

РАФИНИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ СПЛАВОВ РЕЦИКЛИНГОВЫМИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Л.Г. Знаменский¹, О.В. Ивочкина¹, И.В. Речкалов²

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,

² ООО «Проминтех», г. Челябинск

Современный этап развития металлургии связан с созданием эффективных материало- и энергосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное использование сырья. В этом отношении представляется перспективным использование в процессах подготовки литейных сплавов рециклинговых наноструктурированных материалов, таких как высокодисперсный алмазный порошок, являющийся сопутствующим продуктом при получении искусственных алмазов, и мелкофракционные отходы производства электродов. В результате исследований разработаны способы рафинирования и модифицирования чугуна и алюминиевых сплавов указанными материалами.

Разработанный способ рафинирования и модифицирования чугуна позволяет устранить пироэффект и повысить физико-механические свойства отливок за счет измельчения зерна и уменьшения склонности к отбелу при кристаллизации расплава. Модифицирование алюминиевых сплавов тугоплавкими частицами наноструктурированного алмазного порошка приводит к измельчению структурных составляющих, в том числе создаются условия для диспергирования упрочняющих интерметаллидов при последующей термообработке таких отливок. В результате существенно улучшаются литейные свойства сплава и физико-механические характеристики отливок.

Разработанные способы рафинирования и модифицирования сплавов могут быть использованы в отечественных и зарубежных литейных цехах при изготовлении продукции для нужд машиностроения, металлургии, авиации и других областей промышленности.

Ключевые слова: чугун; алюминиевый сплав; рафинирование; модифицирование; рециклинг; наноструктурированный материал; отливка.

Прогрессивные материало- и энергосберегающие технологии обеспечивают комплексное использование сырья, применение новых видов материалов с уникальным комплексом свойств. В этом отношении представляется перспективным использование в процессах подготовки литейных сплавов рециклинговых наноструктурированных материалов, таких как высокодисперсный алмазный порошок, являющийся сопутствующим продуктом при получении искусственных алмазов, и мелкофракционные отходы производства электродов.

Наноструктурированный алмазный порошок (НАП) состоит из тугоплавких ультрадисперсных частиц, которые являются эффективными центрами зародышеобразования при кристаллизации чугуна. Ультрадисперсный алмаз, или наноалмаз – это углеродная структура, имеющая кристаллическую решетку типа алмаза и размеры от 1...10 нм.

Существует несколько способов получения наноалмазов, из них наиболее экономичным и быстрым по времени является ударно-волновой синтез [1], который имеет ряд неоспоримых преимуществ перед статическим методом. Прежде всего, нет необходимости в металлах-катализаторах, примеси которых снижают прочность и термостойкость алмаза. Кроме того, параметры взрывного процесса, такие как давление, скорости нагружения, температуры сжатия и остаточные тем-

пературы, можно регулировать способом сжатия, подбором взрывчатого вещества с определенными свойствами, предварительным нагревом или охлаждением. В результате синтеза в сильнонеравновесных условиях получают уникальные нанокристаллические структуры.

Для определения среднего размера частиц и соотношения размерных фракций посредством ультразвукового диспергирования получена суспензия диспергированного наноалмаза (ДНА) в воде с концентрацией частиц 0,1 мас. %. Размеры частиц в полученной суспензии определены прибором Zetasizer Nano ZS Malvern Instruments. Результаты показали, что средний размер частиц составляет 133 нм, а доля частиц размером менее 100 нм составляет 18,6 %, что позволяет отнести используемый материал к наноструктурированному.

Рентгенофазовый анализ используемого наноструктурированного порошка показал, что основной фазой в его составе является diamond (алмазная структура) (рис. 1). При этом значимое количество других фаз не было зафиксировано. Съемку проводили в отфильтрованном K_{α} -излучении медного анода на дифрактометре ДРОН-4-07, снабженном аппаратно-программным комплексом для автоматического управления и регистрации измерений. Комплекс содержит пакет программ для компьютерной обработки результатов измерений.

