

Формування структури та трибологічні властивості високохромистих сплавів

В. З. Куцова, доктор технічних наук

М. А. Ковзель, кандидат технічних наук

А. В. Гребенева, кандидат технічних наук

Національна металургійна академія України, Дніпро

Досліджено закономірності формування наноструктурної матриці в зносостійких високохромистих чавунах. Показано, що трибологічні властивості високохромистих сплавів обумовлені наявністю елементів наноструктури, що забезпечує високий комплекс механічних властивостей та підвищення зносостійкості деталей металургійного та машинобудівного обладнання.

Високохромисті сплави знайшли широке застосування в промисловості. Деталі з високохромистих сплавів працюють в умовах абразивного, ударно-абразивного зносу, а також в умовах тертя як при кімнатній, так і при підвищених температурах [1 – 4]. З них виготовляють прокатні валки, плити бронезахисту млинів, лопатки дробометних апаратів, кулі, що мелють, а також – прокатний інструмент (калібри і оправки для прокатування труб).

Зносостійкість високохромистих сплавів визначається кількістю, розмірами, морфологією, мікротвердістю евтектичних і вторинних карбідів і металевої основи – головних структурних складових цих сплавів.

Інформація про взаємозв'язки складу, типу матриці, механічних властивостей і показників зносостійкості білих високохромистих чавунів практично відсутня в сучасній металознавчій літературі [5 – 7]. В зв'язку з цим дослідження структури, фазових та структурних перетворень у білому високохромистому чавуні та розробка режимів його термічного зміцнення є актуальною задачею з точки зору підвищення трибологічних характеристик прокатного інструменту та інших деталей і конструкцій, що працюють в умовах тертя та зношування.

Метою роботи є дослідження закономірностей формування бейнітної наноструктурної матриці в високохромистих сплавах, встановлення впливу режимів термічної обробки, структурно-фазового стану на триботехнічні характеристики зносостійких високохромистих чавунів.

Об'єктом дослідження в роботі є високохромисті чавуни з вмістом хрому 16 – 30 % у литому стані та після різних режимів термічної обробки. Мікроструктуру зразків виявляли в реактиві Гросбека з подальшим тепловим травленням. Дослідження тонкої структури чавунів у литому стані та після різних видів термічної обробки здійснювали на електронному мікроскопі JEM–200Сх з прискореною напругою 200 кВ методом тонких фольг на провіт з використанням мікродифракції від вибраної мікроділянки.

Випробування на зношування тертям високохромистих сплавів в литому і термообробленому стані проводили при підвищеній (1000 °С) температурі на модернізованій установці тертя 2070 СМТ-1, за схемою «вал-площина». Для випробувань використовували зразки розмірами 10x10x27 мм. В якості контртіла використовували Ст.45.

На рис. 1 наведені окремі фрагменти продуктів розпаду аустеніту у високохромистому чавуні в литому стані. Рис. 1 а ілюструє колонії перліту, які складаються з пластинчастого карбиду та фериту, на рис. 1 б показано розгалуження евтектоїдного карбиду у процесі формування перліту.

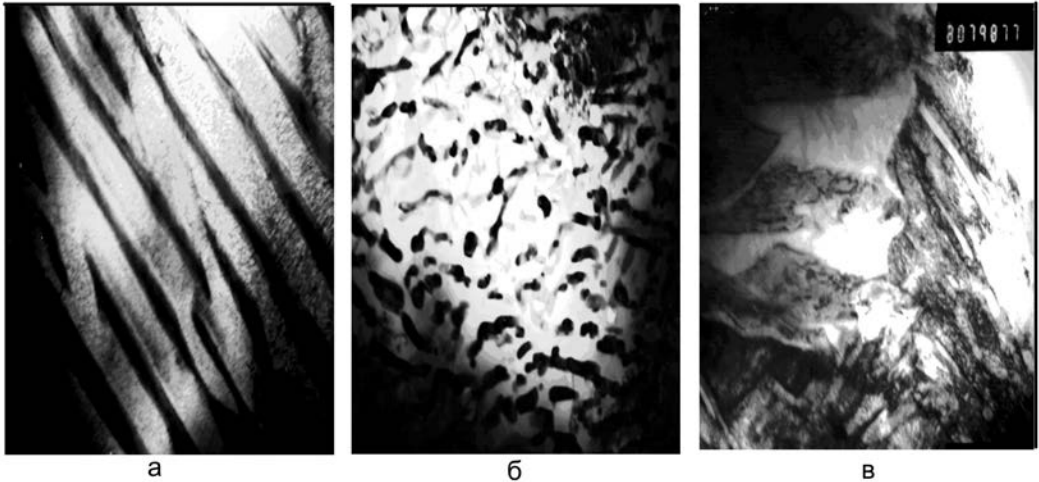


Рис. 1. Фрагменти продуктів розпаду аустеніту в чавуні у литому стані. ПЕМ, а – х37000, б – х30000, в – х30000.

