

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ.
СООБЩЕНИЕ 2. ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТЬЯ В КОКИЛИ
И КОМБИНИРОВАННЫЕ ФОРМЫ, А ТАКЖЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ ЧУГУНОВ**

К.Э. БАРАНОВСКИЙ, канд. техн. наук
Белорусский национальный технический университет

В статье рассмотрены вопросы повышения износостойкости эвтектических хромистых чугунов за счет использования литья в металлических и комбинированные формы. Представлены результаты исследований по легированию и модифицированию заэвтектических хромистых чугунов для повышения их механических свойств и износостойкости.

Ключевые слова: хромистый чугун, эвтектический чугун, литье в металлические и комбинированные формы, износостойкость, заэвтектический чугун, легирование, модифицирование.

**INCREASING THE LIFE OF PARTS FROM WEAR-RESISTANT
CHROME IRONS. MESSAGE 2. INCREASING THE LIFE
OF WORK DUE TO THE APPLICATION OF CASTING
IN KOKILI AND COMBINED MOLDS, AS WELL AS THE USE
OF HYPEREUTECTIC CAST IRONS**

K.E. BARANOUSKY, Ph. D in Technical Science
Belarusian National Technical University

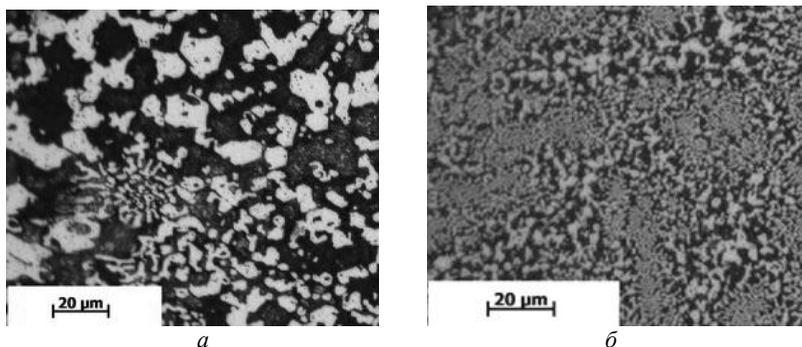
The article discusses the issues of increasing the wear resistance of eutectic chromium cast irons through the use of casting in metal and combined forms. The results of studies on alloying and modification of hypereutectic chromium cast irons to improve their mechanical properties and wear resistance are presented.

Keywords: chromium cast iron, eutectic cast iron, metal and combined casting, wear resistance, hypereutectic cast iron, alloying, modification.

Повышение износостойкости эвтектических износостойких хромистых чугунов (ИЧХ) возможно за счет использования специальных методов литья в кокиль и комбинированные формы [1, 2]. Верхняя часть комбинированной формы изготавливается из песчаной смеси, а для получения рабочей поверхности отливки используется металлическая плита. Кокиль представляет собой полностью металлическую форму. 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 1 показаны структуры чугуна ИЧХ18ВМ, отлитого в земляную форму (*a*) и металлическую форму (*б*), в таблице 1 приведены механические и эксплуатационные свойства этого сплава.



a – литье в земляную форму; *б* – литье в металлическую форму

Рисунок 1 – Структура чугуна ИЧХ18ВМ $\times 500$

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, также увеличивается ударная вязкость в 1,2–1,3 раза.

Таблица 1 – 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 металличе- ские формы)
Твердость в литом состоянии, HRC	54–55	59–61
Коэффициент относительной износостойкости чугунов в литом состоянии*	1	1,25
Ударная вязкость, Дж/см ²	13,8	15,8
*эталон чугуна ИЧХ18ВМ, литой в земляную форму (испытания в лабораторных и промышленных условиях)		

Опыт применения деталей из износостойких чугунов, полученных в кокили и комбинированные формы, показал увеличение износостойкости в 1,2–1,3 раза по сравнению с деталями, полученными в земляные формы. Макро и микроструктуры отливки, изготовленной в кокиле, показаны на рисунке 2.

