



DOI: 10.67889/2181-144X-2026-3-14-18

Эгамбердиев И., Закирияева Г.,
Очилов А., Худойбердиева С

МОДИФИКАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ВЫСОКОХРОМНОГО БЕЛОГО ЧУГУНА И КОНТРОЛЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Илхом Эгамбердиев ^{1[0000-0002-7549-2156]},
Гулрухсор Закирияева ^{2[0009-0000-4914-7941]}, **Азизжон Очилов** ^{3[0009-0008-8511-1354]},
Сабина Худойбердиева⁴

*Навоийский государственный горно-технологический университет, заведующий
кафедрой «Локализация промышленного производства», Доктор технических наук,
профессор E-mail: ilkhom12041977@mail.com*

²*Навоийского профессионально-технического училища, Преподаватель
E-mail: gulruhsorkodirova13@gmail.com*

³*Навоийский государственный горно-технологический университет аспирант кафедры
«Локализация промышленного производства», E-mail: ochilovazizjon1996@gmail.com*

⁴*Магистрант кафедры «Локализация промышленного производства» Навоийского
государственного горно-технологического университета.*

Аннотация. В статье на основе анализа научной литературы рассмотрены микроструктура высокохромистых белых чугунов, особенности формирования карбидных фаз и факторы, влияющие на их свойства. Проанализированы закономерности формирования, морфология и распределение карбидов M_7C_3 , а также их взаимосвязь со структурой металлической матрицы. Рассмотрена роль таких модифицирующих элементов, как титан, в управлении микроструктурой, в том числе влияние частиц TiC как центров гетерогенного зарождения. Также проанализированы изменения структуры матрицы и вторичных карбидов, происходящие в результате термической обработки. На основе проведенного анализа показано, что модифицирование и термическая обработка являются важными технологическими факторами управления микроструктурой, твердостью и износостойкостью высокохромистых белых чугунов.

Ключевые слова. высокохромистый белый чугун, карбиды M_7C_3 , микроструктура, модифицирование, титан, TiC, термическая обработка, износостойкость.

Abstract. This article analyzes the microstructure of high-chromium white cast irons, the formation of carbide phases, and the factors affecting their properties based on scientific literature. The formation, morphology, and distribution of M_7C_3 carbides in high-chromium white cast irons, as well as their relationship with the matrix structure, are considered. The role of modifiers such as titanium in controlling the microstructure, the effect of TiC particles as heterogeneous nucleation sites, and the changes occurring in the matrix and secondary carbides as a result of heat treatment are analyzed. Based on the literature review, it is shown that modification and heat treatment are important factors in controlling the microstructure, hardness, and wear resistance of high-chromium white cast irons.

Key words. High-chromium white cast iron, M_7C_3 carbides, microstructure, modification, titanium, TiC, heat treatment, wear resistance.

Annotatsiya. Ushbu maqolada yuqori xromli oq cho'yanlarning mikrostrukturasi, karbid fazalarining shakllanishi va ularning xossalriga ta'sir etuvchi omillar ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilingan. Yuqori xromli oq cho'yanlarda M_7C_3 karbidlarining hosil bo'lishi, morfologiyasi va taqsimlanishi, shuningdek, ularning matritsa tuzilmasi bilan o'zaro bog'liqligi ko'rib chiqilgan. Mikrostrukturani boshqarishda titan kabi modifikatorlarning roli, TiC zarrachalarining geterogen kristallanish markazi sifatidagi ta'siri hamda termik ishlov berish natijasida matritsa va ikkilamchi karbidlarda yuz beradigan o'zgarishlar tahlil qilingan. Adabiyotlar tahlili asosida modifikatsiyalash va termik ishlov berish yuqori xromli oq cho'yanlarning mikrostrukturasi, qattiqligi va yeyilishga chidamliligini boshqarishda muhim omillar ekanligi ko'rsatib berilgan.

