

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ СПЛАВОВ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ СВОБОДНОГО УГЛЕРОДА

Баранов Д. А.*, Баранов А. А.

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, Донецк, 83000 Украина

* Phone: +38(062) 3042293, E-mail: baranovda@rambler.ru

Введение

В первом сообщении [1] рассмотрены условия формирования ультрадисперсных частиц свободного углерода, образующихся в железоуглеродистых сплавах в результате предварительной деформации, термоциклирования с фазовыми превращениями и локального оплавления токами высокой частоты и электрической дугой. В чугунах, модифицированных магнием, углеродные частицы приобретали сферический вид, размеры которых на один – два порядка превышали углеродные луковичи, образующиеся при отжиге алмазных нанопорошков [2]. Из изученных способов наиболее эффективным явилось оплавление электрической дугой и ТВЧ, благодаря которым в сплаве образовывалось до 10^{11} включений в см^{-3} , удаленных друг от друга на расстоянии, близком к поперечнику включений. Основные цели настоящего исследования заключались в совершенствовании способа, основанного на локальном оплавлении, в установлении механизма формирования ультрадисперсных образований свободного углерода, а также в определении свойств полученных материалов.

Результаты и обсуждение

В отличие от методики, приведенной в работе [3], в экспериментах широко использовали термические обработки по изотермическому или термоциклическому режиму ускоренно охлажденных оплавленных образцов. Благодаря этому удалось увеличить до 10^{13} см^{-3} число частиц свободного углерода, сохранив при этом сферическую форму. Ферритная основа, которую сплавы приобретали после кратковременного отжига, дисперсна, что свидетельствует о большом влиянии частиц свободного углерода на рост ферритного зерна. Измельчение феррита и мелкие выделения свободного углерода позитивно сказались на микротвердости оплавленных участков. После отжига она соответствовала твердости феррито-перлитного чугуна.

Благодаря ускоренному охлаждению оплавленного высокопрочного чугуна вблизи остатков нерастворившегося графита образуется аустенито-цементитная эвтектика, а вдали от них, где произошло полное оплавление, обра-

зуются и дендриты избыточного аустенита, между ветвями которого размещается ледебурит и графит (рис. 1а). Границы оплавленной зоны определяются пространственной ориентацией деформированного графита. Частицы, вытянутые вдоль контактной поверхности, ограничивают распространение оплавления. Если же исходные частицы размещены под углом к контактной поверхности, оплавление распространяется далеко в глубь образца. В усложнении рельефа фронта оплавления большой вклад вносит анизотропия графита, теплопроводность которого вдоль базисных плоскостей в несколько раз выше, чем в поперечном направлении [4].

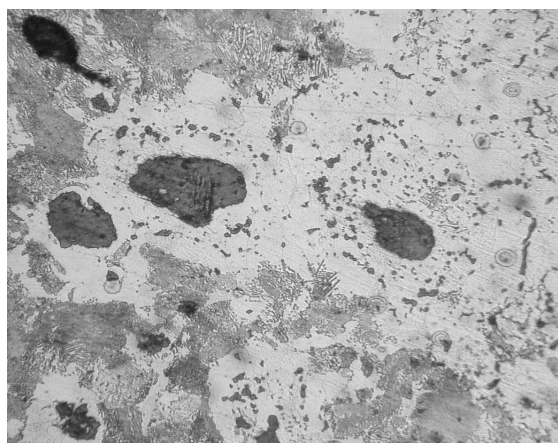
Интенсивное образование выделений свободного углерода, проявляющееся в резком увеличении числа частиц, способствует ферритизации металлической основы. По результатам теоретического анализа, увеличение числа частиц в миллионы раз сокращает длительность распада цементита в сто раз. Эксперименты подтверждают этот вывод: 10 мин выдержка оплавленного чугуна при 850°C оказалась достаточной для завершения графитизации, а охлаждение в воздухе до комнатной температуры придает металлической матрице ферритное состояние. Особенно много включений свободного углерода образуется вблизи остатков нерастворившегося графита (рис. 1б). Снижение содержания углерода в связи с более полным оплавлением чугуна, а также процессы коагуляции уменьшают число выделений свободного углерода до 10^{10} см^{-3} в участках, удаленных от деформированного графита.

