



УДК 621.74:669.13
DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-50-54

Поступила 18.10.2018
Received 18.10.2018

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЭВТЕКТИЧНОСТИ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. М. ИЛЬЮШЕНКО, Г. П. КОРОТКИН, П. Ю. ДУВАЛОВ, В. М. АНДРИЕНКО,
Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11.
E-mail: info@itm.by, vmil48@mail.ru
К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,
пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 62-76-938

Рассмотрено влияние углерода и типа литейных форм на износостойкость, твердость и прочность образцов из ИЧХ18ВМ. Проведен анализ структурного строения образцов из чугуна ИЧХ18ВМ в зависимости от типа формы и количества углерода. Установлено, что независимо от типа форм по мере увеличения содержания углерода наблюдается образование крупных первичных карбидов, а затем и появление особо крупных тригональных карбидов в заэвтектическом чугуне. Показано, что на образование и рост карбидов оказывают влияние такие факторы, как увеличение содержания углерода и скорость затвердевания. Проведено сравнение твердости, прочности и износостойкости образцов, полученных в разных типах форм при различной скорости затвердевания.

Ключевые слова. Износостойкий хромистый чугун, степень эвтектичности, прочность, твердость, износостойкость.
Для цитирования. Марукович, Е. И. Эксплуатационные свойства износостойких хромистых чугунов с разной степенью эвтектичности / Е. И. Марукович, В. М. Ильюшенко, Г. П. Короткин, П. Ю. Дувалов, В. М. Андриенко, К. Э. Барановский // *Литье и металлургия*. 2018. № 4. С. 50–54. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-50-54.

THE PERFORMANCE PROPERTIES OF CHROMIUM CAST IRONS WITH DIFFERENT DEGREE OF EUTECTIC

E. I. MARUKOVICH, V. M. ILYUSHENKO, G. P. KOROTKIN, P. YU. DUVALOV, V. M. ANDRIENKO,
Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus,
11, Bjalynitskogo-Biruli str. E-mail: info@itm.by,
K. E. BARANOUSKI, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
Tel. +375 29 62-76-938

The influence of carbon and the type of forms on the wear resistance, hardness and strength of samples from chromium iron made of ИЧХ18ВМ cast iron was investigated. The analysis of the structural structure of the samples of cast iron ИЧХ18ВМ depending on the type of shape and amount of carbon was made. It is established that regardless of the type of forms with increasing carbon content the formation of large primary carbides is observed, and then the emergence of particularly large trigonal carbides in a hypereutectic iron was confirmed. It is shown that regardless of the type of forms the formation and growth of carbides are influenced by such factors as an increase in the carbon content and the rate of solidification. A comparison was made between the hardness, strength, and wear resistance of samples obtained at different heat exchange and solidification rates.

Keywords. Chromium cast iron, eutectic level, strength, hardness, wear resistance.
For citation. Marukovich E. I., Ilyushenko V. M., Korotkin G. P., Duvalov P. Yu., Andrienko V. M., Baranouski K. E. The performance properties of chromium cast irons with different degree of eutectic. *Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 4, pp. 50–54. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-50-54.

Введение

В настоящее время наиболее эффективными машинами для тонкого помола сыпучих материалов являются измельчители, реализующие высокоскоростное ударное нагружение. К машинам данного типа относятся мельницы центробежно-ударного действия, выпускаемые ОАО «НПО Центр», г. Минск. Однако процесс тонкого измельчения является весьма энергоемким и сопряжен с безвозмездной потерей

металла из-за износа рабочих элементов измельчителей. По некоторым данным, в настоящее время на измельчение затрачивается около 5–10% производимой в мире электроэнергии и несколько миллионов тонн легированных чугунов и сталей [1], из которых изготавливаются элементы защиты и рабочие части оборудования для измельчения. Из эксплуатационных характеристик материала, применяемого для изготовления элементов оборудования, наибольший интерес представляют такие параметры, как твердость, предел прочности при изгибе и удельный износ. Эти параметры в достаточной мере характеризуют материал, который используется для сменных элементов защиты дробильно-размольного оборудования.

Методика исследования и проведения экспериментов

Расплав чугуна ИЧХ18ВМ с разной степенью эвтектичности выплавляли в индукционной печи ИСТ-0.25. Заливку форм осуществляли при температуре расплава 1500 °С.

