

Д.А.Болдырев (Исследовательский центр ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти),  
Н.В.Чайкина (МГТУ им. Баумана, Москва)

## Особенности графитизирующего модифицирования высокопрочного чугуна смесевыми модификаторами

Механизм взаимодействия мелкодисперсных частиц модификатора с расплавом заключается в следующем. Захват или отталкивание частиц зависит от смачиваемости их расплавом и скорости роста кристаллов матрицы. Так, например, для частиц диаметром 5 мкм критическая скорость их роста составляет  $V_{кр} \approx 3 \times 10^{-2}$  мм/с. Смачиваемые частицы обычно захватываются растущими кристаллами даже при весьма небольшой скорости роста, несмачиваемые – отталкиваются фронтом кристаллизации. При скорости выше критической даже несмачиваемые частицы захватываются кристаллами. Захват и отталкивание частиц во многом определяются межфазной свободной энергией и свойствами пограничного слоя расплава у растущего кристалла. Смачиваемые частицы твердой фазы притягиваются кристаллами и захватываются в процессе кристаллизации расплава, несмачиваемые – отталкиваются молекулярными силами расклинивающего давления. Для захвата частиц жидкости и пузырьков газа требуется значительно более высокая скорость роста кристаллов. Расчет<sup>1</sup> показал, что для твердых включений радиусом 5 мкм и  $V_{кр} \approx 10^{-3}$  мм/с, что примерно на порядок меньше скорости роста кристаллов в центральной зоне крупного слитка (то есть при небольшом значении  $V_{кр}$ ), практически все твердые частицы в слитке будут захватываться растущими кристаллами. Следовательно, главной задачей является получение частиц вблизи фронта кристаллизации в твердом виде. При выборе материала затравок для ускорения кристаллизации и управления этим процессом большое значение имеет принцип ориентационного и размерного соответствия, то есть вводимые искусственные зародыши должны обладать той же кристаллографической структурой и близкими параметрами решетки, что и жидкий металл, в который они присаживаются<sup>2</sup>.

Таковыми частицами являются составляющие смесового мелкодисперсного модификатора – специальный малозольный графит и кремний тонкого помола. В данной работе проведено комплексное исследование усвоения смесевых мелкодисперсных модификаторов при ковшовом (МК21) и внутриформенном модифицировании (МКМг19) и их влияние на структуру и свойства высокопрочного чугуна в отливках.

При проведении эксперимента объектом исследования служила отливка детали 12101–3103015 «Ступица переднего колеса» из высокопрочного чугуна марки ВЧ50.

Для проведения эксперимента в печи был приготовлен чугун следующего химического состава, %: 3,60 С, 1,97 Si, 0,42 Mn, 0,019 P, 0,007 S, 0,045 Cr, 0,58 Ni, 0,28 Cu, 0,015 Sn. Температура расплава чугуна в печи – 1490°C.

В ковш вместимостью 1200 кг вместе со сфероидизатором – «тяжелой» лигатурой NiMg15Ce0,5 в количестве 4,8 кг, для проведения графитизирующего модифицирования была введена навеска модификатора МК21 массой 3 кг. После этого ковш был передан на заливочную линию и взята ковшовая проба металла на химический анализ, получены следующие результаты: 3,61 С, 1,98 Si, 0,048 Mg.

Температура начала разливки ковша – 1460°C (норматив 1440–1460°C). Из опытного ковша сразу после замера температуры были залиты 4 формы (32 отливки): первая форма – без добавок, в стояк второй формы засыпали 65 г смесового модификатора МКМг19 (0,1% от металлоемкости формы), в стояк третьей формы – 130 г смесового модификатора МКМг19 (0,2% от металлоемкости формы), в заливочную чашу четвертой формы поместили кусок ФС75л3.

Анализ микроструктуры и механические свойства чугуна опытных отливок приведены в таблице. Микроструктура отливок показана на рис. 1–6. Зависимости глубины отбеленного слоя и твердости по Бринеллю от расхода материала МКМг19 приведены на рис. 7 и 8.

Анализируя микроструктуру материала отливок необходимо отметить следующее:

1. Металлическая основа в первой отливке полностью представлена ледебуритом, что показывает практически полное отсутствие графитизирующего эффекта при вводе материала МК21 на днище ковша. Графит в отливке представлен типом ОВ – шаровидной неправильной формой, что объясняется достаточной для формирования глобулей концентрацией остаточного магния при недостаточном количестве центров зарождения графита, в результате чего нарушается их равномерный объемный рост.
2. Степень сфероидизации графита во всех отливках – 90% при практически одинаковых размерах графитных включений – №5. Это может быть связано с ролью высокодисперсного графита в создании и активизации роста центров зарождения графита в чугуне.
3. При введении в стояк формы 0,1% (65 г) матери-

<sup>1</sup> Чернов А.А., Темкин Д.Е., Мельников А.М. Теория захвата твердых включений при росте кристаллов из расплава // Кристаллография. – 1976. – т. 21. – №4. – С. 652–660.

