

предлагаемым механизмом влияния элементов-сфероидизаторов на форму графита. Вибрация приводит к интенсификации диффузионных процессов в расплаве, препятствует накоплению Сс вблизи граней графита и ускоряет подвод атомов углерода к растущим кристаллам, вследствие чего формируется графит пластинчатой формы.

В соответствии с представлениями кинетики гетерогенных процессов в том случае, если перемешивание влияет на кинетику изучаемого процесса и наблюдается градиент концентрации компонентов в одной из фаз (в расплаве), это является убедительным доказательством того, что лимитирующей стадией является диффузия, а не химико-адсорбционная стадия присоединения атомов углерода к поверхности графита. С этой точки зрения, механизм влияния элементов-сфероидизаторов на форму графита сводится не к увеличению числа занятых мест и блокировке границы раздела фаз, а к замедлению подвода атомов угле-

рода к растущим кристаллам графита.

Механизм влияния элементов-сфероидизаторов обусловлен их воздействием на диффузию атомов углерода к графиту, в результате чего возрастает переходимость, снижается линейная скорость роста кристаллов графита в расплаве. Вследствие низкого коэффициента распределения между твердой и жидкой фазами в процессе затвердевания эти элементы накапливаются вблизи фронта кристаллизации, и их воздействие на формирование структуры усиливается.

Список литературы

1. Сидоренко Р. А. О механизме влияния поверхностно-активных элементов на форму графита в чугунах // Изв. АН СССР. Металлы.— 1967.— № 2.— С. 138—146.
2. Любченко А. П. Высокопрочные чугуны.— М.: Металлургия, 1982.— 120 с.
3. Мильман Б. С., Александров Н. Н., Солонков В. Т. Межфазное натяжение и форма графита, кристаллизующегося в жидком чугуне // Литейное производство.— 1976.— № 5.— С. 3—6.
4. Бунин К. П., Таран Ю. Н. Строение чугуна.— М.: Металлургия, 1972.— 160 с.
5. Кошовник Г. И., Высоцкая М. К. Повышение эффективности литейного производства и качества литья // Тез. докл. (Орджоникидзе, 1985, с. 36—37).
6. Dhindaw B., Verhoveen J. D. // Metall Trans.— 1980.— V. 11 A.— P. 1049—1057.
7. Сытник Н. М., Лиханов В. Н., Гарунов Ю. Ф. К вопросу о сфероидизации графита // Литейное производство.— 1983.— № 12.— С. 8—9.
8. Воробьев А. П. Влияние церия и иттрия на коэффициент диффузии углерода в расплаве // Изв. вузов. Черная металлургия.— 1989.— № 9.— С. 156—157.
9. Лепинских Б. М., Кайбичев А. П., Савельев Ю. А. Диффузия элементов в жидких металлах группы железа — М.: Наука, 1974.— 192 с.
10. Михайлов А. М., Воробьев А. П. О механизме и движущих силах сфероидизации графита // Изв. вузов. Черная металлургия.— 1988.— № 11.— С. 104—111.
11. Воробьев А. П., Ракутубе Х. Влияние вибрации на форму графита в чугуне // Изв. вузов. Черная металлургия.— 1990.— № 3.— С. 110—111.

УДК 621.74:669.131.622

С. Н. ЛЕКАХ, В. А. ШЕЙНЕРТ, А. С. КАЛИНИЧЕНКО, Д. Н. ХУДОКОРМОВ, Н. П. ЖВАВЫЙ (Белорусский политехнический институт)

«Чипс-процесс» модифицирования чугуна¹

Удельное количество модификатора, используемого для внепечной обработки чугуна, значительно превышает теоретически необходимый предел. Особенно это относится к комплексным присадкам на железокремневой основе, содержащим щелочно-земельные (ШЗЭ) (Mg, Ca, Ba) и редкоземельные элементы, что связано с малым коэффициентом их использования. Низкая плотность и шлакование поверхности частиц препятствуют их быстрому растворению в расплаве, модификаторы всплывают на его поверхность, окисляются и переходят в шлак. Улучшение усвоения за счет повышения температуры расплава имеет свой оптимум, превышение которого приводит к быстрому угасанию эффекта модифицирования при выдержке жидкого чугуна.

