

УДК 621.745.55

Ямшинський М. М., Федоров Г. Е.

ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ДОДАТКОВОГО ЛЕГУВАННЯ, МІКРОЛЕГУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ

Абразивне зношування є основною причиною виходу з ладу значної кількості литих деталей машин, що працюють в теплоенергетичній, гірничодобувній, металургійній, хімічній та інших галузях. Збитки від простоїв устаткування внаслідок зносу окремих деталей та витрати на його ремонт часто перевищують вартість самих деталей. Правильний вибір сплавів для виготовлення деталей, які піддаються інтенсивному зносу, визначає економічну ефективність і тривалість роботи тієї чи іншої машини, установки або цілої системи.

Для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах абразивного та гідроабразивного зношування, використовують високолеговані білі чавуни, які за кількістю литва, що з них виготовляють, посідають одне з провідних місць серед чавунів із спеціальними властивостями [1, 2].

Більшість сучасних сплавів, які використовують у теплоенергетиці як зносостійкі, вміщують у своєму складі значну кількість дорогих елементів, таких як нікель, молібден, ванадій, хром тощо. У світовій і вітчизняній практиці накопичений значний досвід використання як зносостійких матеріалів оптимально легованих високохромистих і хромоманганцевих чавунів. Проте такі чавуни не завжди відповідають необхідним вимогам щодо зносостійкості та механічних властивостей. Вони схильні до утворення тріщин у виливках у процесі їх тверднення або термічного оброблення, важко оброблюються на металорізальних верстаках тощо [1, 3].

Аналізом літературних даних з цього питання встановлено, що покращити технологічні й експлуатаційні властивості хромоманганцевих чавунів можна додатковим легуванням, мікролегуванням, модифікуванням і відпрацюванням усіх операцій технологічних процесів виготовлення виливків та їх термічного оброблення [1–5].

Гідроабразивний знос литих деталей агрегатів систем гідрозоловидалення (ГЗВ) теплових електростанцій наносить значну шкоду галузі, а витрати на заміну таких деталей обчислюються сотнями тисяч гривень за рік. Тому задачі пошуку нових зносостійких сплавів або удосконалення існуючих для підвищення довговічності роботи машин і механізмів після чіткого встановлення причин, які сприяють зносу металу в гідроабразивному середовищі, є досить актуальними.

Актуальність проблеми для України полягає ще й у тому, що з одного боку відсутні ресурси дорогих легувальних елементів (Ni, Mo, Co, W), які успішно використовують у світовій практиці для виготовлення литих деталей із зносостійких сплавів, а з іншого боку, в різних галузях промисловості (як в Україні, так і за кордоном) спостерігається тенденція до погіршення умов роботи машин і механізмів внаслідок інтенсифікації абразивного та гідроабразивного видів зношування.

Метою роботи є дослідження впливу процесів додаткового легування, мікролегування та модифікування на властивості хромоманганцевого чавуну.

Експлуатаційні та механічні властивості білих зносостійких чавунів залежать від багатьох факторів і, в першу чергу, від характеристик карбідної фази. Велика кількість твердих і крихких карбідних фаз визначає низькі пластичні властивості чавунів. За умови міцного зв'язку їх з матрицею сплаву збільшується опір чавунів абразивній дії. Оскільки хром та марганець відносяться до групи карбідоутворювальних елементів, то теоретичний і практичний

інтерес мають дослідження, що спрямовані на вибір оптимальних концентрацій цих елементів у білих чавунах з метою одержання максимальних твердості та зносостійкості за умови збереження задовільних ливарних властивостей.

У промислових умовах як матеріал для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, частіше інших використовують високолегований хромонікелевий білий чавун 280X28H2, який вміщує в своєму складі дорогий і дефіцитний нікель. Суттєвим недоліком цього чавуну є дуже погана оброблюваність на металорізальних верстатах. Крім того, відомо [1, 4, 5], легування чавуну нікелем сприяє стабілізації аустеніту і розширює область існування γ -Fe. У той же час збільшення кількості аустеніту в білих чавунах помітно знижує їх стійкість абразивному зношуванню. Тому кількість аустеніту в таких чавунах має визначатися тим мінімумом, за якого зберігаються необхідні характеристики міцності та зносостійкості під час експлуатації кожної конкретної деталі, й тим максимумом, за якого суттєво знижуються твердість і зносостійкість легованого нікелем металу. Оскільки деталі багерних насосів у процесі експлуатації не піддаються великим ударним навантаженням, то вміст аустеніту в їхній структурі може бути незначним.

