

УДК 621.74.[043.1+041]:669.[018.256+15-196.5+112.227.1]

*В. А. ПУМПУР*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.

*К. Э. БАРАНОВСКИЙ*<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.

*П. Ю. ДУВАЛОВ*<sup>1</sup>

*В. М. АНДРИЕНКО*<sup>1</sup>

*В. А. ДЕМЕНТЬЕВ*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь)

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПУТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ АУСТЕНИТНО-КАРБИДНОЙ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗАЩИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

### **Аннотация**

Исследование затвердевания, охлаждения, структуры и свойств отливок из высокохромистого чугуна для разработки состава низколегированного чугуна с повышенной износостойкостью и технологии стабилизации аустенитно-карбидной структуры крупногабаритных защитных деталей дробильно-размольного оборудования.

### **Ключевые слова:**

высокохромистый чугун, износостойкость, ХТС, НРС, стабилизация аустенитно-карбидной структуры, защитные детали дробильно-размольного оборудования.

В связи с необходимостью экономии сырьевых ресурсов все большую актуальность приобретают технологии, повышающие эксплуатационные свойства литых деталей из износостойких белых хромистых чугунов. Поиск путей повышения эксплуатационных характеристик в значительной степени связан с различными методами подготовки расплавов, их легированием, затвердеванием и последующей термической обработкой литых деталей. Стоит отметить, что при этом теряются тысячи тонн дорогостоящих высоколегированных сплавов. Кроме того, убытки от простоя оборудования при замене расходных деталей и производства новых являются значительными.

Высокохромистые чугуны (обычно содержат более 12 % хрома, в частности, рассматриваются износостойкие хромистые чугуны или ИЧХ) являются одним из наиболее распространенных износостойких материалов и обладают оптимальным соотношением цены и качества, обеспечивая высокий ресурс работы изготавливаемых из них деталей при приемлемой прочности [1]. Эти чугуны содержат 12–35 % Cr, 2,2–3,5 % C, а также легирующие элементы Ni, Mo, V, Mn, количество которых суммарно составляет 1,5–4 %. Износостойкие хромистые чугуны обладают уникальным комплексом свойств: высокая износостойкость в условиях абразивного износа, удовлетворительные твердость, прочность, ударная вязкость, относительно низкая стоимость. Стойкость деталей из таких чугунов определяется, в первую очередь, количеством и размером содержащихся в сплаве карбидов, а также типом металлической основы (матрицы) [2].

Высокая износостойкость высокохромистых чугунов реализуется в максимальной степени только тогда, когда металлическая основа сама имеет высокую микротвердость, обеспечивает прочное закрепление карбидов и не деформируется при их нагружении в процессе трения. Существенное снижение износостойкости наблюдается, если в структуре основы появляется даже небольшое (<10 %) количество мягких продуктов превращения аустенита, вызывающее незначительное уменьшение твердости [3, 4].

В наибольшей степени перечисленным требованиям к металлической основе отвечают аустенитная или мартенситная структуры. Мартенситная структура получается при закалке после литья отливок. Но термообработка (закалка) массивных отливок затруднительна [5], т. к. это резко увеличивает стоимость литья, требует дополнительного легирования дорогостоящим молибденом, никелем или марганцем в большом количестве.

На размер и морфологию карбидов высокохромистых чугунов большое влияние оказывает скорость охлаждения. Чем более мелкие и разветвленные карбиды образуются в конечной структуре отливки, тем лучше. Однако высокая скорость охлаждения влияет не только на карбидную составляющую структуры, но и на металлическую матрицу, предотвращая распад аустенита на менее твердые составляющие (феррит + вторичные карбиды). Высокие скорости охлаждения отливки обеспечивают специальные методы литья, такие как литье в металлические и комбинированные (состоят из металлических и речных частей) формы. Но крупногабаритные массивные детали нецелесообразно отливать в кокили и комбинированные формы по причине низкой технологичности этого процесса из-за сложности, высокой стоимости изготовления и недолговечности таких литейных форм. Поэтому массивные детали получают преимущественно литьем в песчаные формы, в частности, в формы из холоднотвердеющей смеси (ХТС). Отливки крупногабаритных защитных деталей из ИЧХ, изготовленные в ХТС, имеют существенный недостаток – при длительной выдержке в литейной форме до обычной температуры выбивки (100 °С...20 °С) из-за низкой скорости охлаждения происходит распад аустенита на феррит и вторичные карбиды, снижающие эксплуатационные характеристики деталей. Металлическая матрица легированного аустенита высокохромистого чугуна имеет микротвердость HV50 ~ 400 кгс/мм<sup>2</sup>, микротвердость продуктов распада аустенита (в основном феррит с вторичными карбидами) – HV50 ~ 250 кгс/мм<sup>2</sup>. Это приводит к снижению твердости деталей с 52...56 до 46...47 HRC, что существенно уменьшает ресурс работы [6].

Как правило, в странах СНГ проблема повышения твердости массивных крупногабаритных деталей, полученных в песчаных формах, решается использованием чугуна марки ИЧХ28Н2 (С 2,5–3,0 %; Cr 25–30 %; Ni 1,5–2,0 %; Si 0,7–1,4 %; Mn 0,5–1,0 %) или дополнительным легированием хромом и никелем для предотвращения распада аустенита. Отливки из таких чугунов имеют твердость 50...56 HRC. В европейских странах, США и Китае проблема решается использованием чугунов, содержащих 15 %...25 % хрома, дополнительно легированных никелем до 2 %. Причем, чем толще отливка, тем большее со-

держание никеля в сплаве. Повышение содержания никеля и хрома в чугунах с содержанием 17 %...18 % хрома увеличивает стоимость шихтовых материалов на 70 %...90 %, что делает такой чугун слабо конкурентным по стоимости. Повысить твердость отливок без использования дорогостоящих легирующих элементов можно за счет предотвращения распада аустенита в процессе охлаждения крупногабаритных отливок.

