

## Хромомарганцевые чугуны для работы в экстремальных условиях

*Анализом условий эксплуатации литых деталей в гидроабразивной среде установлено, что сопротивление сплавов износу в экстремальных условиях зависит от их химического состава и режимов термической обработки, которые обеспечивают формирование структуры металла с высокими твердостью и износостойкостью. Однако вопрос относительно влияния отдельных структурных составляющих на износостойкость сплавов и сегодня является дискуссионным.*

*Следовательно, важным заданием является, прежде всего, разработка высоколегированных чугунов с карбидами типа  $Me_7C_3$  и  $Me_{23}C_6$ , которые являются самыми перспективными для производства литых деталей, которые работают в условиях высокоабразивного действия.*

*Определены оптимальные границы содержания и соотношения основных химических элементов – хрома и марганца – в износостойких чугунах и границы использования титана и ванадия.*

*Разработан и рекомендуется в производство новый безникелевый хромомарганцевый чугун для изготовления литых деталей, которые работают в экстремальных условиях износа. Определено соотношение основных элементов в чугуне: содержание хрома – 18,0–20,0 %, марганца – 3,5–4,5 %. Для повышения эксплуатационных характеристик чугуна на 15–20 % его целесообразно микролегировать титаном в пределах 0,1–0,5 % или ванадием – в пределах 0,5–0,8 %.*

**Ключевые слова:** твердость, износостойкость, модифицирование, микролегирование, хром, титан, марганец, эксплуатационные свойства.

Специальные сплавы, которые используют в теплоэнергетике для изготовления литых деталей, которые работают в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного износа, содержат в своем составе значительное количество дорогих и дефицитных элементов: никель, молибден, вольфрам, медь и т. д. В отечественной и зарубежной практике накоплен значительный опыт применения как износостойких материалов, которые работают в условиях интенсивного абразивного или гидроабразивного износа, белых чугунов с высоким содержанием хрома и марганца [1–3]. Однако такие чугуны имеют относительно невысокие износостойкость и механические свойства, склонные к образованию трещин в отливках во время кристаллизации металла или термической обработки отливок. Поиски новых, более эффективных и более дешевых сплавов для работы в экстремальных условиях или усовершенствование существующих без повышения себестоимости продукции литейных цехов, является заданием актуальным. Очевидно, что решение такого задания возможно только с использованием совершенных процессов дополнительного легирования базовых сплавов, их микролегирования, модификации, термической обработки и усовершенствования в целом технологических процессов изготовления литых деталей из сплавов этого класса с целью повышения, прежде всего, эксплуатационных характеристик [2, 3].

Тепловая энергетика является одним из основных потребителей износостойких сплавов. Здесь в тяжелых условиях абразивного и гидроабразивного износа работают детали систем приготовления твер-

дого пылевидного топлива и удаления продуктов его сжигания – шлака и золы – из топливосжигающих устройств. Основным оборудованием систем гидрозолоудаления (ГЗУ), которое поддается интенсивному износу, являются шламовые транспортеры и багерные насосы. Основными рабочими элементами багерного насоса является корпус, колесо и крышка (диск), которые изготавливают литьем из износостойких чугунов (по большей части из хромоникелевого чугуна 280X28H2). Быстрее всего изнашивается колесо. Работа насоса полностью прекращается, когда в лопастях колеса образуются сквозные отверстия, и насос не в состоянии создавать нужного напора пульпы в результате ее обратного потока [4–7].

Анализом условий эксплуатации литых деталей в гидроабразивной среде установлено, что сопротивление металлов и сплавов гидроабразивному изнашиванию зависит от их химического состава и термической обработки, которые обеспечивают формирование структуры металла с высокими твердостью и износостойкостью.

Основной абразив, который является причиной изнашивания литых деталей систем ГЗУ на тепловых электростанциях, – это шлак и зола. Частицы шлака имеют разную форму – от игольчатой к шаровидной, которая зависит от модуля основности – отношения оксидов кальция и железа к оксидам кремния и алюминия [6, 8–10].

Увеличение зольности топлива, которое используют на тепловых электростанциях Украины, в значительной мере повышает содержание оксидов кремния и алюминия, а, следовательно, и способность

шлака больше изнашивать поверхности рабочих деталей агрегатов ГЗУ.

В работе рассмотрена перспективность использования высоколегированных чугунов с карбидами типа  $Me_7C_3$  и  $Me_{23}C_6$  для производства литых деталей, которые работают в условиях интенсивного износа.

**Целью работы** является исследование влияния хрома, марганца, титана и ванадия на структуру и эксплуатационные свойства высоколегированных чугунов для работы в экстремальных условиях изнашивания и создания базы данных для разработки методологии прогнозирования специальных свойств сплавов на основе железа.

Как базовый сплав для определения соотношения основных химических элементов использовали высоколегированный чугун с содержанием хрома от 4,5 до 31,6 %, марганца – от 2,0 до 12,0 % и углерода – от 2,8 до 3,2 %, что позволяет разработать базовый хромомарганцевый чугун с высокой износостойкостью. Чугун выплавляли в индукционной печи ИСТ-0,06 с кислой футеровкой. Легирующие и микролегирующие элементы добавляли в тигель печи в виде соответствующих ферросплавов в окончательный период плавления после раскисления расплава алюминием. Разливка расплава – фракционная.

