічних досліджень по їх впливу на структуроутворення в чавуні з кулястим графітом зі отупінню евтектичності 0,85-0,95. За вмісту менше 0,35% нікелю, 0,1% кобальту та 0,15% ванадію їх ефективність впливу на зміну параметрів структури мало помітна, а при вмісті більше верхньої межі (0,75%Ni, 0,15%Co, 0,3%V) в структурі збільшується кількість перлітної складової, що призводить до зменшення показників пластичності і ударної в'язкості та зростання міцності і твердості.

Сумісне легування чавуну кобальтом і ванадієм суттєво підвищує ефективність впливу на підвищення пластичних властивостей, в тому числі холодостійкості, усуваючи крихкість, яка виникає при легуванні тільки ванадієм (за його вмісту на верхній межі 0,3%).

Алюміній, який міститься в чавуні (0,01-0,1%), не впливає суттєво на механічні властивості, але дозволяє збільшити щільність металу, зменшити кількість підкоркових газових раковин, що утворюються при виготовленні виливків в сирих пісчано-глинистих формах. Підвищення вмісту алюмінію більше 0,1% зменшує рідкоплинність розплаву. Можливе утворення в виливках плівок, які знижують механічні властивості, погіршують товарний вигляд виливків. При вмісті алюмінію менше 0,01% його дія не виявлена.

Обмеження по вмісту фосфору в чавуні (не більше 0,07%) пояснюється тим, що він може знаходитись в евтектиці. Легкоплавка (935°C) потрібна евтектика (6,89%P, 1,96%C і 91,15%Fe) розміщується в вигляді суцільної сітки навколо зерен аустеніту і тим самим призводить до крихкості чавуну. Така евтектика може утворюватись навіть при 0,09% фосфору за сповільненої кристалізації виливка. За сповільненого охолодження в інтервалі температур 600-450°C виливків із чавуну з кулястим графітом з високим вмістом фосфору різко зменшується його ударна в'язкість при відносно високій пластичності. Особливо знижується холодостійкість чавуну. Нижня межа вмісту фосфору (0,02%) обмежується складом вихідних вітчизняних шихтових матеріалів. Технологічний процес видалення фосфору із розплаву (особливо при виплавці в індукційних печах) надто трудомісткий і економічно недоцільний.

Магній, рідкоземельні метали та кальцій являються рафінуючими та сфероїдизуючими елементами і їх співвідношення вибрано із умови одержання чавуну з високою отупінню сфероїдизації графіту, глибокої дегазації та рафінування розплаву, усунення демодифікуючого впливу шкідливих домішок.

Сірка і хром в складі чавуну, що пропонується, є шкідливими домішками і їх вміст визначається складом шихтових матеріалів або проведенням додаткових технологічних операцій при плавці

(десульфурації при високому вмісті сірки). Підвищений вміст хрому в чавуні (більше 0,1%) не допускається внаслідок утворення комплексних карбідів, які різко знижують ударну в'язкість, холодостійкість та пластичність чавуну.

Вуглець і кремній - основні елементи чавуну, які відіграють вирішальну роль в формуванні структури металевої матриці чавуну. Їх співвідношення та кількісний склад визначені, виходячи із умов формування металевої матриці без структурно-вільних карбідів.

Відомо, що підвищений вміст кремнію (більше 2,5%) негативно впливає на холодостійкість чавуну, різко знижуючи показники його ударної в'язкості при мінусових температурах. В той же час при вмісті кремнію менше 2,0% і вуглецю менше 2,8% зростає вірогідність формування карбідно-цементної складової в структурі чавуну при сфероїдизуючому модифікуванні, особливо в тонкостінних виливках. Підвищений вміст вуглецю (більше 3,25%) та кремнію (більше 2,5%) позитивно впливають на формування феритної структури в виливках, але дещо знижують пластичність і значно зменшують холодостійкість чавуну.

