

Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности

Слущкий А.Г., Кулинич И.Л., Иванов А.И., Капуста Д.О.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь в основном производятся невысокие марки чугуна с шаровидным графитом (ВЧ40–ВЧ50), при этом используются «легкие» сферидизирующие лигатуры на основе ферросилиция типа ФСМг, поставляемые по импорту.

Получение более высоких марок таких (ВЧ 60–ВЧ80) обеспечивается применением «тяжелых» магнийсодержащих лигатур на основе меди либо никеля. Актуальным остается вопрос повышения эффективности таких лигатур и в первую очередь за счет увеличения степени усвоения магния, снижения удельного расхода присадки, а также минимизации пылегазовых выбросов в процессе сферидизирующей обработки жидкого чугуна.

Целью настоящей работы является исследование технологических особенностей получения более высоких марок чугуна с шаровидным графитом с использованием быстроохлажденной медно-магниевого «тяжелой» – лигатуры.

Авторами данной работы ранее были выполнены экспериментальные исследования технологических особенностей процесса литья такой лигатуры [1–2]. В качестве основных материалов использовали металлический магниевый сплав МЛ5 и кусковую медь, лигатуру МЦ60, гранулированный алюминий. Плавка лигатуры осуществлялась в графитовом тигле на высокоскоростной индукционной установке. После расплавления расчетного количества меди производили ее раскисление алюминием после чего на зеркало жидкого металла добавляли флюс в виде кремнийфтористого натрия и вначале вводили необходимое количество церия в виде сплава МЦ60, а затем оперативно добавляли куски магниевое сплава МЛ5, что позволяло минимизировать потери магния на окисление. Полученный расплав лигатуры разливали в холодные металлические формы, что обеспечивало формирование плотной и однородной структуры, легко поддающейся дроблению. Кроме того, это влечет за собой благоприятное распределение компонентов по фракциям, что обеспечивает более эффективное усвоение магния (50...60 %) по сравнению с классическими модификаторами (35...45 %), кроме того сокращается в 1,3–1,5 раза продолжительность пирозффекта и как следствие уменьшается объем выбросов в атмосферу цеха.

По такому технологическому режиму бала изготовлен опытная партия быстроохлажденной медь-магниевого лигатуры для лабораторных испытаний при получении чугуна с шаровидным графитом.

Опытные плавки чугуна в лабораторных условиях проводили на индукционной печи ИСТ-0.06 с кислой футеровкой. Опытную быстроохлажденную лигатуру Cu-Mg использовали в виде фракции размером 2–3 мм. Шихта для получения исходного расплава состояла из передельного рафинированного доменного чугуна и низкосернистого стального лома. Такое соотношение основных материалов обеспечивало минимальную концентрацию серы (порядка 0,016 %) и получение в исходном сплаве 3,6–3,8 % С. Недостающее количество кремния компенсировалось добавками ферросилиция ФС45, из расчета получения его в исходном чугуне не ниже 2,6 %. Сфероидизирующую обработку чугуна осуществляли ковшевым методом, при различных по величине добавках лигатуры (от 0,5% до 1,2 %) к весу жидкого расплава. Для вторичного модифицирования использовали гранулированную лигатуру на основе алюминия и РЗМ. После завершения процесса сфероидизации высокопрочный чугун разливали по литейным формам в заготовки из которых вырезались образцы для исследования химического состава, микроструктуры и механических свойств. Обобщенные результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние добавок медь-магниевого лигатуры на химический состав чугуна

Количество и тип лигатуры	Химический состав, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Mg	Al
Исходный серый чугун	3,95	1,9	0,38	0,016	0,016	0,038	0,093		
0,5 % Cu-Mg	3,85	2,21	0,39	0,015	0,019	0,047	0,36	0,016	–
0,8 % Cu-Mg	3,73	2,16	0,38	0,012	0,018	0,046	0,62	0,033	–
1,2 % Cu-Mg	3,7	2,10	0,37	0,016	0,016	0,041	0,96	0,051	–

Таблица 2 – Влияние добавок медь-магниевого лигатуры на микроструктуру и твердость чугуна

Количество и тип лигатуры	Твёрдость, НВ	Металлическая основа		Графит		
		перлит	феррит	форма	распределение	длина
Не модифиц.	196	П20	Ф80	ПГф2	ПГр1	ПГд(15-750)
0,5 % Cu-Mg	229	П92	Ф8	ПГф2	ПГр1 ВГ	ПГд(15-45)
0,8 % Cu-Mg	241	П96	Ф4	ВГф1 ШГф5	ВГр1 ШГр1	ШГд(25-45)
1,2 % Cu-Mg	255	П(Ф0)	–	ШГф1	ШГр5	ШГд(15-45)

Установлено, что в зависимости от количества введенной лигатуры форма графита в чугуне изменилась от вермикулярной (при добавке 0,5 %) до исключительно шаровидной (добавка 1,2 %). При этом концентрация остаточного магния увеличилась от 0,016 % до 0,051 %. На рис. 2 приведены фотографии микроструктуры графита в полученных чугунах.

