

форма, в которой в качестве внутреннего элемента используется полый цилиндр из стали 20 толщиной 3 мм, а в качестве наружного – полый цилиндр из стали 20 толщиной 5 мм (рис. 1, *з*). При использовании ХТС в качестве наружного и внутреннего элементов формы (рис. 1, *б*) средняя скорость затвердевания ниже на 25 %. При использовании ХТС в качестве наружного элемента формы, а в качестве внутреннего – полого стального цилиндра (рис. 1, *в*) средняя скорость затвердевания ниже на 3 %.



*Рис. 2.* Полученные заготовки из износостойкого хромистого чугуна

Кроме того, именно при литье в комбинированную форму, представленную на рис. 1, *з*, обеспечивается одинаково высокая скорость роста металлической корки на обеих поверхностях стального кристаллизатора. В отличие от формы, представленной на рис. 1, *в*, где происходит направленное затвердевание отливки со стороны внутреннего полого цилиндра, на поверхности ХТС толщина корки незначительна. В свою очередь, вариант на рис. 1, *в* обеспечивает более устойчивый и технологичный процесс затвердевания отливки. Данный способ позволил получить заготовки требуемого качества и без дефектов (рис. 2).

#### Литература

1. Затвердевание отливок из износостойких чугунов при литье в кокиль, песчаную и комбинированные формы / Э. Ф. Барановский, В. А. Пумпур, В. М. Ильющенко, К. Э. Барановский // Литейное производство. – 2011. – № 2. – С. 20–24.

УДК 621.74.043.1:669.15-196.5

### **ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ В КАЧЕСТВЕ ВНУТРЕННЕГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТВОДА В ДЕТАЛЯХ ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА**

**П. Ю. Дувалов, В. М. Андриенко, А. А. Сушко**

*Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси», г. Могилев*

*Показана возможность увеличения твердости чугуна и улучшения микроструктуры в центральной зоне отливки за счет размещения стального стержня в центре формы перед заливкой.*

**Ключевые слова:** износостойкий хромистый чугун, ИЧХ, неоднородность микроструктуры и твердости, HRC, стальной стержень, форма.

## USING A STEEL ROD AS AN INTERNAL HEAT SINK IN HCCI COMPONENTS

P. Yu. Duvalau, V. M. Andryienka, A. A. Sushko

State Scientific Institution "Institute of metal technology  
National Academy of Sciences of Belarus", Mogilev

*A possibility to increase hardness and to improve microstructure of iron cast in inner zone of casting due to inserting steel rod in a mould before pouring has been presented.*

**Keywords:** HCCI, nonuniformity of microstructure and hardness, HRC, steel rod, mould.

Центробежные измельчители являются наиболее эффективными машинами для тонкого помола сыпучих материалов, в которых реализуется высокоскоростное ударное воздействие [1]. Сменными деталями дробильно-размольного оборудования (ДРО) являются вкладыши отбойные. От срока их службы зависит производительность всего оборудования. Из опыта литья деталей из износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ) в ИТМ НАН Беларуси [2] известно, что детали ДРО склонны к структурной неоднородности вследствие разных локальных скоростей охлаждения на поверхности и внутри отливки, что коррелирует с твердостью, которая в глубине отливки заметно ниже, чем на поверхности.

Определенный эффект выравнивания скорости кристаллизации по всему сечению отливки и сопутствующее изменение структуры достигается применением внутренних холодильников [3]. Для литья вкладышей отбойных (70 × 70 × 200 мм) предложено использовать стержень Ø15 мм из стали Ст3 в качестве закладного элемента с целью изучения его влияния на структуру и твердость ИЧХ во внутренних областях отливки. Для этого было подготовлено 5 вариантов форм: три – со стержнем в полости формы (рис. 1) и два – без стержня (I из ХТС, V из стали, аналогичны вариантам II, IV).