Проведена дослідно-промислова перевірка чавуну складу, що пропонується. Вихідний чавун виплавляли в індукційній печі ІСТ016. В якості шихтових матеріалів використовували відходи сталей 20, 25, 08КП, електротехнічних сталей 2112, 2211 і ін., нікель гранульований НЗ, кобальт металічний К1, ферованадій ФВд 48УО. Навуглецювання проводили графітовим порошком в процесі плавки. Насичення розплаву кремнієм здійснювали після досягнення необхідного вмісту вуглецю в розплаві. Легуючі вводили в розплав після його перегріву до 1450°C. В випадку використання легуючих в вигляді порошоків їх вводили сумісно з сфероїдизуючими модифікаторами ФСМг7 з РЗМ або ЖКМК2Р. Сфероїдизуюче модифікування проводили відомими методами "сендвіч-процес" або "інмолд-процес". Графітизуюче (вторинне) модифікування проводили феросиліцієм ФС75 фракції 2-4мм. Температура модифікування 1450±10°C. Одночасно з дослідними виливками, в відповідності до ДСТУ 3925-99, були відлиті заготовки зразків для визначення механічних властивостей, в тому числі холодостійкості. Виливки разом із заготовками надавали короткочасному феритизуючому відпалу. Із заготовок виготовляли зразки для визначення показників міцності, пластичності та ударної в'язкості. Ударну в'язкість визначали на зразках без надрізу (КС) та з U - подібним надрізом (КСU).

Визначення показників механічних властивостей чавуну, що заявляється, та чавуну-прототипу проведено згідно ГОСТ 1497-84 "Металлы. Методы испытаний на растяжение" та ГОСТ 9454-78 "Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах". Випробування для визначення показників тимчасового опору при розтягуванні (σ_B), умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$), відносного подовження (δ) виконані на універсальній розривній машині ЦДМУ-30т, для визначення показників ударної в'язкості - на копрі маятниковому МК30А. При випробуванні за низьких температур зразки охоло-

джували в термостаті в суміші вуглекислоти ("сухий лід") та етилового спирту (мінус 40°C) та в суміші рідкого азоту і етилового спирту (мінус 60°C).

Хімічний склад та властивості чавуну дослідних плавков наведені в Таблицях 1, 2, 3.

Склад 1 - чавун-прототип, 2, 3, 4 - чавун, що пропонується.

Як видно із Таблиць 2, 3 чавун, що пропонується, має більш високі показники пластичності та ударної в'язкості в інтервалі температур від плюс 20°C до мінус 60°C в порівнянні з відомим при близьких значеннях міцності і твердості.

При вмісті компонентів в кількостях, що відрізняються від запропонованого складу, спостеріга-

ється зниження показника ударної в'язкості за низьких температур (холодостійкості). Особливо це показово при випробуванні зразків з надрізом.

Більш висока пластичність та ударна в'язкість за низьких температур (холодостійкість) дозволяють рекомендувати чавун для виготовлення литих деталей автомобілів, сільгосптехніки і іншого обладнання, що експлуатується в умовах динамічного навантаження за низьких температур.

Впровадження цього чавуну може дати значний техніко-економічний ефект за рахунок використання більш дешевих шихтових матеріалів (відходи сталі), зменшення металоємності виробів та енерговитрат при виробництві, збільшення експлуатаційної надійності машин та обладнання.

Таблиця 1

Хімічний склад чавуну з кулястим графітом дослідних плавков

Чавун	Хімічний склад, мас. частка %														
	C	Si	Mn	Ni	Mg	PЗМ (Ce)	Ca	Al	V	Co	P	Cr	S	Ti	Cu
Запропонований 1	3,25	2,0	0,45	0,35	0,025	0,03	0,05	0,01	0,3	0,15	0,07	0,1	0,01	-	-
2	3,00	2,25	0,39	0,75	0,06	0,005	0,005	0,05	0,20	0,12	0,06	0,073	0,09	-	-
3	2,8	2,5	0,3	0,5	0,036	0,05	0,03	0,10	0,15	0,1	0,02	0,06	0,007	-	-
Відомий	3,5	3,2	0,55	0,6	0,03	0,024	0,002	0,10	-	-	0,055	0,15	0,011	0,04	0,15

Таблиця 2

Механічні властивості чавуну дослідних плавков

Чавун	Механічні властивості			
	Тимчасовий опір при розтягуванні σ_B , МПа	Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Відносне подовження δ , %	Твердість НВ, МПа
Запропонований 1	560	433	21,0	179
2	586	458	20,6	169
3	602	484	23,0	171
Відомий	624	490	8,0	187

Таблиця 3

Ударна в'язкість чавуну дослідних плавков

Чавун	Ударна в'язкість (Дж/см ²) за температури (°C)					
	+20	-40	-60	+20	-40	-60
	Зразки без надрізу (КС)			Зразки з надрізом (КСУ)		
Запропонований 1	128	75	57	24	20	18
2	144	124	63	34	29	24
3	151	122	65	33	31	28
Відомий	95	43	25	19	14	3