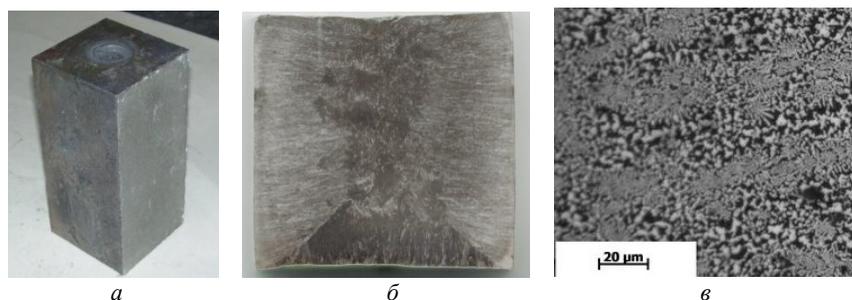


Рисунок 2 – Отливка «Отбойная плита» (75×75×180 мм) (а), и ее макро- (б) и микроструктуры (в)

Все детали имеют равномерную твердость по толщине, в них отсутствует пористость и внутренние дефекты. Литьем в кокиль и комбинированные формы в настоящее время изготавливаются: за-

шита центробежных дробилок, отбойные плиты центробежных мельниц (детали, о которые измельчается материал), детали строительной техники и т. д.

Кроме высокой твердости литье в металлические формы позволяет получать плотные, без усадочных дефектов детали значительной толщины. Отливки имеют более высокую твердость при меньшем содержании легирующих элементов. При литье в земляные формы твердость на глубине 15 мм снижается с 55 до 45 HRC, при литье в металлические формы твердость более равномерная: на поверхности составляет 59–61 HRC, на глубине 20 мм – не менее 54 HRC. Термообработанные детали, полученные в металлических формах, имеют более высокую износостойкость, чем литые в земляных формах. На рисунке 3 показаны литые детали, полученные в комбинированных формах и кокилях.



Рисунок 3 – Литые детали, полученные в комбинированных формах и кокилях

Ресурс работы деталей из износостойких хромистых чугунов определяется их структурой и в значительной степени количеством, размером и морфологией специальных карбидов. Известно, что износостойкость этих сплавов увеличивается с повышением содержания углерода (количества карбидов) [3], но при этом снижается их ударная вязкость (склонность к разрушению под действием ударных нагрузок).

Количество карбидов (К) в хромистых чугунах определяется по формуле [4]:

$$K = 12,33(C) + 0,55(Cr) - 15,2,$$

где С – содержание углерода, масс. %, Cr – содержание хрома, масс. %.

Марки чугунов эвтектического состава содержат 3,4–3,5 % углерода и соответственно 35–40 % карбидов.

Современные марки ВХЧ исчерпали ресурс увеличения износостойкости, так как он ограничивается, в основном, содержанием в них карбидов. Перспективным является использование заэвтектических чугунов, содержащих 4,2–4,6 % углерода и 50–52 % карбидов.

Повышение содержания углерода выше эвтектического приводит к резкому снижению как ударной вязкости, так и износостойкости за счет выделения более крупных (в 5–10 раз) заэвтектических карбидов [3] по сравнению с эвтектическими.

Использование заэвтектических чугунов, изготовленных по обычной технологии и содержащих 50–52 % специальных карбидов, приводит к резкому снижению износостойкости и механических свойств, что связано с наличием в структуре первичных карбидов размером свыше 50 мкм (толщина). Для сравнения эвтектические карбиды при литье в земляные формы мелких и средних отливок из ВХЧ имеют размер 5–20 мкм. Значительно повысить ресурс работы деталей из ИЧХ можно за счет использования методов, позволяющих измельчить первичные карбиды в заэвтектических чугунах до размеров, сопоставимых с эвтектическими карбидами. Это позволяет существенно увеличить ресурс работы деталей.

