

6. Мищенко, М.В. Повышение экономической эффективности процессов топливных теплоэнергетических установок путем обогащения технологического воздуха кислородом / Мищенко М.В., Маслов В.А., Дзюбенко О.Л. // Современные научные исследования и инновации [Электронный ресурс] – Ноябрь 2011.– Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2011/11/5024>. – Дата доступа : 28.10.2012.

7. Интенсификация тепловых процессов в высокотемпературных установках на примере нагревательных печей РУП «БМЗ» путем обогащения воздушной смеси кислородом / Кабишов С.М. [и др.] // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – Спецвыпуск. – С 218–221.

УДК 621.745.669.13

А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
А.С. КАЛИНИЧЕНКО, д-р техн. наук,
Н.В. ЗЫК, канд. хим. наук,
Д.И. МЕДВЕДЕВ, канд. техн. наук,
В.А. СМЕТКИН, канд. пед. наук,
А.А. КРИВОПУСТ (БНТУ)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАТОРОВ-РАСКИСЛИТЕЛЕЙ

В настоящее время при получении новых материалов и сплавов большое внимание уделяется применению ультрадисперсных и наноразмерных порошков химических соединений (нитриды, карбиды, оксиды, карбонитриды и др.). Размер частиц таких нанопорошков не превышает 100 нм. Обладая уникальными физико-химическими и механическими свойствами, они могут существенно влиять на качество получаемых сплавов.

Комплексные научные исследования показали [1–4], что модифицирующая обработка расплава чугуна различными поверхностно-активными элементами (ПАЭ) и их комбинациями открывает новые возможности воздействия на структуру расплава чугуна и

управление процессами структурообразования в графитизированных чугунах. В процессе модифицирования в расплаве образуются искусственные эндодральные наносоединения на основе фуллеренов и ПАЭ, которые активно изменяют характер кристаллизации железоуглеродистых расплавов. Такой метод воздействия на структуру железоуглеродистых расплавов получил название «наномодифицирование». Установлено, что наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитной фазы, но и также на фосфидную эвтектику, первичное зерно чугуна и фазу неметаллических включений, активизируя последнюю в качестве дополнительных гетерогенных центров графитизации. Другой 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, поскольку ПАЭ, входящие в состав модификатора, воздействуют избирательно на формирование структуры чугуна и структурообразование при его кристаллизации. Также наномодифицирование противодействует явлению увядания инокулирующего эффекта в процессе выдержки расплава в ковше перед заливкой формы, что увеличивает технологический цикл живучести расплава чугуна.

Согласно [2] применение наномодификатора позволяет сократить длительность графитизирующего отжига до 1–5 ч при снижении температуры процесса до 850–950 °С. Модифицирование алюминиевых литейных сплавов, бронз и латуней полностью ликвидировало усадочные явления в отливках и повысило качество механообработки за счет повышения и стабилизации твердости при существенном измельчении структуры сплавов [3].

Анализируя литературные источники по данному вопросу, необходимо отметить значительные успехи в практике наномодифицирования сплавов [1–3]. Однако актуальным является вопрос разработки способов ввода нанопорошков в состав модификатора.

Целью исследований в рамках настоящей работы является повышение эффективности модификатора-раскислителя на основе алюминия за счет введения в его состав дисперсных соединений активных элементов.

В качестве дисперсных порошков активных элементов использовали нитрид титана. Опытный образец такого нанопорошок был предоставлен для проведения исследований лабораторией материаловедения Института исследований атомной энергии Республики Корея согласно договору о научно-техническом сотрудничестве с БНТУ.

На первом этапе работы проводили исследование данного порошка с использованием таких методов идентификации, как рентгенофазовый и инфракрасный (ИК) спектроскопический анализы. Рентгенограммы всех исследованных соединений получены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4-13 с медным CuK_α излучением (никелевый фильтр). Образцы для съемки дифрактограмм применяли в виде порошка, при этом образец поворачивали на угол от 10° до 90° . На основании записи потенциометра КСП-4 были установлены значения углов θ , соответствующие дифракционным максимумам на диаграмме и определены их относительные величины (интенсивности отражения). Зная угол θ , по таблицам межплоскостных расстояний были определены величины межплоскостного расстояния, соответствующие этому углу отражения.

