

мер (80...85 %). При меньших размерах площадей реакционных камер в структуре чугуна образуется графит переохлажденной эвтектики.

Известно, что применение редкоземельных металлов и элементов-деглобуляризаторов позволяет стабилизировать процесс получения ЧВГ [ 1, 2]. Поэтому для более эффективной обработки и расплава использовали лигатуру  $\text{ФСМгЗ}$  с пониженным содержанием магния, повышенным содержанием редкоземельных металлов и титана (табл. 1). При подборе оптимального состава лигатуры исходили из следующих соображений: магний используется для рафинирования расплава от серы и кислорода, а вермикулярная форма графита достигается с помощью РЗМ. Применение данной лигатуры для внутрiformенного модифицирования оказалось более эффективным с точки зрения стабилизации технологии. Область образования графита вермикулярной формы смещена в сторону меньших площадей реакционных камер. Характерной особенностью процесса модифицирования с использованием лигатуры  $\text{ФСМгЗ}$  является значительное расширение пределов площадей горизонтальных сечений реакционных камер, при которых устойчиво образуется графит вермикулярной формы, что свидетельствует о стабилизации технологии получения ЧВГ (рис.1, б).

Полученные результаты показали принципиальную возможность применения процесса внутрiformенной обработки расплава для получения чугуна с графитом вермикулярной формы с использованием низкомагниевого с РЗМ и  $\text{Ti}$  лигатур.

Опытные плавки при модифицировании в форме металлоемкостью 720 кг подтвердили лабораторные исследования, показав возможность получения отливок из ЧВГ с использованием модификаторов данного типа. Однако в сравнении с технологией внутрiformенного модифицирования чугуна с шаровидным графитом данный процесс отличается большей чувствительностью к изменению технологических режимов модифицирования, главными из которых являются температура заливки металла и содержание серы в исходном чугуне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Н.Н., Мильман Б.С., Андреев В.В., Соленков В.Т. Современные способы получения и свойства высокопрочных чугунов // Технология, организация пр-ва и управления. – 1977. – № 37. 2. Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г., Вареник П.А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. – Киев, 1986.

УДК 621.74.043

Г.Ф. АНДРЕЕВ, Д.Н. ХУДОКОРМОВ, д-р техн. наук,  
В.А. ШЕЙНЕРТ, А.А. НИКИФОРОВ (БПИ)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЗДНЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНОВ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ МОДИФИКАТОРОВ

Известно, что наибольший эффект как графитизирующего, так и сфероидизирующего модифицирования чугуна наблюдается в первые моменты (до 3...5 мин) после усвоения модификатора расплавом. Причем эффект супермодифицированного состояния сохраняется в первые 3...20 с, после ввода

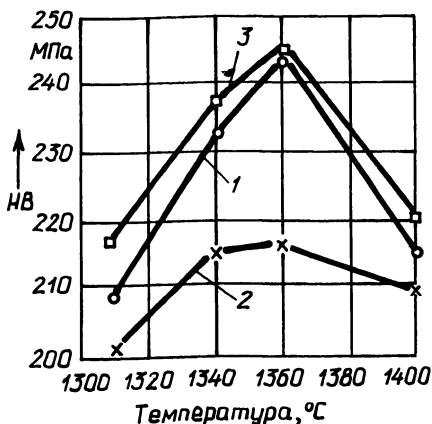


Рис. 1. Влияние температуры на эффективность модифицирования чугуна:

1 — 0,1 % алюминия; 2 — 0,1 % КМ; 3 — исходный

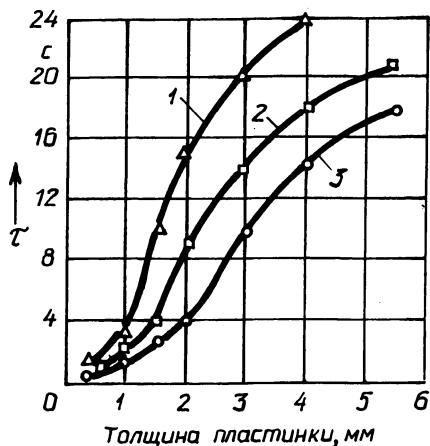


Рис. 2. Влияние толщины пленок СК-30 на скорость их растворения при температурах:

1 — 1350 °С; 2 — 1400 °С; 3 — 1450 °С

присадки. Вместе с тем эксперименты, проведенные по определению эффективности модифицирования серого чугуна чистым алюминием и комплексным модификатором (КМ) по ТУ 205 БССР 832–87, показали, что имеются два наиболее благоприятных для графитизации интервала температур — 1300...1340 °С и 1380...1410 °С при литье в песчаноглинистые формы и толщине стенок отливки от 5 до 16 мм. Это связано, вероятно, с наличием и сохранением при относительно невысокой температуре графитных частиц, служащих готовыми центрами графитизации при последующем охлаждении чугуна. Повышению эффективности графитизации может служить и процесс образования дисперсных неметаллических включений, выполняющих роль подложек для кристаллизации на них графитной фазы. Благоприятствует графитообразованию перегрев расплава, так как рост теплосодержания обеспечивает снижение переохлаждения при эвтектическом превращении сплава. Все это вносит определенные коррективы в процессы структурообразования в зависимости от тех или иных режимов нагрева и охлаждения жидкого чугуна. Данные интервалы определены для 0,1 % (по массе) добавки алюминия или КМ (рис. 1).

В СССР имеется значительное количество литейных цехов, оснащенных вагранками, температура чугуна на желобе которых не превышает 1370 °С. В связи с этим возникает проблема быстрого расплавления и усвоения присадок, так как время заполнения заливаемого ковша в зависимости от его металлоемкости может колебаться от 5...10 до 30...60 с. Таким образом, время, отведенное на плавление частиц добавки, составляет 2...3 с в первом случае и 10...20 с во втором. При соблюдении этих соотношений обеспечивается высокая эффективность перемешивания модификатора и чугуна за счет падающей струи.

Влиять на растворимость модификаторов можно, изменяя их фракционный состав или температуру плавления. Однако даже при снижении температу-

ры плавления присадки в 1,5–2 раза при создании легкоплавких комплексных модификаторов на основе алюминия минимальный размер частиц, определенный с использованием уравнения теплового баланса, не превышает по диаметру 5 мм.

При уменьшении радиуса частицы в  $N$  раз во столько же раз возрастает площадь окисления суммарного количества частиц той же массы. Одновременно уменьшается глубина, на которую должны проникнуть атомы кислорода для того, чтобы достигнуть центра частицы, что еще более увеличивает их окисляемость. Эти процессы усугубляются тем, что в случае разливки модификаторов и лигатур в толстые слитки (чушки) в результате кристаллизации, теплового расширения и усадки, а также газоусадочных явлений получаемый материал характеризуется высокой пористостью, значительной величиной зерна и ликвационной неоднородностью состава. Кроме того, при дроблении теряется 20...50 % лигатур в виде отсева, а время хранения присадок с активными компонентами ограничивается 3...12 ч.

Альтернативой дроблению и просеиванию модификаторов является производство их в виде тонкой пленки или готовых гранул. Эксперименты по получению пленочных модификаторов были проведены на машине для непрерывной разливки металлических сплавов путем намораживания расплава на поверхность водоохлаждаемого барабана. Были получены пленки традиционных лигатур ФС30РЗМ30, ФСБа-20, СК-15 и СК-30.

Наиболее технологичными при производстве данным методом являются легкоплавкие КМ на основе алюминия. Толщина полученных пленок находится в пределах 0,5...5,5 мм. Растворимость СК-30, подготовленного данным способом, приведена на рис. 2. Для оценки скорости растворения пластинки силикокальция одинаковой массы, но разной толщины помещались на зеркало металла в заливочном ковше. Скорость их разрушения определялась визуально с помощью секундомера при температурах 1450, 1400 и 1350 °С. Наиболее оптимальная толщина частиц пленочного модификатора, исходя из приведенных выше термовременных параметров растворения, находится в интервале 1...2 мм. Полученный модификатор в 1,2 раза плотнее традиционного, имеет мелкозернистую структуру и более однороден. Его применение позволяет резко повысить растворимость силикокальция, который ранее применялся для внепечной обработки сплавов с температурой не менее 1400 °С. Анализ шлака, полученного при рафинировании чугуна 0,5 % СК-30, показал присутствие в нем 3 % S и 60 % CaO, отбел по клиновой пробе снизился с 14 до 4 мм. Температура чугуна при ковшевом модифицировании – 1380 °С. Использование пленочного ФСБа-20 (1 %) при той же температуре и содержании серы в чугуне 0,06...0,08 % позволяло получать чугун с компактным и шаровидным графитом.

Другим методом подготовки может являться литье модификатора в воду через быстровращающийся стакан с отверстиями на стенках диаметром 2...4 мм или через стационарный ковш с донными отверстиями 4...6 мм. В данном процессе при охлаждении модификатора и возрастании сил поверхностного натяжения формируются гранулы заданного диаметра.

Разработанные способы подготовки модификаторов позволяют резко повысить эффективность присадок и перейти на безотходную технологию их производства.