

**Получение высокопрочного чугуна при использовании малотоннажного плавильного оборудования**

Молев С.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь и других государствах ЕАЭС работает достаточно большое количество небольших литнейных цехов и малых литейных компаний, оснащенных в основном малотоннажным плавильным оборудованием емкостью до 0,5 т. Индукционные среднечастотные тигельные печи нашли на таких литейных предприятиях большое применение. Эти плавильные агрегаты обеспечивают получение расплавов практически любых промышленных литейных сплавов. Учитывая конъюктуру рынка для многих из этих предприятий важной и актуальной задачей является получение стабильного качества при производстве отливок из высокопрочных чугунов.

При значительном количестве достоинств, индукционные тигельные печи имеют и большой недостаток – холодные шлаки, которые не позволяют проводить активное рафинирование расплава для удаления нежелательных примесей. При производстве отливок из высокопрочного чугуна этот недостаток имеет критическое значение, особенно в условиях малых объемов плавки и использования малых ковшей. На качество и стабильность получения высокопрочного чугуна в таких условиях влияют и нестабильный химический состав исходного расплава, и большие потери тепла при ковшевой обработке расплава. При получении высокопрочного чугуна на малых предприятиях, как правило, в целях удешевления операции десульфурации, сфероидизирующее и инокулирующее модифицирование выполняют параллельно в одном ковше.

Даже использование науглероживающих низкосернистых материалов и стального лома не позволяет получить исходный расплав с содержанием серы ниже 0,04-0,05 %, что требует увеличенного расхода Mg-модификаторов на десульфурацию. Конические ковши емкостью до 0,5 т и отношением D/H=1/1,5 не обеспечивают требуемое качество ковшевой обработки расплава Mg-модификатором из-за тепловых потерь как через стенку ковша и зеркало расплава, так и на растворение увеличенных доз холодных модификаторов.

Для устранения этих негативных факторов и получения отливок из высокопрочного чугуна стабильно высокого качества, необходимо разделить процесс по обработке исходного расплава на операции. Операции десульфурации, сфероидизирующее и инокулирующее модифицирование должны выполняться последовательно с применением специализированных устройств, с соблюдением технологических режимов свойственных для каждой операции.

Эффективное снижение содержания серы в расплаве при плавке в индукционной тигельной печи возможно при использовании Mg содержащих ферросплавов. Первая операция – «Десульфурация» выполняется в коническом ковше емкостью равной емкости плавильного агрегата на производстве, имеющем отношение D/H=1/2 и карман в донной части для размещения десульфуратора. Для десульфурации необходимо использовать сплавы ферросилиция с Mg, с содержанием Mg=9-11% и фракцией 4-10 мм. Использование FeSiMg-лигатуры с такими характеристиками, совместно с укрытием мелкой стальной высечкой и температурой обрабатываемого расплава 1400-1420°C повышает усвоение Mg и соответственно снижает расход Mg содержащего материала до 0,5-0,6% от массы обрабатываемого расплава. Операция заканчивается удалением шлака и сливом расплава в печь.

После экспресс-анализа добавками ферросплавов регулируется химический состав исходного расплава и выполняется термовременной обработка для удаления мелких неметаллических включений и гомогенизации расплава. При термовременной обработке выдержать расплав 7-10 мин при температуре 1500-1520°C.

При выполнении второй операции – «Сфероидизирующее модифицирование», используется комби-метод (разработка фирмы «SKW Giesserei») [1]. Конический ковш для выполнения второй операции минимальной емкостью 0,12-0,15 т должен иметь отношение D/H=1/2 и

карман в донной части для размещения модификатора. Сфероидизирующее модифицирование расплава выполняют с использованием FeSiMg-модификаторов. Модификаторы располагаются в следующем порядке, на дно кармана в ковше засыпают модификатор с содержанием Mg=9-11%, фракции 4-10 мм мм, сверху модификатор с содержанием Mg=5-6%, фракции 0,2-1,2 мм, укрытие модификаторов выполняют мелкой стальной высечкой. Температура расплава 1480-1500°C на второй операции оптимизирует расход модификатора до величины 1,3-1,5% от массы расплава. При выполнении заливки расплава в форму зеркало расплава в ковше должно быть покрыто слоем связывателя шлака, для предотвращения попадания мелких всплывающих частиц шлака в форму.

