

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО,
А. Г. СОЛОВЕЙ, ИТМ НАН БЕЛАРУСИ

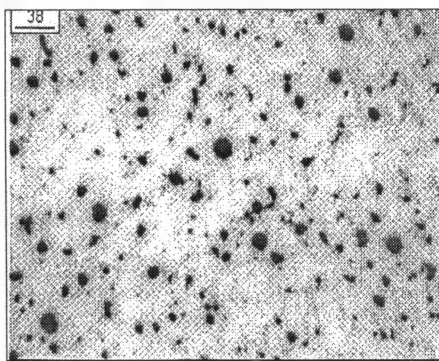
Are studied features of graphite formation while melting cast iron and in castings 25 mm and 40 mm diameters. A new mechanism of graphitising inoculation is investigated.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ЧУГУНЕ С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛИТЬЕ

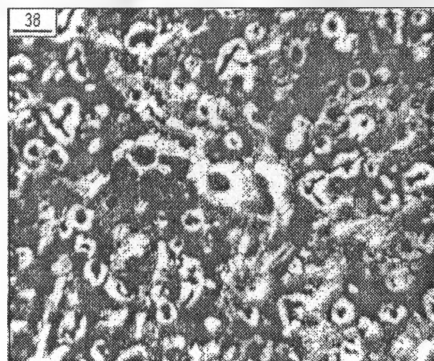
УДК 621. 74

При непрерывном горизонтальном литье чугуна изменение температуры жидкого металла в металлоприемнике должно отражаться на переохлаждении при эвтектической кристаллизации. Скорость затвердевания чугуна будет зависеть от диаметра непрерывнолитой заготовки. Чтобы определить влияние этих параметров на структурообразование в чугуне с шаровидным графитом (ЧШГ), были проведены две опытные разливки на машине непрерывного горизонтального литья по получению заготовок диаметрами 25 и 40 мм. Шихта состояла из литейного чушкового чугуна, стали, возврата и легирующих добавок. Плавки вели в индукционной печи ИСТ-016 с кислой футеровкой. Сфероидизирующее модифицирование проводили в литейном ковше "сэндвич"-процессом. Для этого использовали модификатор

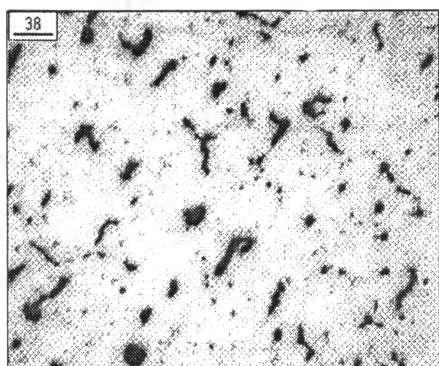
ЖКМК-6 состава, мас. %: магний – 6; РЗМ – 3; кремний – 50; кальций – 6; остальное – железо. Эту лигатуру вводили в количествах 1,3 и 2% от массы плавки. За время процесса литья заготовки диаметром 40 мм температура жидкого чугуна в металлоприемнике изменялась на 100 °С: с 1360 до 1260 °С. Полученная отливка имела следующий химический состав, мас. %: углерод – 3,36; кремний – 2,22; марганец – 0,26; хром – 0,06; фосфор – 0,06; медь – 0,72; магний – 0,042; сера – 0,019. При литье заготовки диаметром 25 мм температура расплава в металлоприемнике изменялась на 180 °С: с 1400 до 1220 °С. Полученная отливка имела диаметр 25 мм и следующий состав, мас. %: углерод – 2,83; кремний – 3,02; марганец – 0,40; хром – 0,16; никель – 0,46; медь – 0,72; магний – 0,056; фосфор – 0,10; сера – 0,019.



а



б



в



г

Рис. 1. Микроструктура непрерывнолитой заготовки диаметром 40 мм: а, б — через 60 с литья; в, г — через 600 с литья. × 120

