



It is shown that application of special modifiers allowed to carry out effective late graphitizing modification, which provided elimination of border chill in thin castings of complex configuration in terms of mass production.

С. П. КОРОЛЕВ, О. А. КОНСТАНТИНОВИЧ, ОДО «Эвтектика»,
В. М. КОРОЛЕВ, БНТУ

УДК 621.74:669.131.7

ПОЗДНЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ЧУГУНОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОНКОСТЕННОГО ЛИТЬЯ

Скорость охлаждения чугуна в сочетании с особенностями химического состава определяет протекание кристаллизации по стабильному или метастабильному варианту. Стабильная диаграмма состояния кристаллизации Fe–C-сплавов отражает выделение первичного аустенита, а на стадии эвтектического превращения – аустенито-графитной эвтектики. Снижение углеродного эквивалента, а также присутствие в чугуне легирующих элементов (хром, ванадий, молибден, марганец и др.) приводят к увеличению скорости охлаждения, что отражается метастабильным вариантом диаграммы состояния железо–углерод. Это обеспечивает формирование метастабильной ледебуритной эвтектики, состоящей из эвтектического аустенита и цементита. Образование цементита в теле отливки не всегда является положительным моментом, а если рассматривать производство отливок сложной конфигурации при разной толщине стенок, то наличие отбела превращается в серьезную нежелательную проблему.

Решить проблему устойчивого устранения цементита в литье возможно только создав эффективный графитизирующий модификатор. Графитизирующее модифицирование чугуна достигается в результате введения компонентов или продуктов их реакции с жидким металлом усилением процесса зарождения и роста графитной фазы. Известно, что модификаторы подразделяются на вносящие в расплав дисперсные твердые частицы и поверхностно-активные, адсорбирующиеся на межфазных поверхностях. Первые из них способствуют гетерогенному зарождению кристаллов, вторые – тормозят рост твердой фазы и лишь незначительно могут влиять на образование центров кристаллизации.

Баланс объемной и поверхностной составляющих энергий при гетерогенном затвердевании расплава показывает, что общее изменение энергии ΔG_n для образования частички критического размера на подложке меньше гомогенного ΔG на величину $f(\alpha)$, зависящую от равновесного контактного угла α :

$$\Delta G_n = \Delta G f(\alpha),$$

где

$$f(\alpha) = \frac{(2 + \cos \alpha)(1 - \cos \alpha)^2}{4}.$$

Тогда

$$\cos \alpha = \frac{\sigma_{п-р} - \sigma_{г-п}}{\sigma_{г-р}},$$

где $\sigma_{г-р}$, $\sigma_{г-п}$, $\sigma_{п-р}$ – удельная поверхностная энергия соответственно на границах графит – расплав, графит – подложка и подложка – расплав.

Если в качестве подложки будет использоваться углеродсодержащее включение, то величину $\sigma_{г-п}$ можно найти по формуле:

$$\sigma_{г-п} \rightarrow 2\sigma_{г-р} \sin(\beta/2),$$

где β – угол границ стыкующихся в поликристаллическом однородном теле.

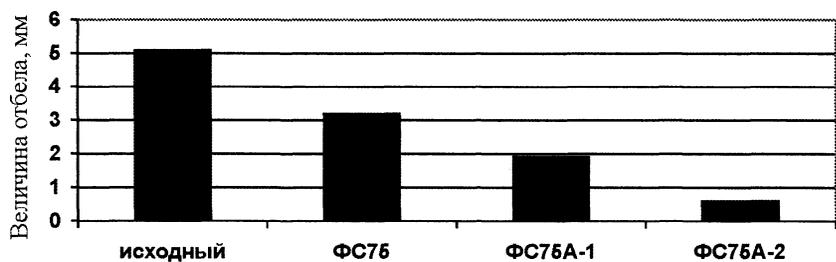
Анализ приведенных уравнений показывает, что кристаллизация графита на углеродсодержащих включениях будет осуществляться при минимальных переохлаждениях.

Исходя из того, что основными модифицирующими присадками для чугунов являются сплавы на основе ферросилиция, была проведена работа по созданию графитизирующего модификатора на основе ФС75 с активными присадками углеродсодержащих материалов. В качестве углеродсодер-

жащих материалов использовали специальные синтезированные комплексы: А-1 и А-2, которые имеют основу железоорганических соединений: А-1 на основе соединений $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$, а А-2 – на основе циклопентадиенильных соединений типа $[\text{Fe}(\text{CO})_2(\eta\text{-C}_3\text{H}_5)]_2$. Для создания графитизирующего модификатора в качестве основного материала-носителя применяли мелкофракционный (до 1 мм) ферросилиций ФС75. Модификатор изготавливали методом прессования с целью создания компактного продукта, который предназначен для позднего инокулирования чугуна.

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	P, %	S, %
3,40	2,36	0,55	0,27	0,07	0,03

В качестве исследуемых прессованных модификаторов рассматривали ФС75, ФС75А-1 и ФС75А-2. Масса прессованного модификатора составляла 5 г, т.е. расход модификатора составлял 0,05%. Температура заливки чугуна достигала 1380–1390°C. Результаты величины отбела в клиновидных пробах приведены на рисунке.



Зависимость графитизирующей обработки от состава модификатора

На следующем этапе исследований эффективность графитизирующих модификаторов ФС75А-1 и ФС75А-2 проверяли в условиях цеха серого чугуна Минского автомобильного завода. В каче-

Испытания проводили в условиях научно-исследовательской инновационной лаборатории «Прогрессивные технологические процессы плавки и высокопрочного чугуна» (НИИЛлит). Результаты оценивали по снижению величины отбела в клиновидной пробе. Плавку чугуна проводили в индукционной тигельной печи емкостью 60 кг. Metallоёмкость форм составляла 10 кг. Клиновидную пробу формировали совместно с отливкой «Плита» толщиной стенок 5,10 и 20 мм. Исходный химический состав чугуна приведен ниже.

стве отливок были выбраны «Крышка» 54326-3104036-01, «Стакан» 103-3502019-10 и «Корпус» 245-1017022. Чугун ваграночной плавки имел исходный химический состав, приведенный ниже.

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ti, %	P, %	S, %
3,32–3,40	2,12–2,40	0,52–0,60	0,23–0,38	0,03–0,04	0,06–0,10	0,07–0,09

Температура заливки форм составляла 1320 – 1370°C, металлоемкость форм – 12–30 кг, масса прессованных модификаторов – 12–30 г, время заполнения форм – 9–12 с.

Результаты эффективности позднего графитизирующего модифицирования оценивали по наличию кромочного отбела в отливках. Разбраковка показала следующее:

Отливка «Крышка» 54326-3104036-01: из залитых 264 отливок забракованных по кромочному отбелу обнаружено 2 шт.

Отливка «Стакан» 103-3502019-10: из залитых 456 отливок забракованных по кромочному отбелу не обнаружено.

Отливка «Корпус» 245-1017022: из залитых 50 отливок забракованных по кромочному отбелу не обнаружено.

Таким образом, применение специальных модификаторов позволило проводить эффективное позднее графитизирующее модифицирование, которое обеспечило устранение кромочного отбела в тонкостенных отливках сложной конфигурации в условиях массового производства.