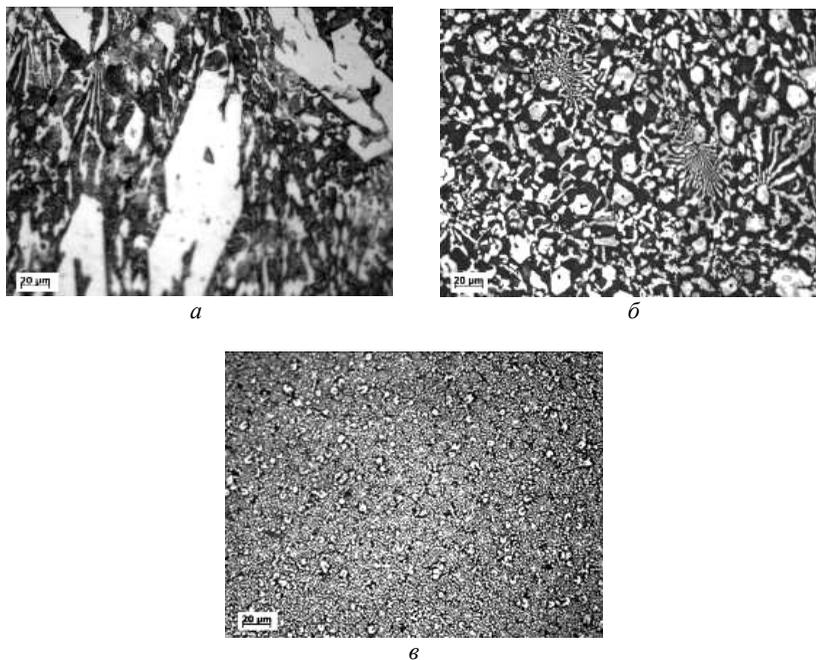
Для использования заэвтектических чугунов необходимо решить следующие задачи:

- применить комплекс легирующих элементов, позволяющих получить размер заэвтектических карбидов, сопоставимый с эвтектическими;

- изучить роль скорости затвердевания на размер карбидов;

- использовать наиболее простой и дешевый способ измельчения карбидов за счет модифицирования расплава.

Задача повышения эксплуатационных свойств износостойких легированных хромистых чугунов может быть решена созданием условий для измельчения карбидной фазы при наличии в составе чугуна карбидообразующих элементов, таких как Hf, Ta, Nb, Mo и др. с низкой растворимостью в фазе внедрения $(Cr, Fe)_7C_3$. Среди них можно выделить, как наиболее перспективный, ниобий [5]. На рисунке 4 показаны структуры ИХЧ, содержащего 4,3 % С.



a – литье в земляную форму; *б* – литье в земляную форму + легирование (1,2 % Nb); *в* – литье в металлическую форму + легирование (1,2 % Nb)

Рисунок 4 – Структуры образцов из хромистого чугуна, содержащего 4,3 % углерода

Как видно из рисунка, введение ниобия приводит к резкому измельчению структуры, особенно при литье в металлические формы. Размер заэвтектических карбидов у сплава, отлитого в земляную форму и легированного ниобием, уменьшился в 4 раза и стал сопоставим с размером эвтектических карбидов при литье в земляные формы. Литье в металлические формы приводит к уменьшению заэвтектических карбидов в 8–10 раз. На рисунке 5 представлены зависимости предела прочности при изгибе от содержания Nb в чугуне ИЧХ18ВМ эвтектического и заэвтектического составов, полученного в комбинированных формах.