Закономірності структуроутворення при термічній обробці високохромистих чавунів вивчали на зразках, що піддавали аустенітизації при температурах 950 та 1050 °С протягом 60 хв. та після ізотермічних витримок у проміжному температурному інтервалі [7, 8].

Електронномікроскопічні дослідження тонкої фольги, виготовленої з зразків, що піддавали ізотермічним витримкам в області температур бейнітного перетворення свідчать про утворення α -фази бейніту як у вигляді пластин з підвищеною щільністю дислокацій (рис. 2 а), так і у вигляді реєк (рис. 2 б). Між пластинами спостерігаються прошарки карбиду чи залишкового аустеніту, рейки оточені залишковим аустенітом. Аналогічні форми α -фази, що утворюється в проміжному інтервалі температур, описані Бгадешиа [9]. Разом з бейнітними структурами спостерігається і пакетний чи дрібногочастий мартенсит (рис. 2 в).

Методами кількісної металографії проведено визначення міжпластинчастої відстані в колоніях перліту (рис. 1) і структурах бейнітного класу, що сформувалися після випробувань режимів ізотермічної обробки (рис. 2). Показано, що міжпластинчаста відстань в колоніях пластинчастого перліту у вихідному литому стані складає ≈ 100 нм, що відповідає трооститу, а товщина феритних пластин в бейнітній структурі в середньому складає $\approx 20 - 30$ нм. Це дозволяє класифікувати структури,



а



б



в

Рис. 2. Фрагменти продуктів розпаду аустеніту, ПЕМ. а – $\times 50000$, б, в – $\times 37000$.

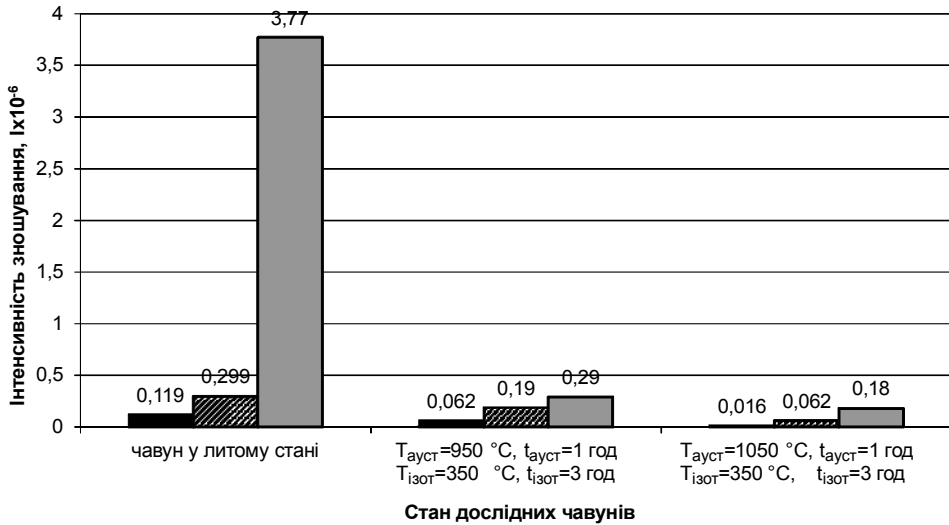
отримані ізотермічними обробками, як наноструктури, а високохромисті чавуни з бейнітною структурою матриці, як об'ємні матеріали з елементами гетерофазної наноструктури.

Ізотермічна обробка в проміжній ділянці температур забезпечує формування наноструктурної бейнітно-мартенситної матриці (рис. 2), розмір феритних пластин в бейнітній структурній складовій зменшується у 3 – 4 рази порівняно з литим станом, що забезпечує підвищення зносостійкості і жаростійкості деталей з високохромистих чавунів.