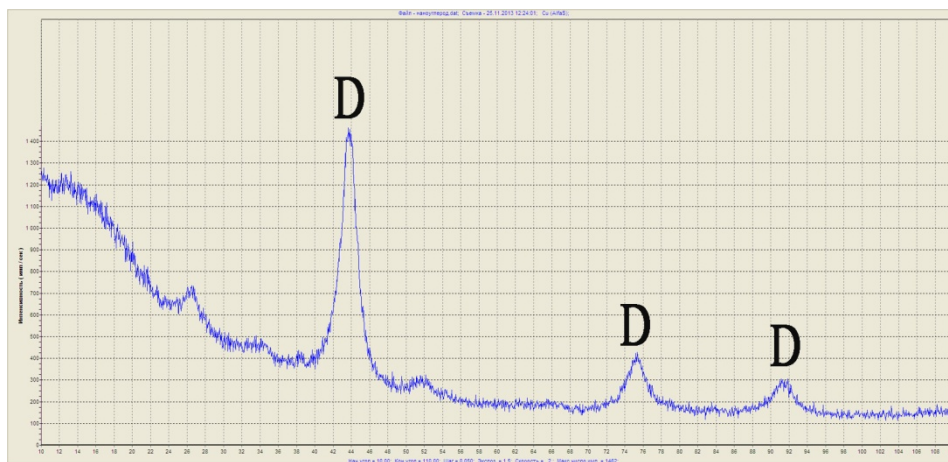


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа наноструктурированного порошка:
D – diamond

Идентификацию фаз осуществляли с помощью программного обеспечения X-RAY путем сравнения экспериментальных рентгенограмм со стандартными штрих-рентгенограммами различных фаз базы данных международной картотеки PDF-2.

В качестве материала, полученного при рециклинге шихты для электродов на Челябинском электрометаллургическом комбинате, исследовали отходы производства, содержащие графит и карбид кремния. Учитывая фазовый состав этого дисперсного материала, очевидно, что он оказывает графитизирующее и раскисляющее действие на расплавы чугуна.

В ходе исследований разработаны способы рафинирования и модифицирования чугуна и алюминиевых сплавов указанными материалами.

Обработку чугуна осуществляли с применением брикетов. При этом для изготовления брикета использовали смесь из зернистого магния, предварительно плакируемого частицами исследуемых рециклинговых наноструктурированных порошков.

Влияние разработанного способа рафинирования и модифицирования на свойства чугуна представлено в табл. 1. Брикеты использовали для модифицирования чугуна следующего состава: 3,5 % C; 0,12 % P; 0,02 % S; 2,5 % Si; 0,6 % Mn. Плавильный агрегат – высокочастотная индукционная печь с хромомagneзитовой футеровкой. Температура расплава при модифицировании

1400...1420 °С. Формы для проб изготовлены из песчано-глинистой смеси влажностью 3...3,5 %. Для оценки структуры и механических испытаний получены цилиндрические пробы диаметром 30 мм и длиной 200 мм. Величина отбела определена по клиновидным пробам. Испытания на прочность проводили на разрывной машине INSTRON при скорости растяжения 2 мм/мин. В качестве базового взят способ модифицирования брикетами на основе коксовой мелочи [2].

Для выявления структуры металлической основы образцы протравили 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте. На рис. 2 показана структура матрицы исходного (рис. 2, а) и выплавленного с применением разработанной технологии (рис. 2, б) чугуна.

Таким образом, разработанный способ рафинирования и модифицирования позволяет устранить пироэффект и повысить физико-механические свойства отливок за счет измельчения зерна и уменьшения склонности к отбелу при кристаллизации расплава.

Модифицирование алюминиевых сплавов осуществляли наноструктурированным алмазным порошком в печи. При этом модификатор вводили с помощью колокольчика.

