

Корисна модель відноситься до металургії, зокрема до ливарних зносостійких сплавів для прокатних валків, що володіють високими механічними властивостями.

У даний час є актуальним застосування таких зносостійких сплавів як білі хромисті чавуни, що використовуються як матеріал для прокатних валків сортових і листових станів.

Відомий зносостійкий сплав [1], що містить вуглець, кремній, марганець, хром, вольфрам, тантал і залізо при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

Вуглець	2,0-2,4
Кремній	6,0-7,0
Марганець	0,1-0,6
Хром	2,0-3,0
Вольфрам	1,0-2,0
Тантал	0,3-0,5
Залізо	решта.

Даний зносостійкий сплав має високу жаростійкість, однак він має низьку твердість менш 60 HSD, що зв'язано з недостатньою кількістю спеціальних карбідів хрому $(Cr,Fe)_7C_3$. Це приводить до зменшення зносостійкості і скорочення термінів служби виробу, що не дозволяє його використовувати для прокатних валків.

Відомий зносостійкий сплав [2], що містить вуглець, кремній, марганець, хром, вольфрам, кобальт, алюміній, барій і залізо при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

Вуглець	2,5-3,5
Кремній	0,0015-0,15
Марганець	0,0015-0,05
Хром	16-22
Вольфрам	0,2-1,0
Кобальт	0,3-2,0
Алюміній	0,05-0,15
Барій	0,02-0,08
Залізо	решта.

У даному сплаві завдяки співвідношенню хрому та вуглецю 4,7-8,4 забезпечується вміст хромистих карбідів у кількості 28-33% у литому стані від загального обсягу металу, що сприяє підвищенню ударної в'язкості, твердості сплаву і зносостійкості виробів з цього сплаву.

Однак, такий сплав має у своєму складі мало кремнію і марганцю. Марганець і кремній у такій незначній кількості не сприяють здрібнюванню продуктів евтектичного перетворення. Крім того, у сплаві відсутні елементи, що зв'язують домішки і переводять їх у шлак, що знижує міцність сплаву.

Найбільш близьким по технічній сутності до технічного рішення, що заявляється, є зносостійкий сплав для прокатних валків, що містить вуглець, кремній, марганець, хром, молібден, мідь, ванадій і залізо [3]. Крім того, сплав містить бор і цирконій при наступному співвідношенні компонентів мас. %:

Вуглець	2,0-4,0
Кремній	0,5-1,5
Марганець	0,5-2,0
Хром	10,0-20,0
Мідь	0,5-2,5
Ванадій	0,3-1,0
Бор	0,05-0,10
Молібден	0,5-3,5
Цирконій	0,05-0,10
Залізо	решта.

Даний сплав має високу тріщиностійкість завдяки вмісту молібдену, що сприяє здрібнюванню карбідних включень.

Однак такий сплав містить до 4% вуглецю, що сприяє утворенню великої кількості карбідів цементитного типу. Слід відзначити, що при вмісті навіть понад 3% вуглецю вже утворюються голки заевтектичних карбідів, що знижує твердість і міцність сплаву при вигині і стиску. Крім того, сплав містить мідь, що в такій кількості не розчиняється в γ - Fe, а виділяється по границях зерен, що знижує його міцність.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого зносостійкого сплаву для прокатних валків, у якому шляхом введення додаткових компонентів і підбора оптимального співвідношення між компонентами сплаву досягається підвищення твердості, міцності і зносостійкості сплаву для прокатних валків.

Поставлена задача вирішується тим, що відомий зносостійкий сплав що включає вуглець, кремній, марганець, хром, молібден, мідь, ванадій і залізо, відповідно до корисної моделі, додатково містить вольфрам, магній і кальцій при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

Вуглець	2,6-3,0
Кремній	0,8-1,1
Марганець	0,8-1,5
Хром	15,0-18,0
Молібден	0,3-1,3
Ванадій	0,2-0,5
Мідь	0,1-0,8
Вольфрам	0,8-2,0
Магній	0,03-0,05
Кальцій	0,01-0,1
Залізо	решта.

При чому співвідношення сумарного вмісту марганцю, хрому, молібдену, ванадію, вольфраму до сумарного

вмісту вуглецю, кремнію, міді складає 3,5-6,2, а ступінь евтектичності сплаву знаходиться в межах 0,80-0,95.

Крім того, сплав додатково містить ніобій у кількості 0,1-0,2%, при цьому співвідношення між вольфрамом і ніобієм складає 6,7-10,0.