В литейных формах трех типов отливали образцы размерами 14×14×65 мм с разным содержанием углерода. Первый тип форм изготавливали полностью из холоднотвердеющей смеси (ХТС). Второй тип форм состоял из верхней части, выполненной из ХТС, и нижней части, выполненной из металлической плиты, покрытой термостойкой тканью. Третий тип форм был таким же, как и второй, только вместо термостойкой ткани на металлическую плиту наносили слой разделительной краски.

Экспериментальные образцы имели следующий химический состав: 18,3% Cr, 0,28% W, 0,31% Ni, 0,32% V, 0,45% Mo, 0,47% Mn, 0,35% Si, содержание углерода составляло 3,25, 3,60, 3,98, 4,14, 4,36, 4,74%.

С использованием ранее разработанного программного комплекса [2] были определены средние скорости полного затвердевания образцов в различных типах форм, которые составили 6,7; 7,8 и 11,4 °/с соответственно для 1, 2 и 3 типов форм.

Микроструктуры из центра поперечного сечения образцов с содержанием углерода 3,25, 3,98 и 4,74% показаны на рис. 1.

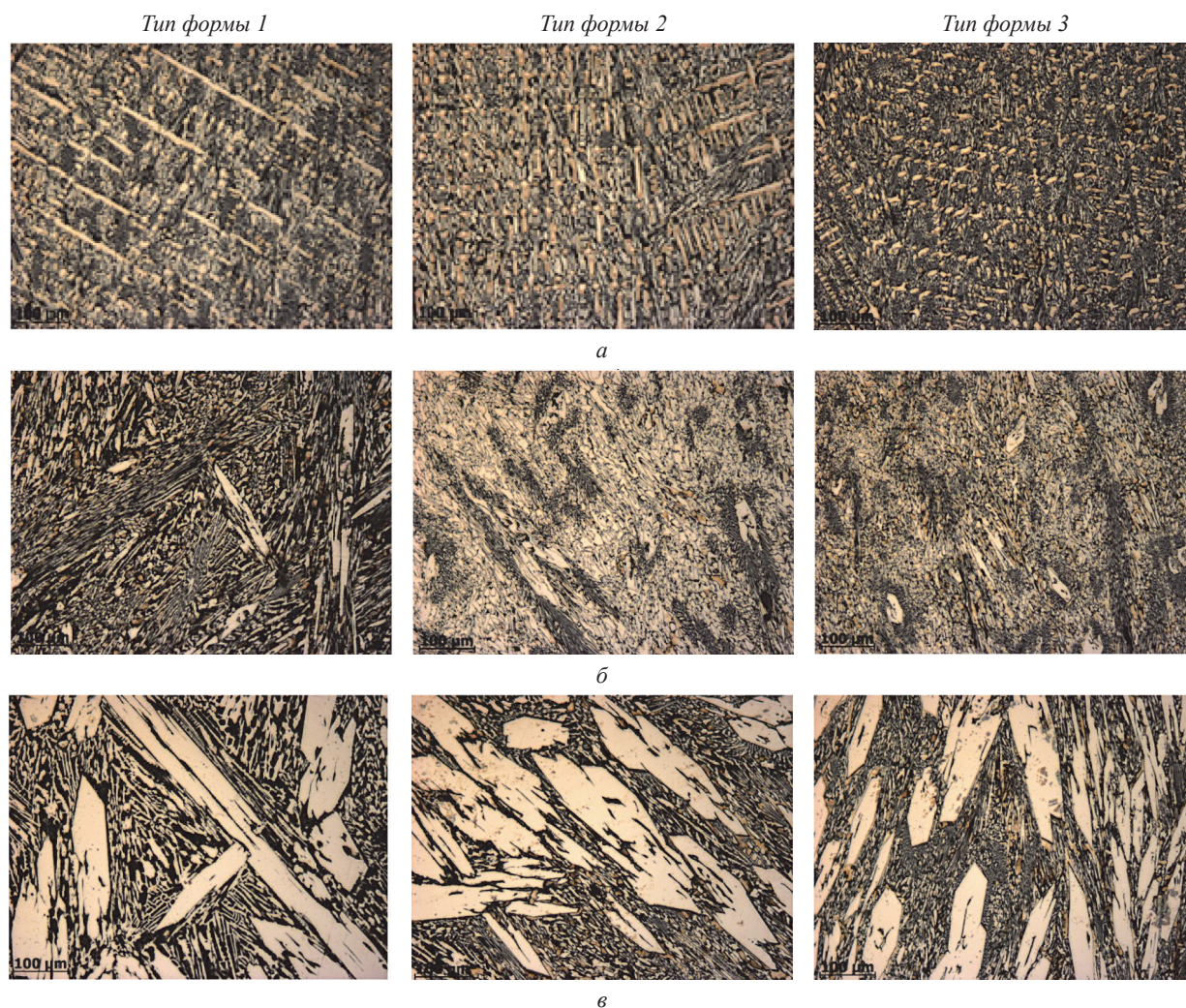


Рис. 1. Структура образцов из чугуна ИЧХ18ВМ с разным содержанием углерода: а – содержание углерода 3,25%; б – 3,98; в – 4,74%

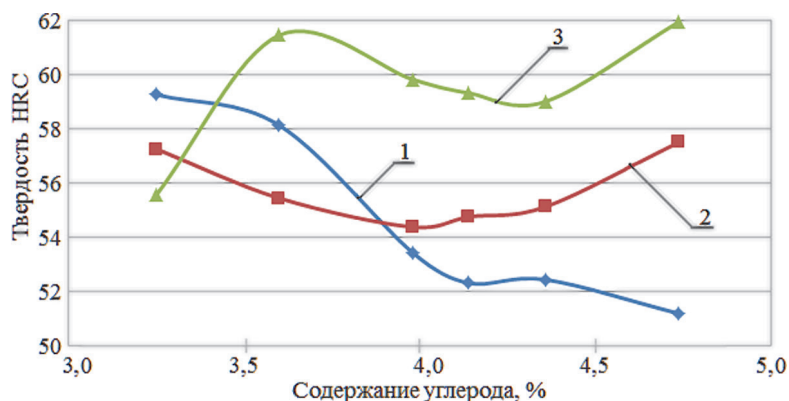


Рис. 2. Зависимость твердости от содержания углерода в чугуне ИЧХ18ВМ: 1 – форма из ХТС; 2 – верхняя часть формы из ХТС, нижняя – металлическая плита, укрытая термостойкой тканью; 3 – верхняя часть формы из ХТС, нижняя – металлическая плита с антипригарным слоем краски