Образцы для исследования структуры, твердости и износостойкости изготавливали с использованием сухих форм, окрашенных дистен-силиманитовой краской. Заливку форм расплавом осуществляли при температурах 1380–1400 °С.

Микроструктуру металла исследовали современными рентгеноструктурными и металлографическими методами с использованием растрово-электронного микроскопа РЕМ 10би и микроскопа Neophot 21. Фазовый состав металла изучали на дифрактометре Ultima IV фирмы Rigaku.

Авторы [1, 3, 6] считают, что оптимальная износостойкая структура для пар металлов, которые трутся, определяется благоприятным сочетанием структуры и сложного комплекса свойств:

- физико-механических (высокое сопротивление сжатию, изгибу, значительные силы молекулярно-механического сцепления, сочетания высоких твердости и вязкости);

- физических (высокая теплопроводность, небольшая разница температурных коэффициентов расширения фаз и поверхностного натяга на межфазных границах сплава);

- физико-химических (высокая насыщенность и равномерность микрораспределения легирующих элементов, стойкость против коррозии).

Получение такого комплекса свойств практически невозможно ни в однофазном однокомпонентном, ни даже в многокомпонентном сплаве, но полностью возможно в максимально гетерогенном. При этом нужно учитывать, что для разных условий влияния нагрузок, которые способствуют износу, оптимальная износостойкость создается за счет разных, но характерных для каждого конкретного случая, структурных составляющих сплава.

Исследовано влияние хрома на свойства износостойкого чугуна в диапазоне его концентраций от 4,5

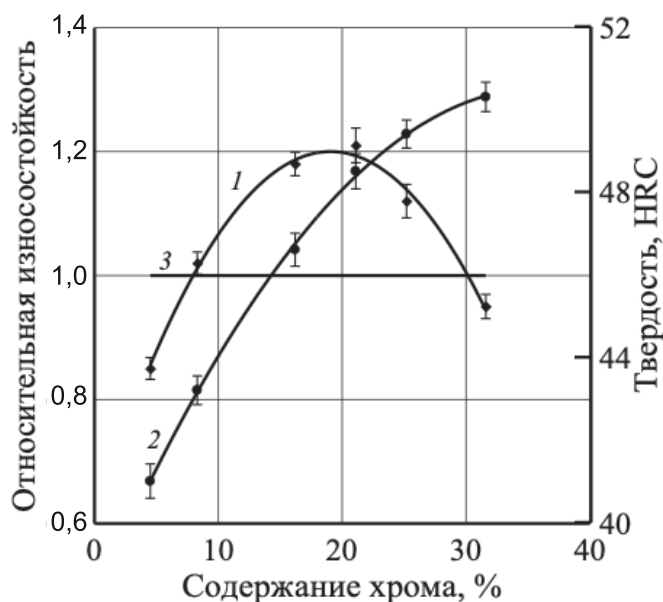


Рис. 1. Изменение твердости и износостойкости чугуна в зависимости от содержания в нем хрома: 1 – относительная износостойкость; 2 – твердость; 3 – эталон 280X28H2

до 31,6 % при содержании в металле приблизительно 3,0 % углерода.

Известно, что хромистые чугуны без дополнительного легирования аустенитностабилизирующими элементами имеют низкую прокаливаемость, поэтому исходный чугун содержал дополнительно 4,0–5,0 % Mn. Такое содержание марганца по данным работ [4, 6], в хромомарганцевых белых чугунах с карбидами  $Me_7C_3$  обеспечивает прокаливаемость отливок с эквивалентной толщиной стенки до 350 мм, то есть практически любых отливок.

Относительную износостойкость определяли в гидроабразивной среде с использованием карьерного песка. Как эталон для сравнения использовали образцы из сплава 280X28H2. Результаты исследования показаны на рис. 1.

Установлено, что повышение концентрации хрома в чугуне от 4,5 до 21,0 % существенно улучшает его эксплуатационные свойства, поскольку количество карбидов цементитного типа уменьшается в результате образования специальных карбидов хрома  $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$  с более высокой микротвердостью. При этом эвтектика ледебуритного типа постепенно вытесняется эвтектикой с разветвленными диспергированными сложными карбидами (рис. 2), которая в значительной мере отвечает принципу Шарпи. Повышению твердости и износостойкости чугуна способствует увеличение количества этой эвтектики и уменьшение количества аустенита.

Повышение концентрации хрома в чугуне свыше 21 % приводит к появлению в структуре крупных заэвтектических карбидов типа  $Cr_7C_3$  и к увеличению количества легированного хромом феррита, что и снижает износостойкость сплава.

Карбиды  $Cr_7C_3$  кристаллизуются в виде длинных иглообразных шестигранников. Такие карбиды снижают износостойкость и особенно прочность отливок, хотя твердость сплава при этом повышается.