Як відомо, ступінь евтектичності сплаву певним чином впливає на твердість і міцність сплаву. При цьому висока твердість і міцність сплаву при вигині і стиску забезпечується одержанням евтектичної структури, яка формується при визначеному співвідношенні вмісту кремнію, хрому, марганцю і вуглецю. Як відомо, ступінь евтектичності визначається наступним співвідношенням:

$$S_c = \frac{\%C}{(4,3 - 0,3Si + 0,03Mn - 0,05Cr)}$$

Оптимальний ступінь евтектичності сплаву підбраний експериментальним шляхом і складає 0,80-0,95. Встановлено, що при ступені евтектичності менш 0,80 утворюється невелика кількість карбідів хрому типу $(Cr,Fe)_7C_3$, причому утворюються в основному карбіди цементитного типу $(Fe,Cr)_3C$, які не забезпечують задану твердість і міцність. При збільшенні ступеня евтектичності понад 0,95 з'являються крупні голки заевтектичних карбідів, що приводить до появи тріщин.

Важливим моментом в одержанні сплаву з заданим рівнем механічних властивостей є рівномірний розподіл карбідів у троосто - мартенситній матриці. Це досягається при визначеному співвідношенні між карбідоутворюючими елементами: марганцем, хромом, молібденом, ванадієм, вольфрамом і вуглецем, кремнієм та міддю. Карбідоутворюючі елементи сприяють утворенню спеціальних карбідів: $(Cr,Fe)_7C_3$, Mo, VC, WC, що рівномірно розподіляються в троосто - мартенситній матриці і сприяють одержанню сплаву евтектичного складу при заданому співвідношенні карбідоутворюючих елементів.

При цьому відношення сумарного вмісту марганцю, хрому, молібдену, ванадію, вольфраму до сумарного вмісту вуглецю, кремнію та міді рівне 3,5-6,2 є оптимальним для одержання троосто - мартенситної матриці з рівномірно розподіленими карбідами й одержання заданого рівня механічних властивостей. Зменшення відношення суми марганцю, хрому, молібдену, ванадію, вольфраму до сумарного вмісту вуглецю, кремнію та міді менш 3,5 приводить до появи крапкових включень графіту, що знижує механічні властивості сплаву. Збільшення даного співвідношення понад 6,2 сприяє появі великої кількості крупних голок заевтектичних карбідів.

Вміст у сплаві вуглецю в кількості 2,6-3,0% є оптимальним. Вміст вуглецю менш 2,6% приводить до зменшення кількості карбідів, і як наслідок, зниження твердості і міцності (Табл. 1), збільшення вмісту вуглецю понад 3,0% сприяє утворенню голок заевтектичних карбідів.

Вміст хрому 15,0-18,0% є оптимальним для одержання спеціальних евтектичних і дисперсних карбідів типу $(Cr,Fe)_7C_3$, що формуються у процесі дисперсійного твердіння, що забезпечує одержання заданого рівня твердості і міцності. При вмісті хрому менш 15,0% зменшується частка спецкарбідів $(Cr,Fe)_7C_3$ і кристалізується значна частка карбідів на базі цементиту $(Fe,Cr)_3C$, що знижують твердість і міцність. Збільшення вмісту хрому понад 18,0% підвищує частку залишкового аустеніту і приводить до появи тріщин при виробництві й експлуатації великих виливків для прокатних валків.

Вміст кремнію в кількості 0,8-1,1% забезпечує одержання зносостійкого сплаву. Вміст кремнію понад 1,1% приводить до появи в сплаві графітових включень, а нижче 0,8% - не забезпечує зносостійкість сплаву.

Марганець має атомний радіус одного порядку з атомним радіусом заліза. Тому він заміщає залізо в карбідах різного типу і тим самим, зміцнює їх, що підвищує міцність і твердість сплаву. Вміст марганцю в межах 0,8-1,5% є оптимальним, тому що вміст марганцю менш 0,8% не сприяє зміцненню карбідної фази, а при вмісті марганцю понад 1,5% приводить до утворення великої кількості MnC, що може робити сплав крихким.

Вміст молібдену в кількості 0,5-1,3% є оптимальним для одержання карбідів Me_7C_3 , легуваних молібденом і MoC. Найбільш ефективно комплексне легування хромистих сплавів: хромом, молібденом, марганцем і міддю. При збільшенні вмісту молібдену понад 1,3% відбувається укрупнення карбідів та істотно зростає вартість виробів, а при зменшенні кількості молібдену нижче 0,5% не забезпечується достатня кількість карбідів Me_7C_3 , легуваних молібденом і MoC.