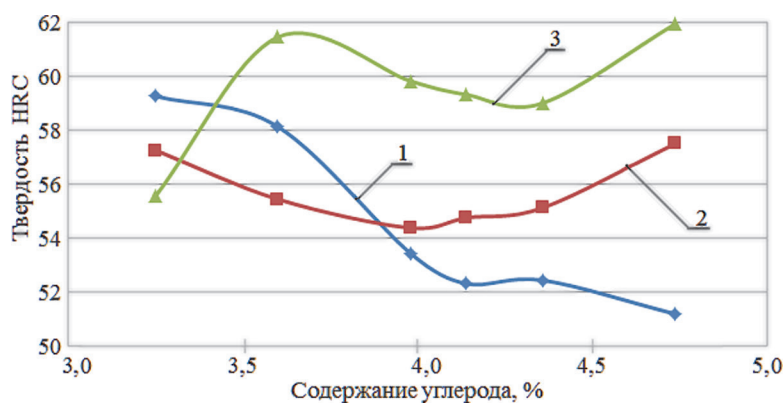


Рис. 3. Зависимость удельного износа от содержания углерода в образцах, полученных в трех типах форм. Обозначения те же, что на рис. 2

Образцы исследовали в литом состоянии. Независимо от типа форм во всех образцах четко прослеживается переход от характерных черт доэвтектического хромистого чугуна к появлению крупных первичных карбидов в немного заэвтектическом и к особо крупным тригональным карбидам в сильно заэвтектическом чугуне. Также наблюдается различие в размерах карбидов в зависимости от скорости затвердевания. Наиболее крупные карбиды присутствуют в образцах, полученных в форме типа 1 с наименьшей скоростью затвердевания (рис. 1).

Средние значения твердости образцов в зависимости от содержания углерода, полученных в трех типах форм, приведены на рис. 2.

Твердость образцов, полученных в формах типов 1 и 2, уменьшается с увеличением содержания углерода в сплаве (особенно для образцов, полученных в формах, выполненных полностью из ХТС). Это связано с появлением в аустенитной металлической матрице мягких продуктов распада аустенита – перлита [3, 4]. Наиболее высокую твердость имеет образец, отлитый в форме типа 3 с самой высокой скоростью охлаждения, что связано (в отличие от других типов форм) с получением при литье полностью аустенитной металлической матрицы и более мелкой структуры.