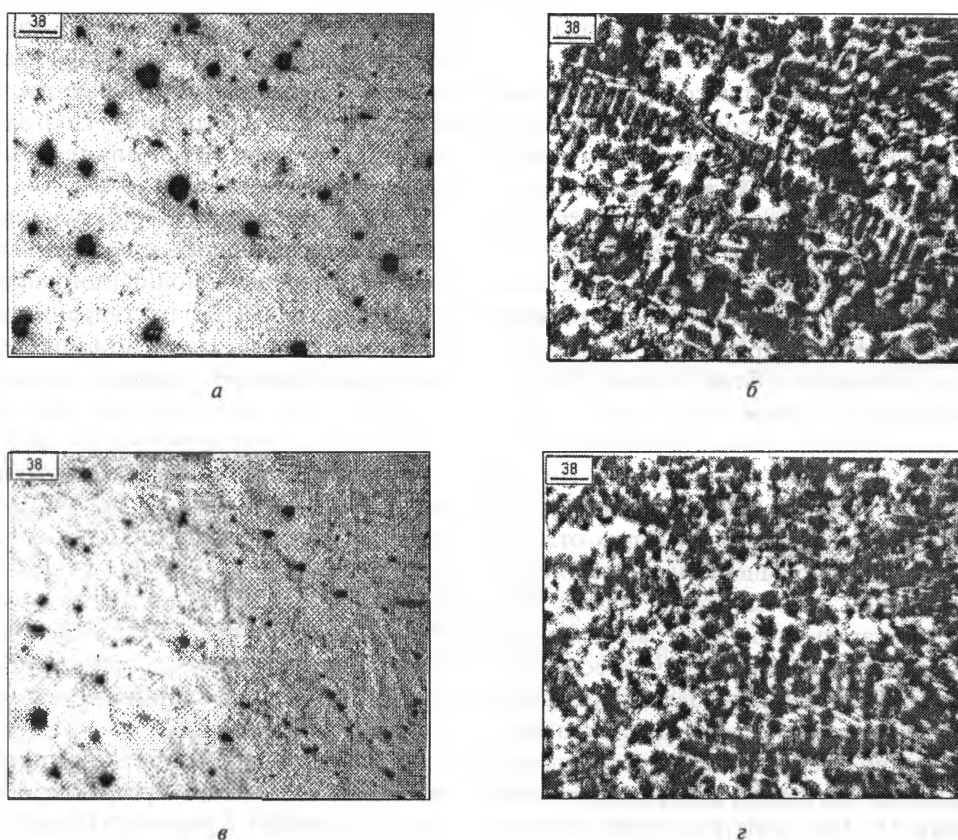


Рис. 2. Микроструктура непрерывнолитой заготовки диаметром 25 мм: а, б — через 40 с литья; в, г — через 840 с литья. $\times 120$

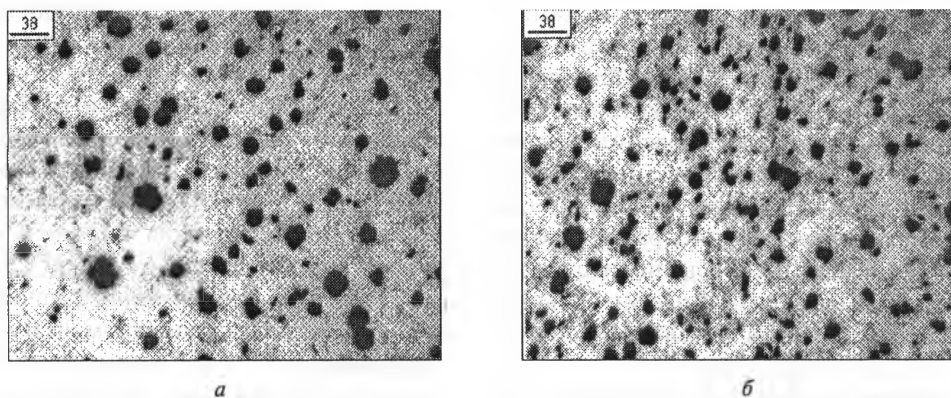


Рис. 3. Микроструктура отожженной при 950 °С непрерывнолитой заготовки диаметром 25 мм: а — через 40 с литья; б — через 840 с литья. $\times 120$

Из начальных и конечных зон непрерывнолитых заготовок перпендикулярно их оси вырезали цилиндрические шлифы толщиной 10 мм. Структурный анализ проводили с помощью оптического микроскопа «Neophot-2». Исследовали микроструктуру в кольцевой средней части торцевой плоскости шлифа. Результаты металлографических исследований представлены на рис. 1—3. Отливка диаметром 40 мм имела в литом состоянии перлитно-ферритную структуру. Через 60 с литья в поле зрения шлифа этой заготовки отмечалось 100 включений шаровидного и компактного графита дисперсностью более 10 мкм. Шесть графитных глобул имели размер 25—30 мкм, остальные — в среднем 15 мкм (рис. 1, а).

Через 600 с литья в поле зрения шлифа отливки отмечалось 50 включений шаровидного, компактного и вермикулярного графита дисперсностью более 10 мкм. Две глобулы имели диаметр 30 мкм, 20 частиц — вермикулярный графит размером 40—70 мкм, остальные — графитные компактные включения со средней дисперсностью 20 мкм (рис. 1, в). Таким образом, в начале литья графит непрерывнолитой заготовки более глобулярный и дисперсный, поскольку процесс кристаллизации происходил при большом переохлаждении. К концу разлива температура расплава в металлоприемнике уменьшалась на 100 °С, поэтому при эвтектической кристаллизации появилось меньшее количе-

ство графитных частиц, а их форма изменилась до вермикулярной.