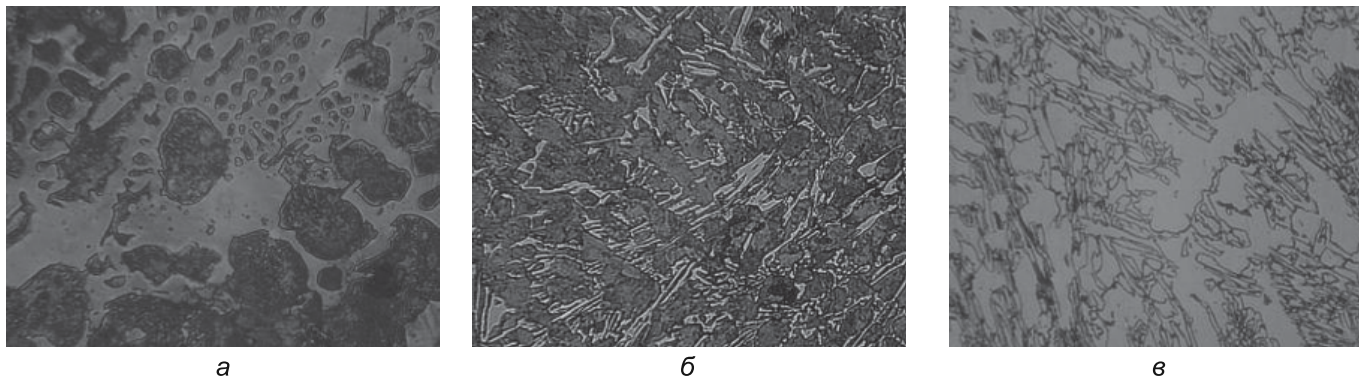


Рис. 2. Влияние хрома на структуру высоколегированного чугуна: а – 4,5 % Cr; б – 21,0 % Cr; в – 25,2 % Cr (×200)

Следовательно, для получения хромомарганцевых чугунов с высокой износостойкостью (выше, чем у чугуна 280X28H2), они должны содержать в своем составе от 8 до 30 % хрома (см. рис. 1).

Однако с учетом полного комплекса литейных, механических, эксплуатационных и экономических показателей более целесообразным диапазоном концентраций хрома в высокохромистых чугунах следует считать 15–25 %.

Исследовано влияние марганца на свойства высокохромистого чугуна в диапазоне концентраций от 2,1 до 11,9 % (см. рис. 3).

Марганец способствует стабилизации аустенита в высокохромистом чугуне. С повышением содержания марганца в чугуне твердость сплава снижается, что объясняется увеличением количества остаточного аустенита в основе металла и его стабилизацией (рис. 4). Кроме того, марганец повышает растворимость углерода в  $\gamma$ -железе, что приводит к уменьшению общего количества карбидов хрома.

Опираясь на данные работы [6], можно считать, что в хромомарганцевых чугунах каждый процент марганца может снижать содержание карбидной фазы на 1,0–1,4 %. Износостойкость сплава при этом уменьшается – уже при содержании марганца около 9 % она становится меньше, чем сплава 280X28H2.

Таким образом, для достижения высокой износостойкости хромомарганцевые чугуны должны содержать в своем составе от 2,0 до 9,0 % марганца.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

- выбор и использование износостойких хромомарганцевых чугунов необходимо осуществлять с учетом оптимального соотношения в них хрома и марганца в зависимости от конкретных условий эксплуатации литых деталей;

- в случае увеличения содержания хрома в чугуне свыше 20 % количество марганца необходимо уменьшать для сохранения удовлетворительных механических свойств.

Учитывая тот факт, что марганец повышает прокаливаемость хромистых чугунов и при незначительных его концентрациях остаточный аустенит в чугуне способен укрепляться под действием ударов абразивных частиц, высокохромистый чугун в своем составе должен содержать 3,0–5,0 % марганца.

По результатам исследований механических и эксплуатационных свойств, предложен базовый хро-

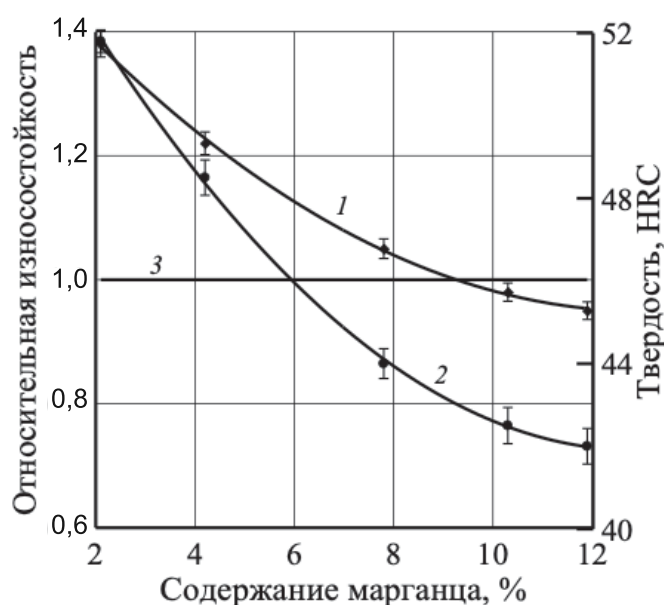


Рис. 3. Изменение твердости и износостойкости высокохромистого чугуна в зависимости от содержания в нем марганца: 1 – относительная износостойкость; 2 – твердость; 3 – эталон 280X28H2

момарганцевый чугун с содержанием 18–20 % хрома и 3,5–4,5 % марганца, который для удобства проведения последующих исследований обозначен как 290X19Г4.

