



УКРАЇНА

(19) UA (11) 3671 (13) U  
(51) 7 C21B3/00, 22C37/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) МАРГАНЦЕВИЙ ЧАВУН

1	2
(21) 2004020827	вуглець 3,2-4,0
(22) 05.02.2004	кремній 1,6-3,0
(24) 15.12.2004	марганець 8,0-12,5
(46) 15.12.2004, Бюл. № 12, 2004 р.	нікель 0,5-1,2
(72) Колесніков Валерій Олександрович, Балицький Олександр Іванович	мідь 1,0-3,0
(73) СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛА	алюміній 0,4-1,2
(57) Марганцевий чавун, що містить вуглець, кремній, марганець, нікель, мідь, алюміній, хром і залізо, який відрізняється тим, що додатково легований титаном, молибденом, кальцієм та фосфором при наступному співвідношенні компонентів, в %:	хром 0,1-1,2
	титан 0,1-0,5
	молибден 0,1-0,3
	кальцій 0,01-0,1
	фосфор 0,1-0,4
	залізо решта,
	як домішки чавун містить сірку в кількості до 0,01%.

Корисна модель відноситься до металургії та машинобудування, зокрема до вишукування зносостійких чавунів, для виготовлення деталей, що працюють в парах тертя метал-метал (втулки, втулки-направляючі та ін.). Відомий чавун наступного хімічного складу, в. % :

Вуглець	3,5-6,0
Кремній	5,0-6,0
Марганець	8,0-10,0
Залізо	інше

Недоліками відомого чавуна є порівняно низькі механічні властивості, а також низька зносостійкість при сухому терті і терті зі змащенням. Найбільш близьким до винаходу по технічній сутності і результату, що досягається, є чавун наступного хімічного складу, в. %

Вуглець	3,0-4,0
Кремній	2,0-3,0
Марганець	8,0-12,0
Нікель	0,5-1,2
Мідь	1,0-3,5
Алюміній	0,8-1,2
Хром	0,1-1,0
Залізо	інше

Відомий чавун знаходить застосування як зносостійкий матеріал. В структурі цього чавуна присутня складнолегована ледебуритна евтектика, розташована по границях зерен, що сприятливо позначається на антифрикційних властивостях

чавуна, однак при роботі (особливо в умовах ударних навантажень) відбувається викрашування тендітних включень евтектичного цементиту, що приводить до передчасного зносу матеріалу. Крім того, у деяких випадках, через крупну „дендритну структуру” чавуна, дуже часто має місце „мікдендритний” характер руйнування, через це відомий чавун має низьку тріщиностійкість, що не завжди сприятливо у використанні його як конструкційного матеріалу. [1]

В основу корисної моделі поставлено задачу створення тріщиностійкого, та зносостійкого чавуну шляхом додаткового легування, що призведе до підвищення здатності матеріалу чинити опір крихкому руйнуванню.

Тріщиностійкість чавунів з високою конструкційною міцністю і в'язкістю руйнування, можна оцінювати критичним коефіцієнтом інтенсивності  $K_{IC}$ , що характеризує здатність матеріалу чинити опір крихкому руйнуванню.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення тріщиностійкого та зносостійкого чавуну, шляхом того, що його легуване іншими металами. Ця мета досягається, тим що чавун, що містить вуглець, кремній, марганець, нікель мідь, алюміній і залізо, додатково містить титан, молибден, кальцій, фосфор, при наступному співвідношенні компонентів в. % :

Вуглець	3,2-4,0
---------	---------

(13) U  
(11) 3671  
(19) UA

Кремній	1,6-3,0
Марганець	8,0-12,5
Нікель	0,5-1,2
Мідь	1,0-3,0
Алюміній	0,4-1,2
Хром	0,1-1,2
Титан	0,1-0,5
Молибден	0,1-0,3
Кальцій	0,01-0,1
Фосфор	0,1-0,4
Залізо	інше
Як домішки чавун містить сірку в кількості до 0,01%	

Мікроструктура запропонованого чавуна складається з аустенітної металевої матриці, а також графітних включень пластинчастої форми і комплексних карбідів.