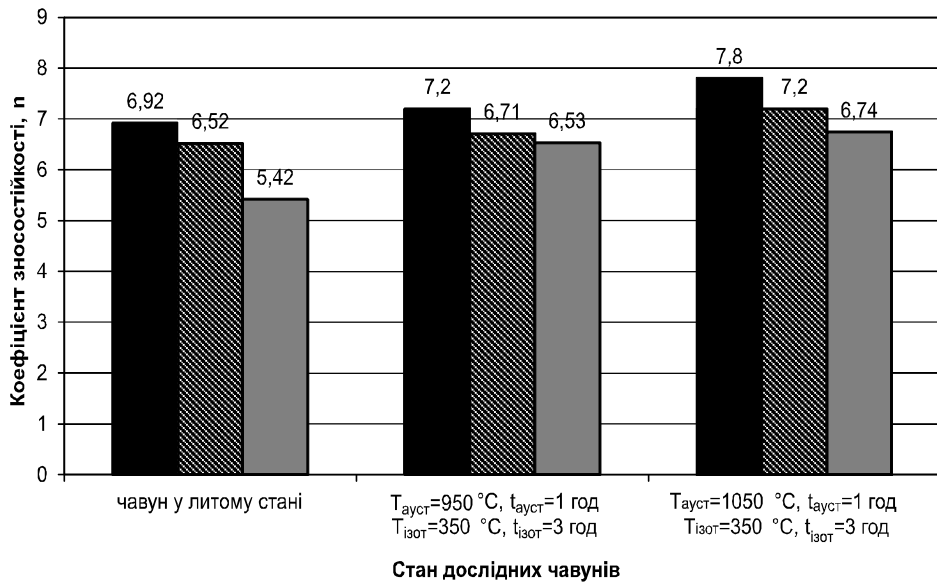
Проведено триботехнічні випробування на зразках чавуну у литому та термообробленому стані при навантаженнях 500, 750, 1000 Н [10]. Температура випробувань при цьому становила 1000 °С. Результати досліджень наведені на рис. 3.

Аналіз результатів випробувань на зносостійкість в умовах тертя (рис. 3) свідчить, що при збільшенні навантаження від 500 Н до 750 Н та

Структура, зношування, руйнування



а



б

Рис. 3. Зносостійкість високохромистих сплавів в умовах тертя при підвищених температурах та різних навантаженнях. а – інтенсивність зношування ($I \times 10^{-6}$); б – коефіцієнт зносостійкості. ■ – навантаження 500 Н, ▨ – навантаження 750 Н, ▩ – навантаження 1000 Н.

1000 Н і температурі випробувань до 950 – 1000 °С дослідних чавунів у литому і термообробленому станах за режимами: $T_{\text{ауст}} = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ауст}} = 1\text{ год}$; $T_{\text{ізот}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ізот}} = 3\text{ год}$ і $T_{\text{ауст}} = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ауст}} = 1\text{ год}$; $T_{\text{ізот}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ізот}} = 3\text{ год}$ інтенсивність зношування (i) збільшується на порядок, а коефіцієнт зносостійкості зменшується: для чавуну в литому стані на 21 %, при термообробці за режимом: $T_{\text{ауст}} = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ауст}} = 1\text{ год}$; $T_{\text{ізот}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ізот}} = 3\text{ год}$ – на 13,6 %, за режимом: $T_{\text{ауст}} = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ауст}} = 1\text{ год}$; $T_{\text{ізот}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ізот}} = 3\text{ год}$ – на 8 %.

Найкращими показниками зносостійкості при зміні навантажень випробувань від 500 Н до 1000 Н характеризується чавун, термооброблений

за режимом: $T_{\text{ауст}} = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{ауст}} = 1 \text{ год}$; $T_{\text{ізот}} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{ізот}} = 3 \text{ год}$: інтенсивність його зношування мінімальна, а коефіцієнт зносостійкості – найвищий. Не менш важливим є й той експериментальний факт, що з підвищенням навантаження і температури випробувань коефіцієнт тертя (μ) зменшується як для чавуну в литому, так і в термообробленому стані і змінюється в межах 0,36 – 0,38 при навантаженні 1000 Н.