<sup>2</sup> Ершов Г.С., Бычков Ю.Б. Физико-химические основы рационального легирования сталей и сплавов. М.: Metallurgia, 1982. – 360 с.

Исследуемые параметры

Отливка	Микроструктура		HB <sub>5/750/10</sub>	$\sigma_{B1}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
	Форма, распределение и размеры графитовых включений	Металлическая основа			
1	Тип ОВ №5; ССГ 90%	Ледебурит	321–341	–	–
2	Тип ОА, ОВ №5; ССГ 90%	Перлит пластинчатый, феррита 20%, цементит на глубину до 8 мм (10%)	239–255	79	9,6
3	Тип ОА, ОВ №5; ССГ 90%	Перлит пластинчатый – 70%, феррита 30%	249–255	78	8,8
4	Тип ОА, ОВ №5; ССГ 90%	Перлит пластинчатый – 60%, феррита 40%	217	74	10
<b>Требования по нормам FIAT-BA3 52215</b>	Графит шаровидный, ССГ не менее 80%	Металлическая основа – феррито-перлитная, цементит до 5%	170–210		



Рис.1. Отливка №1. Графит шаровидный, тип ОВ №5, x100

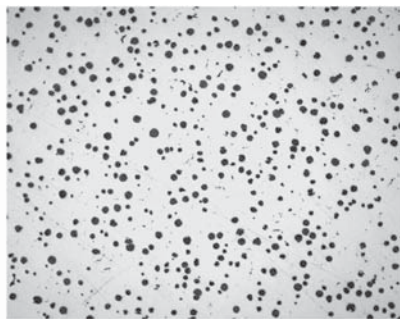


Рис.2. Отливка №2. Графит шаровидный, типы ОА, ОВ №5, x100



Рис.3. Отливки №3 и №4. Графит шаровидный, типы ОА, ОВ №5, x100

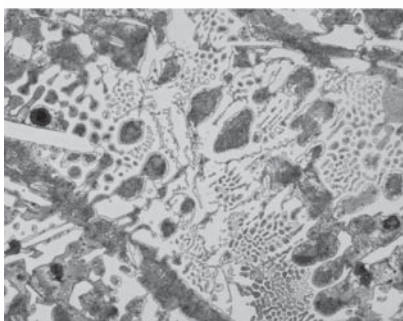


Рис. 4. Отливка №1. Металлическая основа – ледебурит (травление – нитал), x400

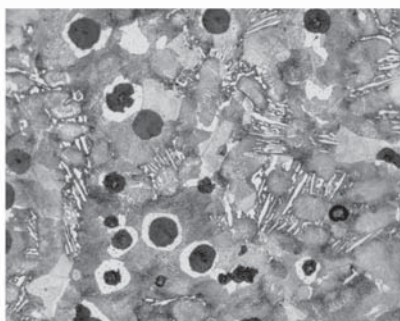


Рис. 5. Отливка №2. Металлическая основа – перлит пластинчатый, феррит, цементит (травление – нитал), x400

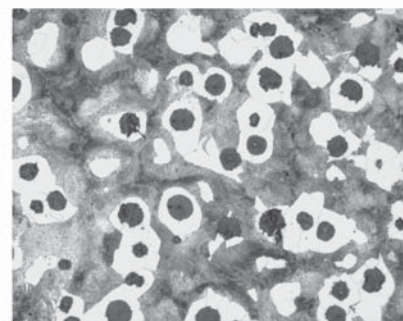
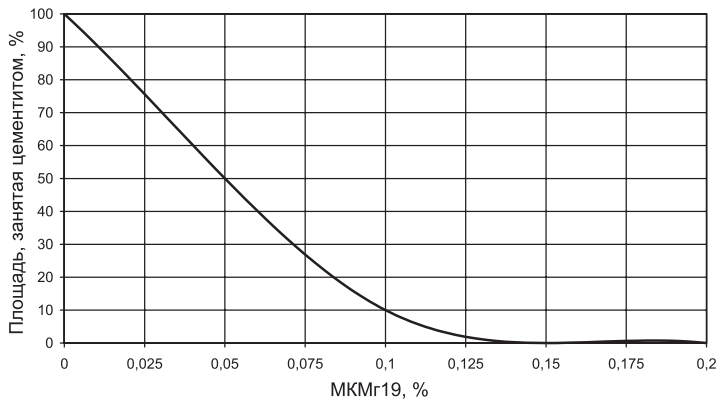