Досліджено вплив марганцю на властивості високохромистого чавуну в діапазоні концентрацій від 2,1 до 11,9 %. Відносну зносостійкість тут і далі визначали в гідроабразивному середовищі. Як еталон використовували зразки із сплаву 280X28H2.

Результати випробовувань показано на рис. 1.

Марганець сприяє стабілізації аустеніту у високохромистому чавуні. З підвищенням вмісту марганцю в чавуні твердість сплаву знижується, що пояснюється збільшенням кількості залишкового аустеніту в основі металу та його стабілізацією (рис. 2). Крім того, марганець підвищує розчинність вуглецю в γ -залізі, що призводить до зменшення загальної кількості карбідів хрому. Спираючись на дані роботи [6], можна вважати що в хромомарганцевих чавунах кожен відсоток марганцю може знижувати вміст карбідної фази на 1,0...1,4 %.

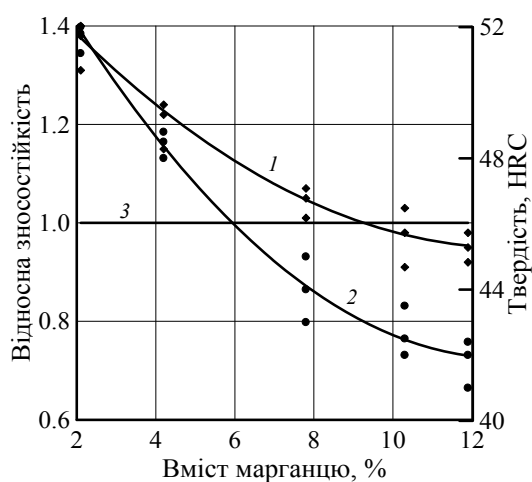


Рис. 1. Зміна твердості та зносостійкості високохромистого чавуну залежно від вмісту в ньому марганцю:

1 – відносна зносостійкість;
2 – твердість; 3 – еталон 280X28H2

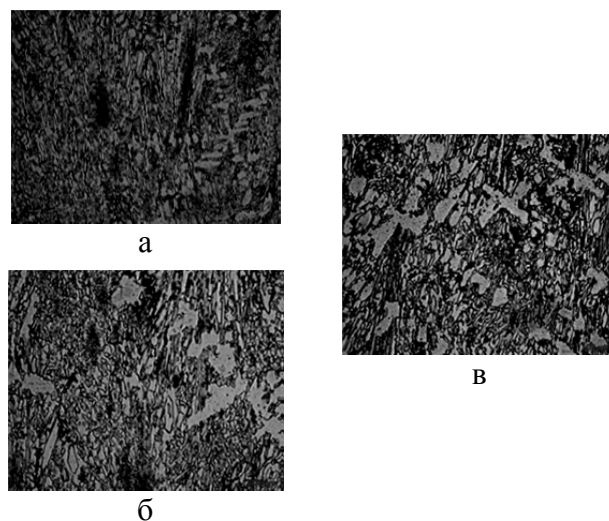


Рис. 2. Вплив марганцю на структуру високохромистого чавуну:

а – 2,1 % Mn; б – 4,2 % Mn;
в – 11,9 % Mn ($\times 200$)

Отже, для досягнення високої зносостійкості високохромисті чавуни мають вміщувати в своєму складі від 2,0 до 9,0 % марганцю, але враховуючи той факт, що марганець підвищує прогартовуваність хромистих чавунів й за незначних його концентрацій залишковий аустеніт в чавуні здатний зміцнюватися під дією ударів абразивних частинок, високохромистий чавун у своєму складі має вміщувати 3,0...5,0 % марганцю.

Досліджено вплив хрому на властивості зносостійкого чавуну в діапазоні концентрацій від 4,5 до 31,6 % за вмісту в металі біля 3,0 % вуглецю. Відомо, що хромисті чавуни без додаткового легування аустенітостабілізуючими елементами мають низьку прогартовуваність, тому вихідний чавун вміщував додатково 4,0...5,0 % Mn. Такий вміст марганцю за даними [1, 7] в хромомарганцевих білих чавунах з карбідами Me_7C_3 забезпечує прогартовуваність виливків з еквівалентною товщиною стінки до 350 мм, тобто практично будь-яких виливків, що виготовляють у промисловості.

