

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК. 669.15

В. В. НЕТРЕБКО

Каф. «Обладнання та технології зварювального виробництва», Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (050) 486 27 40, ел. пошта olgavn@ukr.net, ORCID 0000-0003-3283-0116

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗНОСОСТІЙКОГО ЧАВУНУ НА МІЖФАЗНЕ РОЗПОДІЛЕННЯ МАРГАНЦЮ ПІСЛЯ ВІДПАЛУ ЗА 690 °С

Мета. У роботі ми ставимо за мету отримати регресійні залежності концентрації марганцю в металевій основі зносостійкого високохромистого чавуну та коефіцієнта його розподілу між карбідами й основою від вмісту в чавуні С, Сг, Мп та Ні після відпалу за 690 °С. **Методика.** Щоб досягти мети досліджено чавуни, що містили 1,09...3,91 % С; 11,43...25,57 % Сг; 0,6...5,4 % Мп; 0,19...3,01 % Ні та 0,8...1,2 % Si. Для отримання достовірних результатів застосовано: аналітичний огляд публікацій, мікроструктурний та локальний мікрорентгеноспектральний методи, математичну статистику та регресійний аналіз отриманих залежностей. **Результати.** За допомогою використання методів математичної статистики отримано регресійні залежності розподілу марганцю між фазами та величини його концентрації в металевій основі чавунів від вмісту С, Сг, Мп та Ні після відпалу за 690 °С. Під час відпалу відбувався перерозподіл марганцю шляхом заміщення в карбідах його атомів на атоми хрому. Вплив хрому та нікелю суттєво змінювався відповідно до вмісту в чавуні марганцю. Мінімальні значення коефіцієнта розподілу марганцю 0,16 спостерігалися за мінімального вмісту вуглецю й марганцю та максимальної кількості хрому й нікелю. Максимальна концентрація марганцю в основі 5,79 % визначена за мінімального вмісту вуглецю й нікелю та максимального вмісту хрому й марганцю. Це дозволило визначити хімічні склади чавунів, що забезпечують необхідний вміст марганцю в металевій основі після відпалу за 690 °С. **Наукова новизна.** Отримано регресійні залежності вмісту марганцю в основі та коефіцієнта його міжфазного розподілу від вмісту в чавуні С, Сг, Мп та Ні після відпалу за 690 °С. **Практична значимість.** Визначені закономірності розподілу марганцю між фазами у високохромистих чавунах після відпалу за 690 °С можуть бути використані під час розробки нових складів зносостійких чавунів у системі Fe–C–Cr–Mn–Ni для виливок, що потребують термічної обробки.

Ключові слова: зносостійкий чавун; відпал; марганець; металева основа; карбіди; розподіл між фазами

Вступ

Використання високохромистих чавунів для деталей, які експлуатують в умовах інтенсивного абразивного та гідроабразивного зношування, обумовлено їх структурою та властивостями, що визначаються кількістю карбідної фази та станом металевої основи [1, 4, 9, 11, 16, 19]. Легування високохромистих чавунів марганцем сприяє утворенню мартенситних або аустенітно-мартенситних структур, що суттєво підвищує зносостійкі властивості цих матеріалів

у різних умовах експлуатації [13, 16]. Утворення конкретного типу структури металевої основи визначається концентрацією в ній марганцю [16]. Марганець має здатність до утворення карбідів та посідає проміжне місце між хромом і залізом за спорідненістю до вуглецю. Таким чином, марганець одночасно міститься як у металевій основі, так і в карбідах. У процесі термічної обробки відбувається перерозподіл елементів між карбідами та основою, що обумовлено утворенням метастабільних фаз під

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

час кристалізації. Кількість карбідів визначається вмістом вуглецю. Тип карбіду і, відповідно, його твердість залежать від співвідношення хрому та вуглецю.

Карбіди утворюються лише вуглецем, що не розчинений у металевій основі. Відповідно до цього зміни в розчинності вуглецю в металевій основі впливають не тільки на кількість карбідної фази, а й на тип карбіду. За утворення феритної основи майже весь вуглець міститься в карбідах. За утворення аустеніту частина вуглецю (до 2 %) може міститися у твердому розчині, що суттєво зменшує кількість карбідів та може призвести до зміни їх типу. З іншого боку, за утворення аустеніту можливе мартенситне перетворення, що збільшує твердість основи до 1 100 HV₅₀ [4, 8]. Отже, зміни в розчинності вуглецю в металевій основі впливають як на її стан, так і на кількість карбідної фази, відповідно, і на розподіл елементів.