Поэтому в последние годы литейщики обратили серьезное внимание на гранулометрию применяемых модификаторов, особенно при внутриформенной обработке чугунов с шаровидным графитом (ЧШГ). Попытка повышения усвоения модификаторов за счет более дисперсного дробления (<1 мм) может дать обратный результат. Казалось бы, уменьшение диаметра частиц должно увеличивать скорость их растворения. Однако при ковшовой и, особенно, внутриформенной обработках происходит преимущественно взаимодействие с расплавом не отдельных частиц, а насыпного слоя модификатора. В этом случае решающее значение имеет проникновение расплава в глубь слоя, которое резко затрудняется при наличии в нем мелких частиц. Это

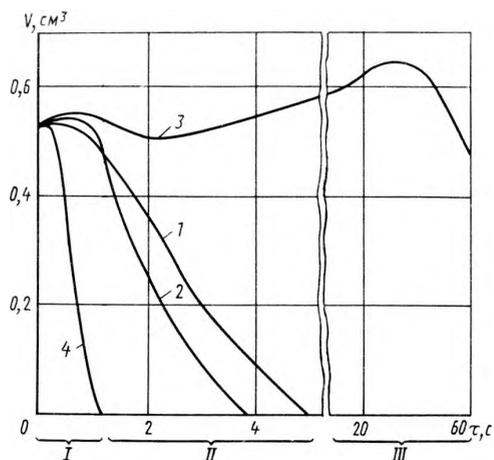
приводит к слоевому спеканию дисперсного модификатора.

Следовательно, регулирование скорости растворения и соответственно усвоения модификаторов за счет варьирования размерами частиц, близких по форме к сферической, также ограничено в определенных оптимальных пределах фракции, зависящей от способа модифицирования, объема ковша, вида присадки и др. К тому же при дроблении на узкий фракционный класс образуется до 40...50 % дисперсных трудноутилизуемых отходов.

Недостаточно высокое усвоение и шлакование комплексных высококальциевых модификаторов типа ЖКМК явилось основной причиной перехода на низкокальциевые модификаторы типа ФСМг, хотя экспериментально подтверждено, что если добиться хорошего усвоения (например, путем механического перемешивания расплава), то первые обеспечивают более высокий уровень свойств чугуна.

С помощью специальной установки, позволяющей по силе действующей на погруженную в расплав частицу модификатора, определять скорость изменения ее массы (объема), изучена кинетика растворения различных по составу присадок на базе ферросилиция. В качестве примера на рисунке представлено изменение во времени t объема V частиц $\varnothing 10$ мм при 1400 °С ферросилиция ФС75 (кривая 1), ФС30РЗМ30 (кривая 2) и силикокальция СК30 (кривая 3). В первый момент при погружении холодной частицы в расплав на ее поверхности происходит намораживание корочки чугуна (зона I). Далее после ее плавления начинается процесс растворения частицы (зона II). Однако при-

¹ В работе принимали участие А. А. Никифоров, А. Т. Трекин.



Кинетики растворения модификаторов в жидком чугуне

сутствии Са за счет образования шлаковых пленок на поверхности частиц их суммарный объем может возрасти (зона III). При этом резко замедляется растворение и существенно увеличивается сила, выталкивающая частицу из расплава в шлак. Для получения приемлемой скорости растворения таких модификаторов температура расплава должна быть $\geq 1450 \dots 1480$ °С, однако при этом растет угар ЦЗЭ за счет их испарения.

С целью устранения недостатков, присущих классическому способу модифицирования, предложено резко интенсифицировать процесс растворения и повысить степень усвоения присадок, особенно тугоплавких и легкошлакуемых в недостаточно перегретом чугуне за счет изменения формы применяемых частиц модификатора. Вместо обычно используемых дробленых или гранулированных частиц, по форме близких к шаровидной, разработана высокопроизводительная технология получения модификатора из расплава в виде тонкой ленты, которая, дробясь от внутренних термонапря-

жений, либо за счет последующего измельчения, приобретает форму осколков («чипсов»). Технология позволяет регулировать толщину ленты от 0,1...0,5 до 2...4 мм за счет изменения режима намораживания на водоохлаждаемый кристаллизатор.