Результати досліджень показано на рис. 3.

Хром – це елемент, який сприяє сильному відбілюванню чавуну. Він зменшує розчинність вуглецю в α - та γ -залізі, збільшує стійкість твердого розчину й кількість евтектичної складової. У чавунах, навіть за невеликого вмісту хрому, утворюється карбідна фаза цементитного типу, яка збагачена хромом [1, 4].

Установлено, що збільшення концентрації хрому від 4,5 до 21,1 % суттєво покращує експлуатаційні властивості марганцевого чавуну (див. рис. 3).

Із збільшенням вмісту хрому кількість карбідів цементитного типу зменшується внаслідок утворення спеціальних карбідів хрому з вищою мікротвердістю (рис. 4). При цьому евтектика ледебуритного типу поступово витісняється евтектикою з розгалуженими диспергованими карбідами $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$, яка значною мірою відповідає принципу Шарпі.

Підвищенню твердості та зносостійкості сплаву сприяє збільшення кількості цієї евтектики й зменшення кількості аустеніту.

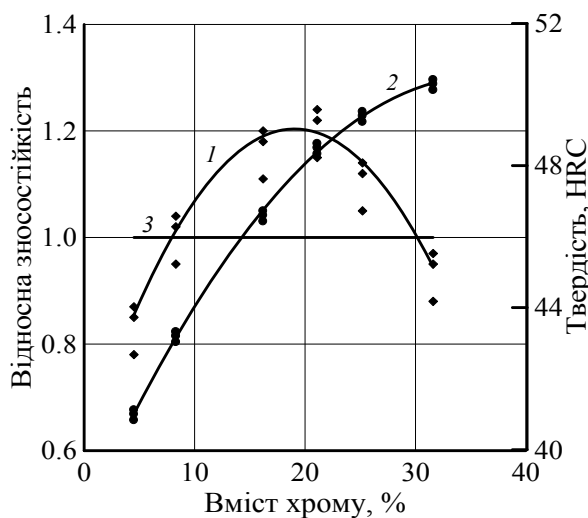


Рис. 3. Вплив хрому на твердість і зносостійкість високолегованого чавуну:

1 – відносна зносостійкість;
2 – твердість; 3 – еталон 280X28H2 з відносною зносостійкістю 1,0 та твердістю 46 HRC

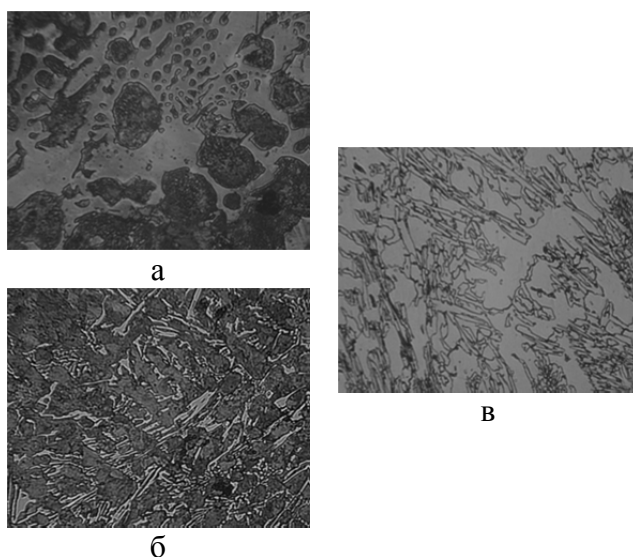


Рис. 4. Вплив хрому на структуру високолегованого чавуну з марганцем:

а – 4,5 % Cr; б – 21,1 % Cr;
в – 25,2 % Cr ($\times 200$)

Підвищення концентрації хрому в чавуні понад 20 % призводить до появи в структурі крупних заевтектичних карбідів типу Cr_7C_3 та до збільшення кількості легованого хромом фериту. Карбіди Cr_7C_3 кристалізуються у вигляді довгих голкоподібних шестигранників. Такі карбіди знижують зносостійкість й особливо міцність виливків, хоча твердість сплаву при цьому підвищується.