Исследовано влияние процесса микролегирования на структурообразование и эксплуатационные характеристики рекомендуемого базового чугуна с целью определения влияния этого процесса на первичную кристаллизацию. Для микролегирования чугуна выбраны титан и ванадий.

Влияние титана исследовано в диапазоне концентраций до 1,2 %. Учитывая высокое сродство титана к кислороду, его добавляли в виде ферротитана ФТi35 после раскисления расплава алюминием.

Титан имеет также и более высокое сродство к углероду, чем железо, поэтому во время кристаллизации железоуглеродистых сплавов он выделяется в виде карбидов или карбонитридов, если в сплаве есть достаточное количество азота [11, 14].

Свойства чугуна и его структуру показано на рис.5 и 6 соответственно.

Наивысшую износостойкость и твердость сплав имеет при содержании около 0,5 % титана. При большем его содержании карбиды и карбонитриды титана

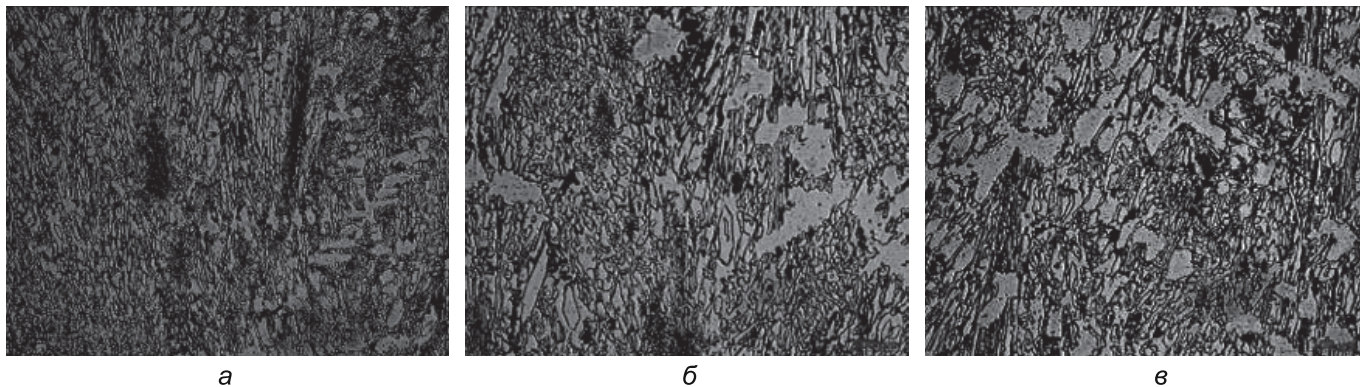


Рис. 4. Влияние марганца на структуру высокохромистого чугуна: а – 2,1 % Mn; б – 4,2 % Mn; в – 11,9 % Mn ( $\times 200$ )

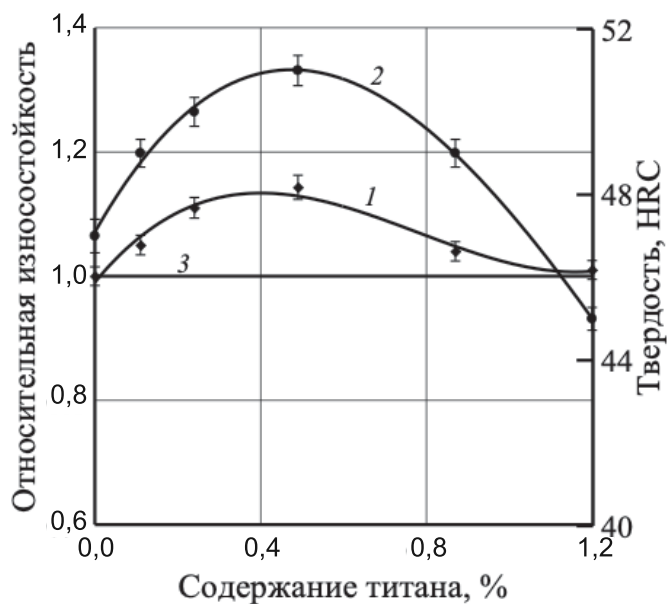


Рис. 5. Износостойкость и твердость хромомарганцевого чугуна в зависимости от содержания титана: 1 – относительная износостойкость; 2 – твердость; 3 – эталон 290Х19Г4

