

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРОЦЕССАХ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

О.В. Ивочкина

В статье рассмотрены технологии модифицирования литейных сплавов с использованием наноструктурированного алмазного порошка. Разработанный способ 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 и физико-механические свойства отливок.

Ключевые слова: чугун, алюминиевый сплав, модифицирование, наноструктурированный материал, отливка.

Современный этап научно-технического прогресса в области металлургии и литейного производства неразрывно связан с созданием эффективных энергосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное использование сырья, применение прогрессивных видов наноматериалов с уникальным комплексом свойств. В этом отношении представляется перспективным использование наноструктурированного алмазного порошка в процессах подготовки литейных сплавов.

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.

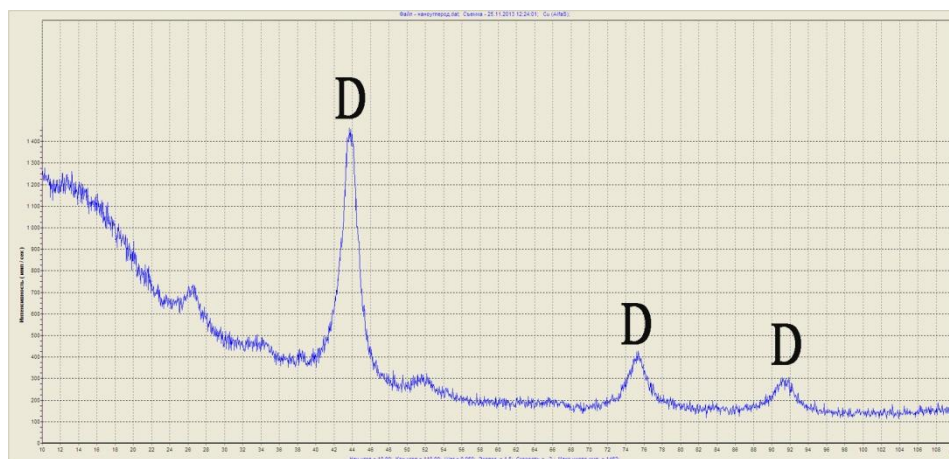
Существует несколько способов получения наноалмазов, из них наиболее экономичным и быстрым по времени является ударно-волновой синтез [1], который имеет ряд неоспоримых преимуществ перед статическим методом. Прежде всего, нет необходимости в металлах-катализаторах, примеси которых снижают прочность и термостойкость алмаза. Кроме того, параметры взрывного процесса, такие как давление, скорости нагружения, температуры сжатия и остаточные температуры, можно регулировать способом сжатия, подбором взрывчатого вещества с определенными свойствами, предварительным нагревом или охлаждением. В результате синтеза в сильнонеравновесных условиях получаются 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.). 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. 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 ходе исследований разработаны способы модифицирования чугуна и алюминиевых сплавов наноструктурированным алмазным порошком.

Модифицирование чугуна осуществляли с использованием брикетов. При этом для изготовления брикета использовали смесь из зернистого магния, предварительно плакируемого суспензией из водного раствора алюмоборфосфатного концентрата и наноструктурированного алмазного порошка.



Результаты рентгенофазового анализа
наноструктурированного порошка: D – diamond

Влияние разработанного способа модифицирования на свойства чугуна представлено в таблице 1. Брикетты 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 хромомагнетитовой 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 брикеттами на основе коксовой мелочи [2].

Таблица 1

Показатели процессов 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

Таким образом, разработанный способ 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 наноструктурированным алмазным порошком осуществляли в печи. При этом модификатор вводили с помощью колокольчика.

Влияние разработанного способа модифицирования на свойства алюминиевого сплава АК8М представлено в таблице 2. Температура расплава при модифицировании 740–760 °С, время выдержки 5 минут. Склонность к образованию трещин определялась на технологических пробах по размеру кольца. Механические свойства определялись по образцам, вырезанных из отливок, после термообработки по режиму Т5: 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].

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

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 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.

Библиографический список

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.

Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции
Секции технических наук

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.