Отже, для одержання чавунів з високою зносостійкістю (вищою, ніж чавуну 280X28H2), вони мають вміщувати в своєму складі від 8 до 30 % хрому.

Проте з урахуванням повного комплексу ливарних, механічних, експлуатаційних та економічних показників доцільнішим діапазоном концентрацій хрому у високохромистих чавунах слід вважати 15...25 %.

За результатами досліджень механічних та експлуатаційних властивостей запропоновано базовий хромомарганцевий чавун з вмістом 18...20 % хрому та 3,5...4,5 % марганцю, якому для зручності проведення подальших досліджень попередньо надано позначення 290X19Г4.

У виробничих умовах часто використовують як шихтовий матеріал литі деталі багерних насосів, які відпрацювали свій ресурс та які в своєму складі вміщують певну кількість нікелю. Отже і практичний, і теоретичний інтерес представляють дослідження впливу нікелю на твердість і зносостійкість чавуну.

Досліджено вплив нікелю на властивості хромомарганцевого чавуну в діапазоні концентрацій до 2,9 %. Результати досліджень показано на рис. 5.

Установлено, що найвищу зносостійкість має хромомарганцевий чавун без додавання нікелю, хоча твердість його нижча, ніж легованого нікелем. Це пояснюється тим, що нікель не утворює карбідів, а стабілізує аустеніт, зменшуючи його здатність зміцнюватись під впливом мікроударних навантажень.

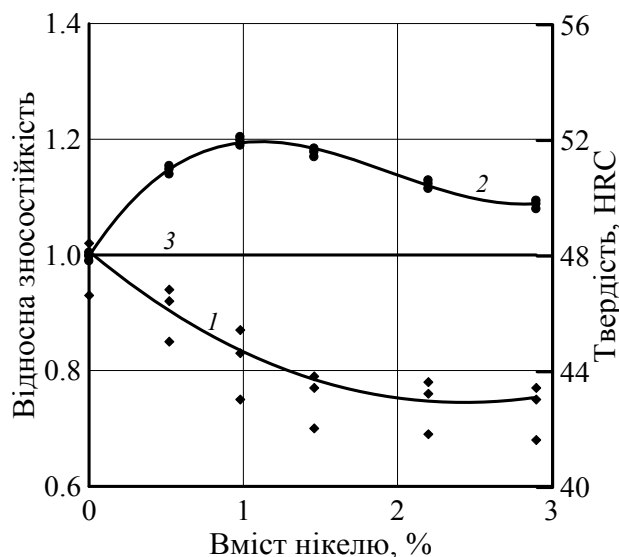


Рис. 5. Зміна експлуатаційних характеристик хромомарганцевого чавуну залежно від вмісту в ньому нікелю:

1 – відносна зносостійкість; 2 – твердість; 3 – базовий чавун

Підвищення твердості сплаву спричинене дисперсійним твердненням при виділенні карбідів із насиченого хромомарганцевонікелевого аустеніту під час відносно повільного охолодження зразків у ливарній формі. Це проявляється особливо після підвищення нікелю до 1,0 %. Подальше підвищення вмісту нікелю в чавуні мало змінює твердість і його зносостійкість.

Таким чином, з точки зору зносостійкості, нікель недоцільно й неекономічно використовувати як елемент, що здатний покращити цю експлуатаційну характеристику. Його доцільно додавати тільки разом з марганцем для підвищення пластичних властивостей зносостійких сплавів, які працюють в умовах ударних навантажень. Доцільність використання нікелю та його кількість слід визначати для кожної конкретної литої деталі, виходячи з умов її експлуатації. Наприклад, для виготовлення литих деталей, які працюють в умовах абразивного або гідроабразивного зношування, вміст нікелю в хромомарганцевому чавуні, виплавленому методом переплавлення, може знаходитись на рівні 0,3...1,0 %.

Теоретичний і практичний інтерес представляють дослідження щодо підвищення властивостей і зміни структури хромомарганцевих чавунів мікролегуванням і модифікуванням їх різними присадками. Мікролегування та модифікування здійснювали з метою дослідження можливостей впливу цих процесів на первинну кристалізацію чавунів.

На підставі літературного огляду для мікролегування вибрано титан, а для модифікування – рідкісноземельні метали. Як базовий зносостійкий сплав на основі попередніх досліджень вибрано хромомарганцевий чавун 290X19Г4.