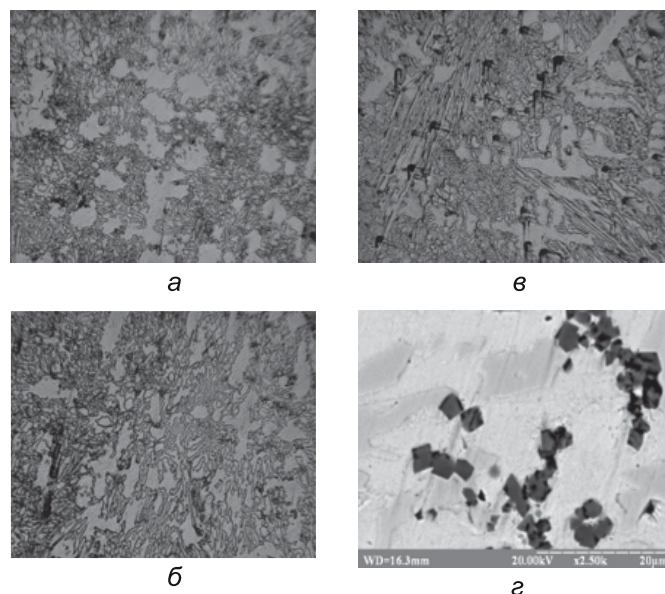


Рис. 6. Влияние титана на структуру хромомарганцевого чугуна: а – без титана; б – 0,49 % титана; в – 0,87 % титана ( $\times 200$ ); г – колонии карбонитридов титана в чугуне с 0,87 % титана ( $\times 2500$ )

распределяются в структуре неравномерно, образуя колонии (рис. 6, г), которые являются концентраторами напряжений, легко выкрашиваются под действием абразива и снижают износостойкость.

Во время изготовления толстостенных промышленных отливок в результате их медленной кристаллизации и нерастворимости в жидком чугуне карбонитриды титана всплывают на поверхность, скапливаются в верхней части отливки, способствуют его локальному охрупчиванию и ухудшению механической обработки заготовки, что повышает расходы на обработку и общую себестоимость продукции.

Кроме того, при содержании свыше 0,5 % титана интенсивно восстанавливается кремний из футеровки плавильной печи и повышает количество неметаллических включений силикатного типа с участием титана.

Результаты исследования влияния титана на микротвердость и количество карбидов показаны на рис. 7, а дифрактограммы чугуна – на рис. 8.

Следовательно, для улучшения эксплуатационных характеристик хромомарганцевого чугуна его целесообразно дополнительно обрабатывать перед

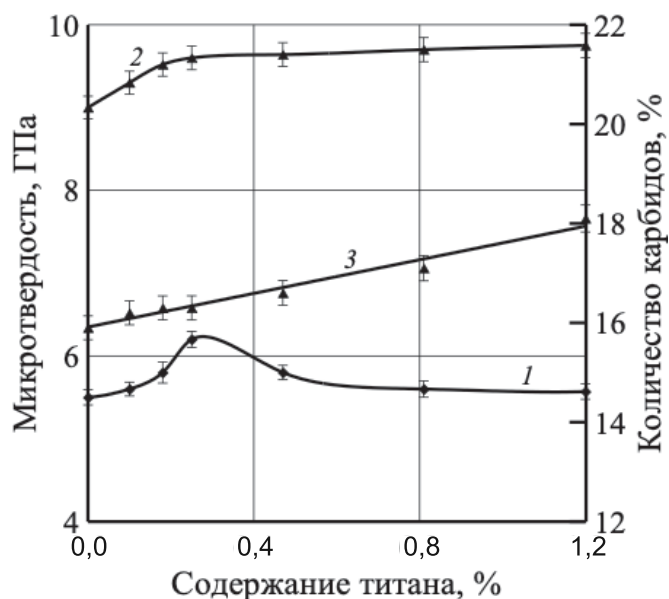
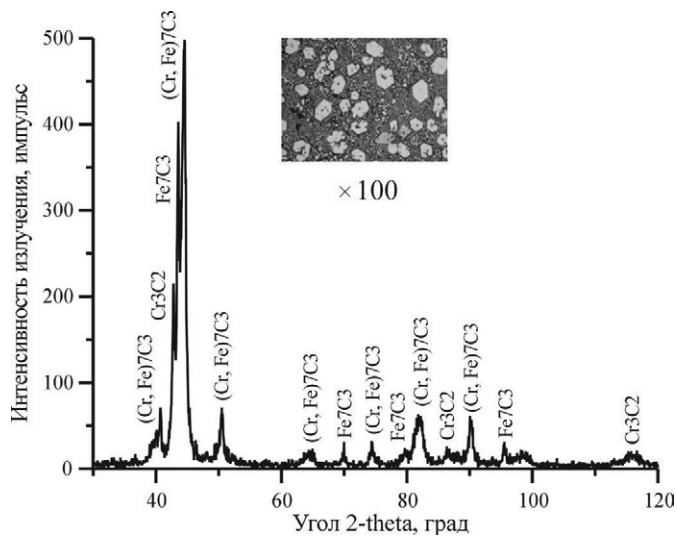
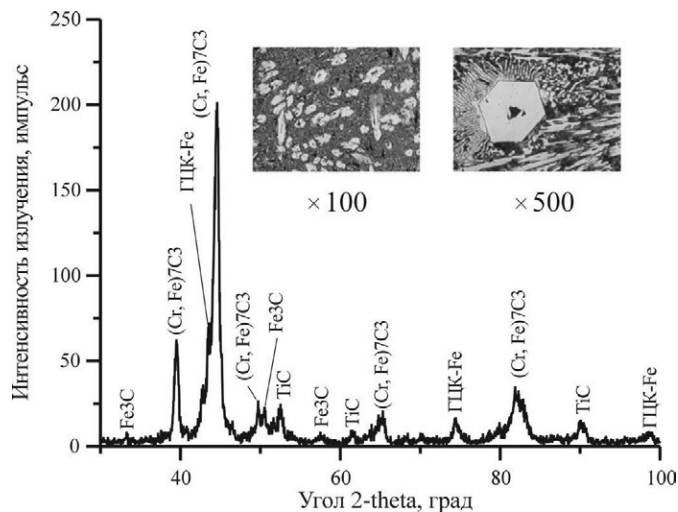


