



УДК 621.74:669.13

Поступила 17.02.2016

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ THE WEAR RESISTANCE INCREASE OF CHROMIUM CAST IRON

*В. М. ИЛЮШЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: vmil48@mail.ru,
К. Э. БАРАНОВСКИЙ, И. Б. ПРОВОРОВА, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: i-provorova@mail.ru*

*V. M. ILYUSHENKO, P. Yu. DUVALOV, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Byalynitskaga-Biruli str. E-mail: vmil48@mail.ru,
K. E. BARANOWSKI, I. B. PROVOROVA, E. V. ROZENBERG, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: i-provorova@mail.ru*

В статье представлены результаты испытаний на износостойкость хромистых чугунов различных составов, полученных в земляных формах. Показано, что повышение износостойкости и механических свойств чугунов возможно при использовании литья в металлические формы. Дальнейшее увеличение износостойкости деталей, полученных в металлических формах, может быть достигнуто за счет изменения технологических параметров заливки и легирования титаном.

The article presents the results of the tests on the wear resistance of chromium cast irons of different compositions obtained in sand forms. It has been shown that increase of the wear resistance and mechanical properties of the cast iron is possible to obtain using the casting in metal molds. A further increase in wear resistance of parts produced in metal molds is possible by changing the technological parameters of casting and alloying by titanium.

Ключевые слова. Износостойкий хромистый чугун, земляная форма, металлическая форма, износостойкость, механические свойства, легирование.

Keywords. Wear-resistant chromium cast iron, sand casting, metal mold, wear resistance, mechanical properties, allowing.

Задача по повышению износостойкости деталей из хромистых чугунов является комплексной и включает в себя выбор состава износостойкого чугуна в зависимости от условий эксплуатации детали, определение технологии литья, разработку оптимальных режимов литья, а также использование дополнительного легирования базового состава чугуна. Параметры затвердевания хромистых чугунов влияют на эксплуатационные свойства в значительно большей степени, чем в других литейных сплавах. Увеличение скорости охлаждения при кристаллизации и использование направленного затвердевания изменяют такие характеристики структуры, как размер и взаимное расположение карбидной фазы. Поэтому определение рациональной технологии изготовления отливок из хромистых чугунов имеет такое же важное значение, что и выбор состава сплава [1].

Очень часто оборудование эксплуатируется в абразивной среде в условиях сухого трения, например, дробеметы, строительная техника, центробежные дробилки и мельницы. Поэтому представляло интерес исследование износостойкости наиболее распространенных чугунов в этих условиях. Изучали износостойкость и механические свойства трех разных хромистых чугунов: ИЧХ28Н2, ИЧХ18, ИЧХ18ВМ. Образцы чугунов для испытаний отливали в земляные формы. Износостойкость изучали в режиме сухого трения. Хромистый чугун ИЧХ28Н2 (Cr – 27%, C – 3,1, Ni – 1,5%) был выбран как наиболее распространенный износостойкий чугун в СНГ и Республике Беларусь. Комплексно-легированный никелем, молибденом и ванадием чугун ИЧХ18 (C – 3,4%, Cr – 18,5, Mo – 0,6, V – 0,6, Ni – 0,7%) обладает оптимальными механическими свойствами, хорошо зарекомендовал себя в машиностроении, в частности, при изготовлении дробеметных лопаток. Разработанный в ИТМ НАН Беларуси экономно-легированный экспериментальный чугун ИЧХ18ВМ (C – 3,45%, Cr – 18,8, W – 0,6, Mo – 0,4, V – 0,2, Ni – 0,25%)

применяется для литья деталей дробильно-размольного оборудования, строительной техники (ТУ ВУ 700002421.004-2011). Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Относительная износостойкость и механические свойства хромистых чугунов эвтектического состава (литье в земляные формы)

Марка чугуна	ИЧХ28Н2	ИЧХ18	ИЧХ18ВМ
Твердость в литом состоянии HRC	52–53	54–55	54–55
Коэффициент относительной износостойкости чугунов в литом состоянии*	1,0	2,2	2,4
Ударная вязкость, Дж/см ²	11,4	10,5	13,8

* Эталон чугуна ИЧХ28Н2 в литом состоянии (испытания в лабораторных условиях).

Экспериментальный чугун ИЧХ18ВМ имеет большую износостойкость и ударную вязкость, чем ИЧХ28Н2 и ИЧХ18. Его стоимость ниже, чем у названных выше сплавов [2].

Наиболее перспективной технологией, позволяющей повысить эксплуатационные характеристики деталей из износостойких чугунов за счет увеличения скорости охлаждения при кристаллизации (по сравнению с литьем в земляные формы), является метод литья в металлические формы [3].