Введення марганцю і нікелю сприяє аустенізації структури металевої матриці сплаву, що додає особливі в'язко-пластичні властивості і підвищує енергію руйнування. Зазначений вище вміст вуглецю, кремнію й алюмінію, та титану сприяє виділенню вуглецю у виді графіту. Легування чавуна титаном, міддю й алюмінієм поліпшує форму графіту. Уведення хрому, молибдену і титану сприяє зміцненню металевої матриці сплаву, та підвищує зносостійкість.

Вуглець у межах від 3,2 до 4,0% забезпечує гарні ливарні і механічні властивості. Збільшення концентрації вуглецю вище 4,0% погіршує морфологію графітної фази (з'являються крупні (великі) графітні включення, знижується тріщиностійкість, так як найчастіше „магістральна тріщина” розповсюджується між графітним включенням, та металевою матрицею, а в умовах тертя, існує ймовірність, що біля гострих кінців графітних включень будуть зароджуватись тріщини).

При вмісті марганцю менш 8,0% не забезпечується повна „аустенізація” структури металевої матриці. При вмісті марганцю понад 12,5%, можуть утворюватись як самостійні марганець-утримуючі фази, так і карбіди з високим вмістом цього елемента, що в цілому „окрихчує” чавун.

Введення нікелю допомагає одержати аустенітну металеву матрицю, тому що частина марганцю в процесі первинної кристалізації збіднює твердий розчин і переходить у карбіди. За даними локального хімічного мікроаналізу концентрація марганцю в первинних карбідах типу  $(Fe, Mn)_3C$  може коливатись у широкому інтервалі і досягати 60-65% Mn [3]. Інтервал 0,5-1,2% Ni сприяє аустенізації металевої матриці сплаву. Уведення нікелю понад 1,2% сприяє збільшенню наклепу деталей у процесі експлуатації, а також економічно недоцільно.

Концентрація кремнію 1,6-3,0% забезпечує найкраще сполучення пластичності і міцності чавуна. Але вибір концентрації, як кремнію, так і вуглецю залежить від товщини відливки.

Хром входить до складнолегованих карбідів, що підвищує зносостійкість, але введення хрому більш 1,2% спричиняє утворення карбідів (з'являється „карбідна сітка”), та „відбілювання” чавуна, а також знижується тріщиностійкість.

Кальцій допомагає рафінувати сплав, бо він має велику спорідненість до кисню і сірки, утво-

рюючи тугоплавкі окисли, чавун, модифікований кальцієм, містить меншу кількість газів, сірки і неметалічних включень. Модифікування кальцієм сприяє здрібнюванню зерен і „очищає” їхні границі (кордони), тим самим підвищуючи в'язкість і тріщиностійкість сплавів. Тому що зменшення кількості неметалічних включень сприяє зниженню ймовірності ініціювання тріщин. Введення кальцію повинно регулюватись в залежності від кількості сірки в чавуні, вміст якої теж треба намагатись обмежувати.

Введення фосфору призводить до того, що у чавунах зустрічається два види потрібної фосфідної евтектики: аустеніт + цементит + фосфід, а також аустеніт + графіт + фосфід. Фосфідна евтектика ефективно армує металеву основу чавуна. При розповсюдженні тріщин фосфідна евтектика гальмує їх розвиток. Якщо у сплаві фосфідна евтектика нерівномірно розподілена, то найчастіше зустрічається „міжзеренне” руйнування металевої матриці чавуна. Присутність фосфору подрібнює дендрити первинного аустеніту і розмір евтектичного зерна. Хром, марганець також помітно підвищують мікротвердість фосфідної евтектики. Крім того, збільшення зносостійкості запропонованого чавуна пов'язано з наявністю в структурі фосфідної евтектики, що володіє високим опором зносу. В умовах сухого тертя вона може нести на собі значну частину теплового навантаження, у порівнянні з аустенітною металевою матрицею і входить до складу вторинних структур, що сприяють зниженню інтенсивності зносу. В процесі граничного тертя при збільшенні навантаження вона також може сприймати тиск у парі тертя, і сприяє утворенню „кишень”, у яких затримується мастило (олива).