Изучение износостойкости проводили на испытательном стенде по методике, представленной в работе [5]. Результаты удельного износа образцов из чугуна ИЧХ18ВМ с разным содержанием углерода приведены на рис. 3.

Следует отметить, что износ образцов зависит от твердости. Значительное повышение износа отмечено при увеличении содержания углерода более 4% у образцов, полученных в формах типов 1 и 2, что объясняется появлением перлита в структуре и снижением твердости. Особенно сильно это выражено у образцов, отлитых в формы типа 1, в то время как в абсолютных значениях показатели износа образцов из форм типов 2 и 3 примерно равны. Наименьший износ имеет образец, содержащий максимальное количество углерода (карбидов), отлитый в форму с максимальной скоростью охлаждения [6].

Прочностные характеристики при изгибе образцов из экспериментальных сплавов определяли по методике, описанной в работе [7]. По результатам расчетов построены зависимости предела прочности

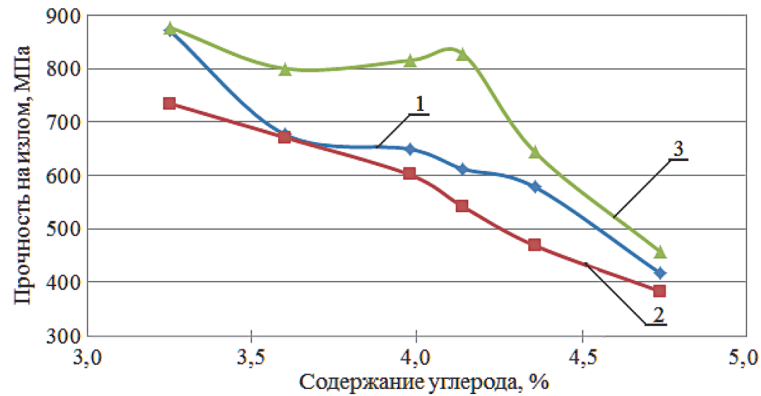


Рис. 4. Зависимости предела прочности на изгиб от содержания углерода в чугуне ИЧХ18ВМ. Обозначения те же, что на рис. 2

при изгибе от содержания углерода в чугуне ИЧХ18ВМ для образцов, отлитых в различные типы форм (рис. 4).

Как и следовало ожидать, максимальную прочность имеют чугуны с доэвтектической структурой, содержащие меньшее количество карбидов [3, 4], это способствует повышению прочностных характеристик. При увеличении содержания углерода до заэвтектической области происходит постепенное снижение прочностных характеристик, а после 4% С – резкое падение. Как видно из рисунка, тип формы не существенно влияет на тенденцию значительного снижения прочности в заэвтектическом ИЧХ18ВМ. В абсолютных цифрах лучшим оказался тип формы 3.

Выводы

Изучено влияние содержания углерода и типа литейной формы на износостойкость, твердость и прочность образцов из ИЧХ18ВМ. Проведен анализ структурного строения образцов из чугуна ИЧХ18ВМ в зависимости от типа формы и количества углерода. Независимо от типа форм по мере увеличения содержания углерода наблюдается образование крупных первичных карбидов, а затем и появление особо крупных тригональных карбидов в заэвтектическом чугуне. На размеры карбидов также влияет интенсивность теплообмена. Изучена твердость образцов, отлитых в 3-х типах форм с разным теплообменом, обусловленном материалом формы. Наибольшую твердость имеют образцы с более высоким содержанием углерода. У образцов заэвтектического состава повышается твердость при 4,0–4,7% углерода, кроме образца, форма которого изготовлена из ХТС, где твердость монотонно падает. Определен удельный износ, где наименьшие показатели износа отмечены в форме типа 3 при максимальном содержании углерода. В формах типов 1, 2 с увеличением количества углерода износ растет. Установлено, что прочность образцов имеет одинаковую тенденцию к уменьшению по мере увеличения содержания углерода, в абсолютных цифрах лучшим оказался тип формы 3.