Влияние разработанного способа модифицирования на свойства алюминиевого сплава АК8М представлено в табл. 2. Температура расплава при модифицировании 740...760 °С, время выдержки

Таблица 1

Показатели процессов рафинирования и модифицирования чугуна

Наименование показателя	Базовый вариант	Разработанная технология
1. Наличие пироэффекта при модифицировании	Есть	Нет
2. Толщина отбеленного слоя на отливке (клиновидная проба), мм	0,5...0,8	0
3. Твердость отливки, НВ	320	400
4. Прочность отливки при растяжении, МПа	300	440...470
5. Размер зерна металлической матрицы, мкм	210...230	20...30

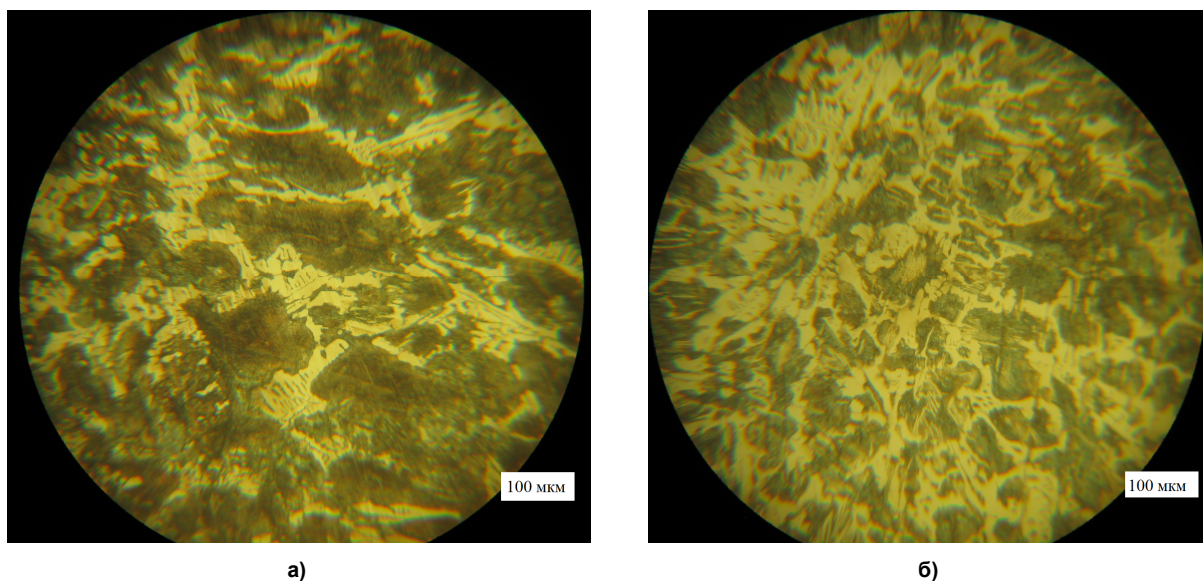


Рис. 2. Металлическая матрица чугуна: а – исходного; б – выплавленного с применением разработанной технологии

Таблица 2

Показатели модифицирования алюминиевых сплавов

Наименование показателя	Базовый вариант	Разработанная технология
1. Размер зерна в структуре отливок, мкм	160...170	30...50
2. Предел прочности отливки (σ_B), МПа	280...300	350...370
3. Относительное удлинение отливки (δ), %	6...10	12...14
4. Склонность к образованию трещин (толщина кольца, мм)	17,5	10

5 мин. Склонность к образованию трещин определялась на технологических пробах по размеру кольца. Механические свойства определялись по образцам, вырезанным из отливок, после термообработки по режиму T5: нагрев под закалку 2-ступенчатый при температуре 505 °С – 4 ч + 515 °С – 6 ч, закалка в воде 20 °С, старение при 150 °С – 10 ч, охлаждение на воздухе. В качестве

базового взят способ модифицирования графитовой композицией [3].

Фотографии структуры образцов из сплавов АК8М, полученные на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV с волновым и энергодисперсионным анализаторами, до и после модифицирования представлены на рис. 3.