Инфракрасные спектры поглощения анализируемых соединений записаны в диапазоне частот $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ путем непосредственного анализа индивидуальных веществ без предварительного смешения с KBr при использовании DTGS-детектора. Спектры получены на однолучевом ИК-Фурье спектрофотометре «FTIR-8601 PC» фирмы «SHIMADZU» с алмазной кюветой «5^x beam condenser» фирмы «Graseby specac» с разрешением 8 см^{-1} . При анализе записанных ИК спектров поглощения исследуемых соединений, согласно общепринятой методике ИК спектроскопических исследований, рассматривали в общем случае число полос поглощения, относящихся к колебаниям данного иона или молекулы, и частотный интервал их проявления.

Кроме того, идентификацию твердых фаз проводили оптическим методом с использованием микроскопа типа Полам Л-213 (видимый проходящий поляризованный свет), в основу которого было положено сопоставление показателей преломления и дисперсии для исследуемых образцов и соответствующих иммерсионных жидкостей по стандартной методике (метод «фокального экранирования», кратность увеличения $350\text{--}500$). Микрофотогра-

фирование исследуемых на микроскопе (Полам Л-213) объектов проводили при той же кратности увеличения.

Для исследования форм и размера частиц порошка была использована сканирующая электронная микроскопия (электронный микроскоп VEGA II LMU с микроанализатором INCA ENERGY 350 ЭМВ). Установлено, что частицы порошков образованы первичными структурными элементами, имеющими форму, содержащую равноосные включения. При этом частицы имеют размер (после дробления) около 50–200 нм, которые объединяются в агрегаты различной формы (рисунок 1).

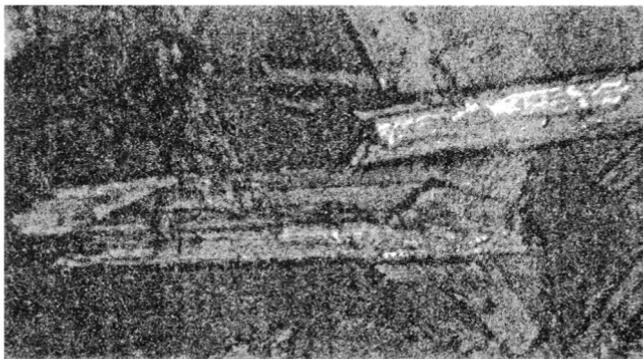


Рисунок 1 – Фотография нанодисперсного образца нитрида титана (сканирующая электронная микроскопия)

Определение химического состава и изучение морфологии нанодисперсных образцов нитрида титана (TiN) проводили по стандартной методике электронномикроскопическим методом с использованием растрового микроскопа LEO-1420 (полупроводниковый детектор рентгеновского излучения Si (Li), разрешение 20 нм, диаметр столика 50 мм, чувствительность от 1,0 % мас.), позволяющим поэлементно (начиная с алюминия) определять химический состав исследуемых объектов.

В качестве результата анализа принимали среднее арифметическое трех параллельных определений, абсолютное значение расхождения между которыми не превышало суммарной погрешности результата измерений ($\pm 10,0$ %) при доверительной

вероятности 0,95. Содержание каждого элемента определяли по стандартной методике исходя из 100%-го баланса элементов.

Установлено, что химический состав синтезированного образца нитрида титана однороден и содержит 98,0–99,5 % основного вещества.

На рисунках 2 и 3 приведены рентгенограмма и ИК спектр поглощения синтезированного ультрадисперсного порошка нитрида титана.

На втором этапе работы исследовали процесс получения брикетированного модификатора на основе порошка алюминия, измельченной лигатуры ФС30РЗМ30 с добавками нанопорошка нитрида титана. Исходные компоненты в необходимых количествах взвешивались на аналитических весах и загружались в лабораторный смеситель. Из полученной однородной смеси методом прессования изготавливались брикеты, общий вид которых представлен на рисунке 4.