Вміст ванадію в кількості 0,2-0,5% є оптимальним для одержання спеціальних карбідів VC і дроблення структури за рахунок додаткових центрів кристалізації. Вміст ванадію менше 0,2% не забезпечує утворення достатньої кількості карбідів VC, що знижує ступінь дроблення структури, а вміст більш 0,5% - приводить до утворення голок заевтектичних карбідів.

Вміст міді в сплаві в кількості 0,3-0,8% забезпечує підвищення пластичності сплаву. Зміст обмежують 0,8%, через обмежену розчинність у залізі. Вміст міді менш 0,3% не забезпечує підвищення пластичності.

Вміст вольфраму в сплаві 0,8-2,0% є оптимальним. Вольфрам входить до складу карбідів Me_7C_3 і утворює власні карбіди типу WC і тим самим підвищує твердість і міцність сплаву. Однак, при вмісті вольфраму понад 2,0%, карбідна фаза укрупнюється і може привести до утворення голок спеціальних карбідів. При вмісті вольфраму нижче 0,8% не забезпечується достатня кількість карбідів, що містять вольфрам.

Введення в сплав ніобію в кількості 0,1-0,2% дозволяє частково замінити вольфрам і молібден і одержати карбіди ніобію - Nb. Кількість ніобію обмежена 0,2%, тому що ніобій більш сильний карбідоутворюючий елемент, ніж вольфрам і молібден, тому при вмісті ніобію понад 0,2% відбувається збільшення крихкості сплаву. Вміст ніобію нижче 0,1% є недоцільним, тому що в такій кількості він не утворює карбіди ніобію.

Оптимальне співвідношення між вольфрамом і ніобієм складає 6,7-10,0. Зменшення цього співвідношення менше 6,7 приводить до того, що вміст вольфраму і ніобію не забезпечує одержання достатньої кількості карбідів вольфраму і ніобію, що знижує рівень твердості і міцності. При збільшенні співвідношення більш 10,0 утворюється досить велика кількість карбідів вольфраму і ніобію, що приводить до збільшення крихкості сплаву і появи тріщин.

Вміст магнію в кількості 0,03-0,05% забезпечує одержання глобулярної форми спеціальних карбідів марганцю, хрому, молібдену, ванадію і вольфраму, видалення шкідливих домішок і зниження стовпчатості литої структури, що формується, в умовах швидкої кристалізації, як наприклад, при відливанні робочого шару

двошарових валків. Вмісту магнію менш 0,03% не забезпечує одержання глобулярної форми карбідів, а при вмісті його понад 0,05% відбувається укрупнення карбідної фази, що приводить до погіршення механічних властивостей сплаву.

Модифікування кальцієм у кількості 0,01-0,1% застосовують для кращого засвоєння магнію й одержання глобулярної форми спеціальних карбідів марганцю, хрому, молібдену, ванадію і вольфраму. Модифікування кальцієм у кількості менш 0,01% не сприяє засвоєнню магнію, а при збільшенні кількості кальцію більш 0,1% збільшується частка неметалевих включень, що містять кальціймагнійові силікати, а також вольфрамат кальцію і молібдат, що приводить до погіршення механічних властивостей сплаву.

Корисна модель здійснюється таким чином.

В індукційну піч ємністю 200кг завантажують шихтові матеріали: сталевий брухт, FeSi (75%), мідь гідролізу, FeCr (72%), FeMn (45%), FeV (46%), FeW с невеликою кількістю Nb (у виді відходів), FeMo (55%) у наступній послідовності:

Легуючі елементи - хром, ванадій, молібден, вольфрам вводять у металозавалку. Після розплавлення шихти і перегріву сплаву до 1450-1500°C на дзеркало розплаву вводять кремній і марганець у виді 75% FeSi і 45% FeMn. Потім присаджують мідь гідролізу.

Магній у вигляді сфероїдируючої присадки (ЖКМК-5) і кальцій (у вигляді 20% SiCa) вводять на дно розливної ковша перед випуском рідкого металу з печі.

Температура заливання металу 1400-1420°C. Сплав розливають по ливарних формах. Отриманий сплав піддають отжигу при температурі 450-550°C.

Для експериментальної перевірки якості сплаву були відлиті чотири заготівлі з граничними й оптимальними співвідношеннями всіх інгредієнтів, а також одна заготівля з вмістом компонентів, що виходить за межі корисної моделі. Для проведення порівняльного аналізу, були відлиті три сплави з оптимальними співвідношеннями інгредієнтів по відомому сплаву (Табл. 1).

Механічні властивості (середні значення) приведені в Таблиці 2. Механічні властивості визначали по відомих методиках, випробували не менш трьох зразків по кожній оцінюваній характеристиці.