Kalit so'zlar. yuqori xromli oq cho'yan, M_7C_3 karbidlari, mikrostruktura, modifikatsiyalash, titan, TiC, termik ishlov, yeyilishga chidamlilik.



Введение

Высокохромистые белые чугуны относятся к перспективным материалам для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и эрозионного изнашивания. Их высокая износостойкость в значительной степени связана с формированием твёрдых карбидов M_7C_3 , микротвёрдость которых может достигать 1300–1800 HV. Вместе с тем свойства металлической матрицы и характер распределения карбидных фаз оказывают существенное влияние на твёрдость и эксплуатационные характеристики материала [1, 7]. Карбиды M_7C_3 формируются в процессе кристаллизации сплава и являются одним из основных структурных компонентов, определяющих механические и эксплуатационные свойства высокохромистых белых чугунов [1]. Благодаря сочетанию высокой твёрдости и износостойкости данные сплавы применяются для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного изнашивания, в частности в горнодобывающей промышленности, производстве цемента, энергетике и целлюлозно-бумажной промышленности [1].

Материалы и методы

В данной статье на основе анализа научной литературы рассматриваются вопросы управления микроструктурой высокохромистого белого чугуна. В анализируемых исследованиях изучается влияние различных модифицирующих элементов на процесс кристаллизации, формирование и морфологию карбидов M_7C_3 , а также их распределение в микроструктуре [3, 8].

Содержание титана в исследованных образцах варьировалось в диапазоне 0–1,5 мас. %. Химический состав исследованных образцов представлен в табл. 1.

Таблица. 1

В работе Wu и соавторов исследовано влияние титана на микроструктуру гиперэвтектического высокохромистого белого чугуна.

Элемент	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
C	4.00	3.95	3.90	3.86
Cr	20.00	19.74	19.50	19.29
Ti	0	0,50	1.00	1.50

Для оценки влияния титана на структурные изменения авторами применялись оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия (SEM), рентгеновская дифракция (XRD), энергодисперсионный анализ (EDS) и количественный анализ цифровых изображений. Установлено, что увеличение содержания титана оказывает заметное влияние на формирование и морфологию первичных карбидов M_7C_3 , способствуя их измельчению. При содержании 1,5 мас. % Ti эквивалентный диаметр первичных карбидов M_7C_3 снижается до значения менее 4 мкм [1].

Результаты и анализ

Исследования показывают, что микроструктура гиперэвтектического высокохромистого белого чугуна характеризуется наличием крупных первичных карбидов M_7C_3 , имеющих преимущественно шестигранную форму, а также эвтектической структурной составляющей. Введение титана оказывает заметное

влияние на формирование и морфологию первичных карбидов M_7C_3 , способствуя их измельчению [1, 3]. При сравнении образца без добавления титана с образцами, содержащими до 1,5 мас.% Ti, установлено, что с увеличением содержания титана происходит измельчение первичных карбидов M_7C_3 . В образце с содержанием 1,5 мас.% Ti эквивалентный диаметр первичных карбидов M_7C_3 снижается до значения менее 4 мкм [1].