На рис. 1 показаны структуры чугуна ИЧХ18ВМ литого в земляную (а) и металлическую (б) формы, а в табл. 2 приведена относительная износостойкость и ударная вязкость этого сплава, полученного в разных литейных формах. Структура при литье в металлические формы измельчается в 3–4 раза.

Таблица 2. Относительная износостойкость и ударная вязкость хромистого чугуна ИЧХ18ВМ эвтектического состава (литье в земляные формы и кокиль)

Марка чугуна	ИЧХ18ВМ (литье в земляные формы)	ИЧХ18ВМ (литье в металлические формы)
Твердость в литом состоянии HRC	54–55	57–61
Коэффициент относительной износостойкости чугунов в литом состоянии*	1,0	1,25
Ударная вязкость, Дж/см ²	13,8	15,8

* Эталон чугуна ИЧХ18ВМ литой в земляную форму (испытания в промышленных условиях).

Кроме повышения износостойкости на 20–30% и твердости до 61 HRC, при литье в кокиль увеличивается и ударная вязкость на 15–20%, до 15,5–17,0 Дж/см² [4]. Дальнейшее увеличение износостойкости деталей из хромистых чугунов, полученных в металлических формах, возможно за счет выбора оптимальных режимов литья. Известно, что на процесс формирования отливки в кокиле сильное влияние оказывают такие параметры литья, как температура заливаемого расплава и время заполнения формы расплавом [5]. Изменяя эти параметры, можно воздействовать на формирование структуры отливки и, как следствие, на износостойкость получаемых деталей. Изучение влияния этих параметров проводили при изготовлении отливок «подкладной лист» (отливка массой 9,2 кг, прибыль с литниковой системой 1,5 кг, толщина рабочей части отливки 25 мм) [6].

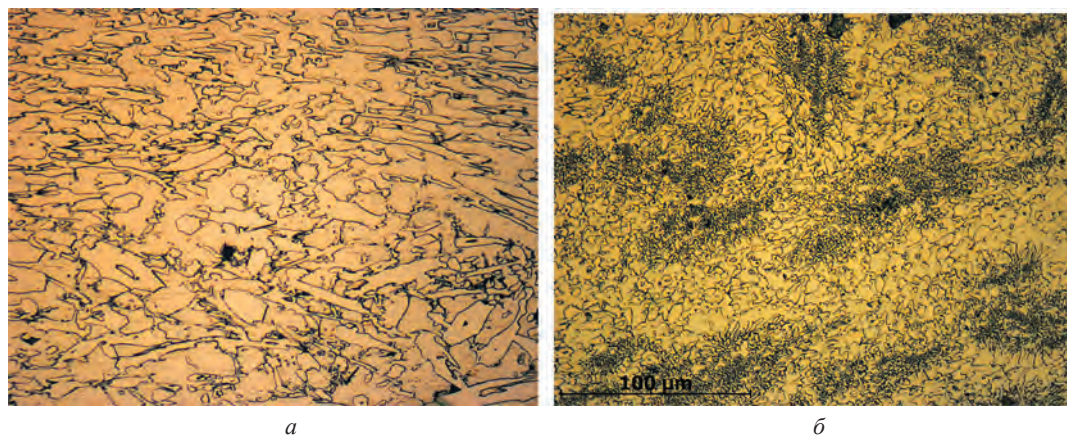


Рис. 1. Структура чугуна ИЧХ18ВМ: а – литье в земляную форму; б – литье в металлическую форму. ×500



Рис. 2. «Подкладной лист» УЗ-1,25 (а) и образцы, вырезанные из него (б)



Рис. 3. Влияние температуры расплава на износостойкость



Рис. 4. Влияние времени заполнения формы расплавом на износостойкость

Расплав одного и того же состава заливали в формы при температурах 1450, 1500 и 1550 °С. Время заполнения формы составляло 12 ± 1 с. Применяли заливку сверху.

Для проведения испытания на износостойкость в лабораторных условиях из деталей вырезали образцы. В образцах испытывали верхнюю (рабочую) часть. На рис. 2 показаны деталь «подкладной лист» и образцы для испытаний.

Испытания проводили на стенде, разработанном в Институте технологии металлов НАН Беларуси. При разработке конструкции испытательного стенда было учтено требование к проведению испытаний в условиях, как можно ближе моделирующих условия износа защитных деталей центробежных дробилок и мельниц. В испытательном стенде применяли вращательное перемещение абразивного круга относительно испытываемого материала. Параметры испытаний (скорость, нагрузка и т. д.) подбирали исходя из реальной скорости износа деталей в процессе эксплуатации. Результаты испытаний приведены на рис. 3.