До елементів, що суттєво впливають на розчинність вуглецю в металевій основі та її стан, належать хром, марганець і нікель. Нікель сприяє утворенню аустеніту та зменшує розчинність вуглецю в основі, але він не входить до складу карбідів, що утворюються у високохромистих чавунах, тому за термічної обробки не відбувається його перерозподілу. Вплив марганцю на структуру та властивості високохромистих чавунів полягає у його природі. Він сприяє і утворенню аустеніту, і збільшенню в ньому розчинності вуглецю. Дані про вплив хімічного складу чавуну на розподіл марганцю між фазами в литому стані наведено в роботі [14]. Відношення вмісту марганцю в карбідах до його кількості у сталях становить 4:1 [5].

За кристалізації утворюються фази (карбіди та дендрити) з хімічною і структурною неоднорідністю [15]. У процесі охолодження виливків у формі відбувається перерозподіл елементів, що може негативно вплинути на експлуатаційну стійкість деталей. Вміст марганцю в чавуні впливає на концентрацію хрому в зонах біля карбідів. За збільшення вмісту марганцю в чавуні концентрація хрому в зонах біля карбідів зменшується [17]. Вміст марганцю в карбідах зменшується внаслідок заміщення атомів марганцю атомами хрому. Утворення зон, збідне-

них хромом, негативно впливає на експлуатаційну стійкість деталей.

На розподіл елементів між фазами впливають різні фактори [3, 10]. Термічна обробка (відпал) впливає на напружений стан виливків, сприяє утворенню більш стабільних фаз, призводить до перерозподілу елементів між фазами та змінює напружено-деформаційний стан металеві основи навколо карбідів, що суттєво змінює властивості чавунів [6, 7, 12, 18, 20]. Отже, на розподіл та перерозподіл марганцю між фазами впливають: хімічний склад чавуну; термічна обробка; стан металеві основи та розчинність у ній вуглецю з відповідними змінами в кількості карбідів.

Мета

Ураховуючи вищезгадане, метою дослідження є отримання залежності концентрації марганцю в металевій основі зносостійкого високохромистого чавуну та коефіцієнта його розподілу між карбідами й основою від вмісту в чавуні С, Cr, Mn та Ni після відпалу за 690 °С.

Методика

Для отримання достовірних даних проведено аналітичний огляд вітчизняних і світових публікацій із розподілу марганцю у високохромистих чавунах після термічної обробки. Плавлення чавунів виконано в печі ІСТ-0,06 із кислим футеруванням. Для підвищення точності хімічного складу чавунів, використаних у плані експерименту, попередньо виплавлено модельні сплави, у які додано легувальні елементи з урахуванням вигару. Чавун розлито за температури 1 390...1 410 °С. Маса виливку становила 50 кг. Зразки чавунів досліджено у стані литва без ТО та після відпалу за 690 °С з витримкою 9 год та охолодженням у печі. Зразки для металографічних досліджень виготовлено відповідно до стандартних методик [2] та оброблено реактивом Марбле. Хімічний склад металеві основи й карбідів визначено в локальних точках на мікроскопі РЕМ–106И. Розподіл марганцю між фазами після відпалу за 690 °С з витримкою протягом 9 годин визначено через коефіцієнт розподілу (K_{Mn}^{690}), що вираховано

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

як співвідношення концентрації марганцю в карбідній фазі (Mn_K^{690}) до його вмісту в металевій основі (Mn_O^{690}):

$$KP_{Mn}^{690} = Mn_K^{690} / Mn_O^{690}$$

Обробку результатів дослідження виконано з використанням методів математичної статистики й активного планування експерименту. Побудову математичних залежностей проведено відповідно до рівнів та інтервалів варіювання факторів, наведених у табл. 1. Загальна кількість досліджень становила 21, із яких 5 – на нульовому рівні.

Таблиця 1

Матриця дробового планування факторного експерименту 2^{4+1}

Table 1

Matrix of fractional factorial experiment planning 2^{4+1}

Рівні варіювання факторів		Змінні фактори, mass. %			
		C (X_1)	Cr (X_2)	Mn (X_3)	Ni (X_4)
Базовий	0	2,5	18,5	3,0	1,6
Інтервал	Δ	1,0	5,0	1,7	1,0
Зоряне плече	1,414 Δ	1,41	7,07	2,4	1,41
Верхні рівні	+1	3,5	23,5	4,7	2,6
	+1,414	3,91	25,57	5,4	3,01
Нижні рівні	-1	1,5	13,5	1,3	0,6
	-1,414	1,09	11,43	0,6	0,19

Модель досліджуваних залежностей подано у вигляді полінома другого ступеня. Регресійні залежності отримано з використанням методу мінімізації квадратів відхилень функції. Дисперсійний аналіз отриманих залежностей проведено відповідно до стандартних методик із використанням критеріїв Фішера, Стюдента та

Кохрена. Значення цих критеріїв відповідали табличним даним. Довірча ймовірність (P) становила 0,95, а рівень значущості (q) – 0,05.

