

ИНОКУЛИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

К.В. Макаренко, Ю.М. Иващенко

Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

Железоуглеродистые сплавы были и остаются наиболее востребованными конструкционными сплавами. Чугуны с шаровидным графитом (ЧШГ) и аусферритной металлической матрицей по ряду показателей превосходят традиционно применяемые стали. Конечная структура чугуна формируется при первичной кристаллизации. Модифицирование позволяет эффективно управлять распределением графитных включений в структуре чугуна.

При исследовании процессов вторичного инокулирования использовался феноменологический подход. Исследовали совместное влияние инокулирующего и сфероидизирующего модифицирования. Для этого применяли следующие рассуждения. При легировании ЧШГ кремнием и его модифицировании кремнийсодержащими лигатурами происходят различные по принципу воздействия на процессы структурообразования явления. В первом случае повышенное содержание кремния в ЧШГ способствует ферритизации металлической матрицы в образцах без изменения количества включений графита. Это происходит за счет повышения термодинамической активности углерода в интервале температур эвтектоидного превращения, что приводит к увеличению этого интервала. Во втором случае происходит повышение количества графитных включений, что влечет за собой увеличение диффузионных путей и как следствие приводит к ферритизации металлической матрицы ЧШГ. При этом для получения в структуре чугуна графита шаровидной формы, необходимо проводить обязательно сфероидизирующее модифицирование. Сфероидизирующее модифицирование определяет степень получения шаровидных включений, инокулирующее – количество зародышей графитной фазы. От совмещения этих двух процессов модифицирования во времени зависит конечная структура графита в чугуне.

Проведенные исследования показывают, что именно послесфероидизирующее инокулирующее модифицирование ответственно за процессы стабилизации потенциальных зародышей графита в ЧШГ. Сфероидизирующее модифицирование определяет

форму графитной фазы. Следовательно, потенциальные зародыши графита возникают уже после вторичного инокулирования, которое по условиям производится после сфероидизирующего модифицирования. Конечная форма графитных включений будет зависеть от сохранившегося воздействия сфероидизирующих лигатур, которое в свою очередь определяется остаточным содержанием магния в чугуне и исчезает со временем выдержки обработанного сфероидизирующими добавками расплава за счет испарения из него магния. Инокулирующая способность вторичного модифицирования также склонна к угасанию с увеличением времени выдержки расплава, что объясняется дезактивацией и диссоциацией потенциальных зародышей графита в жидком чугуне.

Таким образом, чем быстрее инокулирующая обработка будет проведена после сфероидизирующей и чугун будет залит в формы, тем больше будет включений графита с более правильной сферической формой. Математическая формула этого правила может быть сформулирована следующим образом:

$$\tau_{\text{ин}} < \tau_{\text{сф}},$$

где $\tau_{\text{ин}}$ – время действия инокулирующего модифицирования, мин; $\tau_{\text{сф}}$ – время действия, в течение которого расплав сохраняет способность к сфероидизации графитных включений, мин.

Иначе говоря, период действия инокулирующего модифицирования должен вписаться в период действия сфероидизирующего модификатора. В противном случае получается структура с графитной фазой выходящегося типа (вермикулярный графит).

На рисунке 1. приведена микроструктура образца, прошедшего сфероидизирующую обработку и последующее инокулирующее модифицирование. Производилась длительная выдержка расплава чугуна в открытом ковше после сфероидизирующего модифицирования, что привело к снижению содержания магния в расплаве, последующая ино-

кулирующая обработка способствовала получению вермикулярной формы графита.

По ГОСТ 3443 – 87 "Отливки из чугуна с различной формой графита" распределение графитных включений соответствуют шифру ВГр4 "Междендритные разветвленные колонии". В данном случае вторичное инокулирующая обработка оказалась не эффективна, т.к. она не способствовала получению в чугуне графитных включений шаровидной формы, хотя и привела к ферритизации матрицы чугуна.

В образцах, которые были залиты непосредственно после инокулирующего модифицирования с малой выдержкой после сфероидизирующего модифицирования, была получена структура чугуна с шаровидной формой графита и структурой ферритной металлической матрицы (рис. 2).