Изменение износостойкости при уменьшении температуры с 1550 до 1450 °С составило около 7%, что укладывается в пределы погрешностей испытаний. Также исследовали влияние времени заливки кокиля (температура заливаемого расплава 1450 °С) на износостойкость (рис. 4).

Увеличение времени заливки от 5 до 26 с повысило износостойкость рабочей поверхности отливки «подкладной лист» на 37%. Это можно объяснить тем, что при увеличении времени заливки до 20–25 с в полости формы практически полностью снимается перегрев расплава, а в нижней части отливки образуется слой затвердевшего металла, что подтверждается экспериментальными данными и расчетами [6]. Время затвердевания отливки «подкладной лист» составляет 90 с при времени заливки 20–25 с. Это приводит к ускорению затвердевания верхней части отливки в сравнении с быстрой заливкой, а следовательно, к получению более мелкой структуры, обладающей повышенной износостойкостью.

Также исследовали влияние дополнительного легирования на износостойкость. В качестве легирующих элементов были выбраны титан и вольфрам. Титан – относительно дешевый легирующий элемент, используемый для микролегирования и модифицирования чугуна. Карбиды титана, находящиеся в металлической матрице, способствуют ее упрочнению и повышению микротвердости [7].



Рис. 5. Характерный износ детали «подкладной лист»

Вольфрам является достаточно дорогим легирующим элементом, но использование вторичных материалов позволяет снизить стоимость легирования им в 3–4 раза. Проведенный рентгеноструктурный анализ чугуна, дополнительно легированного вольфрамом, показал наличие сложных карбидов, содержащих вольфрам и находящихся в основном в металлической матрице. Эти карбиды упрочняют матрицу и должны способствовать повышению износостойкости.

Для изучения влияния легирования на износостойкость чугун ИЧХ18ВМ базового состава (С – 3,6%, Cr – 18, W – 0,6, Mo – 0,35, V – 0,2, Ni – 0,25, Mn – 0,6, Si – 0,65%) дополнительно легировали 0,25% Ti, а содержание W было повышено от 0,6 до 1,5%. Из этих чугунов в металлические формы (кокили) были отлиты детали «подкладной лист».

Испытания в лабораторных условиях показали, что легирование титаном резко увеличивает износостойкость. Чугун, дополнительно легированный вольфрамом, имел ту же износостойкость, что и чугун базового состава. При литье чугуна, легированного титаном, угар этого элемента составил 50%, а сплав имел низкую жидкотекучесть. В табл. 3 приведена твердость поверхности отливок, легированных титаном 1 и вольфрамом 2, а также микротвердость металлической матрицы.

Испытания в лабораторных условиях показали, что легирование титаном резко увеличивает износостойкость. Чугун, дополнительно легированный вольфрамом, имел ту же износостойкость, что и чугун базового состава. При литье чугуна, легированного титаном, угар этого элемента составил 50%, а сплав имел низкую жидкотекучесть. В табл. 3 приведена твердость поверхности отливок, легированных титаном 1 и вольфрамом 2, а также микротвердость металлической матрицы.

Таблица 3. Твердости отливок, легированных титаном и вольфрамом

Номер образца	Твердость отливки HRC	Микротвердость матрицы HV
1	63	698
2	61	592

Для определения износостойкости деталей, дополнительно легированных Ti и W, были проведены испытания на ОАО «Полоцк-Стекловолокно». Детали «подкладной лист» устанавливали на центробежную мельницу МЦ-1,25 для размолва кварцевого песка. На рис. 5 показана деталь «подкладной лист» после проведения испытаний.

Испытания показали увеличение ресурса работы деталей, легированных Ti и W на 17 и 5% соответственно, по сравнению с образцами из базового состава чугуна. Проведенные работы по исследованию износостойкости хромистых чугунов в лабораторных и промышленных условиях свидетельствуют, что литье в металлические формы, увеличение времени заливки, а также легирование Ti позволяют увеличить износостойкость деталей из ИЧХ.

Выводы

Исследования износостойкости и ударной вязкости хромистых чугунов ИЧХ28Н2, ИЧХ18, ИЧХ18ВМ показали, что наиболее распространенный в СНГ и Республике Беларусь чугун ИЧХ28Н2 уступает по износостойкости чугунам ИЧХ18, ИЧХ18ВМ. Экспериментальный износостойкий чугун ИЧХ18ВМ обладает более высокой износостойкостью и ударной вязкостью при более низкой стоимости. Дальнейшее увеличение износостойкости, ударной вязкости и твердости возможно за счет литья в металлические формы. налажено производство деталей из этого чугуна. Показано, что увеличение износостойкости деталей, полученных в металлических формах, возможно за счет увеличения времени их заливки, а также легирования титаном.