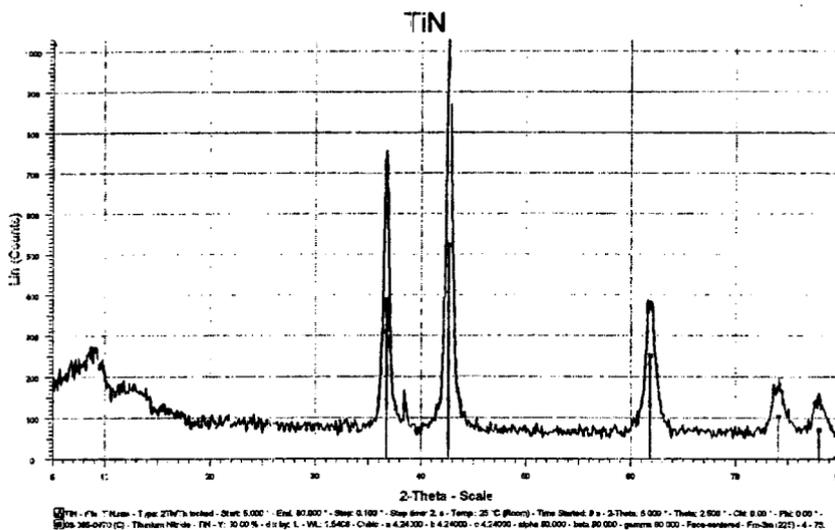


Рисунок 2 – Рентгенограмма ультрадисперсного порошка нитрида титана

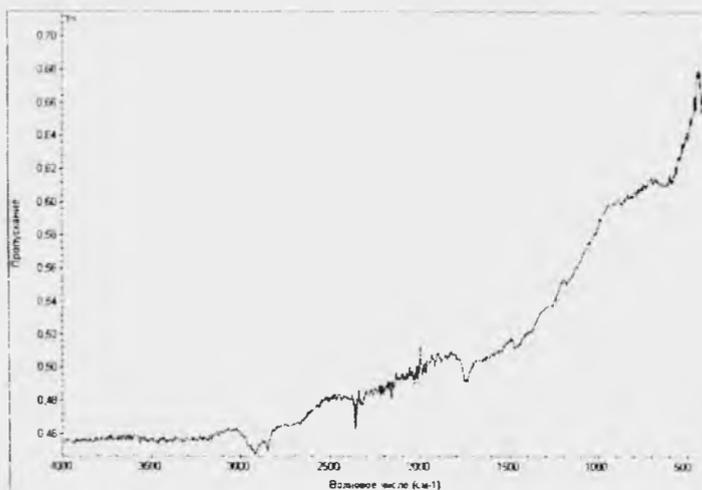


Рисунок 3 – ИК спектр поглощения синтезированного ультрадисперсного порошка нитрида титана

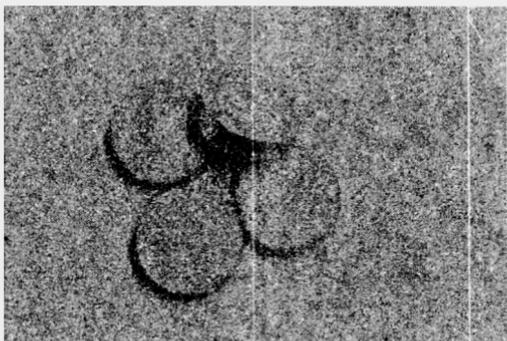


Рисунок 4 – (Общий вид брикетов модификатора-раскислителя)

В дальнейшем проводили изучение процесса кристаллизации расплавленных брикетов с помощью метода компьютерного термического анализа по кривым охлаждения.

Результаты термического анализа (кривые охлаждения и их первые производные) представлены на рисунках 5, 6.