Отливка диаметром 25 мм при содержании в ней 3% кремния имела в литом состоянии структуру белого ЧШГ. Через 40 с литья в поле зрения шлифа такой заготовки находилось 26 включений шаровидного и компактного графита дисперсностью более 10 мкм. Девять глобул графита имели размер 25–30 мкм, остальные – в среднем 20 мкм (рис. 2, а). Через 840 с литья в поле зрения шлифа отливки отмечалось 35 включений шаровидного и компактного графита дисперсностью более 10 мкм. Две глобулы имели диаметр 25–30 мкм, остальные – в среднем 15 мкм. Аналогичная картина наблюдалась для непрерывнолитой заготовки диаметром 25 мм, содержащей 3,15% углерода, 3,16% кремния и 0,047% магния. В структуре начальной зоны этих отливок (до 60 с литья) графита больше и он менее дисперсный, чем в конечной зоне заготовок (после 800 с литья). Следует полагать, что такое распределение может происходить только в том случае, если в отбеленной непрерывнолитой заготовке ЧШГ графит имеет неэвтектическое происхождение. Установлено, что магний при сфероидизирующем модифицировании является активным коагулятором микрочастиц графита [1]. Они образуются при графитизирующем модифицировании расплава чугуна кремнием, входящим в состав модификатора или модифицирующей смеси. Процесс образования микрочастиц графита активизируется элементами – активными раскислителями и десульфураторами [2]. При коагуляции микрочастиц графита образуются мелкие, средние и крупные глобулы, которые фиксируются в отливке при ее затвердевании в кристаллизаторе. Находясь в металлоприемнике, крупные частицы графита распадаются на мелкие (декоагулируют). Последние частично растворяются. Поэтому в конечной зоне непрерывнолитой заготовки диаметром 25 мм графитных частиц больше и они более дисперсные, чем в начальной зоне отливки.

Крупные глобулы графита (25–30 мкм) в отливке диаметром 40 мм образовались при сфероидизирующем модифицировании расплава чугуна лигатурой ЖКМК-6. Основное число графитных частиц выросло при эвтектической кристаллизации (графитизации) ЧШГ. В начальной зоне непрерывнолитой заготовки диаметром 25 мм содержится больше крупных включений глобулярного графита, чем в аналогичной зоне отливки диаметром 40 мм (рис. 1, а, 2, а). Следует полагать, что при сфероидизирующем модифицировании во втором расплаве было образовано (скоагулировалось) большее число частиц (зародышей) графита. Несмотря на то что содержание кремния в отливке диаметром 25 мм составляло 3%, она затвердевала по метастабильному механизму. Ее диаметр был в 1,6 раза меньше, поэтому отливка кристаллизовалась и охлаждалась на воздухе с большими скоростями, которые пре-

пятствовали графитизирующим процессам при эвтектическом и эвтектоидном превращениях в чугуне, что значительно затрудняло рост частиц графита (графитных зародышей). Поэтому непрерывнолитые заготовки ЧШГ диаметром 25 мм имели отбеленную структуру.

Магниевый процесс коагуляции микрочастиц графита, выделившихся из расплава в результате графитизирующего модифицирования, приводит к уменьшению в ЧШГ растворенного углерода. Установлено, что в начале и конце литья количество скоагулированного графита составляет соответственно 2 и 1,3% по площади шлифа заготовки (рис. 2, а, в). Это означает, что количество углерода в металлической основе чугуна уменьшилось соответственно на 0,67 и 0,43 мас. %. Поэтому отливки ЧШГ заэвтектического состава с углеродным эквивалентом менее 4,7% будут затвердевать как доэвтектические. Следует полагать, что в этом заключается главная причина устранения процесса спелеобразования в чугунах заэвтектического состава, обработанных сфероидизирующими лигатурами типа ЖКМК. Данный вывод подтверждается практикой литья ЧШГ заэвтектического состава. Установлено, что в таких чугунах процесс зарождения спели начинает происходить при углеродном эквиваленте более 4,6% [3]. Эффективность процесса деспелеобразования будет зависеть от содержания в модификаторе магния и кремния. При увеличении их концентрации в сфероидизирующей лигатуре (смеси лигатур) расплав будет обедняться углеродом.