Проведенные исследования показали перспективность использования литейных форм, обеспечивающих более высокую скорость затвердевания как с точки зрения измельчения структуры, так и подавления перлитного превращения при охлаждении. Перспективным является дальнейшее проведение исследовательских работ по измельчению карбидов и легированию заэвтектических чугунов, что позволит повысить механические свойства отливок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бороха Э. Л., Воробьев В. В., Горобец А. В. Центробежные дробилки и мельницы ударного типа // Материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. г. Минск, 9–11 сентября 2008. С. 5–15.
2. Барановский Э. Ф., Пумпур В. А., Ильющенко В. М., Барановский К. Э. Затвердевание отливок из износостойких чугунов при литье в кокиль, песчаную и комбинированные формы // Литейное производство. 2011. № 9. С. 19–23.
3. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
4. Садовский В. М. Теоретическое обоснование, разработка и освоение технологии производства литых высоконагруженных износостойких деталей и инструмента из высокохромистого чугуна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2001. 20 с.
5. Марукович Е. И., Ильющенко В. М., Дувалов П. Ю., Калентиюнок А. И., Барановский К. Э. Изучение износостойкости деталей из хромистых чугунов, полученных литьем в кокиль // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: X Междунар. науч.-техн. конф. В 3-х кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением. Минск, 16–18 сент. 2015. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015. С. 52–57.

6. Марукович Е. И., Ильюшенко В. М., Дувалов П. Ю., Анисович А. Г., Барановский К. Э. Хромистый чугун, легированный ниобием // Тр. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2017. Беларусь». Минск, 18–19 окт. 2017. С. 76–81.

7. *Общетехнический справочник* / Под ред. Е. А. Скороходова. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1982. 415 с.

REFERENCES

1. Borokha E. L., Vorobev V. V., Gorobets A. V. Tsentrobezhnnyye drobilki i melnitsy udarnogo tipa [Centrifugal crushers and impact mills]. *Materialy 3-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of the 3rd International Scientific and Technical Conference]. Minsk, 9–11 Sept. 2008, pp. 5–15.

2. Baranovskiy E. F., Pumpur V. A., Pyushenko V. M., Baranovskiy K. E. Zatverdevaniye otlivok iz iznosostoykikh chugunov pri litye v kokil, peschanuyu i kombinirovannyye formy [Solidification of castings from wear-resistant cast iron casting in chill, sand and combined forms]. *Liteynoye proizvodstvo = Foundry*, 2011, no. 9, pp. 19–23.

3. Zhukov A. A., Silman G. I., Froltsov M. S. *Iznosostoykiye otlivki iz kompleksno-legirovannykh belykh chugunov* [Wear-resistant castings from complex-alloyed white cast irons]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 104 p.

4. Sadovskii V. M. *Teoreticheskoye obosnovaniye, razrabotka i osvoyeniye tekhnologii proizvodstva litykh vysokonagruzhennykh iznosostoykikh detaley i instrumenta iz vysokokhromistogo chuguna. Avtoref. dis. cand. tech. nauk* [Theoretical substantiation, development and mastering of the technology of cast high-loaded wear-resistant parts and tools from high-chromium cast iron]. Minsk, 2001. 20 p.

5. Marukovich E. I., Pyushenko V. M., Duvalov P. Y., Kalentionok A. I., Baranovskiy K. E. Izucheniye iznosostoykosti detaley iz khromistykh chugunov, poluchennykh lityem v kokil [Study of the wear resistance of parts of chromium cast irons, obtained by casting in a metal mold and processing of materials]. *X Mezhdunar. nauch. tekhn. conf.: sbornik materialov. Vol. 3 kn. Kn. 3. Obrabotka metallov davleniyem*. Minsk, 16–18 sent. 2015 [X Intern. scientific-techn. conf.: the collection of materials. 3 vol., kn. 3. Processing of metals by pressure Minsk, 16–18 Sept. 2015, pp. 52–57].

6. Marukovich E. I., Pyushenko V. M., Duvalov P. Y., Anisovich A. G., Baranovskiy K. E. Khromistyy chugun, legirovanny niobiyem [Chromium cast iron, alloyed with niobium]. *Trudy XXV mezhdunar. conf. «Liteynoye proizvodstvo i metallurgiya 2017. Belarus* [XXV International Science and Technology Conference «Foundry production and metallurgy 2017. Belarus», 2017, pp. 76–81.

7. *Obshchetekhnicheskiiy spravochnik* [Technical reference book]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1982. 415 p.