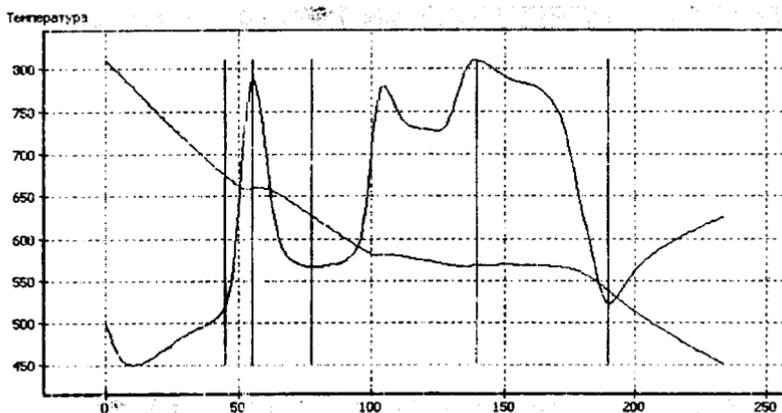


Рисунок 5 – Кривая охлаждения исходного модификатора

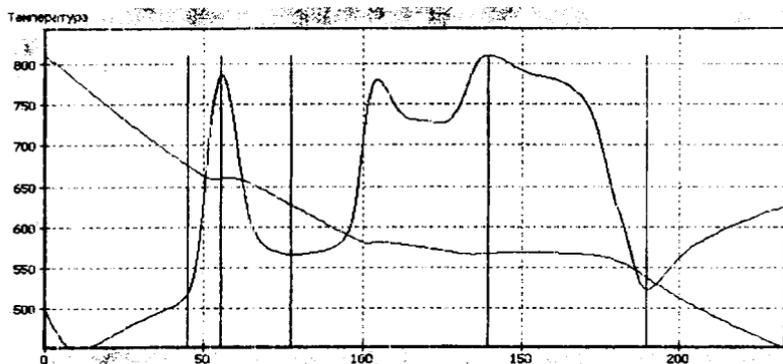
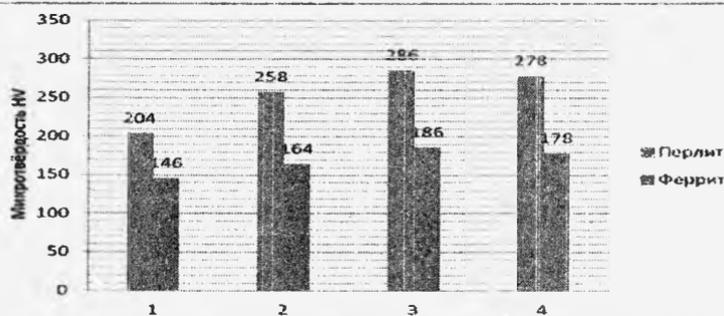


Рисунок 6 – Кривая охлаждения модификатора с добавками нитрида титана

Из рисунков видно, что значения критических точек на кривых охлаждения исходного образца модификатора и с добавками наночастиц нитрида титана совпадают. Это означает, что добавки наночастиц в состав базового модификатора не оказывают воздействия на фазовые составляющие полученного слитка.

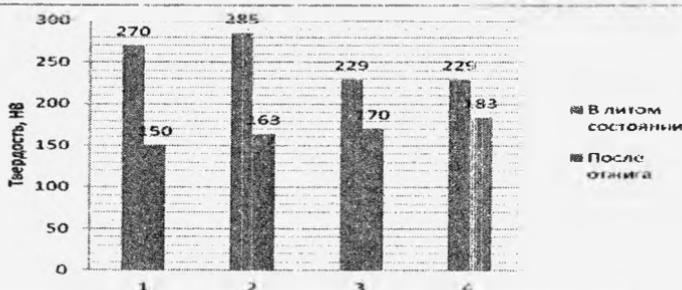
Испытания эффективности модифицирования проводили при выплавке стали 35Л в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой емкостью 60 кг. Модификатор в виде брикетов в количестве 0,05 % вводился в ковш емкостью 10 кг. Для каждого варианта мо-

дифицирования были отлиты специальные пробы, из которых вырезались образцы для изучения структуры и свойств как в литом состоянии, так и после термической обработки. Обобщенные результаты представлены на рисунке 7 и 8.