Таблиця 1

Характеристика складів сплавів, що виготовлені

Чавун	Хімічний склад, мас.%											Ступінь евтектичності	Співвіднош. Mn+Cr+Mo+V+W до C+Si+Cu	W/Nb
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Cu	W	Mg	Ca	Nb			
Запропонований 1	3,0	1,1	0,8	15,0	0,5	0,2	0,8	0,8	0,05	0,1	0,1	0,95	3,5	8
2	2,75	0,9	0,9	16,0	0,7	0,3	0,4	1,0	0,04	0,05	0,15	0,84	4,67	6,7
3	2,9	1,0	1,0	17,0	1,0	0,4	0,6	1,5	0,045	0,08	0,18	0,90	4,64	8,3
4	2,6	0,8	1,1	18,0	1,3	0,5	0,3	2,0	0,05	0,01	0,2	0,80	6,2	10
З вмістом компонентів, виход. за границі заявленого 5	2,5	0,7	0,7	19,0	1,4	0,6	0,2	2,1	0,04	0,02	0,09	0,79	7,0	23,3
Відомий [пат RU №2124066] 6	2,0	0,5	0,5	10,0	0,5	0,3	0,5	-	B 0,05	Zr 0,05	-	0,55	-	-
7	3,0	1,0	1,0	15,0	2,0	0,6	1,5	-	0,07	0,07	-	0,91	-	-
8	4,0	1,5	2,0	20,0	3,5	1,0	2,5	-	0,1	0,1	-	1,37	-	-

Таблиця 2

Характеристика механічних властивостей і кількості залишкового аустеніту в литому стані та після термічної обробки

№ п/п	До термічної обробки				Режим нагріву, °C	Після термічної обробки			
	Твердість, HSD	$\sigma_{\text{виг}}$, МПа	$\sigma_{\text{ст}}$, МПа	Кількість аустеніта, %		Твердість, HSD	$\sigma_{\text{виг}}$, МПа	$\sigma_{\text{ст}}$, МПа	Кількість аустеніта, %
Запропонований 1	77	985	2200	55	450	71	1010	2250	15
2	66	920	2010	45	450	65	980	2080	12
3	74	980	2090	50	500	70	1005	2100	11
4	64	860	1900	45	500	64	976	2000	10
З вмістом компонентів, виход. за границі заявленого 5	60	800	1865	44	400	60	1900	1800	35
Відомий [пат RU	62	780	1810	50	500	60	767	1805	35

№2124066] 6									
7	61	795	1860	55	450	60	790	1850	38
8	62	850	1880	51	500	65	820	1890	40

Як видно з Таблиць 1, 2, сплави №1-4 мають максимальну твердість і міцність. Сплави, з вмістом компонентів, що виходить за межі корисної моделі і сплави виготовлені по відомому технічному рішенню мають більш низький рівень механічних властивостей.

Як показали дані проведених іспитів, сплави отримані відповідно до корисної моделі, мають наступні значення (див. Табл. №2): у литому стані міцності $\sigma_{\text{виг}}$ - 860-985МПа, $\sigma_{\text{ст}}$ - 1900-2200МПа, а твердість 64-77 HSD, кількість залишкового аустеніту 45-55%; після отжигу: $\sigma_{\text{виг}}$ - 976-1010МПа, $\sigma_{\text{ст}}$ - 2000-2250МПа, твердість 64-71 HSD, кількість залишкового аустеніту 10-15%.

Згідно даним проведених лабораторних іспитів зносостійкий сплав, що заявляється, у литому стані має наступні переваги: твердість підвищилась в середньому на 12%; міцність на вигин збільшилася на 15%; міцність на стиск підвищилася на 5%. Після термічної обробки міцність на вигин підвищилася в середньому на 25%, на стиск - на 15%, кількість аустеніту зменшилась в середньому в 3 рази, а твердість підвищилась в середньому на 9%.

Отриманий зносостійкий сплав можна використовувати в литому стані і після термічної обробки.

Таким чином, корисна модель дозволяє одержати зносостійкий сплав для прокатних валків з поліпшеним комплексом механічних властивостей: підвищеною твердістю і міцністю, а також високою зносостійкістю прокатних валків.

Джерела інформації

1. Патент Російської Федерації №2012653 С1, опубл. 15.05.94, МПК⁶ 322С37/06;
2. Авторське посвідчення №1735386 А1, опубл. 23.05.92, МПК⁶ 322С37/06;
3. Патент Російської Федерації №2124066 С1, опубл. 27.12.98, МПК⁶ 322С37/10.