Досліджено вплив титану на характеристики хромомарганцевого чавуну в діапазоні концентрацій до 1,2 %. Враховуючи високу спорідненість титану до кисню, його додавали в сплав після повного розкиснення рідкого металу алюмінієм. Результати випробовувань та структуру показано на рис. 6 та рис. 7 відповідно.

Титан має більшу спорідненість до вуглецю, ніж залізо. Тому під час кристалізації залізовуглецевих сплавів, що вміщують титан, він виокремлюється, перш за все, у вигляді карбідів або карбонітридів, якщо в сплаві присутній азот. Титан має особливість переохолоджувати розплавлений чавун, що сприяє розчину карбідів титану в розплаві та виділенню карбіду під час кристалізації, а не до неї [8–10].

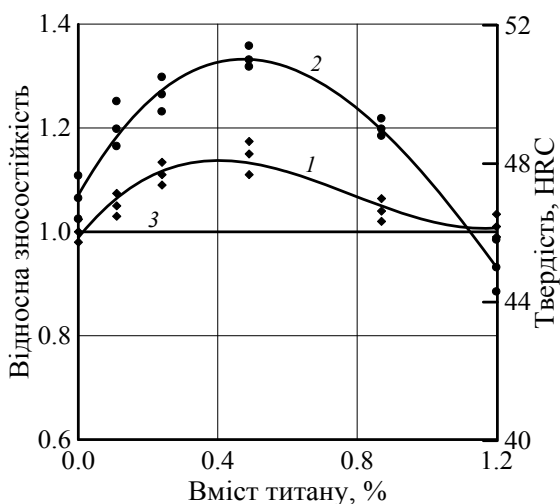


Рис. 6. Зносостійкість і твердість хромомарганцевого чавуну 290X19Г4 залежно від вмісту титану:

- 1 – відносна зносостійкість;
- 2 – твердість; 3 – еталон 290X19Г4

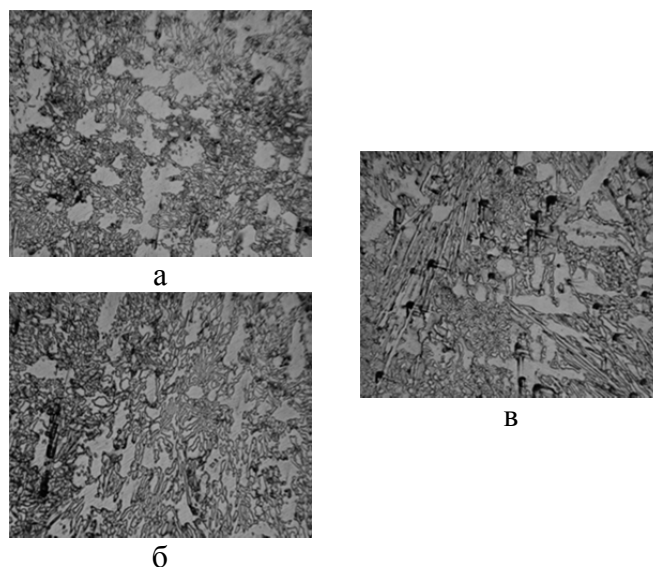


Рис. 7. Вплив титану на структуру хромомарганцевого чавуну 290X19Г4:

- а – без титану; б – 0,49 % титану;
- в – 0,87 % титану (× 200)

Найвищі експлуатаційні та механічні властивості сплаву зафіксовано за вмісту 0,4...0,5 % титану.

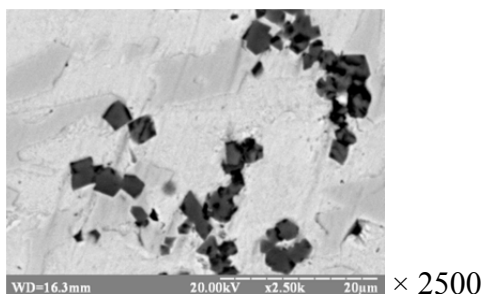


Рис. 8. Колонії карбонітридів титану в хромомарганцевому чавуні з 0,87 % титану

За більшого його вмісту, карбіди й карбонітриди титану розподіляються в структурі нерівномірно, утворюють колонії (рис. 8), які легше викришуються під дією абразиву та є концентраторами напружень.