Результати

За результатами математичної обробки експериментальних даних отримано регресійні залежності вмісту марганцю в основі (Mn_O^{690}) та коефіцієнта його розподілу між фазами (KP_{Mn}^{690}) від вмісту в чавуні C, Mn, Cr і Ni після відпалу:

$$\begin{aligned} Mn_O^{690} = & 0,707 - 0,207C + 1,09Mn + 0,38Cr - \\ & - 0,261Ni - 0,015MnCr + 0,10MnNi - \\ & - 0,043(Cr/C), \text{ mass \%} \\ KP_{Mn}^{690} = & 0,119C + 0,1Mn - 0,145Cr - 0,242Ni - \\ & - 0,001Mn^2 + 0,003Cr^2 + 0,058Ni^2 - \\ & - 0,008CrC + 0,003CrNi + 2,351. \end{aligned}$$

Дані рівняння є математично ймовірнісними відповідно до критеріїв Стюдента, Фішера і Кохрена. Склади чавунів, у яких утворюються мінімальні й максимальні значення функцій Mn_O^{690} та KP_{Mn}^{690} , представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Мінімальні й максимальні значення функцій Mn_O^{690} та KP_{Mn}^{690}

Table 2

Minimum and maximum values of functions Mn_O^{690} and KP_{Mn}^{690}

Функція	Рівень	Вміст у чавуні, mass. %				
		C	Mn	Cr	Ni	
Mn_O^{690}	min	0,37	1,09	0,60	11,43	3,01
	max	5,79	1,09	5,40	25,57	0,19
KP_{Mn}^{690}	min	0,16	1,09	0,60	25,57	3,01
	max	2,48	3,91	0,60	11,43	0,19

Аналіз табл. 2 показує, що максимальний вміст марганцю в основі забезпечується за мінімального вмісту вуглецю й нікелю та максимальної кількості хрому й марганцю. Це пояс-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

нюється тим, що за вмісту 1,09 % С утворюється мінімальна кількість карбідної фази, що збільшує вміст марганцю в основі. Максимальна концентрація хрому (25,57 %) в чавуні сприяє тому, що в разі відпалу за 690 °С значна кількість марганцю в карбідах заміщується хромом. Вплив нікелю на концентрацію марганцю в основі полягає в тому, що зростання вмісту в чавуні нікелю зменшує розчинність вуглецю в металевій основі, унаслідок чого збільшується кількість карбідної фази, яка розчинює марганець у значній кількості. Відповідно до цього, чим менше нікелю в чавуні (0,19 %), тим більше марганцю міститься в металевій основі.

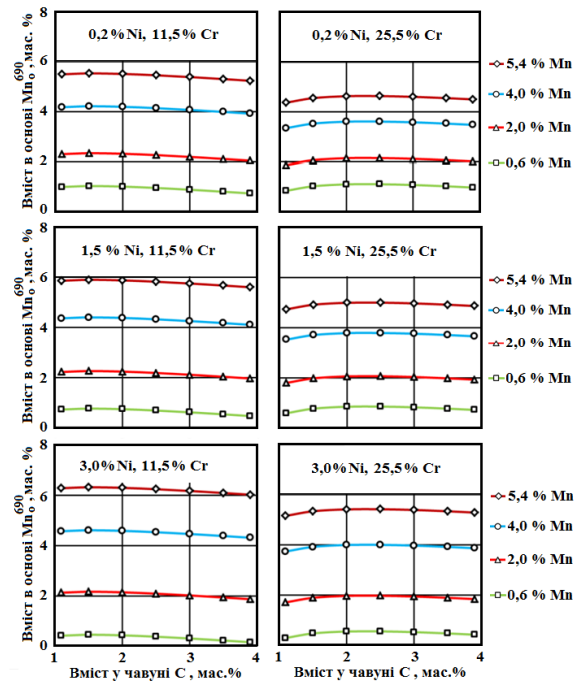
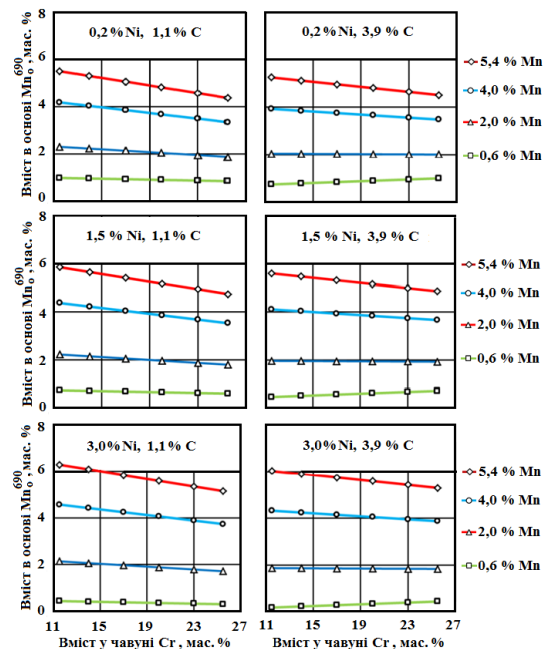
Збільшення кількості марганцю в чавуні (до 5,4 %) призводить до зростання аустенітної складової в металевій основі і стабілізації аустеніту. Утворення стабільного аустеніту з максимальною розчинністю вуглецю зменшує кількість карбідної фази. За таких умов чим більше в чавуні марганцю, тим більша його концентрація в металевій основі.

