

использованием дорогостоящих экспериментальных методов в металлургии и литейном производстве.

### Список литературы

1. *Коздоба Л.А.* Методы решения нелинейных задач теплопроводности. – М.: Наука, 1975. – 228 с.
2. *Никитенко Н.И.* Исследование нестационарных процессов тепломассообмена методом сеток. – К.: Наукова думка, 1971. – 260 с.
3. *Карножицкий В.Н.* Контактный теплообмен в процессах литья. – К.: Наукова думка, 1978. – 300 с.
4. Исследование кинетики кристаллизации слитка низкоуглеродистой кипящей стали, отлитого с применением металлической дроби / В.И. Легенчук, В.Н. Сапко, В.В. Шепелев и др. // Теплофизика стального слитка. – К.: ИПЛ АН УССР, 1980. – С. 99 – 102.
5. *Соколовская Л.А., Осипов В.П., Мамишев В.А.* Использование математического моделирования при исследовании теплофизических процессов взаимодействия расплава с твердыми добавками // Процессы литья. – 2000. – № 4. – С. 72 – 78.

УДК 621.771.11

**Н.В. Сусло, А.Н. Панченко**

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Криворожский металлургический институт, Кривой Рог

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОМОДИФИКАТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ**

Основные характеристики шаров – это высочайшая прочность, ударостойкость, износостойкость, которые необходимы для измельчения довольно твердых материалов без значительной потери эксплуатационных свойств шаров.

С целью повышения твердости, ударо– и износостойкости чугунных мелющих шаров используют легирование и модифицирование чугуна. Легирование такими элементами как хром, никель, молибден позволяет значительно повысить требуемые эксплуатационные свойства шаров, однако является дорогостоящим, поэтому были проведены исследования по модифицированию чугуна различными наномодификаторами.

Наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитовой фазы, но и на фосфидную эвтектику, на первичное зерно чугуна и на неметаллические включения, активизируя последние как дополнительные гетерогенные центры графитизации. Наномодифицирование влияет как на жидкий, так и на кристаллизирующийся чугун независимо от его предыстории. Важнейшей особенностью наномодифицирования является его низкая чувствительность к значительным колебаниям химического состава расплава чугуна и к способам плавки, а также подавление проявления «наследственности» шихтовых материалов в структуре чугуновой отливки. Также наномодифицирование противодействует явлению увядания инокулирующего эффекта в процессе выдержки расплава в ковше перед заливкой формы, что увеличивает технологический цикл живучести расплава чугуна. Наномодифицирование повышает прочностные свойства чугуна на 2-3 марки, способствует устранению усадочных явлений, полной перлитизации матрицы чугуна [1,2].

На основании оценки модифицирующей эффективности тугоплавких соединений произведен выбор наномодификаторов (TiCN, TiC, SiC и B<sub>4</sub>C) для чугуновых мелющих шаров. В результате проведенных исследований [2-4] проведено модифицирование чугуна выбранными тугоплавкими наносоединениями (TiCN, SiC, TiC и B<sub>4</sub>C) и отлиты экспериментальные партии мелющих шаров Ø 60 мм. Установлено, что наиболее высокие показатели усвоения (93,5%) и равномерного распределения по объему ковша остаточного содержания основного элемента–модификатора наблюдаются при модифицировании карбонитридом титана (TiCN) при введении его в количестве 0,03% от массы чугуна.

В результате проведенного комплексного анализа свойств шаров из экспериментальных модифицированных чугунов установлено, что при модифицировании TiCN твердость и ударная стойкость возросла в 1,2 раза, соответственно с 45 HRC до 50 HRC и с 25 до 29 ударов. Износ уменьшился с 20,0 мг/ч до 10,03 мг/ч, то есть почти в 2 раза.

### **Список литературы**

1. *Давыдов С.В.* Фуллереновая природа жидкого чугуна – основа технологии наномодифицирования / Труды седьмого съезда литейщиков России / Т1. Общие вопросы. Черные и цветные сплавы: Новосибирск 23-27 мая 2005 г. – Новосибирск: Изд. Дом «Историческое наследие Сибири», -2005. – С.101-108.

2. Сушло Н.В. Влияние модифицирования на процессы структурообразования в сером и высокопрочном чугуна / Н.В. Сушло, В.Т. Калинин, Г.Б. Климович // Новітехнології: Науковий вісник КУЕІТУ. – 2008. – №1(19). – С.236 – 240.

3. Сушло Н.В. Исследования по использованию наномодификаторов при производстве чугунных мелющих шаров / Н.В. Сушло, В.Т. Калинин // Наукові вісті: Зб. Сучасні проблеми металургії. – 2009. – Т.12. – С.59-65.

4. Калинин В.Т., Сушло Н.В. Технологические особенности производства литых шаров повышенного качества // Вісник КТУ, випуск 23, 2009г.

УДК 621.791.92

**Е. В. Сухова**

Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара,  
Днепропетровск

## **ЛИТЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Композиционные материалы, полученные способом печной пропитки, находят применение в качестве износостойких покрытий на деталях металлургического оборудования [1]. Однако современная техника требует создания покрытий, свойства которых отличаются с рабочей и внутренней поверхностей. Поэтому возникает необходимость разработки составов двухслойных композиционных покрытий, свойства которых различаются вдоль их сечения.

В связи с этим в работе изучали закономерности формирования структуры и свойств двухслойного композиционного материала, слои которого были упрочнены одинаковым сплавом-наполнителем W–3,5%С, но отличались составом сплава-связки. В качестве металлических связок использовали сплав марки МНЖ 5-1 и эвтектический сплав Fe–В–С. Композиционные материалы получали методом свободной пропитки путем двухстадийного нагрева в печи. Вначале нагрев осуществляли до температуры плавления более легкоплавкой связки композиционного материала, а затем – до температуры плавления более тугоплавкой связки. В результате получали двухслойную структуру композиционного материала, для изучения которой использовали методы металлографического, микрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного анализов. Коэффициенты относительной окалиностойкости (К), абра-