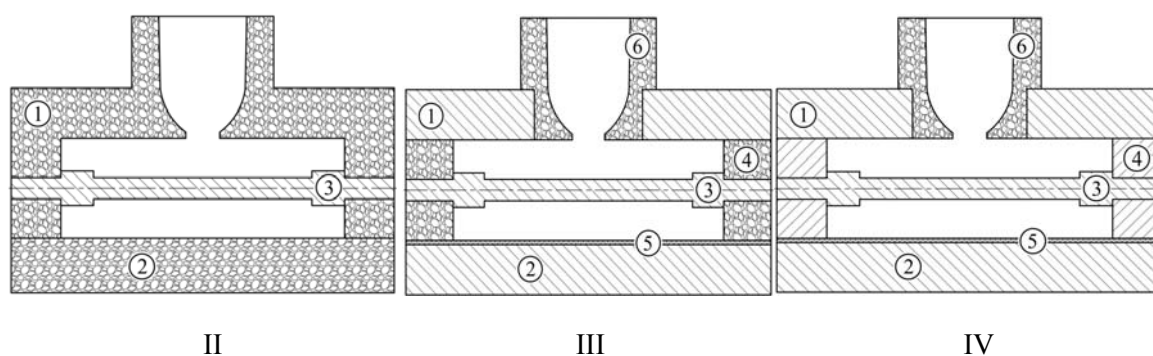


Рис. 1. Сечения литейных форм для изготовления отбойных вкладышей с торцевыми стержневыми выступами:

- 1 – верхняя часть формы (ХТС/сталь); 2 – нижняя часть формы (ХТС/сталь);  
3 – стальной стержень; 4 – боковая часть формы (ХТС/сталь);  
5 – кремнеземная ткань; 6 – заливочная чаша из ХТС

Заливочная чаша из холодно-твердеющей смеси (ХТС) была смещена от центра верхней поверхности отливки к боковой, чтобы расплав при заливке не попадал сразу на стержень. В результате эксперимента было отлито пять вкладышей отбойных следующего химического состава: 3,66 % С, 18,6 % Cr, 0,11 % Ni, 0,55 % Mn, 0,68 % Si,

0,36 % W, 0,14 % V, 0,27 % Mo. Три экспериментальные детали (II, III, IV) получены с закладным охлаждающим элементом в виде стального стержня (рис. 2) и две детали – без стержня (I, V), которые были приняты за эталоны для последующих исследований.



Рис. 2. Экспериментальные детали «Вкладыш отбойный» I, II, III, IV, V слева направо после выбивки

Из полученных отливок вырезались образцы для изучения микроструктуры и испытаний на твердость. Подготовка образцов для шлифов проводилась на «Полировальном двухшпиндельном станке для шлифов модели 3881Б». Для изучения кристаллического строения образцов применялся металлографический микроскоп «Leica DMi8». Твердость по Роквеллу измерялась с помощью «Твердомера ТКМ-459С». На рис. 3 представлены вырезанные из вкладышей отбойных образцы, подготовленные для шлифования и испытаний на твердость.

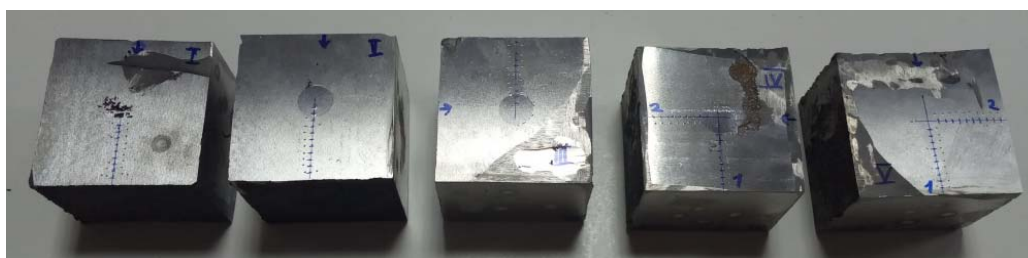


Рис. 3. Вырезка образцов для исследований из экспериментальных деталей «Вкладыш отбойный», полученных в формах вариантов I, II, III, IV, V соответственно слева направо

Сравнение микроструктур образцов разных вариантов I–V показало, что использование стержня (II, III, IV) приводит к измельчению структуры, однако для II, III эффект значительно менее выражен, чем для IV (рис. 4). Варианты I (ХТС) и II (ХТС + стержень) дали результаты, схожие по микроструктуре, при этом влияние стержня присутствует только на пристержневых зонах. Вариант III (комбинированная форма + стержень) по микроструктуре представляет собой нечто среднее между II и IV (кокиль + стержень).