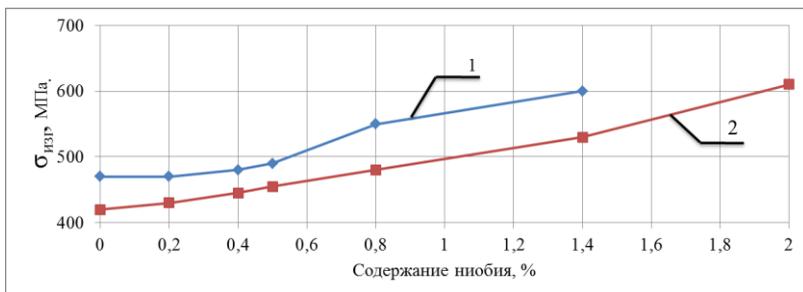


Рисунок 5 – Зависимость предела прочности при изгибе от содержания Nb в чугунах ИЧХ18ВМ эвтектического (1) и заэвтектического (2) составов

Легирование ниобием положительно влияет на прочностные свойства чугуна как эвтектического, так и заэвтектического составов. Удельный износ заэвтектического чугуна (измеренный в лабораторных условиях) уменьшился в 1,8–2 раза, причем при литье на металлическую плиту он меньше (рисунок 6) [6].

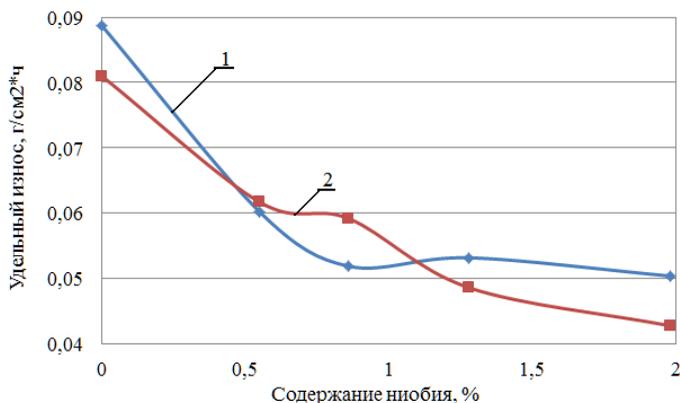


Рисунок 6 – Зависимость удельного износа от содержания ниобия в образцах, полученных в песчаных (1) и комбинированных (низ металлическая плита) (2) формах

Легирование ниобием хромистого чугуна приводит к повышению как износостойкости, так и прочности на изгиб за счет измельчения эвтектических и заэвтектических карбидов.

Наиболее простым и дешевым методом управления структурой и свойствами заэвтектических чугунов является процесс модифицирования. Положительный эффект достигается измельчением макро- и микроструктуры в отливках. Повышение степени дисперсности структурных фаз, вследствие эффекта модифицирования, увеличивает износостойкость, повышает механические свойства и улучшает технологичность изделий. На рисунке 7 показаны микроструктуры, полученные при модифицировании заэвтектического ИЧХ модификатором, содержащим поверхностно-активные элементы.

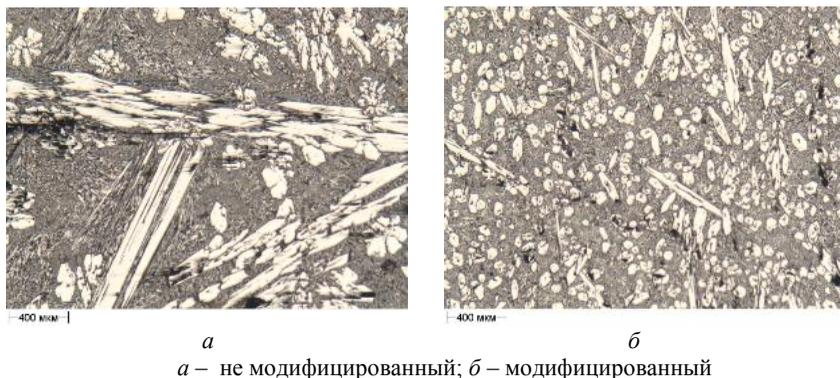


Рисунок 7 – Микроструктура отливок из заэвтектического чугуна (литье в металлические формы)

Модифицирование приводит к измельчению заэвтектических и эвтектических карбидов, повышению ударной вязкости, прочности и износостойкости как и при легировании, так и при модифицировании (при этом расходы на модифицирование в 8–10 раз ниже, чем на легирование).