Під час заповнення ливарної форми товстостінних промислових виливків внаслідок повільної кристалізації та нерозчинності в рідкому чавуні карбонітриди титану спливають на поверхню, скупчуються у верхній частині виливка і можуть призводити до його локального окрихчування [10, 11].

Крім того, в кількостях 0,5...1,0 % і більше титан інтенсивно відновлює кремній з футеровки та підвищує кількість неметалевих вкраплин (особливо нітридної та сульфідної фаз) [12].

Отже для покращання експлуатаційних характеристик хромомарганцевого чавуну його доцільно обробляти перед випусканням із плавильного агрегату титаном у межах 0,1...0,5 %.

Вплив РЗМ на експлуатаційні характеристики хромомарганцевого чавуну вивчено в діапазоні концентрацій до 0,8 % (за присадкою). РЗМ додавали в розплав у вигляді лігатури МЦ50ЖЗ з вмістом 48,9 % Се, 29,3 % La, 14,8 % Nd за температури розплаву 1440...1460 °С. Під час оброблення рідкого чавуну рідкісноземельними металами в лабораторному ковші (до 30 кг розплаву) ефект модифікування не реалізовувався повною мірою, що пов'язано із швидкою втратою температури металу (у порівнянні з втратою температури металу в промислових ковшах), а також малою висотою лабораторного ковша, яка не дає можливості повною мірою спливати неметалевим вкраплинам і переводити їх в шлак. Тому РЗМ в наших дослідженнях додавали в тигель печі безпосередньо перед випусканням металу. Результати досліджень показано на рис. 9 і 10.

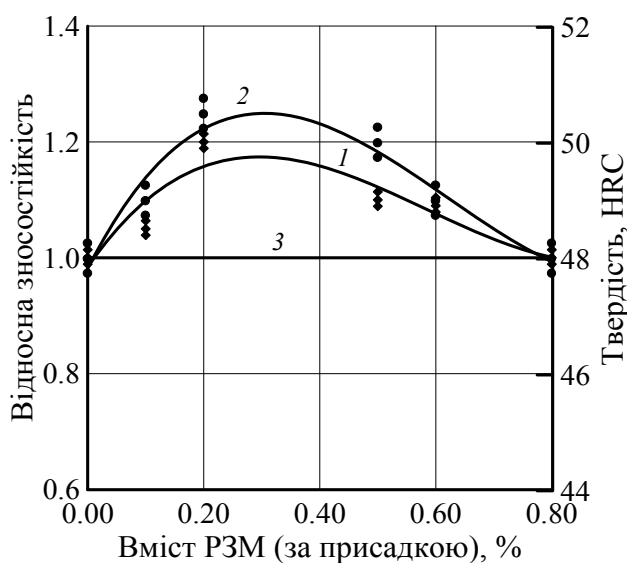


Рис. 9. Зміна зносостійкості та твердості чавуну 290Х19Г4, модифікованого РЗМ:

- 1 – відносна зносостійкість;
2 – твердість; 3 – еталон 290Х19Г4

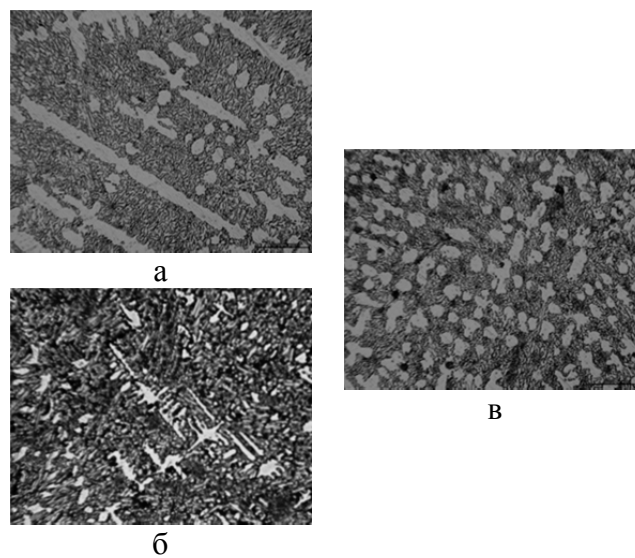


Рис. 10. Структура хромомарганцевого чавуну 290Х19Г4, модифікованого РЗМ:

- а – без РЗМ; б – 0,2 % РЗМ;
в – 0,5 % РЗМ (×200)

Установлено, що оброблення хромомарганцевого чавуну присадками РЗМ (до 0,30 %) підвищує зносостійкість і твердість металу (див. рис. 9).