1 – базовый состав; 2 – содержащий 3 % нитрида титана; 3 – содержащий 6 % нитрида титана, 4 – содержащий 9 % нитрида титана

Рисунок 7 – Влияние состава модификатора на микротвердость структурных составляющих стали 35Л



1 – базовый состав; 2 – содержащий 3 % нитрида титана; 3 – содержащий 6 % нитрида титана; 4 – содержащий 9 % нитрида титана

Рисунок 8 – Влияние состава модификатора на твердость стали в литом состоянии и после отжига

Обработка углеродистой стали модификатором с добавками нитрида титана изменила перлитоферритную структуру отливок. У стали, обработанной модификатором, содержащим 6 и 9 % нитрида титана, наблюдаются более высокие показатели твердости. В литой

стали отмечена крупнозернистая перлитная структура с включениями феррита игольчатой формы (видманштеттовская структура). По мере увеличения добавок нанопорошка балл зерна литой структуры повышается. В структуре отливок из такой стали после отжига также наблюдается равномерное распределение включений пластинчатого и зернистого перлита. Следует отметить, что ряд исследователей также отмечает положительную роль добавок нанопорошков в углеродистую сталь на глобуляризацию неметаллических включений и более равномерное их распределение в отливке.

В дальнейшем проведены лабораторные испытания модификатора в виде брикетов при ковшевой графитизирующей обработке серого чугуна, выплавленного в индукционной тигельной печи ИСТ-006, обобщенные результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты лабораторных испытаний модификатора при внепечной обработке чугуна

Вариант плавки	Состав модификатора	Величина добавки, %	Глубина отбела, мм	Твердость, НВ
1	Немодифицированный чугун	–	15,0	255
2	Базовый модификатор	0,1	7,0	241
3	Содержащий 3 % нитрида титана	0,1	2,5	234
4	Содержащий 6 % нитрида титана	0,1	2,0	241
5	Содержащий 9 % нитрида титана	0,1	3,5	246

Результаты испытаний показывают, что наличие в составе базового модификатора нитридов титана снизило склонность чугуна к отбелу с 7,0 до 2,0 мм. Это отразилось на количестве и распределении графитных включений, при этом твердость сплава несколько снизилась, особенно при использовании модификатора, содержащего 3 % нитрида титана.

Таким образом, проведенные предварительные исследования показали перспективность применения в составе базового модификатора

на основе алюминия дисперсных порошков соединений титана для обработки железоуглеродистых сплавов.

Литература

1. **Коротаева, З.А.** Получение ультрадисперсных порошков механическим способом и их применение для модифицирования материалов: автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / З.А. Коротаева; КемГУ. – Кемерово, 2008. – 25 с.

2. **Применение** ультрадисперсных порошков для улучшения свойств металлов и сплавов / А.Н. Черепанов [и др.] // *Материаловедение*. – 2000. – № 10. – С. 45–53.

3. **Полубояров, В.А.** Получение ультрамикрорегетерогенных частиц путем механической обработки / В.А. Полубояров, Коротаева З.А., Андрушкова О.В. // *Неорганические материалы*. – 2001. – Т. 37. – № 5. – С. 592–595.

4. **Применение** механически активированных ультрадисперсных керамических порошков для улучшения свойств металлов и сплавов / В.А. Полубояров [и др.] // *Наука производству*. – 2002. – № 2. – С. 2–8.

УДК 669.27:519

С.В. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук (БНТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВДУВАНИЯ ПОРОШКОВ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫЙ КОВШ

Введение. Основными задачами, решаемыми при выборе и эксплуатации инжекционных установок, позволяющими повысить эффективность их работы, являются выбор:

- 1) оптимального соотношения транспортируемого газа и материала;
- 2) оптимального места ввода фурмы или струи инжектируемой газопорошковой смеси;
- 3) оптимальной глубины ввода фурмы;
- 4) оптимальных параметров фурмы и скорости смеси.