Рис. 6. Отливки №3 и 4. Металлическая основа – перлит пластинчатый, феррит (травление – нитал), x400

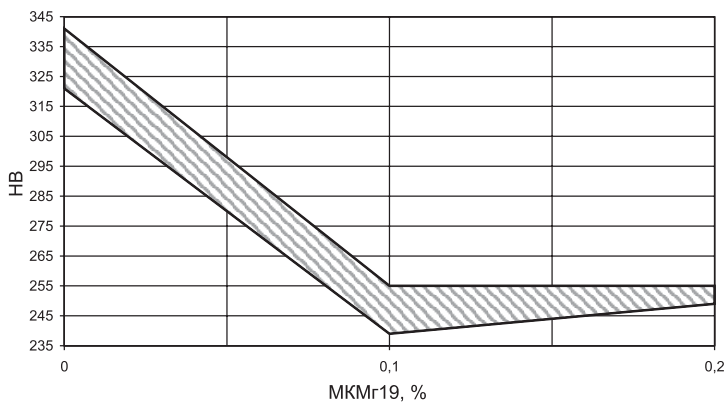
ала МКМг19 отбел уменьшился со сквозного до 10% на глубину 8 мм от поверхности. Одновременное присутствие в структуре чугуна вместе с перлитом феррита и цементита указывает на недомодифицирование чугуна, так как при оптимальном количестве модификатора углерод перераспределяется и участвует в формировании пер-

литной структуры.

4. Увеличение расхода материала МКМг19 в форму до 0,2% (130 г) позволило полностью устранить свободный цементит, следовательно, количества модификатора оказалось достаточным для полноценной обработки расплава чугуна. Однако твердость отливки осталась на том же уровне, что



**Рис. 7.** Количество цементита в структуре чугуна (%) в зависимости от расхода МКМг19 (%)



**Рис. 8.** Зависимость твердости по Бринеллю материала отливки (НВ) от расхода МКМг19 (%)

и у отливки, залитой с 0,1% МКМг19. По результатам определения механических свойств можно заключить, что свойства чугуна в отливке соответствуют марке ВЧ70.

5. Использование для вторичного модифицирования

куска ФС75лЗ позволило получить структуру чугуна без цементита с несколько увеличенным содержанием феррита по сравнению со структурой отливки, залитой с 0,2% МКМг19.

Таким образом, вторичное модифицирование куском ФС75лЗ и МКМг19 (при расходе 0,15% и выше) позволяет устранить отбел в структуре отливки (рис. 5). Однако смесевой модификатор МКМг19, в отличие от куска ФС75лЗ, свыше определенного количества (в данном случае – свыше 0,1%) вызывает снижение твердости чугуна только до определенного уровня (рис. 6).

### Рекомендации

Учитывая результаты химического анализа ковшовой пробы, следует отметить неудовлетворительное усвоение МК21 в ковше при его простом размещении на днище ковша, этот способ является неприемлемым для ковшового графитизирующего модифицирования высокопрочного чугуна. Следовательно, можно считать, что модифицирование было только поздним – в стояке формы. Позднее графитизирующее модифицирование при расходе материала до 0,2% оказалось недостаточно эффективным для получения марки ВЧ50, так как не обеспечило снижение твердости чугуна, однако позволило получить механические свойства, соответствующие марке ВЧ70. Дальнейшее повышение расхода модификатора вызывает закупоривание стояка формы и препятствует проникновению расплава чугуна в форму.

Таким образом, для получения высокопрочного чугуна марки ВЧ70 может быть рекомендована следующая схема модифицирования: сфероидизирующая ковшовая обработка + последующее введение в стояк формы 0,2% модификатора МКМг19.

Е.Н.Еремин (д-р техн. наук), Ю.О.Филиппов, А.Е.Еремин (Омский государственный технический университет, Омск)

## Электрошлаковое кокильное литье изделий из жаропрочных сплавов

Литейные жаропрочные никелевые сплавы широко используются для изготовления деталей ответственного назначения, в том числе некоторых видов протяжек, штампов, ножей горячей обработки металлов и другого инструмента, работающего при высоких температурах.

Основным процессом получения отливок из жаропрочных сплавов является литье по выплавляемым моделям в горячие керамические формы в вакуумных индукционных печах, что обуславливает очень большую трудоемкость изготовления изделий и крайне низкую

рентабельность производства. В то же время плохие литейно-технологические свойства таких сплавов и высокие требования к качеству отливок неизбежно влекут за собой низкий выход годного и высокий процент брака. Отходы литейного производства в виде элементов литниково-питающих систем и забракованных отливок могут быть использованы в качестве шихты далеко не полностью из-за специфики плавки в вакуумных индукционных печах и требований ТУ. Большая часть отходов литейного производства составляет безвозвратные потери производства, с чем едва ли