Наведений механізм впливу хімічного складу чавуну на кількість марганцю в металевій основі пояснює те, що мінімальна концентрація марганцю в основі після відпалу утворюється за мінімального вмісту С (1,09 %), Cr (11,43 %) і Mn (0,6 %) та максимальної кількості Ni (3,01 %).

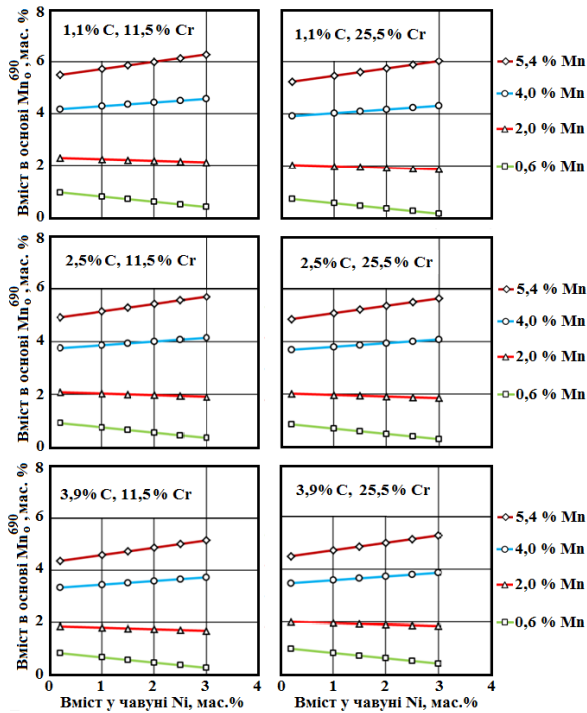
Вплив вмісту в чавуні С, Mn, Cr і Ni після відпалу за 690 °С, за мінімальних та максимальних концентрацій цих елементів, згідно з планом дослідження наведено на рис. 1, 2 і 3.

Особливість впливу вуглецю на концентрацію марганцю в основі полягає в тому, що збільшення вмісту вуглецю сприяє не тільки утворенню аустеніту, унаслідок чого збільшується концентрація марганцю в основі, а й змінює тип карбіду.

За вмісту в чавуні 1,09 % С утворюються карбіди M_7C_3 , а понад 2,0 % С – карбіди M_3C . У системі Fe–C–Cr карбіди $(Cr,Fe)_7C_3$ розчиняють до 55 % хрому, а карбіди $(Fe,Cr)_3C$ – до 20 %. За даними [5], карбіди M_3C можуть розчинити до 30 % Mn. Відповідно збільшення частки карбідів M_3C зменшує вміст Mn в основі (див. рис. 1).