Выявленные особенности графитообразования объясняют присутствие в структуре доэвтектического ЧШГ крупных глобулярных включений графита наряду с мелкими и средними включениями. Эта картина сохраняется и после распада ледебурита и вторичного цементита (рис. 3). После отжига на феррит в поле зрения шлифа начальной и конечной зоны отливки диаметром 25 мм отмечалось соответственно 77 и 111 частиц графита дисперсностью более 10 мкм. Соотношение этих чисел графитных глобул такое же, как и для литой заготовки – 1,0:1,5. Структура отожженной на феррит отливки ЧШГ отличается от структуры аналогичной литой отливки только по количеству и размеру графитных включений. Следует полагать, что при отжиге белого ЧШГ растут в основном только те частицы графита (графитные зародыши), которые образовались в результате сфероидизирующего и графитизирующего модифицирования чугуна. Лигатура ЖКМК-6 обеспечивает получение в белом ЧШГ определенного количества коагулированного графита (рис. 2, а, в). Сохранившиеся в отбеленном чугуне, они будут уменьшать инкубационный период отжига, связанный с зарождением графитных зародышей. В этом, по-видимому, заключается одна из основных причин ускоренной графитизации карбидов в ЧШГ. Установлено, что при одинаковом хи-

мическом составе белый чугун, модифицированный лигатурами типа ЖКМК, отжигается в 5—10 раз быстрее, чем белый чугун, необработанный этими модификаторами [4]. Поэтому вокруг включений графита в непрерывнолитой заготовке ЧШГ присутствует ферритная кайма (см. рис. 1, б, в), которая является следствием ускоренного самоотжига отливки ЧШГ диаметром 40 мм при ее вторичном охлаждении на воздухе.

Таким образом, структурообразование в чугуне с шаровидным графитом при непрерывном горизонтальном литье в основном будет определяться процессом графитообразования при сфероидизирующем модифицировании, скоростями кристаллизации и вторичного охлаждения заготовки. Резуль-

таты проведенных исследований использованы при разработке технологии непрерывного литья заготовок из ЧШГ.

Литература

1. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., Дозмаров В. В. Влияние магния на графитообразование в чугунах // Литейное производство. 1999. №9. С. 22—23.
2. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., Дозмаров В. В. Механизм графитообразования в расплаве чугуна // Литейное производство. 1999. №9. С. 30—31.
3. Ле в ч е н к о Ю. Н. Механизм графитизирующего модифицирования чугуна // Литейное производство. 1989. №12. С. 4—6.
4. В о л о щ е н к о Н. В. Использование кальцийсодержащих комплексных модификаторов // Литейное производство. 1998. №11. С. 15—17.

**Компания «Интеллектуальные ресурсы»
и Московский Институт Стали и Сплавов
представляют информационную систему**

Металлургическая отрасль России www.rusmet.ru:

- это самый популярный деловой ресурс России и СНГ отраслевого направления;
- это более 40 000 уникальных пользователей в месяц (ежемесячно посещаемость растет на 5-10%);
- это 1-е место в Российском сегменте Интернет среди русскоязычных ресурсов не только металлургической тематики, но и всей промышленности;
- это источник оперативной информации;
- это эксклюзивные программные продукты для нормального функционирования системы и реализации удаленного доступа пользователей к размещению и редактированию своей информации в базе данных.

Металлургическая отрасль России www.rusmet.ru — это

оперативная помощь предприятиям и частным предпринимателям в решении задач, связанных со снабжением, сбытом, взаимозачетами, бартером, информационным обеспечением, подбором кадров и привлечением инвестиций.

Для всех пользователей обеспечивается свободный вход, свободный доступ и свободное участие в электронном бизнес-процессе.

Информация представлена по разделам: Предприятия, Продукция, Купля-продажа, Новости, Рынок труда, Документация, Ноу-Хау, Выставки, Пресса. Первые три раздела используются для поиска партнеров на рынке металлов.

- Предприятия - в разделе размещена платная и бесплатная информация о компаниях (общая информация о компании, технический каталог, прайс-лист, фотографии продукции, схемы проезда к офисам и складам, контактные реквизиты). Каждая компания самостоятельно решает какую информацию разместить и чем привлечь потенциальных партнеров.
- Купля-продажа - предприятия-участники в свободном режиме размещают информацию о покупке-продаже продукции в режиме "on-line". Ежедневно публикуется более 450 коммерческих предложений.
- Продукция - оперативная информация о ценах на металлопродукцию и наличии ее на складах в данный момент времени. Информация структурирована и представлена в удобном для потребителя виде. В 2000 году раздел будет преобразован в Торговую систему, где свои заявки смогут размещать не только продавцы, но и покупатели.

**Мы предлагаем Вам стать участниками информационной системы
«Металлургическая отрасль России» (www.rusmet.ru)**

Компания «Интеллектуальные ресурсы»

Тел./факс: (095) 955-0196, 955-0124, 955-0092, 230-4507

117936, Москва, Ленинский пр-т, 4, МИСиС

e-mail: intres@intres.ru, <http://www.intres.ru>