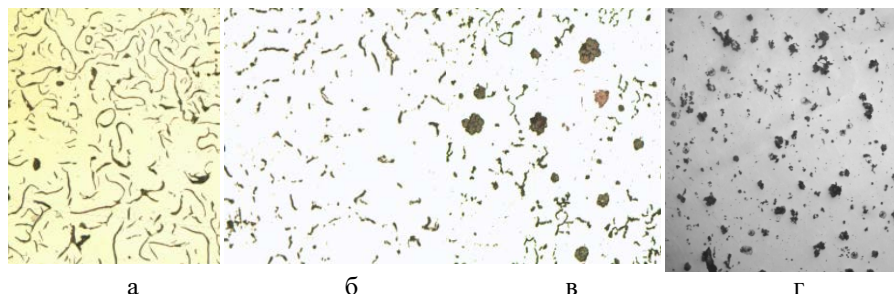
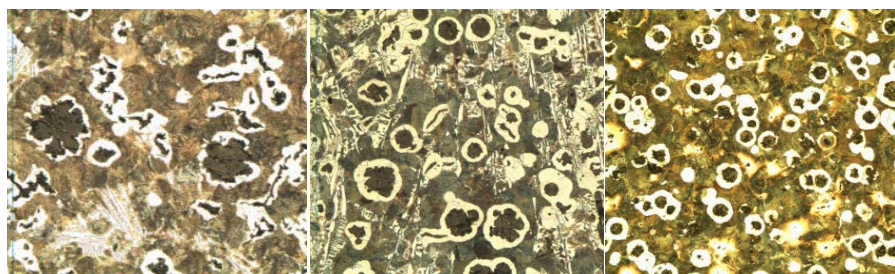


Рисунок 2 – Структура графита в чугуне, обработанного различными добавками медь-магниевого лигатуры ($\times 100$): а – исходный серый чугун; б – 0,5 % лигатуры; в – 0,8 % лигатуры; г – 1,2 % лигатуры

Металлографический анализ полученных чугунов показал, что дополнительного легирование чугуна медью (от 0,36 до 0,96 %) за счет вводимой лигатуры способствует перлитизации металлической основы сплава, что отразилось на твердости, которая возросла со 196 НВ в исходном сплаве до 255 НВ, в зависимости от величины присадки лигатуры.

Вместе с тем следует отметить наличие с структуре высокопрочного чугуна без вторичного графитизирующего модифицирования включений эвтектического цементита. Известно, что в чугунах с шаровидной и пластинчатой формой графита механизмы роста графито-аустенитной эвтектики существенно различаются. Если при кристаллизации серого чугуна пластинчатый графит является ведущей фазой и находится в постоянном контакте с расплавом, то при сферолитной кристаллизации включения графита окружены аустенитной оболочкой, что существенно тормозит их рост. Поэтому чугун с шаровидным графитом гораздо сильнее склонен к переохлаждению и уже при малых скоростях охлаждения даже в сплавах с высоким углеродным эквивалентом возможно локальное термическое и концентрационное переохлаждение микрообъемов, приводящее к образованию цементита.

На рисунке 3 приведены фотографии микроструктуры полученных чугунов после травления. Инокулирующее модифицирование, позволяет графитизировать сплав и исключить появление в литой структуре включений цементита (рис. 3 в), что является неотъемлемой частью внепечной обработки жидких чугунов.



а $\times 200$, травлено б $\times 200$, травлено в $\times 200$, травлено

Рисунок 3 – Металлическая основа высокопрочного чугуна обработанного различными лигатурами: а – 0,8 % лигатуры; б – 1,2 % лигатуры без вторичного модифицирования; в – 1,2 % лигатуры с вторичным модифицированием

Заключение

1. Показана реальная возможность получения быстроохлажденной сфероидизирующей «тяжелой» лигатуры для чугуна с шаровидным графитом. За счет быстрого ее растворения процессе ковшевой обработки жидкого расплава обеспечивается высокая степень усвоения магния.

2. В лабораторных условиях изготовлена опытная партия медь-магниевого литурата методом литья с последующим быстрым охлаждением и дроблением на фракции.

3. Проведены лабораторные испытания технологии получения чугуна с шаровидным графитом. Установлено, что такая литатура обеспечивает при ковшовой обработке более высокое усвоение магния по сравнению с классическими модификаторами, при этом в 1,5–2,0 раза сокращается продолжительность пироэффекта, что приводит к сокращению объема выбросов в атмосферу цеха.

Литература

1. Калиниченко, А.С. Использование сфероидизирующей «чипс»-литатуры на основе меди, содержащей наноразмерные частицы оксида иттрия, для высокопрочного чугуна / А.С. Калиниченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2016. – № 1 (82). – С. 130–135.

2. Слуцкий, А.Г. Особенности сфероидизирующего модифицирования высокопрочного чугуна литатурами на основе меди / А.Г. Слуцкий [и др.] // Литье и металлургия. – 2016. – № 2 (83). – С. 110–115.