Литература

1. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. М.: Металлургия, 1983. 176 с.
2. Барановский К. Э., Ильюшенко В. М., Барановский Э. Ф., Короткин Г. П. Повышение ресурса работы деталей из износостойких хромистых чугунов оборудования по производству кирпича из глины и центробежных измельчителей // Литье и металлургия. 2010. № 3. С. 43–47.
3. Барановский К. Э., Ильюшенко В. М., Дувалов П. Ю. Получение отливок из износостойких чугунов в комбинированных формах и кокилях // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы VI МНТК. Минск, ФТИ НАН Беларуси, 14–16 сентября 2011г. С. 18–22.

4. Барановский К. Э., Урбанович Н. И., Басалай И. А., Ильюшенко В. М., Дувалов П. Ю. Износостойкость хромистых чугунов // Сб. докл. XIII МНТК «Чтения памяти В. Р. Кубачека». Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Екатеринбург, 16–17 апреля 2015 г. С. 310–314.

5. Марукович, Е. И. Получение отливок из износостойких хромистых чугунов в комбинированных формах / Е. И. Марукович, В. М. Ильюшенко, П. Ю. Дувалов. Перспективные материалы и технологии; под ред. В. В. Клубовича. Витебск, 2013. Гл. 1. С. 9–35.

6. Марукович, Е. И. Исследование формирования в кокиле отливок из специальных износостойких чугунов для изготовления деталей центробежных дробилок / Е. И. Марукович, В. А. Пумпур, Г. П. Короткин, П. Ю. Дувалов // Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2015. Беларусь», Жлобин, 21–22 октября 2015 г. С. 23–31.

7. Емельюшин А. Н. Влияние титана и бора на износостойкость чугуна, предназначенного для механической обработки неметаллических материалов инструмента из хромистых чугунов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2000. № 2. С. 28–29.

References

1. Сурин И. И. *Belye iznosostojkie chuguny* [White wear-resistant cast iron]. Moscow, Metallurgija Publ., 1983. 176 p.

2. Baranovskij K. E., Il'jushenko V. M., Baranovskij E. F., Korotkin G. P. Povyshenie resursa raboty detalej iz iznosostojkih hromistyh chugunov oborudovanija po proizvodstvu kirpicha iz gliny i centrobezhnyh izmel'chitelej [Increased service life of the parts of wear-resistant chromium cast iron equipment for the production of clay bricks and centrifugal grinders]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 3, pp. 43–47.

3. Baranovskij K. E., Il'jushenko V. M., Duvalov P. Yu. Poluchenie otlivok iz iznosostojkih chugunov v kombinirovannyh formah i kokiljah [Production of castings made of wear-resistant cast iron in combined forms and chills]. *Sovremennye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov* [Modern methods and technologies of creation and processing of materials. VI Meezhdunarodnoy Materials Science and Technology Conference]. Minsk, 2011, pp. 18–22.

4. Baranovskij K. E., Urbanovich N. I., Basalaj I. A., Il'jushenko V. M., Duvalov P. Yu. *Iznosostojkost' hromistyh chugunov* [The wear resistance of chromium cast iron. Proceedings of the XIII International scientific-technical conference «Readings in memory of V. R. Kubacheka» Technological equipment for mining and oil and gas industry]. 16–17 aprelja 2015, Ekaterinburg, pp. 310–314.

5. Marukovich E. I., Il'jushenko V. M., Duvalov P. Yu. Poluchenie otlivok iz iznosostojkih hromistyh chugunov v kombinirovannyh formah [Production of castings made of wear-resistant chromium cast iron in combined forms]. Vitebsk, 2013. *Perspektivnye materialy i tehnologii* [The Advanced Materials and Technologies]. Vitebsk, VSTU Publ., 2013. 655 p.

6. Marukovich E. I., Pumpur V. A., Korotkin G. P., Duvalov P. Yu. Issledovanie formirovaniya v kokile otlivok iz specialnyh iznosostojkih chugunov dlya izgotovleniya detalej centrobezhnyh drobilok [Investigation the forming of castings from special wear-resistant cast iron in chill castings for production of details of centrifugal crushers]. *Foundry and Metallurgy 2015. Belarus*. Zhlobin, 2015, pp. 23–31.

7. Emeljushin A. N. Vlijanie titana i bora na iznosostojkost' chuguna, prednaznachennogo dlja mehanicheskoj obrabotki nemetallicheskih materialov instrumenta iz hromistyh chugunov [Effect of titanium and boron to wear iron intended for machining non-metal tool of chromium cast iron]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija = Proceedings of the higher educational institutions. Ferrous metallurgy*, 2000, no. 2, pp. 28–29.