РЗМ ефективно зв'язують сірку та кисень у високохромистих і хромомарганцевих чавунах, змінюють форму неметалевих вкраплин з кутастої або продовгуватої на глобулярну, які меншою мірою знеміцнюють сплав і легко спливають у шлак.

Присадки РЗМ помітно подрібнюють структуру базового хромомарганцевого чавуну (див. рис. 10). Сполуки церію, лантану та неодиму під час кристалізації діють як поверхнево-активні речовини на межі дендритів аустеніту й обмежують їх ріст. Крім того, в сплаві, що вміщує 0,1 % РЗМ, евтектика $\gamma + (\text{Cr, Fe, Mn})_7\text{C}_3$ має дисперсну будову.

Отже для підвищення твердості та зносостійкості хромомарганцевого чавуну його доцільно модифікувати присадками РЗМ у межах 0,10...0,30 %.

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень можна зробити наступні рекомендації щодо виробництва литих деталей із зносостійких чавунів з використанням хрому, марганцю та нікелю:

– під час вибору зносостійких хромомарганцевих чавунів необхідно брати до уваги оптимальне співвідношення в них хрому та марганцю з урахуванням конкретних умов експлуатації литих деталей. За умови збільшення вмісту хрому в чавуні кількість марганцю необхідно зменшувати для збереження механічних властивостей;

– для виготовлення литих деталей, які працюють в умовах гідроабразивного або абразивного зношування, вміст нікелю в хромомарганцевому чавуні, виплавленому методом переплавлення, може знаходитись на рівні 0,3...1,0 %;

– для підвищення (на 15...20 %) експлуатаційних характеристик рекомендованого хромомарганцевого чавуну його доцільно мікролегувати окремо титаном у межах 0,1...0,5 % та модифікувати РЗМ у межах 0,10...0,30 % (за присадкою) або обробляти комплексно титаном (0,15...0,25 %) і РЗМ (0,15...0,25 % за розрахунком).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны. Свойства, структура технология эксплуатации / М. Е. Гарбер. – М. : Машиностроение, 2010. – 280 с.
2. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны – эволюция и перспективы / И. И. Цыпин // Литейное производство. – 2000. – № 9. – С. 15–16.
3. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному износу / М. М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1976. – 271 с.
4. Повышение износостойкости хромомарганцевых чугунов / Могилатенко В. Г., Федоров Г. Е., Ямшинский М. М., Платонов Е. А., Кузьменко А. Е. // Металлообработка. Оборудование и инструмент. – 2008. – № 1. – С. 38–41.
5. Підвищення гідроабразивної зносостійкості високолегованого білого чавуну / Федоров Г. Е., Ямшинський М. М., Платонов Е. А., Кузьменко А. Е., Радченко К. С. // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2009. – № 1.
6. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И. И. Цыпин. – М. : Metallurgia, 1983. – 176 с.
7. K. Peev. Modification of Fe-Cr-C alloys using mischmetal / K. Peev, M. Radulovic, M. Fiset // Journal of materials science letters. – 1994. – № 12. – С. 112–114.
8. Coronado J. J. Effect of $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ carbide orientation on abrasion wear resistance and fracture toughness / J. J. Coronado. – Wear. Volume 270, Issues 3–4, 12 January 2011. – P. 287–293.
9. Wear resistance of chromium cast iron – research and application / A. Studnicki, J. Kilarski, M. Przybył // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2006. – № 16. – С. 63–73.
10. Effect of TiC particle additions on structure and properties of hypereutectic high chromium cast iron / Han-guang Fu, Xiao-jun Wu, Xue-yi Li et al. // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2009. – Vol. 18(8). – P. 1109–1115.
11. Войнов Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия / Б. А. Войнов. – М. : Машиностроение, 1980. – 120 с.
12. Богачев И. Н. Металлография чугуна / Богачев И. Н. – Свердловск : Metallurgizdat, 1962. – 392 с.