Титан у кількості 0,3 - 0,5%, може утворювати дисперсні карбіди, а також розчиняється у твердому розчині, що „в цілому” значно зміцнює сплав. Введення титану, подрібнює зерно, що допомагає забезпечити необхідний рівень властивостей. Поряд з цим титан подрібнює графітні включення і забезпечує більш рівномірне розташування в обсязі матриці. Зменшення у сплаві крупних графітових включень спричиняє зменшення ймовірності виникнення тріщин навколо графітних включень, як в умовах тертя, так і в умовах зовнішнього навантаження. Завдяки титану довжина графітових включень коливалась від 10-75мкм (без титану в сплаві спостерігались включення більш 100-350мкм в довжину). При підвищенні титану понад 0,5% спостерігається укрупнення цементитних карбідів, що приводить до охрупчівання структури. Також введення понад 0,5% титану не приводить до істотного підвищення зносостійкості сплаву, спостерігається зменшення кількості графіту і „відбілювання чавуна” збільшення кількості неметалічних включень гострокутної форми і несприятливому характеру розподілів, що знижує тріщиностійкість сплаву.

Молибден подрібнює зерно, та зміцнює сплав, підвищення його змісту більш 0,5% істотного впливу на властивості даного чавуна не робить й економічно недоцільно.

Використання в запропонованому чавуні підвищеного змісту міді дозволяє одержати високі механічні властивості та робить сприятливим

оброблюваність деталей. Мідь також поліпшує рідинотекучість сплавів і підвищує тріщиностійкість. Верхня межа обмежена з цієї причини, що мідь може виділятися у виді окремих фаз, що зменшує тріщиностійкість.

Перераховані особливості структури чавуна визначають його високі службові характеристики, а також технологічність сплаву, у тому числі і гарну механічну обробку на металорізальних верстатах, завдяки присутності графітних включень.

Випробування на зносостійкість проводили при терті ковзання без змащення ролик-колодочка на машині тертя СМЦ-2. Як матеріал використовували запропонований і відомий чавун. Ролик виготовляли зі сталі 40Х, загартованої до твердості HRC 52-55 од. Испити проводили при питомому тиску, рівному 1,9 МПа і швидкості ковзання 0,6 м/с. Пропонований чавун має наступні властивості:

Межа міцності при вигині, МПа  $\sigma_b = 250 - 540$   
Стріла прогину, відстань між опорами 300, мм  $f_{300} 1,6-3,6$   
Твердість по Брінелю 160 - 320 НВ  
Межа міцності МПа  $\sigma_b = 140 - 260$   
У таблиці приведені хімічний склад і зносостійкість пропонований і відомий чавун.

Таблиця

№ п/п	Чавун	Хімічний склад, ваг. %											Питомий знос г/см, за час випробування, 3 хв	K <sup>*</sup> <sub>1C</sub> , МПа $\sqrt{m}$
		C	Si	Mn	Ni	Cu	Al	Cr	Ti	Mo	Ca	P		
1.	Запропонований	3,2	1,8	8	0,5	1,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0398	55
2	Запропонований	3,6	2,6	10	0,8	2,0	0,8	0,6	0,3	0,2	0,05	0,2	0,0488	51
3	Запропонований	4,0	3,0	12,5	1,2	3,0	1,2	0,1	0,1	0,1	0,01	0,1	0,0544	48
4	Запропонований	3,2	2,0	8	0,5	2,5	0,4	1,0	0,5	0,3	0,1	0,4	0,0372	54
5.	Відомий [2]	4	3	12	1,5	3,5	1,2	1,0	-	-	-	-	0,3605	32
6.	Відомий [2]	3	2	8	0,5	1,0	0,8	0,1	-	-	-	-	0,0630	36