Рис. 7. Влияние титана на микротвердость чугуна и количество карбидов в структуре: 1 – микротвердость металлической матрицы; 2 – микротвердость карбидов; 3 – количество карбидов



$Fe_7C_3$  – 29,4 %;  $(Cr, Fe)_7C_3$  – 3,8 %



$Fe_7C_3$  – 31,2 %;  $(Cr, Fe)_7C_3$  – 5,4 %; TiC – 13,5 %

Рис. 8. Дифрактограммы хромомарганцевого чугуна: а – без титана; б – 0,5 % титана

выпуском из плавильного агрегата титаном в пределах 0,1–0,5 % после глубокого раскисления расплава алюминием. Это на 15–20 % повышает износостойкость литых деталей в условиях интенсивного гидроабразивного износа. Однако, при этом следует учитывать следующее: для надежной работы литых деталей в гидроабразивной среде количество карбидов в чугуне не должно превышать 35 %. Их повышенное количество приводит к коагуляции карбидной фазы (см. рис. 6, з) во время ударно-абразивного действия и сокращает срок эксплуатации деталей.

Титан в количестве до 0,2 % повышает микротвердость основы металла в результате образования дополнительных карбидов титана. Рентгеноструктурным анализом (см. рис. 8) установлено, что количество карбидной фазы в чугуне без титана составляет 25–30 %. После микролегирования чугуна титаном в его структуре появляется дополнительное количество карбидов титана в количестве 5–15 %, что существенно влияет на свойства чугуна. Последующее повышение количества титана не оказывает такого позитивного влияния: повышение количества карбидной фазы и ее твердости приводит к охрупчиванию металлической матрицы чугуна.

Влияние ванадия на свойства износостойкого хромомарганцевого чугуна изучено в диапазоне концентраций до 1,1 %. Результаты исследований показаны на рис. 9.

Установлено, что добавки в чугун до 0,3 % ванадия снижают износостойкость и твердость сплава в результате его микролегирующего и раскисляющего действия. С повышением содержания ванадия до 1 % существенно повышаются износостойкость и твердость сплава, поскольку в структуре металла увеличивается количество сверхтвердых карбидов ванадия (рис. 10).

Последующее увеличение содержания ванадия нецелесообразно, поскольку образуются крупные карбиды округлой формы, которые имеют слабую связь с металлом матрицы и быстро выкрашиваются

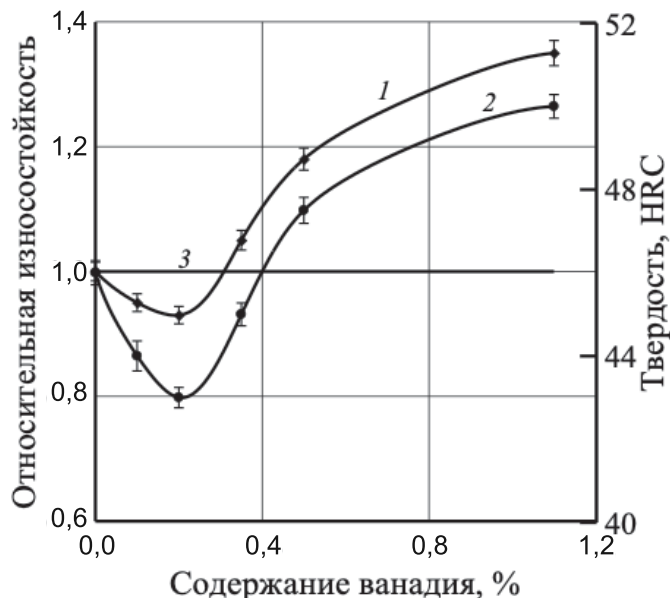


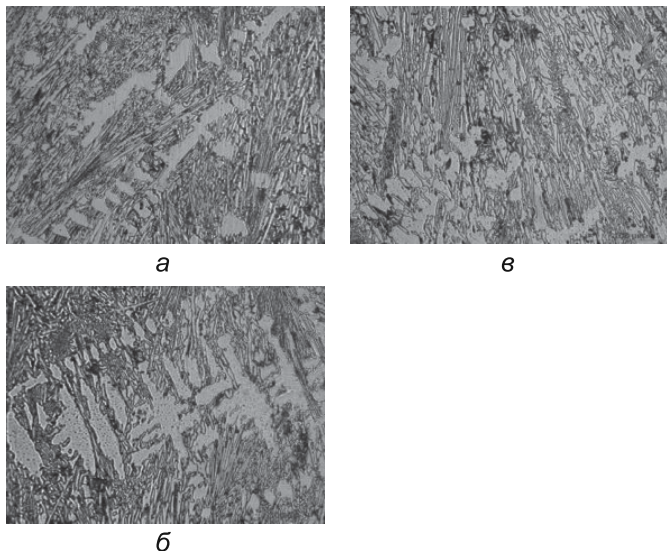
Рис. 9. Влияние титана на микротвердость чугуна и количество карбидов в структуре: 1 – микротвердость металлической матрицы; 2 – микротвердость карбидов; 3 – количество карбидов