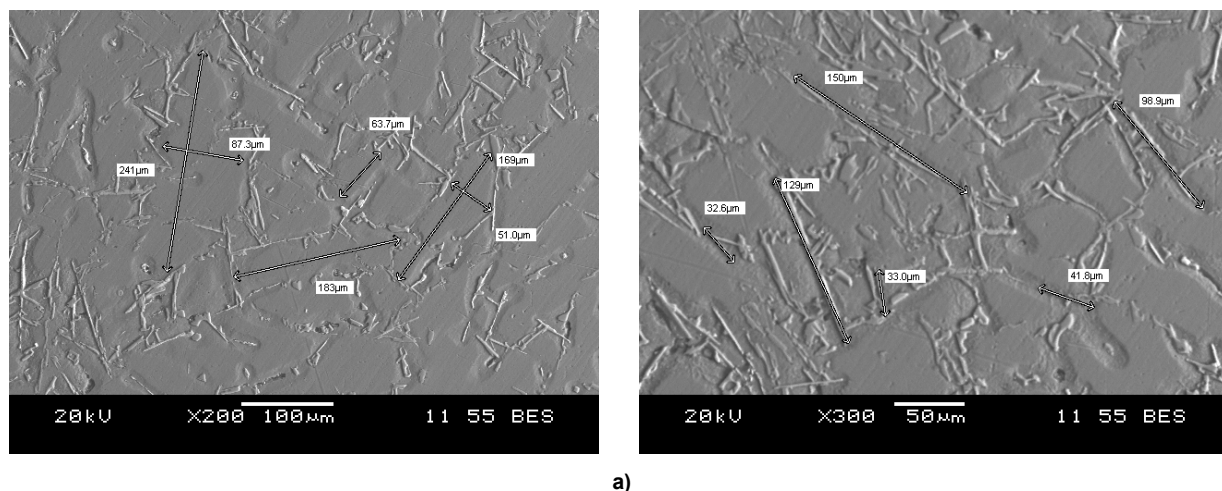
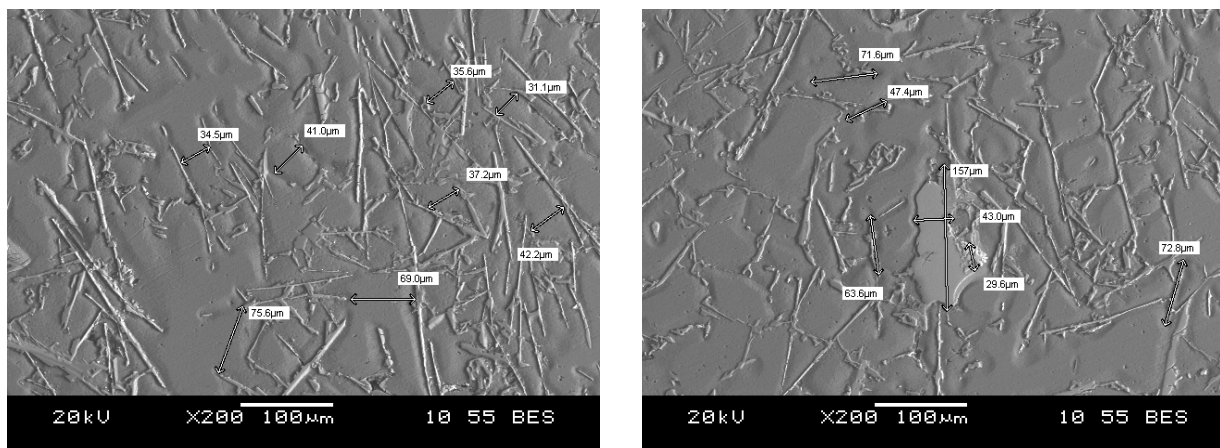


Рис. 3. Структура образцов из сплава АК8М: а – до модифицирования; б – после модифицирования (см. также с. 71)



б)

Рис. 3. Окончание

Анализ результатов показал, что модифицирование алюминиевых сплавов тугоплавкими частицами наноструктурированного алмазного порошка приводит к измельчению структурных составляющих, в том числе создаются условия для диспергирования упрочняющих интерметаллидов при последующей термообработке таких отливок. В результате для отливок из алюминиевых сплавов, полученных по разработанному способу, существенно улучшаются литейные и физико-механические свойства.