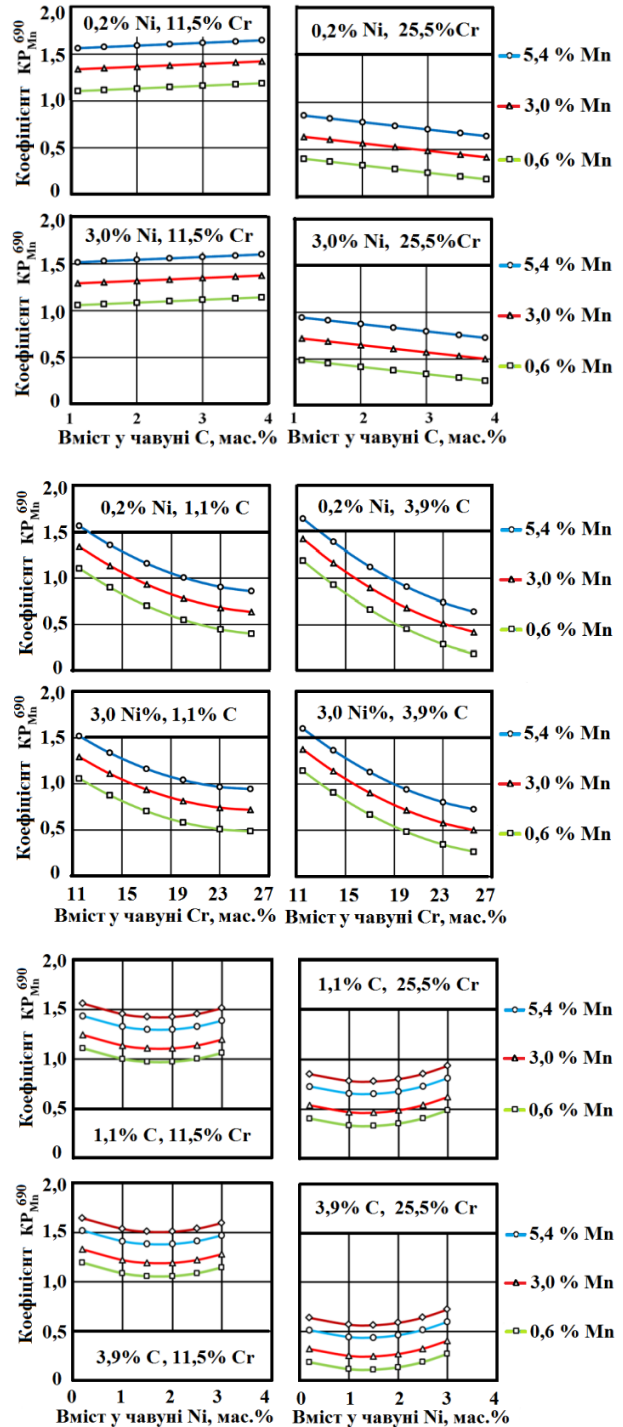
Рис. 1. Вплив С, Cr, Mn та Ni на вміст Mn_{O}^{690} Fig. 1. The effect of C, Cr, Mn and Ni on the content of Mn_{O}^{690} Рис. 2. Вплив С, Cr, Mn та Ni на вміст Mn_{O}^{690} Fig. 2. The influence of C, Cr, Mn and Ni on the content of Mn_{O}^{690}

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Рис. 3. Вплив C, Cr, Mn та Ni на вміст Mn_O^{690} Fig. 3. The effect of C, Cr, Mn and Ni on the content of Mn_O^{690}

Аналіз впливу хімічного складу чавуну на коефіцієнт розподілу марганцю між фазами (KP_{Mn}^{690}) після відпалу за $690^\circ C$ підтвердив механізм впливу елементів наведений вище (рис.4).

Слід зауважити, що за низького вмісту хрому (11,5 %) у чавуні утворювалися карбіди цементитного типу (M_3C), які розчиняли значну кількість марганцю, що призводило до зниження його концентрації в основі. Відповідно до цього зростання вмісту вуглецю за 11,5 % хрому зменшувало вміст Mn в основі ($KP_{Mn}^{690} > 1$), а за 25,5 % хрому – збільшувало ($KP_{Mn}^{690} < 1$). Вплив нікелю обумовлений його природою. За вмісту до 1,5 % нікелю переважала його здатність утворювати аустеніт, що збільшувало вміст марганцю в основі, відповідно, коефіцієнт KP_{Mn}^{690} зменшився. За збільшення вмісту нікелю понад 1,5 % посилилася його здатність зменшувати розчинність вуглецю в металевій основі, що сприяло утворенню карбідної фази зі значним вмістом марганцю, і коефіцієнт KP_{Mn}^{690} збільшився.

Рис. 4. Вплив C, Cr, Ni та Mn на коефіцієнт розподілу марганцю між фазами KP_{Mn}^{690} Fig. 4. The influence of C, Cr, Ni and Mn on the manganese distribution coefficient between phases KP_{Mn}^{690}

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Наукова новизна та практична значимість

Отримані регресійні залежності вмісту марганцю в основі та коефіцієнта його міжфазного розподілу від вмісту в чавуні С, Cr, Mn та Ni після відпалу за 690 °С дозволяють прогнозувати вміст марганцю в металевій основі виробів із високохромистого чавуну, що потребують термічної обробки.

Вміст марганцю в металевій основі чавуну та величина коефіцієнта його розподілу після відпалу визначаються процесами перерозподілу елементів, що залежать від взаємодії С, Cr, Ni та Mn, а також від їх кількісного вмісту.

Отримані закономірності розподілу Mn між фазами у високохромистих чавунах після відпалу за 690 °С можуть бути використані під час

розробки нових складів зносостійких чавунів у системі Fe–C–Cr–Mn–Ni для виливок, що потребують термічної обробки.