из нее под действием абразива. Кроме того, вокруг карбидов ванадия образуются оболочки легированного ванадием феррита, которые имеют значительно меньшую твердость, чем общая твердость металла, а после выкрашивания карбидов быстро изнашиваются и становятся ячейками последующего интенсивного износа литых деталей.

Таким образом, для повышения износостойкости хромомарганцевого чугуна, его целесообразно дополнительно микролегировать ванадием в пределах 0,4–0,8 %.

## Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы и дать рекомендации относительно



**Рис. 10.** Структура хромомарганцевого чугуна 290X19G4 в зависимости от содержания ванадия: а – без ванадия; б – 0,20 % ванадия; в – 1,0 % ванадия (×200)

производства литых деталей из разработанных хромомарганцевых износостойких чугунов.

1. На основании исследования структуры и эксплуатационных свойств хромомарганцевого чугуна

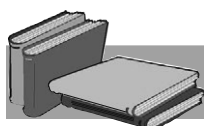
установлено, что для повышения его характеристик с учетом конкретных условий эксплуатации литых деталей необходимо определять соотношение основных легирующих элементов – хрома и марганца.

2. Для работы в условиях интенсивного гидроабразивного износа рекомендуют безникелевый высокоизносостойкий чугун химического состава (в %): углерод – 2,8-3,2; хром – 18,0-20,0; марганец – 3,5-4,5; кремний – 0,6-0,8; фосфор – не более 0,05; сера – не более 0,05.

3. При условии повышения концентрации хрома в чугуне свыше 21,0 % содержания марганца необходимо уменьшать для сохранения высоких механических свойств металла.

4. Для повышения эксплуатационных характеристик рекомендуемого хромомарганцевого чугуна на 15–20 % его целесообразно микролегировать отдельно титаном в пределах 0,1–0,5 % или ванадием – 0,5-0,8 %.

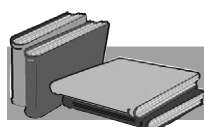
Перспективным направлением в данных исследованиях является разработка методологии прогнозирования износостойкости хромомарганцевых чугунов в зависимости от химического состава и условий эксплуатации литых изделий.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Кривошеев А.Е., Калинина Л.Г. Влияние легирующих элементов на структуру белых чугунов // *Литейное производство*. – 1987. – № 7. – С. 19–20.
2. Бунин К.П., Лев И.Е. О структуре хромистых белых чугунов // *Литейное производство*. – 1981. – № 9. – С. 23–24.
3. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. Свойства, структура технология эксплуатации. – М.: Машиностроение, 2010. – 280 с.
4. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны – эволюция и перспективы // *Литейное производство*. – 2000. – № 9. – С. 15–16.
5. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному износу. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
6. Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. Основы металлографии чугуна. – М.: Metallurgy, 1969. – 416 с.
7. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. – М.: Metallurgy, 1983. – 176 с.
8. Peev K., Radulovic M., Fiset M. Modification of Fe-Cr-C alloys using mischmetal // *Journal of materials science letters*. – 1994. – № 12. – С. 112–114.
9. Coronado J.J. Effect of (Fe,Cr)<sub>3</sub>C<sub>2</sub> carbide orientation on abrasion wear resistance and fracture toughness // *Wear*, Vol. 270, Iss. 3–4, 12, January 2011, P. 287–293.
10. Studnicki A., Kilarski J., Przybył M. Wear resistance of chromium cast iron – research and application // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. – 2006. – № 16. – С. 63–73.
11. Effect of TiC particle additions on structure and properties of hypereutectic high chromium cast iron / Han-guang Fu, Xiao-jun Wu, Xue-yi Li et al. // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2009. – Vol. 18(8). – P. 1109–1115.
12. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.
13. Богачев И.Н. Металлография чугуна. – Свердловск: Metallurgizdat, 1962. – 392 с.
14. Pu X., Pu Э.Х. Комплексно-легируемые чугуны специального назначения. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 287 с.

Поступила 05.10.2018



## REFERENCES

1. Krivosheev, A.E., Kalinina, L.G. (1987). Influence of alloying elements on the structure of white castings. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 7, pp. 19–20 [in Russian].
2. Bunin, K.P., Lev, I.E. (1981). About the structure of chrome-plated cast iron. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 9, pp. 23–24 [in Russian].

