

УДК 621.74:669.13

## ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ

Барановский К.Э., Урбанович Н.И., Волосатиков В.И., Басалай И.А., Розенберг Е.В. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Дувалов П.Ю. («Институт технологии металлов» Национальная академия наук Беларуси, г. Могилев, Беларусь)

*В статье представлены результаты исследований по сравнению механических свойств и износостойкости наиболее распространенных в СНГ и Республике Беларусь износостойких хромистых чугунов. Показано, что применение нового износостойкого чугуна и специальных методов литья позволяет повысить износостойкость и механические свойства деталей.*

### Введение

Эксплуатационные характеристики современных износостойких хромистых чугунов (ИЧХ) определяются наличием, образующихся при высоких содержаниях хрома, специальных карбидов  $Me_7C_3$  и  $Me_{23}C_6$  и дополнительных легирующих элементов (молибдена, никеля, ванадия, и др.). Детали, испытывающие абразивный износ, работают в условиях возможных ударных нагрузок, поэтому кроме износостойкости важнейшим критерием работоспособности является ударная вязкость и прочность. В связи с этим, разработка составов новых ИЧХ, обеспечивающих сочетание высокой износостойкости и твердости, наряду с удовлетворительной прочностью, пластичностью и ударной вязкостью, является весьма актуальной.

### Основная часть

Возможность использования износостойких хромистых чугунов в тех или иных условиях эксплуатации определяется не только их износостойкостью, но и механическими свойствами. Поэтому представляет интерес сравнение износостойкости и механических свойств наиболее часто применяемых в промышленности ИЧХ.

В качестве эталона был выбран наиболее распространенный в СНГ и Республике Беларусь износостойкий хромистый чугун – ИЧХ28Н2 (25-30 % Cr, 1,5-2,0 % Ni). В настоящее время из этого сплава изготавливается большая номенклатура отливок (детали насосов для перекачки агрессивных веществ, защита и броня размольного оборудования и т.д.).

Широко применяется хромомолибденовый чугун ИЧХ16МЗ (15-19 % Cr, 1-3 % Mo), из него производят дробеметные лопатки, облицовку размольного оборудования и т.д. Благодаря молибдену, этот чугун обладает высокой прокаливаемостью и используется, в основном, в термообработанном состоянии (закалка) [1].

Комплексно легированный молибденом, никелем, ванадием чугун ИЧХ18 (17-19 % Cr, 0,5 % Mo, 0,4 % V, Ni до 0,8 %) хорошо зарекомендовал себя для деталей строительного оборудования, почвообрабатывающей техники, машиностроения [1].

Чтобы получить сопоставимые результаты по структуре и твердости, образцы из разных сплавов отливались в одинаковые песчаные формы. Для уменьшения влияния содержания углерода во всех случаях применялись чугуны эвтектического состава, содержащие 3,2-3,5 % углерода. В литом и термообработанном состояниях исследовались

механические свойства: твердость, предел прочности при растяжении, ударная вязкость. Режим термообработки для всех чугунов был следующим: закалка с 960-980 °С на воздухе, отпуск при 200 °С – 2 часа.

В условиях лабораторных ускоренных испытаний изучена относительная износостойкость чугунов ИЧХ28Н2, ИЧХ16М3, ИЧХ18 в литом и термообработанном состояниях. Испытания образцов из ИЧХ проводили в режиме сухого трения с плоскопараллельным перемещением абразивного материала (электрокорунд с размером зерна 0,1-0,063 мм). Коэффициент относительной износостойкости определялся как отношение потери массы при испытаниях эталонного и испытуемого образцов. В качестве эталонного использовали образец из чугуна ИЧХ28Н2 в литом состоянии с твердостью 52-53 HRC. В таблице 1 приведены полученные результаты.