Висновки

1. Вплив С, Cr, Mn та Ni на вміст марганцю в основі чавуну та коефіцієнт його розподілу після відпалу мають протилежні прояви і залежать від кількісних показників вмісту конкретного елемента та їх сумісного впливу на процеси карбідоутворення й перерозподілу елементів під час термічної обробки.

2. Максимальна концентрація марганцю 5,79 % в металевій основі високохромистих чавунів після відпалу за 690 °С виникає за вмісту 1,09 % вуглецю, 5,40 % марганцю, 25,57 % хрому та 0,19 % нікелю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брыков М. Н., Ефременко В. Г., Ефременко А. В. *Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании*. Херсон : Гринь Д. С., 2014. 364 с.
2. Вакуленко І. О. *Структурний аналіз в матеріалознавстві*. Дніпропетровськ: Маковецький, 2010. 124 с.
3. Волчок И. П., Нетребко В. В. Влияние легирования и термической обработки на распределение элементов и свойства высокохромистых чугунов. *Науч. вестн. Донбас. гос. машиностр. акад. : сб. науч. тр.* 2015. № 3 (18Е). С. 52–59.
4. Гарбер М. Е. *Износостойкие белые чугуны*. Москва : Машиностроение, 2010. 280 с.
5. Гудремон Э. *Специальные стали*. Москва : Металлургия, 1966. Т. 1. 736 с.
6. Гуляев А. П., Гуляев А. А. *Металловедение*. Москва : Альянс, 2015. 544 с.
7. Евсеева Н. А., Мищенко В. Г. Изменение фазового состояния коррозионностойкой стали 03X17H3Г9МБДЮЧ при нагреве и охлаждении. *Строительство, материаловедение, машиностроение : Стародубовские чтения*. 2017. Вып. 95. С. 79–81.
8. Ефременко В. Г., Чабак Ю. Г. *Материалы триботехнического назначения : учебное пособие*. Мариуполь : ПГТУ, 2015. 245 с.
9. Ефременко В. Г., Чабак Ю. Г. *Формирование структуры в высокохромистых чугунах : монография*. Мариуполь : ПГТУ, 2016. 232 с.
10. Ефременко В. Г., Чейлях А. П., Козаревская Т. В., Шимидзу К., Чабак Ю. Г., Ефременко А. В. Межфазное распределение химических элементов в комплексно-легированном белом чугуне. *Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Серія : Технічні науки : зб. наук. пр.* 2014. Вып. 28. С. 89–99.
11. Кириллов А. А., Белов В. Д., Рожкова Е. В., Дядькова А. Ю., Зуев И. Е. Структурно и неструктурно чувствительные свойства хромистых чугунов. *Черные металлы*. 2007. № 9. С. 7–13.
12. Куцова В. З., Ковзель М. А., Гребенева А. В., Ратнікова І. В., Швець П. Ю. Вплив термічної обробки на зносостійкість та перерозподіл легуючих елементів у структурі чавуну 280×32н3ф в процесі зносу тертям. *Металургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 1. С. 72–80.
13. Малинов Л. С., Малинов В. Л. Износостойкие марганцовистые стали с метастабильным аустенитом. *Металлургические процессы и оборудование*. 2014. № 2. С. 19–24.
14. Нетребко В. В., Волчок И. П. Влияние химического состава чугуна на межфазное распределение Mn. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 6 (66). С. 115–123. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/90489>
15. Нетребко В. В. К вопросу образования карбидов Fe₃C и Fe₇C₃ в высокохромистых чугунах. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 3 (63). С. 138–147. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/7473>

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

16. Чейлях Я. А., Цуркан М. Л., Чейлях А. П. Функциональные материалы и технологии с эффектом самоупрочнения при эксплуатации и их экономическая эффективность. *Металл и литьё Украины*. 2017. № 1 (284). С. 20–29.
17. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2013. Vol. 58. Iss. 3. P. 895–897. DOI: <https://doi.org/10.2478/amm-2013-0095>
18. Efremenko V.G., Wu K.M., Chabak Yu. G., Shimizu K., Isayev O.B., Kudin V.V. Alternative Heat Treatments for Complex-Alloyed High-Cr Cast Iron Before Machining. *Metallurgical and Materials Transaction A*. 2018. Vol. 49. Iss. 8. P. 3430–3440. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4722-0>
19. Gierek A., Bajka L. *Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne*. Katowice : Slask, 1976. 230 p.
20. Zhang Y., Shimizu K., Yaer X., Kusumoto K., Efremenko V.G. Erosive wear performance of heat treated multi-component cast iron containing Cr, V, Mn and Ni eroded by alumina spheres at elevated temperatures. *Wear*. 2017. Vol. 390–391. P. 135–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.07.017>