\* -K<sub>1C</sub>- тріщиностійкість „в'язкість руйнування”

Слід зазначити, що зменшення крупних графітових включень, завдяки дії модифікаторів, та зміцнення твердого розчину металічної матриці, а також рафінація межзерених кордонів, від неметалічних включень, завдяки кальцію дозволили значно підвищити як тріщиностійкість, так і зносостійкість досліджуваних сплавів. Деталі виготовлені з цих сплавів пройшли успішні випробування на підприємствах України (також як зносостійкі матеріали, що працюють у трибосполученнях, які змащуються оливою).

Зносостійкість розробленого сплаву в аналогічних умовах (тертя в оливі АС8) на 10 - 40% вище у порівнянні зі сплавами, що наведені у роботі [3]. Як аналог можна навести марганцевий чавун наступного хімічного складу:, в. %

Вуглець	3,1-3,2
Кремній	2,7-2,8
Марганець	9,0-12,0
Нікель	0,5-1,5
Мідь	2,1-2,3
Алюміній	0,5-1,5
Залізо	інше

Як домішки чавун містить сірку в кількості до 0,013 - 0,017%, та фосфор 0,11-0,15% [3].

Цей чавун має хімічний склад близький до заявленого чавуна, тому дані, наведені у таблиці дають можливість порівняти його зносостійкість з запропонованим чавуном в умовах тертя зі змащенням в аналогічних умовах. Аустенітна металева матриця значно підвищує опір руйнуванню K<sub>1C</sub> = 48...55 МПа  $\sqrt{m}$  (табл. ) у порівнянні з сірими чавунами з феритною, феритно-перлітною і перлітною

металевими матрицями, де значення K<sub>1C</sub> = 20...30 МПа  $\sqrt{m}$ , а для чавунів з вермикулярною та кулястою формою графіту (тими ж самими металевими матрицями) K<sub>1C</sub> = 30...70 МПа  $\sqrt{m}$  [4,5]. Значень K<sub>1C</sub> для чавунів зі структурою марганцевого аустеніту в літературі не знайдено. Є лише деякі дані для аустенітних нікелевих чавунів (2,0-17,0% Ni, 2,0 - 6,0% Mn) K<sub>1C</sub> = 30... 160 МПа  $\sqrt{m}$  [4, 6], але хімічні склади цих чавунів суттєво відрізняються від запропонованого.

Джерела інформації:

1. А. С. СССР № 460322, кл. С 22с 37/10. Опубликовано 15.02.75, Бюл. № 6. - 2 с.

2. А. С. СССР 1016391, М. Кл. 3 С 22с 37/10. Опубликовано 07.05.83, Бюл. № 17. -2с.

3. Лагута В. И., Шеремет А. Н., Хинчагов Г. В. Возможности высокомарганцевых графитизированных сплавов ГЦК-железа как материалов трибосопряжений. Ресурсозберігаючи технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: 3б. наук. пр. - Луганськ: видавництво СНУ. - 2002. – С. 276-282.

4. Структура та опір руйнуванню залізобуглецевих сплавів // Осташ О. П., Волчок І. П., Колотілін О. Б. та ін. - Львів: Національна академія наук України. Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка, 2001.-272 с.

5. Рост усталостной трещины в чугунах. II. Серый и ковкий чугуны // О. Н. Романив, А. Н. Ткач, Т.

Я. Юськів и др. // Фізико-хімічна механіка матеріалів, - 1990. - № 3. - с. 33 - 40.

6. Механические свойства высокопрочных чугунов для высоконагруженных деталей и конструкций // Механіка руйнування матеріалів і міцність

конструкцій / Зелений Б. Г., Шейко А. А., Остап О. П., Бондаревский В. Н., Андрейко И. М. (Вип. 2): В 3 - х т. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. - Львів: Камінь, 1999. - Т. 1. - С. 226-230.