Рентгеноструктурний аналіз дозволив встановити, що у високохромистих чавунах (Fe – C – Cr) після ізотермічного гартування присутні карбіди різного типу Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , Fe_3C та розміру. В процесі трибологічних випробувань термооброблених чавунів мікрочастки вторинних карбідів приймають напруження при терті, а частки менш ніж 100 нм зміцнюють матрицю, обмежуючи її пластичну деформацію та протидіють викришуванню великих зерен карбідів.

Таким чином, розпад пересиченого вуглецем та легуючими елементами аустеніту в проміжній області температур призводить до формування нанорозмірної бейнітної матриці, що забезпечує високий комплекс механічних властивостей (високі показники міцності, твердості, при збереженні рівня ударної в'язкості), підвищення зносостійкості деталей металургійного обладнання з білих чавунів з оптимальним вмістом хрому та інших дорогих та дефіцитних легуючих елементів [11, 12].

Висновки Встановлено, що розпад пересиченого вуглецем та легуючими елементами метастабільного аустеніту в проміжній області температур призводить до формування нанорозмірної бейнітної матриці, забезпечує високий комплекс механічних властивостей (високі показники міцності, твердості при збереженні рівня ударної в'язкості), підвищення зносостійкості деталей металургійного обладнання з білих чавунів, дозволяє зменшити вміст хрому та інших дорогих та дефіцитних легуючих елементів, збільшує термін експлуатації деталей.

Література

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д.М. Трение и смазка твердых тел. – М.: Машиностроение, 1968. – 543 с.
2. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании / М. Н. Брыков, В. Г. Ефременко, А. В. Ефременко. – Херсон : Гринь Д. С. – 2014. – 364 с.
3. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
4. Гаврилюк В.П. Абразивостойкие высокохромистые чугуны. / В. П. Гаврилюк, В. И. Тихонович, И. А. Шалевская, Ю. И. Гутько. – Луганск, 2010. – 141 с.
5. Малинов Л.С. Повышение износостойкости сталей и чугунов за счёт получения в их структуре метастабильного аустенита и реализации эффекта самозакалки при нагружении // Металл и литьё Украины. – 2001. – N 1 – 2. – С. 8 – 11.
6. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2003. – 212 с.
7. Куцова В.З. Формирование наноструктурной матрицы в высокохромистых чугунах путем термической обработки // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2007. – Вып. 43. – С. 229 – 236.

8. Таран Ю.Н., Куцова В.З., Куцов А.Ю. Бейнитное превращение в чугунах: структура, кинетика, свойства // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2004. – Вып. 26. – С. 38 – 61.
9. Bhadeshia H. K. D. H. Kinetics of Bainite // Metallurgical Transactions. – 2003. – P. 260.
10. Кіндрачук М.В., Куцова В.З., Ковзель М.А. Вплив ізотермічного гартування на зносостійкість високохромистих сплавів в умовах тертя при підвищених температурах // Машинознавство. – Львів. – 2013. – №7 – 8 (193 – 194). – С. 59 – 63.
11. Куцова В.З., Ковзель М.А., Гребенева А.В. Триботехнические свойства высокохромистых сплавов в литом и термообработанном состоянии при комнатной и повышенной температуре испытаний // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 3. – С. 69 – 74.
12. Кіндрачук М.В., Куцова В.З., Ковзель М.А. Сучасні функціональні матеріали з бейнітною наноструктурною матрицею та підвищеними трибологічними властивостями // Проблеми тертя та зношування. – 2016. – № 1 (70). – С. 112 – 130.

Одержано 05.04.17

В. З. Куцова, М. А. Ковзель, А. В. Гребенева

Закономерности формирования структуры и триботехнические свойства высокохромистых сплавов

Резюме

Исследованы закономерности формирования наноструктурной матрицы в износостойких высокохромистых чугунах. Показано, что триботехнические свойства высокохромистых сплавов обусловлены наличием элементов наноструктуры, что обеспечивает высокий комплекс механических свойств и повышение износостойкости деталей металлургического и машиностроительного оборудования.

V. Z. Kutzova, M. A. Kovzel, A. V. Grebeneva

Regularities of structure formation and tribological properties of high-chromium alloys

Summary

The regularities of nanostructure matrix formation in the wear-resistant high chromium cast iron. It was shown that the tribological properties of high-chromium alloys due to the presence of the nanostructure elements that provides a high complex of mechanical properties and improved wear resistance of parts for metallurgical and machine-building equipment.