В. В. НЕТРЕБКО

Каф. «Оборудование и технологии сварочного производства», Национальный университет «Запорожская политехника», ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (050) 486 27 40, эл. почта olgavn@ukr.net, ORCID 0000-0003-3283-0116

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ЧУГУНА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА ПОСЛЕ ОТЖИГА ПРИ 690 °С

Цель. В работе мы ставим цель получить регрессионные зависимости концентрации марганца в металлической основе износостойкого высокохромного чугуна и коэффициентам его распределения между карбидами и основой от содержания в чугуне С, Cr, Mn и Ni после отжига при 690 °С. **Методика.** Для достижения цели исследованы чугуны, содержащие 1,09...3,91 % С; 11,43...25,57 % Cr; 0,6...5,4 % Mn; 0,19...3,01 % Ni и 0,8...1,2 % Si. Для получения достоверных результатов применены: аналитический осмотр публикаций, микроструктурных и локальный микрорентгеноспектральный методы, математическая статистика и регрессионный анализ полученных зависимостей. **Результаты.** С помощью использования методов математической статистики получено регрессионные зависимости распределения марганца между фазами и величины его концентрации в металлической основе чугунов от содержания С, Cr, Mn и Ni после отжига при 690 °С. При отжиге происходило перераспределение марганца путем замещения в карбидах его атомов на атомы хрома. Влияние хрома и никеля существенно менялось в соответствии с содержанием в чугуне марганца. Минимальные значения коэффициента распределения марганца 0,16 наблюдались при минимальном содержания углерода и марганца и максимального количества хрома и никеля. Максимальная концентрация марганца в основе 5,79 % определена при минимальном содержании углерода и никеля, максимальном содержании хрома и марганца. Это позволило определить химические составы чугунов, обеспечивающие необходимое содержание марганца в металлической основе после отжига при 690 °С. **Научная новизна.** Получены регрессионные зависимости содержания марганца в основе и коэффициента его межфазного распределения от содержания в чугуне С, Cr, Mn и Ni после отжига при 690 °С. **Практическая значимость.** Выявленные закономерности распределения марганца между фазами в высокохромистых чугунах после отжига при 690 °С могут быть использованы при разработке составов износостойких чугунов в системе Fe–C–Cr–Mn–Ni для отливок, требующих термической обработки.

Ключевые слова: износостойкий чугун; отжиг; марганец; металлическая основа; карбиды; распределение между фазами

V. V. NETREBKO

Dep. «Equipment and Technology of Welding Production», Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zhukovskoho St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (050) 486 27 40, e-mail olgavn@ukr.net, ORCID 0000-0003-3283-0116

THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WEAR-RESISTANT CAST IRON ON THE INTERPHASE DISTRIBUTION OF MN AFTER ANNEALING AT 690°C

Purpose. The article is aimed to obtain the regression dependences of manganese distribution between carbides and the metal base on the content of pig iron C, Cr, Mn and Ni after annealing at 690°C. **Methodology.** To achieve this purpose cast iron containing 1.09... 3.91% C; 11.43... 25.57% Cr; 0.6... 5.4% Mn; 0.19... 3.01% Ni and 0.8... 1.2% Si have been studied. To obtain reliable results analytical analysis of publications, microstructural and local micro-X-ray spectral methods, mathematical statistics and regression analysis of the obtained dependences were used. **Findings.** Using the methods of mathematical statistics, regression dependences of the manganese distribution between the phases and the magnitude of its concentration in the metallic basis of high-chromium cast iron on the content of C, Cr, Mn, and Ni after annealing at 690°C were obtained. During annealing, manganese was re-distributed by replacing its atoms with chromium atoms in carbides. The effect of chromium and nickel varied significantly according to the content of manganese in cast iron. The minimum values of the manganese distribution coefficient of 0.16 were observed at the minimum carbon and manganese content and the maximum amount of chromium and nickel. The maximum concentration of manganese in the basis of 5.79% was determined with the minimum content of carbon and nickel and the maximum content of chromium and manganese. This made it possible to determine the chemical compositions of cast iron, which provide the required content of manganese in the metal base after annealing at 690°C. **Originality.** The regression dependences of the manganese content in the base and the coefficient of its interphase distribution on the content in cast iron of C, Cr, Mn and Ni after annealing at 690°C were obtained. **Practical value.** The obtained dependences of manganese distribution between phases in high-chromium cast iron after annealing at 690°C can be used during the development of the new wear resistant cast irons in the system Fe-C-Cr-Mn-Ni for castings that require heat treatment.