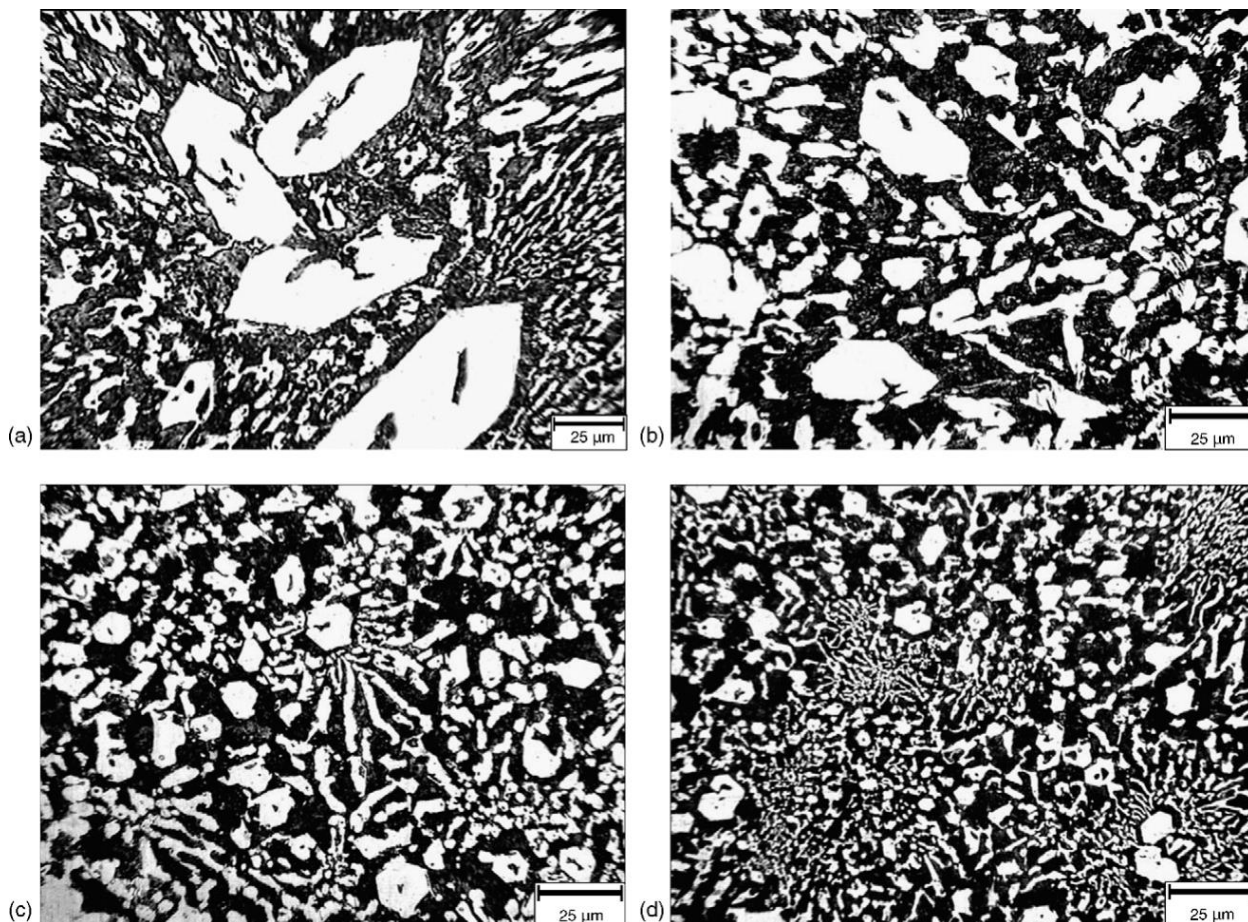


Рис 1. Титан количество гиперэвтектический высокий хром белый чугун в микроструктуре первичные карбиды M_7C_3 морфология эффект : а — 0%; б — 0,5 %; в — 1,0%; г — 1,5% Ti . источник : [1].

Состав представлен в таблице 1. Анализ полученных результатов показывает, что содержание титана оказывает заметное влияние на морфологию карбидов M_7C_3 . Однако неограниченное увеличение содержания титана не является целесообразным. Авторы отмечают, что чрезмерное увеличение количества титана может привести к формированию крупных частиц TiC и их агломерации. Кроме количества и размера карбидов M_7C_3 , существенное значение имеет их пространственная ориентация в микроструктуре, поскольку ориентация карбидной фазы может влиять на характер абразивного изнашивания высокохромистого белого чугуна [6].

Как видно из рисунка 2, содержание титана варьируется от 0 до 1,5 мас. %. С увеличением содержания титана эквивалентный диаметр первичных карбидов M_7C_3 уменьшается. В образце с содержанием 1,5 мас. % Ti эквивалентный диаметр карбидов снижается до значения менее 4 мкм [1].