Отливки из заэвтектического чугуна с измельченной структурой прошли испытания на филиале «Гомельский ГОК» ОАО «Гомельстекло» и показали увеличение износостойкости на 15–20 % по сравнению со стандартными деталями из эвтектического чугуна.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность дальнейшего повышения износостойкости эвтектических хромистых чугунов за счет использования литья в металлические

и комбинированные формы, а также перспективность применения заэвтектических чугунов для изготовления износостойких деталей.

Список литературы

1. Барановский, К.Э. Литье деталей из износостойких хромистых чугунов для центробежных мельниц в комбинированные формы и кокили / Барановский К.Э., Ильюшенко В.М. // Литье и металлургия. – 2009. – № 3. – С. 162–164.

2. Барановский, К.Э. Повышение ресурса деталей из износостойких хромистых чугунов. Сообщение 1. Повышение ресурса работы деталей из эвтектических хромистых чугунов, изготовленных в песчаных формах / К.Э. Барановский // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41, Ч. 1. – С. 137–147.

3. Цыпин, И.И. Белые износостойкие чугуны / И.И. Цыпин. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.

4. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.

5. Романов, Л.М. Износостойкий хромистый чугун нового поколения / Л.М. Романов, П.А. Дубровин // Электрометаллургия. – 2003. – № 2. – С. 28–31.

6. Марукович, Е.И. Эксплуатационные свойства износостойких хромистых чугунов с разной степенью эвтектичности / Е.И. Марукович, В.И. Ильюшенко, К.Э. Барановский // Литье и металлургия. – 2018. – № 4. – С. 50–54

References

1. Baranovskij, K.Je. *Lit'e detalej iz iznosostojkih hromistyh chugunov dlja centrobezhnyh mel'nic v kombinirovannye formy i kokili* [Casting of parts from wear-resistant chromium cast iron for centrifugal mills into combined forms and chill molds] / Baranovskij K.Je., Il'jushenko V.M. // *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*. – 2009. – No. 3. – P. 162–164.

2. Baranovskij, K.E. *Povyshenie resursa detalej iz iznosostojkih hromistyh chugunov. Soobshchenie 1. Povyshenie resursa raboty detalej iz evtekticheskikh hromistyh chugunov, izgotovlennyh v peschanyh formah* [Increasing the service life of parts made of wear-resistant chromium

cast irons. Communication 1. Increasing the service life of parts made of eutectic chromium cast irons made in sand molds] / K.E. Baranovskij // *Metallurgiya: respublikanskij mezhhvedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov* = *Metallurgy: republican interdepartmental collection of scientific papers*. – Minsk: BNTU Publ., 2020. – Vyp. 41, Part 2. – P. 137–147.

3. Cypin, I.I. *Belye iznosostojkie chuguny* [Wear resistant white cast irons] / I.I. Cypin. – Moscow: Metallurgiya Publ., 1983. – 176 p.

4. Spravochnik po chugunnomu lit'ju [Handbook of iron casting] / Pod red. N.G. Girshovicha. – Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1978. – 758 p.

5. Romanov, L.M. *Iznosostojkij hromistyj chugun novogo pokoleniya* [New generation wear resistant chromium cast iron] // *Elektrometallurgiya* = *Electrometallurgy*. – 2003. – No. 2. – P. 38–41.

6. Marykovich, E.I. *Jekspluatacionnye svojstva iznosostojkih hromistyh chugunov s raznoj stepen'ju jevtectichnosti* [Operational properties of wear-resistant chromium cast iron with varying degrees of eutecticity] / E.I. Marukovich, V.I. Il'jushenko, K.Je. Baranovskij // *Lit'e i metallurgiya* = *Foundry production and metallurgy*. – 2018. – No. 4. – P. 50–54.

Поступила 22.10.2021

Received 22.10.2021