Использование «чипс-процесса» имеет ряд преимуществ. Прежде всего существенно возрастает скорость растворения частиц в расплаве (кривая 4), особенно при температурах расплава < 1350 °С. Имея в одном сечении малую толщину, они мгновенно прогреваются, а за счет протяженности в двух других измерениях затрудняется их вынос на поверхность расплава. Наличие остроугольных кромок, а также многократное самопроизвольное диспергирование в расплаве за счет термонапряжений препятствует шлакованию частиц даже при использовании высоколегированных кальцием и барием модификаторов. В случае необходимости использования фракционированных модификаторов (например, при внутриформенной обработке ЧШГ) данная технология обеспечивает значительно меньшие потери при дроблении на широко распространенные фракции (например, 1...5 мм). Выход годного при этом возрастает с 60...65 % до 90...92 %, а отходы пыли сокращаются в 3,5—5 раз.

«Чипс-процесс» позволяет модифицировать не только электропечные, но и чугуны ваграночной плавки при низких температурах, когда использование традиционных модификаторов не дает устойчивого результата и может вызвать ряд негативных последствий ввиду возможности попадания частиц нерастворившегося модификатора в полость формы. Испытания технологии показали, что она обеспечивает возможность обработки ваграночного чугуна при 1340...1360 °С даже таким труднорастворимым модификатором, как СК30, при этом эффект модифицирования несущественно зависит от температуры расплава.

«Чипс-процесс» позволяет решить ряд важных проблем модифицирования чугунов. Его можно использовать и при производстве других видов литейных сплавов. Он представляет интерес и для ферросплавных производств, поскольку сокращает затраты в сфере производства фракционированных модификаторов.

УДК 621.74:669.131.7

В. В. КУРЕПИНА (ИПЛ АН УССР)

Механизм образования звездообразной структуры шаровидного графита

Чугун с шаровидным графитом кристаллизуется с увеличением объема. Начальное расширение связано прежде всего с выделением графита в процессе кристаллизации и в твердом состоянии. Оказывая давление на матрицу, кристаллизующийся графит испытывает ее противодействие, поэтому его рост происходит в условиях всестороннего обжатия, обуславливающего возникновение в нем кристаллизационных напряжений. Шаровидный графит (ШГ) характеризуется очень высокой плотностью дислокаций ($10^{10} \dots 10^{11}$ см⁻²). Проведенные исследования выявили, что микронапряжения кристаллической решетки ШГ максимальны в перлитном чугуне. В сферолитах графита, выросших в

этих условиях, наблюдается увеличение количества дефектов кристаллической структуры по сравнению с ферритным и ферритно-перлитным чугуном. Это свидетельствует о том, что ШГ в перлитном чугуне находится в более напряженном состоянии, поскольку растет в малоподатливой перлитной матрице.

Определенную роль в возникновении напряжений в ШГ играет и анизотропия коэффициентов термического расширения. С повышением температуры заметно увеличивается расстояние между гексагональными углеродными сетками. Так, при температуре 800 °С в цейлонском графите параметр c увеличивается до 0,68445 нм, а параметр a не изменяется. Оче-

видно, что при охлаждении ШГ от температур его образования до комнатной уменьшение параметра c до 0,6714 нм вызывает уменьшение радиуса сжатия, что сопровождается скатием слоев графита. Поскольку термическое расширение в слое отсутствует, то возникают напряжения, которые частично компенсируются за счет образования дефектов структуры. Кроме того, в ШГ возникают напряжения, связанные с низкой теплопроводностью в направлении, перпендикулярном слоям, которая значительно ниже теплопроводности матрицы.

Следовательно, поликристалл графита находится в напряженном состоянии, особенно в его центральной части, в слоях которой