Термическая обработка является одним из основных методов управления микроструктурой и механическими свойствами высокохромистых белых чугунов. В

процессе термической обработки происходят изменения структуры металлической матрицы и состояния карбидных фаз, что позволяет регулировать твёрдость и эксплуатационные характеристики материала [2, 4, 5].

Особое значение имеет дестабилизирующая термическая обработка, направленная на выделение вторичных карбидов и изменение состояния аустенитной матрицы. Последующая термическая обработка при температурах 450–550 °C может сопровождаться выделением мелкодисперсных легированных карбидов и эффектом вторичного упрочнения. При повышении температуры до 600 °C возможно разложение мартенситной составляющей матрицы, что приводит к снижению твёрдости [2]. Для температуры 520 °C также отмечено постепенное снижение твёрдости с увеличением продолжительности выдержки, что связано с развитием процессов структурного размягчения при длительной термической обработке [2].

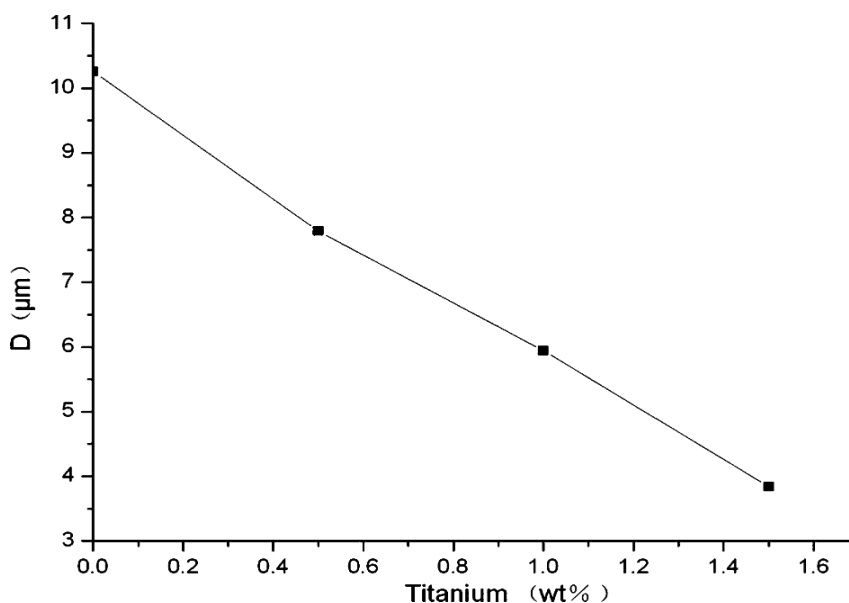


Рис. 2 - Зависимость содержания титана от эквивалентного диаметра первичных карбидов M_7C_3 . источник: [1].