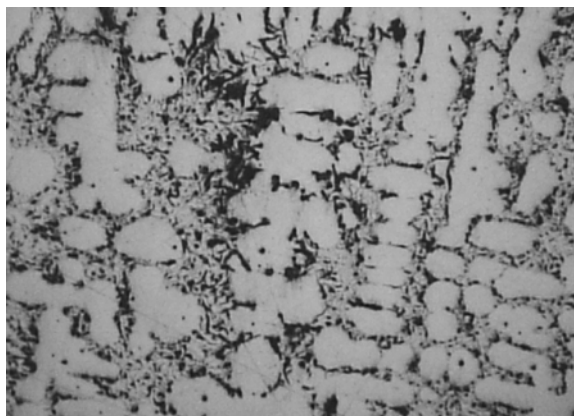


Рисунок 1 – Распределение включений графита в микроструктуре чугуна, $\times 500$ (шлиф нетравлен)

Исчезновение эффекта инокулирующего модифицирования можно проследить по зависимости изменения формы графита от времени выдержки после сфероидизирующего и инокулирующего модифицирования (рис. 3). При регистрации изменений формы графита по оси ординат шкала в интервале от 1 до 0,05, где 1 соответствует идеально сферической форме, а 0,05 – пластинчатой.

Так как стабилизация потенциальных зародышей графита происходит после сфероидизирующей обработки и вторичного инокулирующего модифицирования, то первый процесс не оказывает значительного воздействия на появление зародышей графита в чугуне. Сфероидизирующий эффект сохраняется и после вторичного модифицирования

и его воздействие проявляется на вновь образовавшихся зародышах графита.

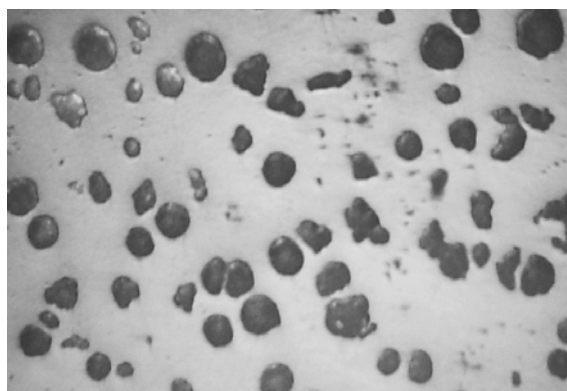


Рисунок 2 – Изменение степени сферичности включений графита в чугуне от времени выдержки чугуна в ковше после инокулирующей обработки

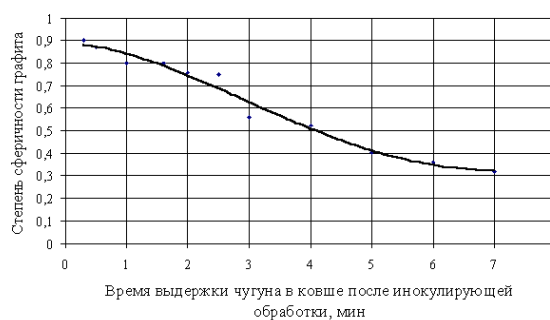


Рисунок 3 – Распределение включений графита в чугуне, $\times 100$ (шлиф нетравлен)

Следовательно, можно сделать вывод о том, что магний в расплаве производит рафинирующее воздействие, эффект этого воздействия сохраняется при наличии в расплаве определенного остаточного содержания магния, который связывает поверхностно-активные элементы в соединения типа MgO и MgS . Диссоциация этих соединений с последующим удалением магния из расплава понижает сфероидизацию графитных включений. Поверхностно-активные элементы в чугуне абсорбируются графитными включениями, что приводит к нарушению дислокационного механизма роста графита и вырождению его в пластинчатые формы. Именно такая модель формирования графитных включений в ЧШГ может быть положена в основу объяснения взаимосвязей сфероидизирующего и инокулирующего процессов модифицирования.

ИНОКУЛИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Время действия инокулирующего модифицирования по результатам исследования 2,5 мин. Следовательно, оптимизация процессов сфероидизирующего и инокулирующего модифицирования требует их технологического совмещения в интервале [0...2,5 мин]. Исходя из этого рекомендуется проводить вторичное модифицирование в форме по методу индмолд-процесса.

К предварительным выводам исследования можно отнести следующие: сферолиты

графита в чугуне образуются до тех пор, пока действует эффект от модифицирования магнийсодержащими лигатурами, именно в этот период эффективно проводить инокулирующее модифицирование. Для получения ферритной структуры металлической матрицы в ЧШГ необходимо проводить дополнительное инокулирующее модифицирование, при этом соблюдать условия совместимости двух видов модифицирования во времени.