Учитывая повышенные физико-механические свойства получаемых отливок из чугуна и алюминиевых сплавов, разработанные способы рафинирования и модифицирования могут быть использованы для подготовки сплавов в отечественных и зарубежных литейных цехах при изготовлении продукции для нужд машиностроения,

металлургии, авиации и других областей промышленности.

Литература

1. Даниленко, В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом / В.В. Даниленко. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
2. Пат. 2330073 Российская Федерация, МПК С 22 В 1/243, С 22 В 5/12. Способ изготовления брикетов для металлургического производства / Л.Г. Знаменский, И.В. Речкалов, И.В. Курбатова, А.А. Ермоленко. – № 2006142619/02; заявл. 01.12.2006; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 22. – 6 с.
3. Модифицирование алюминия технической чистоты комплексом наноструктурированных компонентов / Л.И. Мамина, В.Н. Баранов, А.И. Безруких и др. // Труды одиннадцатого съезда литейщиков России: сб. науч. тр. – Екатеринбург: РАЛ, 2013. – С. 120–127.

Знаменский Леонид Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; znamenskiilg@susu.ac.ru.

Ивочкина Ольга Викторовна, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; olga@lit.susu.ac.ru.

Речкалов Игорь Викторович, технический директор, ООО «Проминтех», г. Челябинск; igor.reghkalov@mail.ru.

Поступила в редакцию 7 октября 2015 г.

**REFINING AND MODIFICATION OF ALLOYS
BY NANOSTRUCTURED RECYCLING MATERIALS**

L.G. Znamenskii¹, znamenskii@susu.ac.ru,
O.V. Ivochkina¹, olga@lit.susu.ac.ru,
I.V. Rechkalov², igor.reghkalov@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

² JSC "Promintekh", Chelyabinsk, Russian Federation

The current stage of metallurgy development is aimed at creating material-efficient and energy-saving technologies providing the integrated use of raw materials. In this regard, much attention is paid to the usage of recycling nanostructured materials, such as finely divided diamond powder (a co-product of synthetic diamonds production) and small fraction wastes of electrodes' production in the process of alloy preparation. Thus, the methods of refining and modification of cast iron and aluminum alloys of these materials have been developed.

The method for refining and modification of cast iron eliminates the pyroeffect and improves the physical and mechanical properties of castings due to grain refinement and the reduction of chilling effect at melt crystallization stage. The modification of aluminum alloys by refractory particles of nanostructured diamond powder leads to the refinement of the structural components, and the conditions for the refinement of strengthening intermetallic compounds during the subsequent heat treatment of the castings are created. As a result, the alloy castability as well as physical and mechanical properties of castings are significantly improved.

The developed methods of refining and modification of alloys can be used in Russian and foreign foundries in the manufacture of products for the mechanical engineering, metallurgy, aviation, and other industries.

Keywords: cast iron; aluminum alloy; refining; modification; recycling; nanostructured material; casting.

References

1. Danilenko V.V. *Sintez i spekanie almaza vzyryvom* [Synthesis and Sintering of Diamond by Explosion]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2003. 272 p.
2. Znamenskii L.G., Rechkalov I.V., Kurbatova I.V., Ermolenko A.A. *Sposob izgotovleniya briketov dlya metallurgicheskogo proizvodstva* [Method of Briquette Manufacture for Metallurgical Industry]. Patent RF, no. 2330073, 2008.
3. Mamina L.I., Baranov V.N., Bezrukikh A.I. et al. [Modification of Technical Purity Aluminum Complex Nanostructured Components]. *Trudy odinnadtsatogo s"ezda liteyshchikov Rossii* [Proceedings of the Eleventh Congress of the Russian Casting Engineers]. Ekaterinburg, 2013, pp. 120–127.

Received 7 October 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Знаменский, Л.Г. Рафинирование и модифицирование сплавов рециклинговыми наноструктурированными материалами / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, И.В. Речкалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 68–72. DOI: 10.14529/met150409

FOR CITATION

Znamenskii L.G., Ivochkina O.V., Rechkalov I.V. Refining and Modification of Alloys by Nanostructured Recycling Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 68–72. (in Russ.) DOI: 10.14529/met150409