Таблица 1 – Механические свойства и относительная износостойкость хромистых чугунов в литом и термообработанном состояниях

Марка чугуна	ИЧХ28Н2	ИЧХ18	ИЧХ16М3
твердость в литом состоянии, HRC	52-53	55	54-55
твердость в термообработанном состоянии (закалка), HRC	61	65	67
предел прочности при растяжении в литом состоянии, МПа	395	325	267
предел прочности при растяжении в термообработанном состоянии, МПа	402	341	315
ударная вязкость в литом состоянии, Дж/см <sup>2</sup>	11,4	10,5	6,4
ударная вязкость в термообработанном состоянии, Дж/см <sup>2</sup>	10,5	8,6	5,8
коэффициент относительной износостойкости чугунов в литом состоянии	1	2,2	2,8
коэффициент относительной износостойкости чугунов в термообработанном состоянии	2,9	5,5	5,7

Как видно из таблицы 1, наименьшую износостойкость имеет чугун ИЧХ28Н2 в литом состоянии. Термообработка повышает износостойкость всех чугунов, особенно ИЧХ18 и ИЧХ16М3, в результате имеющих мартенситную металлическую матрицу. В тоже время термообработка снижает наиболее значимый для ИЧХ параметр – ударную вязкость (все износостойкие хромистые чугуны имеют невысокую ударостойкость). Наибольшей ударной вязкостью обладает чугун ИЧХ28Н2 в литом состоянии.

В Республике Беларусь более 90 % деталей из ИЧХ изготавливается из сплава ИЧХ28Н2, он разрабатывался для работы в коррозионно-абразивных условиях [2]. Замена этого чугуна для работы в абразивных средах на более износостойкий и дешевый чугун является актуальной. Следует отметить, что чугун ИЧХ28Н2 обладает высокими механическими свойствами (прочностью при растяжении и ударной вязкостью), поэтому использование сплавов ИЧХ16М3 и ИЧХ18 как заменителей ИЧХ28Н2 проблематично, так как эти чугуны имеют более низкие механические свойства и дороги из-за высокого содержания легирующих элементов.

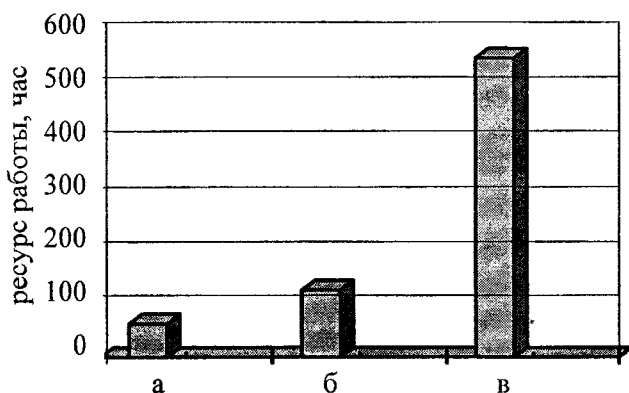
В «Институте технологии металлов» Национальной академии наук Беларуси и Белорусском национальном техническом университете разработан экспериментальный износостойкий хромистый чугун содержащий 16-20 % Cr и экономно легируемый (Mn, W, V, Ni, Mo) [3]. Механические свойства и износостойкость разработанного чугуна ИЧХ18ВМ и сплавов ИЧХ28Н2 и ИЧХ16М3 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства и относительная износостойкость хромистых чугунов

Марка чугуна	ИЧХ28Н2 (литой)	ИЧХ16М3 (закалка)	Разработанный износостойкий чугун ИЧХ18ВМ (закалка)
твёрдость, HRC	52-53	67	66
ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	11,4	5,8	13,5
предел прочности при растяжении, МПа	395	315	425
коэффициент относительной износостойкости*	1	5,7	5,9

\*эталон – чугун ИЧХ28Н2 в литом состоянии (испытания в лабораторных условиях)

Разработанный чугун имеет более высокую износостойкость и механические свойства, чем самый распространенный в Беларуси и СНГ сплав ИЧХ28Н2. Его стоимость существенно ниже, чем у сплавов ИЧХ28Н2 и ИЧХ16М3 при более высоких механических свойствах и износостойкости. В настоящее время из разработанного сплава изготавливаются детали оборудования по производству кирпича из глины, работающие в абразивной среде и имеющие ресурс работы не ниже, чем из сплава ИЧХ16М3. Детали центробежных мельниц из сплава ИЧХ18ВМ при размоле кварцевого стекла показали ресурс работы в 8-9 раз выше, чем такие же детали из сплава ИЧХ28Н2 в литом состоянии [4]. На рисунке 1 показан ресурс работы отбойных плит центробежной мельницы МЦ-0.63.