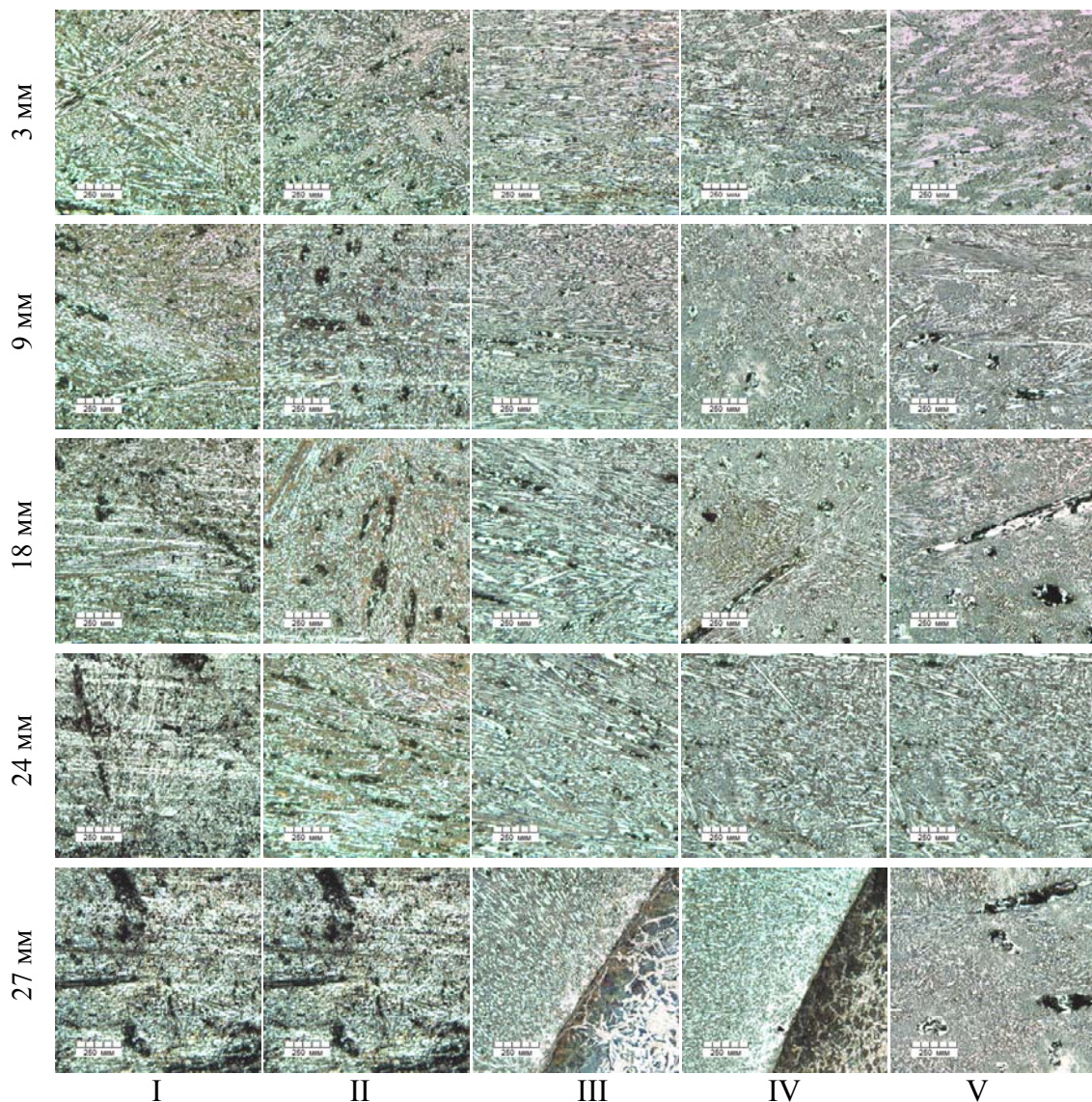


Рис. 4. Сравнение микроструктур пяти образцов на разной глубине

Испытания на твердость показали следующую тенденцию: по мере приближения к стержню снижение твердости с глубиной замедляется, прекращается, после чего твердость начинает возрастать. Применение стержня в кокиле (вариант IV) имеет перспективу дальнейших исследований и использования полученных результатов для изготовления деталей «Вкладыш отбойный» с улучшенными механическими свойствами.

#### Литература

1. Бороха, Э. Л. Центробежные дробилки и мельницы ударного типа / Э. Л. Бороха, В. В. Воробьев, А. В. Горобец // Центробежная техника – высокие технологии : материалы 3-й Международ. науч.-техн. конф., Минск, 2008. – С. 5–15.
2. Барановский, К. Э. Получение отливок из износостойких хромистых чугунов в комбинированных формах и кокилях / К. Э. Барановский, В. М. Ильющенко, П. Ю. Дувалов // Металл и литье Украины. – 2012. – № 6. – С. 10–13
3. О применении внутренних источников теплоотвода при получении отливок из износостойких хромистых чугунов / В. А. Пумпур, А. Г. Анисович, К. Э. Барановский, [и др.] // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 464–472.