При металлографическом исследовании структуры оплавленных участков выявлены 2 механизма образования шаровидных частиц свободного углерода. В одном из них, реализуемом непосредственно у деформированного графита, образующиеся частицы покрывались пленкой аустенита, что свидетельствует о развитии аномальной эвтектической кристаллизации. В других участках, содержавших меньше углерода и охлажденных менее интенсивно, эвтектической кристаллизации предшествовало образование многочисленных дисперсных дендритов аустенита. Кристаллизация тонких прослоек расплава, размещенных между ветвями аустенита, происходила с полным разделением

фаз, что описано в работе [5]. При этом эвтектический аустенит наслаивался на дендритах избыточного аустенита, а шаровидные включения свободного углерода росли в расплаве в отсутствие аустенитной оболочки. Из-за высокой плотности графитоподобных выделений междендритные участки характеризуются невысокими механическими свойствами.



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктура предварительно деформированного высокопрочного чугуна после оплавления (а) и последующего отжига при 850°C в течение 10 мин, x500 (б).

На основании полученных данных анализируется механизм формирования ультрадисперсных структур свободного углерода в оплавленных участках деформированного высокопрочного чугуна. В соответствии с результатами расчетов, количество магния, выделившегося при оплавлении участков с деформированным графитом, достаточно для образования многочисленных микропузырьков, на поверхности которых при охлаждении сплава выделяется свободный углерод. Покрытие пленкой углерода поверхности пузырька энергетически оправдано, ибо ведет к снижению поверхностной энергии железа [6]. На формирование структуры оплавленного чугуна большое влияние оказывает полнота растворения деформи-

рованного графита, темп последующего охлаждения оплавленных участков, разветвленность дендритов избыточного аустенита.

Имея в виду позитивное влияние аномальной эвтектической кристаллизации на структуру и свойства оплавленных участков, в докладе приведены рекомендации по выбору технологических параметров обработки деформированного высокопрочного чугуна.

Выводы

1. Термическая обработка с оплавлением и последующим отжигом деформированного высокопрочного чугуна увеличивает число частиц свободного углерода до 10^{13} см^{-3} .

2. Увеличение числа сферических частиц свободного углерода связано с образованием пузырьков газообразного магния, перешедшего в расплав при растворении деформированного графита.

3. Образование шаровидного графита при эвтектической кристаллизации оплавленных участков происходит путем полного разделения фаз или сопровождается образованием аустенитной оболочки.

4. В обоих случаях зарождение сферических углеродных частиц обусловлено снижением поверхностной энергии в связи с покрытием углеродом поверхности пузырьков магния.

Литература

1. Баранов Д.А., Баранов А.А., Лейрих И.В. Ультрадисперсные образования свободного углерода в сплавах железа // Материалы VIII Межд. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов» ICHMS'2003, Киев. – 2003. – С. 532-533.
2. Михайлик А.А., Бридсон Р.М.Д., Батчелдер Д.Н., Солонин Ю.М., Хомко Т.В. Углеродные луковичи, получение и водородсорбционные свойства // Материалы VIII Межд. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов» ICHMS'2003, Киев. – 2003. – С. 460-461.
3. Баранов Д.А. Формирование ультрадисперсной структуры графитизированных сплавов железа // Металлофизика и новейшие технологии. – 2003, №7. – С. 925 – 933.
4. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. – 562с.
5. Мирошниченко С. И. Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия, 1982. – 168с.
6. Баранов А. А., Баранов Д. А. Поверхностная активность углерода и ее роль в формировании структуры и свойств железных сплавов // ФММ. – 2003, т. 96, вып. 4. – С. 57 – 71.