3. Garber, M.E. (2010). Wear-resistant white cast iron. Properties, structure, exploitation technology. Moscow: Mashinostroenie, 280 p. [in Russian].
4. Tsypin, I.I. (2000). White wear-resistant cast iron – evolution and prospects. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 9, pp. 15–16 [in Russian].
5. Tenenbaum, M.M. (1976). Resistance to abrasive wear. Moscow: Mashinostroenie, 271 p. [in Russian].
6. Bunin, K.P., Malinochka, Ya.N., Taran, Yu.N. (1969). Fundamentals of metallurgy of cast iron. Moscow: Metallurgiya, 416 p. [in Russian].
7. Tsypin, I.I. (1983). White wear-resistant cast iron. Structure and properties. Moscow: Metallurgiya, 176 p. [in Russian].
8. Peev, K., Radulovic, M., Fiset, M. (1994). Modification of Fe-Cr-C alloys using mischmetal. *Journal of materials science letters*, no. 12, pp. 112–114 [in English].
9. Coronado, J.J. (2011). Effect of (Fe, Cr)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> carbide orientation on abrasion wear resistance and fracture toughness. *Wear*. Vol. 270, Iss. 3–4, pp. 287–293 [in English].
10. Studnicki, A., Kilarski, J., Przybył, M. (2006). Wear resistance of chromium cast iron – research and application. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, no. 16, pp. 63–73 [in English].
11. Han-guang Fu, Xiao-jun Wu, Xue-yi Li et al. (2009). Effect of TiC particle additions on structure and properties of hypereutectic high chromium cast iron. *Journal of Materials Engineering and Performance*. Vol. 18(8), pp. 1109–1115 [in English].
12. Voinov, B.A. (1980). Wear-resistant alloys and coatings. Moscow: Mashinostroenie, 120 p. [in Russian].
13. Bogachev, I.N. (1962). Metallurgy of cast iron. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 392 p. [in Russian].
14. Ri, Kh., Ri, E.Kh. (2000). Complex-alloy castings of special purpose. Vladivostok: Dal'nauka, 287 p. [in Russian].

Received 05.10.2018

### Анотація

**М.М. Ямшинський**, канд. техн. наук, доц., e-mail: yamshinskiy@iff.kpi.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2293-2939>; **Г.Є. Федоров**, канд. техн. наук, доц., e-mail: radaiff@iff.kpi.ua, <http://orcid.org/0000-0001-8254-9643>

*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

## Хромомарганцеві чавуни для роботи в екстремальних умовах

Аналізом умов експлуатації литих деталей у гідроабразивному середовищі встановлено, що опір сплавів зносу в екстремальних умовах залежить від їх хімічного складу та режимів термічного оброблення, які забезпечують формування структури металу з високими твердістю та зносостійкістю. Проте питання щодо впливу окремих структурних складових на зносостійкість сплавів і сьогодні є дискусійним.

Отже важливим завданням є, перш за все, розроблення високолегованих чавунів з карбідами типу  $Me_7C_3$  та  $Me_{23}C_6$ , які є найперспективнішими для виробництва литих деталей, що працюють в умовах високоабразивної дії.

Визначено оптимальні межі вмісту й співвідношення основних хімічних елементів – хрому та марганцю – в зносостійких чавунах і межі використання в них титану та ванадію.

Розроблено й рекомендовано у виробництво новий безнікелевий хромомарганцевий чавун для виготовлення литих деталей, що працюють в екстремальних умовах зносу. Визначено співвідношення основних елементів у чавуні: вміст хрому – 18,0–20,0 %, марганцю – 3,5–4,5 %. Для підвищення експлуатаційних характеристик чавуну на 15–20 % його доцільно мікролегувати титаном у межах 0,1–0,5 % або ванадієм – у межах 0,5–0,8 %.

### Ключові слова

*Твердість, зносостійкість, модифікування, мікролегування, хром, титан, марганець, експлуатаційні властивості.*

### Summary

**M.M. Yamshinskij**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, e-mail: yamshinskiy@iff.kpi.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2293-2939>;

**G.E. Fedorov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, e-mail: radaiff@iff.kpi.ua, <http://orcid.org/0000-0001-8254-9643>

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

## Chromo manganese cast irons for work under extreme conditions

*An analysis of operating conditions for casting parts in a hydroabrasive medium established that wear resistance of alloys under extreme conditions depends on its chemical composition and heat treatment modes that ensure the formation of a metal structure with high hardness and wear resistance. However, the question of the influence of individual structural components on the wear resistance of alloys is still debatable today.*

*Therefore, an important task is, first of all, the development of high-alloy cast irons with carbides such as  $Me_7C_3$  and  $Me_{23}C_6$ , which are the most promising for the production of molded parts that operate under highly abrasive conditions.*

*Optimal boundaries of content and correlation of basic chemical elements – chromium and manganese – in wear-resistant cast irons and the boundaries of the use of titanium and vanadium have been determined.*

*A new nickel-free chromium-mono-manganese cast iron was developed and recommended for production of molded parts that work under extreme wear conditions. The ratio of the main elements in cast iron is determined: chromium content is 18.0–20.0 %, manganese is 3.5–4.5 %. To improve the performance characteristics of cast iron on 15–20 %, it is advisable to micro-alloy it with titanium in the range of 0.1–0.5 % or vanadium in the range of 0.5–0.8 %.*

### Keywords

*Hardness, wear resistance, modification, microalloying, chromium, titanium, manganese, operational properties.*