Предотвратить распад аустенита в процессе охлаждения крупногабаритных отливок возможно их ускоренным охлаждением после ранней выбивки из формы, т. е. на этапе вторичного охлаждения с использованием различных способов охлаждения. Момент выбивки отливки из формы, скорость и продолжительность ее вторичного охлаждения определяют режим вторичного охлаждения, оказывающий первостепенное влияние на аустенитно-карбидную структуру отливки. На этом этапе вторичного охлаждения возможно использование различных способов (на спокойном воздухе, в потоке воздуха, с использованием увлажненного воздуха). Это позволит получить стабильную аустенитную структуру с высокой твердостью, а также изменить микроструктуру, что приведет к увеличению ресурса работы детали и снижению затрат на ее обслуживание и ремонт.

Предлагается разработать новый состав низколегированного чугуна, в качестве легирующих – использовать металлы, стабилизирующие аустенит в эвтектическом интервале температур Ni, Mn, Mo. Количество этих элементов должно быть минимальным для снижения стоимости отливок. Планируется исследовать содержание Ni в диапазоне до 0,5 %, Mn – до 0,8 % и дорогостоящего Mo – до 0,3 %. Применение аппарата математического моделирования позволит оценить воздействие различных технологических факторов на скорость охлаждения и получение различных структур при вторичном охлаждении.

На опытно-производственном участке ИТМ НАН Беларуси, г. Могилев, в год изготавливается более 120 т деталей центробежно-размольного оборудования. Из этого количества от 30 % до 40 % составляют детали, изготавливаемые в ХТС, масса которых составляет от 20 до 50 кг. Отливки изготавливаются из чугунов ИЧХ18ВМ и ИЧХ18ВН. Такие детали не имеют тонких сечений и за счет толщины, габаритов и массы аккумулируют значительное количество тепла. Полученные по такой технологии отливки имеют низкую твердость 46...47 НРС и, в основном, ферритную структуру в металлической матрице.

В качестве базовых предлагается использовать чугуны ИЧХ18ВМ и ИЧХ18ВН (С 3,0–3,6 %; Cr 16–20 %; Ni 0,2–0,8 %; W 0,4–1,0 %; Mo 0,2–0,6 %; V 0,1–0,4 %; Mn <1,0 %; Si <1,0 %) ТУ ВУ 700002421.004–2011, хорошо зарекомендовавшие себя для литья защитных деталей дробилок и мельниц в металлические и комбинированные формы. На их основе планируется создать новый состав низколегированного высокохромистого чугуна, полученный с применением технологии стабилизации аустенитно-карбидной структуры чугуна путем ускоренного вторичного охлаждения.

Результаты исследований будут заключаться в разработке низколегированного состава высокохромистого чугуна для отливок крупногабаритных де-

талей, а также в создании технологии стабилизации аустенитно-карбидного структурно-фазового состояния низколегированного высокохромистого чугуна для получения крупногабаритных защитных деталей дробильно-размольного оборудования путем ускоренного охлаждения отливок. Будет использован предыдущий опыт разработки износостойких чугунов и литья отливок из данных чугунов, подтверждённый патентами на изобретения и техническими условиями: ИЧХ18ВМ и ИЧХ18ВН (патент № 14155 и ТУ ВУ 700002421.004–2011), 450Х18ВФМНБ (патент № 23010 и ТУ ВУ 700002421.006–2018) и ИЧХ18Г2ВМ (ТУ ВУ 700002421.007–2020). На разработанный состав планируется подать заявку на получение патента, а также разработать ТУ. После чего предполагается освоение производства экспериментальных партий деталей из специального низколегированного высокохромистого чугуна с применением разработанной технологии и поставка их по хозяйственным договорам потребителям в Республике Беларусь и на экспорт.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барановский, К. Э.** Повышение ресурса работы деталей из износостойких хромистых чугунов / К. Э. Барановский // *Металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск.– 2020. – № 41.– С. 135 – 146.
2. Влияние времени выбивки на структуру и свойства белого чугуна ИЧХ18ВМ / А. Г. Анисович [и др.] // *Металлургия машиностроения.* – 2022. – № 1. – С. 28–30.
3. **Барановский, К. Э.** Результаты сравнительных исследований износостойких белых чугунов / К. Э. Барановский, А. А. Жумаев, Х. Ахмедов // *Горный вестник Узбекистана.* – 2023. – № 3(94). – С. 62 – 66.
4. **Барановский, К. Э.** Результаты исследования структуры отливок из белых износостойких чугунов / К. Э. Барановский, А. А. Жумаев, Ю. Н. Мансуров // *Черные металлы.* – 2022. – № 2(1082). – С. 4–10.
5. Влияние термической обработки на механические свойства износостойкого хромистого чугуна / Е. И. Марукович [и др.] // *Металлургия машиностроения.* – 2021. – № 5. – С. 19–22.
6. О применении внутренних источников теплоотвода при получении отливок из износостойких хромистых чугунов / В. А. Пумпур [и др.] // *Наука и техника.* – 2022. – Т. 21. – № 6 – С. 464–472.

Контакты:

pumpurva@itm.by (Пумпур Владимир Анатольевич);

k.baranouski@bntu.by (Барановский Константин Эдуардович);

lcti@yandex.by (Дувалов Павел Юрьевич, Андриенко Вячеслав Михайлович);

dmvva@itm.by (Дементьев Виталий Александрович).