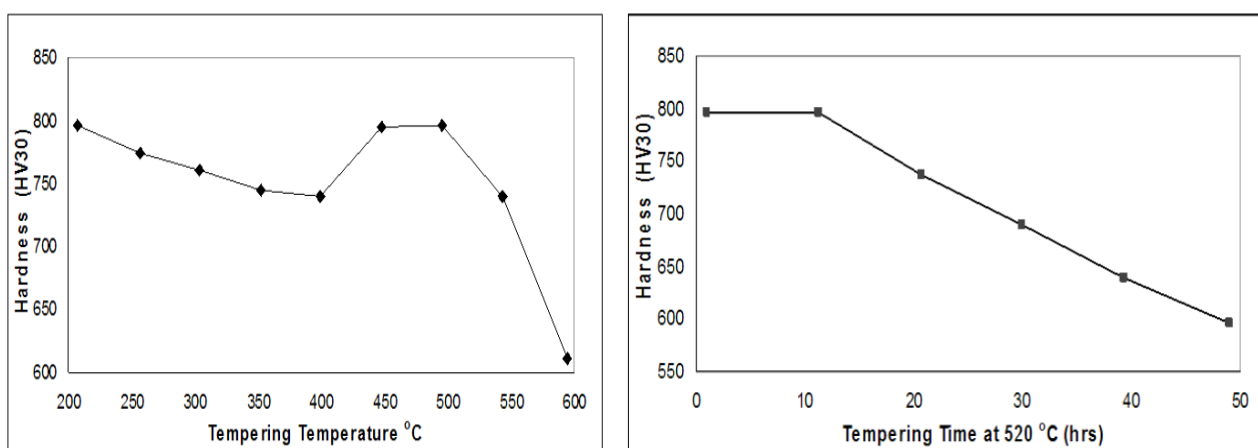


Рис. 3 – Влияние температуры и продолжительности термической обработки на твёрдость высокохромистого белого чугуна: а – влияние температуры; б – влияние продолжительности выдержки при температуре 520 °C. Источник: [2].



Заклучение

Анализ научной литературы показал, что модифицирование и термическая обработка являются эффективными способами управления микроструктурой и свойствами высокохромистого белого чугуна. Модифицирование титаном способствует измельчению первичных карбидов M_7C_3 и их более равномерному распределению в структуре. С увеличением содержания титана наблюдается уменьшение размеров карбидной фазы. Термическая обработка позволяет изменять состояние металлической матрицы и карбидных фаз и тем самым регулировать твёрдость чугуна. Правильный выбор температуры и продолжительности выдержки имеет важное значение для формирования требуемой микроструктуры и обеспечения заданного уровня механических и эксплуатационных свойств. Таким образом, комплексное применение модифицирования и термической обработки позволяет целенаправленно формировать микроструктуру высокохромистого белого чугуна и создавать предпосылки для повышения его эксплуатационной эффективности.

Список использованной литературы

- [1] Wu X., Xing J., Fu H., Zhi X. Effect of titanium on the morphology of primary M_7C_3 carbides in hypereutectic high chromium white iron // Materials Science and Engineering: A. – 2007. – Vol. 457. – P. 180–185.
- [2] Abdel-Aziz Kh., El-Shennawy M., Omar A.A. Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Heat Treated High-Cr White Cast Iron Alloys // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12, No. 14. – P. 4675–4686.
- [3] Zhi X.H., Xing J.D., Gao Y.M., Fu H.G. Effect of titanium on the as-cast microstructure of hypereutectic high chromium cast iron // Materials Characterization. – 2008. – Vol. 59. – P. 1221–1226.
- [4] Zhi X.H., Xing J.D., Gao Y.M., Fu H.G., Peng J.Y., Xiao B. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of a Ti-bearing hypereutectic high chromium white cast iron // Materials Science and Engineering: A. – 2008. – Vol. 487. – P. 171–179.
- [5] Karantzalis A.E., Lekatou A., Diavati E. Effect of destabilization heat treatments on the microstructure of high-chromium cast iron: A microscopy examination approach // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2009. – Vol. 18. – P. 1078–1085.
- [6] Dogan O.N., Hawk J.A. Effect of carbide orientation on abrasion of high Cr white cast iron // Wear. – 1995. – Vol. 189. – P. 136–142.
- [7] Wiengmoon A., Pearce J.T.H., Chairuangsi T. Relationship between microstructure, hardness and corrosion resistance in 20 wt.%Cr, 27 wt.%Cr and 36 wt.%Cr high chromium cast irons // Materials Chemistry and Physics. – 2011. – Vol. 125. – P. 739–748.
- [8] Yilmaz S.O., Tanju T. Effect of TiBAl inoculation and heat treatment on microstructure and mechanical properties of hypereutectic high chromium white cast iron // Journal of Alloys and Compounds. – 2016. – Vol. 672. – P. 324–331.