а – плита из чугуна ИЧХ28Н2 (литое состояние);  
б – из чугуна ИЧХ28Н2 (закалка);  
в – из чугуна ИЧХ18ВМ (закалка)

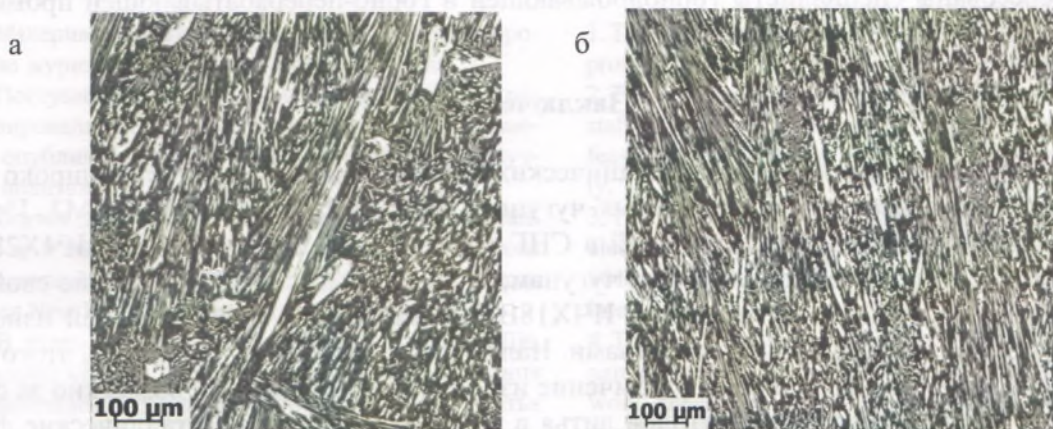
Рисунок 1 – Ресурс работы отбойных плит

Как видно из рисунка 1, термообработка повышает износостойкость ИЧХ28Н2 в 2 раза, а износостойкость термообработанного сплава ИЧХ18ВМ в 9 раз превосходит ИЧХ28Н2 в литом состоянии. Стоит отметить, что при размоле более твердых и прочных веществ, таких как песок, гранит и др., разница в износостойкости ИЧХ28Н2 и ИЧХ18ВМ менее значительна, так как твердость чугунов сопоставима с твердостью размалываемых веществ [5], но во всех случаях износостойкость ИЧХ18ВМ выше, чем у ИЧХ28Н2.

Дальнейшее увеличение износостойкости чугунов возможно за счет использования специальных методов литья в кокиль и комбинированные формы [6]. Верхняя часть комбинированной формы изготавливается из песчаной смеси, а для получения рабочей поверхности отливки используется металлическая плита. Кокили представляют собой полностью металлические формы. Использование этих методов обеспечивает ускоренное охлаждение отливок и направленное затвердевание, что позволяет получить:

- более мелкую макро- и микроструктуру отливок;
- ориентированную карбидную фазу в направлении, перпендикулярном износу;
- высокую твердость отливок.

На рисунке 2 показаны структуры отливок из износостойкого чугуна ИЧХ18ВМ, полученные литьем в земляную форму (а) и в металлическую форму (кокиль) (б).

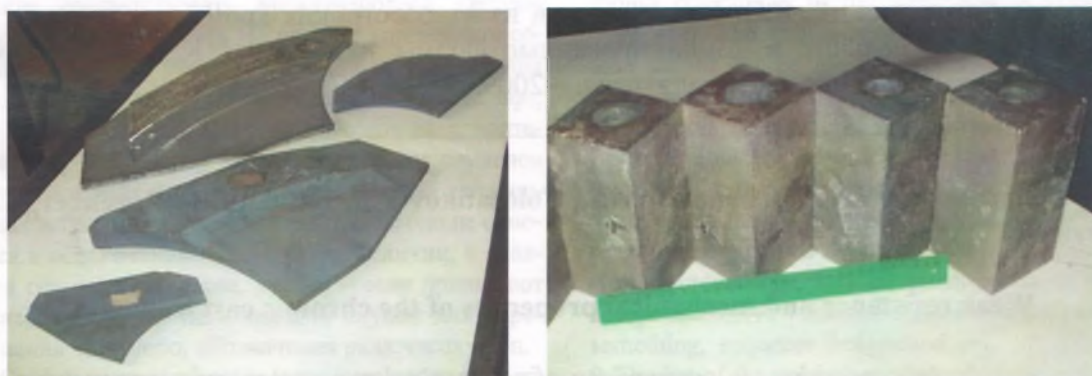


а – литье в земляную форму; б – литье в металлическую форму (кокиль)

**Рисунок 2 – Структуры чугуна ИЧХ18ВМ, полученные различными методами литья,  $\times 100$**

Сравнительный анализ микроструктур чугуна показал, что структура чугуна, полученного в кокиль, имеет в 3-4 раза более мелкие карбиды, чем при литье в земляные формы. Твердость рабочей поверхности деталей, литых в земляные формы, составляет 54-55 HRC, а литых в кокиль 59-61 HRC.