Keywords: wear-resistant cast iron; annealing; manganese; metal base; carbides; distribution between phase

REFERENCES

1. Brykov, M. N., Yefremenko, V. G., & Yefremenko, A. V. (2014). *Iznosostoykost staley i chugunov pri abrazivnom iznashivanii*. Herson: Grin D. S. (in Russian)
2. Vakulenko, I. A., & Bolshakov V. I. (2008). *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali*. Dnipropetrovsk: Makovetskyi. (in Russian)
3. Volchok, I. P., & Netebko, V. V. (2015). Effect of alloying and heat treatment on the distribution of the elements and properties of high chrome cast iron. *Scientific bulletin of DSEA*, 3(18E), 52-59. (in Russian)
4. Garber, M. Ye. *Iznosostoykie belye chuguny*. (2010). Moscow: Mashinostroenie. (in Russian)
5. Gudremon, E. (1966). *Spetsialnyye stali*. Moscow: Metallurgiya. (in Russian)
6. Gulyaev, A. P., & Gulyaev, A. A. (2015). *Metallovedenie*. Moscow: Alyans. (in Russian)
7. Evseeva, N. A. & Mishenko, V. G. (2017). The phase change corrosion resistant steel 03X17H3Г9МБДЮЧ during heating and cooling. *Construction, materials science, mechanical engineering*, 95, 79-81. (in Russian)
8. Yefremenko, V. G., & Chabak, Yu. G. (2015). *Formirovanie struktury v vysokokhromistyykh chugunakh: monografiya*. Mariupol: PSTU. (in Russian)
9. Efremenko, V. G., & Chabak, Yu. G. (2016). *Formirovanie struktury v vysokokhromistyykh: monografiya*. Mariupol: PSTU. (in Russian)
10. Efremenko, V. G., Cheiliakh, O. P., Kozarevska, T. V., Shimizu, K., Chabak, Y. G., & Efremenko, O. V. (2014). Phase chemical elements distribution in complex-alloyed white cast iron. *Reporter of the Priazovskyi state technical university. Section: Technical sciences*, 28, 89-99. (in Russian)
11. Kirillov, A. A., Belov, V. D., Rozhko, Y. V., Diadkova, A. Y., & Zueva, I. E. (2007). Strukturno i nestrukturno chuvstvitelnyye svoystva khromistyykh chugunov. *Stahl und Eisen*, 9, 7-13. (in Russian)
12. Kutsova, V. Z., Kovzel, M. A., Hrebeneva, A. V., Ratnikova, I. V., & Shvets, P. Yu. (2016). Vplyv termichnoi obrobky na znosostiikist ta pererozpodil lehuiuchykh elementiv u strukturi chavunu 280×32n3f v protsesi znosu tertiam. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, 1, 72-80. (in Ukrainian)
13. Malinov, L. S., & Malinov, V. L. (2014). Wear-resistant manganese steel with metastable austenite and the effect of self-hardening under loading. *Metallurgical processes and equipment*, 2, 16-18. (in Russian)

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

14. Netrebko, V. V., & Volchok, I. P. (2016). Influence of the cast iron's chemical composition on the interphase distribution of Mn. *Science and Transport Progress*, 6(66), 115-123. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/90489>. (in Russian)
15. Netrebko, V. V. (2016). About the issue of carbides Fe_3C and Fe_7C_3 formation in high-chromium cast irons. *Science and Transport Progress*, 3(63), 138-147. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/7473> (in Russian)
16. Cheylyakh, Ya., Tsurkan, M., & Cheylyakh, O. (2017). Funkcionalnye materialy i tekhnologii s efektom samouprochneniya pri ekspluatatsii i ikh ekonomicheskaya effektivnost. *Metal and Casting of Ukraine*, 1(284), 20-29. (in Russian)
17. Belikov, S., Volchok, I., & Netrebko, V. (2013). Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58(3), 895-897. DOI: <https://doi.org/10.2478/amm-2013-0095> (in English)
18. Efremenko, V. G., Wu, K. M., Chabak, Y. G., Shimizu, K., Isayev, O. B., & Kudin, V. V. (2018). Alternative Heat Treatments for Complex-Alloyed High-Cr Cast Iron Before Machining. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 49(8), 3430-3440 (in English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4722-0> (in English)
19. Gierek, A., & Bajka, L. (1976). *Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne*. Katowice: Slask. (in Polish)
20. Zhang, Y., Shimizu, K., Yaer, X., Kusumoto, K., & Efremenko, V. G. (2017). Erosive wear performance of heat treated multi-component cast iron containing Cr, V, Mn and Ni eroded by alumina spheres at elevated temperatures. *Wear*, 390-391, 135–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.07.017> (in English)

Надійшла до редколегії: 27.09.2019

Прийнята до друку: 28.01.2020