Опыт применения деталей из износостойких чугунов, полученных в кокили и комбинированные формы, показал увеличение износостойкости в 1,2-2 раза по сравнению с деталями, полученными в земляные формы. Все детали имеют равномерную твердость по толщине, в них отсутствуют пористость и внутренние дефекты. В кокили и комбинированные формы в настоящее время изготавливаются: защита центробежных дробилок, отбойные плиты центробежных мельниц (детали, о которые измельчается материал), детали строительной техники и т.д. На рисунке 3 показаны примеры литых деталей.



**Рисунок 3 – Литые детали, полученные в комбинированные формы и кокили**

В «Институте технологии металлов» Национальной академии наук Беларуси и Белорусском национальном техническом университете проводятся работы по увеличению износостойкости деталей из хромистых чугунов. Коллектив авторов может разра-

ботать новые составы износостойких чугунов, внедрить технологии изготовления отливок в комбинированные формы, кокили и земляные формы, а также изготовить опытные партии деталей весом до 30 кг. В проведении вышеназванных работ могут быть заинтересованы специалисты горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности, а так же машиностроения.

### Заключение

Проведены исследования механических свойств и износостойкости широко используемых износостойких хромистых чугунов: ИЧХ28Н2, ИЧХ18, ИЧХ16М3. Показано, что наиболее распространенный в СНГ и Республике Беларусь чугун ИЧХ28Н2 уступает по износостойкости другим чугунам, но имеет высокие механические свойства. Разработан износостойкий чугун ИЧХ18ВМ, обладающий более высокой износостойкостью и механическими свойствами. Налажено производство деталей из этого чугуна. Показано, что дальнейшее увеличение износостойкости деталей возможно за счет использования специальных методов литья в комбинированные и металлические формы.

### Список использованных источников

1. Барановский, К.Э. Оценка применимости износостойких хромистых чугунов для изготовления литых деталей оборудования по производству кирпича из глины / К.Э. Барановский, В.М. Ильюшенко // *Литье и металлургия*. – 2007. – № 4. – С. 110-112.
2. Исследование абразивно-коррозионной стойкости хромистых чугунов / Е.И. Рожкова [и др.] // *Литейщик России*. – 2005. – № 12. – С. 8-9.
3. Износостойкий чугун: пат. 14155 Респ. Беларусь, МПК С 22 С 37/00 / В.М. Ильюшенко, К.Э. Барановский; заявитель ГНУ «Институт технолонии металлов НАН Беларуси». – № а 20090689; заявл. 13.05.09; опубл. 30.04.11 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2011. – № 2. – С. 103.
4. Барановский, К.Э. Износостойкие литейные сплавы для деталей мельниц по размолу стекла / К.Э. Барановский, В.М. Ильюшенко // *Центробежная техника – высокие технологии: материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф.* – Минск, 2008. – С. 46-48.
5. Клейс, И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмьйс. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.
6. Барановский, К.Э. Литье деталей из износостойких хромистых чугунов для центробежных мельниц в комбинированные формы и кокили / К.Э. Барановский, В.М. Ильюшенко // *Литье и металлургия*. – 2009. – № 3. – С. 162-164.

---

**Baranovsky K.E., Urbanovich N.I., Volosatikov V.I., Basalai I.A., Rozenberg E.V., Duvalov P.Yu.**

### **Wear resistance and mechanical properties of the chromic cast irons**

*Results of researches on comparison of mechanical properties and wear resistance of the most widespread in the CIS and Republic of Belarus wearproof chromic cast irons are presented in the article. It is shown that use of new wearproof cast irons and special methods of molding allows to increase wear resistance and mechanical properties of details.*

Поступила в редакцию 02.07.2014 г.