Третья операция – «Инокулирующее модифицирование» осуществляется подачей FeSiBa-модификатора на струю при заливке расплава в литейную форму. Подача модификатора с содержанием Ba=4-6%, фракции 0,8 мм производится из специального устройства с изменяемым расходом модификатора. Расход модификатора составляет 0,5% от массы обрабатываемого расплава.

Внедрение чайниковых ковшей с крышкой в процесс получения высокопрочного чугуна позволяет повысить усвоение модификаторов, при отсутствии крановых весов увеличить точность дозирования расплава в ковш, уменьшить пирозффект и улучшить условия труда в производственном цеху. Применение чайниковых ковшей ограничивается сложностью эксплуатации. Факторами, влияющими на применяемость таких ковшей, являются: поддержание постоянной температуры огнеупорной футеровки ковша (~700°C) и очистка, поддержание в рабочем состоянии носика ковша, склонного к зарастанию при малоинтенсивном режиме работы.

Выпуск отливок из высокопрочного чугуна на малых предприятиях предусматривает использование одного исходного расплава. Корректировка содержания основных химических элементов C, Si, Mn позволяет получать требуемую металлическую матрицу в чугуне (ферритную, феррито-перлитную, перлитную), соответствующую различным маркам чугуна. Основные условия, обеспечивающие эффективность такой корректировки для получения различных марок чугунов:

- исходный расплав должен содержать минимальное количество примесей (S и P), а также химических элементов, стабилизирующих цементит (Cr и др.);
- эффективное сфероидизирующее и инокулирующее модифицирование, способствующее образованию в структуре высокопрочного чугуна мелкого графита правильной формы, равномерно распределенного в мелкодисперсной металлической матрице и отсутствию свободного цементита;
- рафинирование расплава от неметаллических включений на всех стадиях получения отливок.

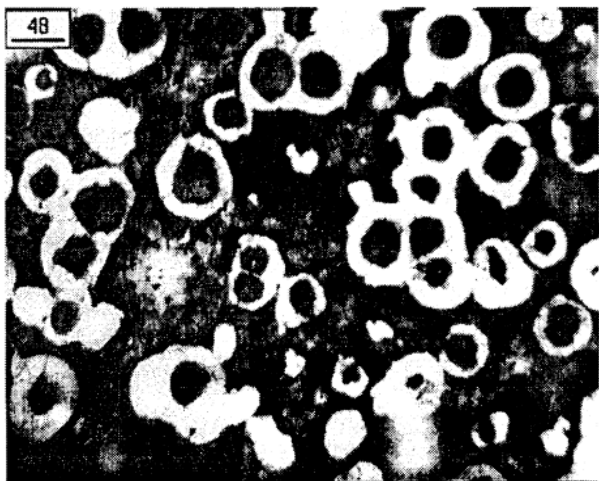
Наиболее сильное влияние на механические свойства чугуна оказывают C и Si. Оптимальное содержание углерода в исходном расплаве 3,7 % C, при угаре углерода в процессе модифицирования около 0,1-0,2 %. Содержание углерода в высокопрочном чугуне при данной технологии должно быть 3,4-3,6 %, а углеродный эквивалент ( $C_{\Sigma}$ ) равен 4,1-4,6%. При единичном и мелкосерийном производстве, имея один исходный чугун, необходимо получать отливки с различной толщиной стенок, из чугунов с различными свойствами. Оптимальное содержание углерода в исходном чугуне соответствует условиям получения чугуна чистого по неметаллическим включениям и с однородными механическими свойствами.

Верхний предел содержания кремния в высокопрочном чугуне для обеспечения показателя относительного удлинения, должен быть не более 3 %. При превышении этого значения, легированный кремнием феррит резко теряет пластические свойства. Высокопрочные чугуны с углеродным коэффициентом  $C_{\Sigma}=4,6$  %, содержащие кремний Si=2,8-3,0 % обладают максимальной жидкотекучестью, малой склонностью высокопрочного чугуна к объемной кристаллизации, затвердевают с образованием ферритной металлической матрицы. Снижение содержания кремния с 3,0 до 2,1% увеличивает долю перлита в металлической матрице с 0 до 70 % соответственно. Максимальные значения относительного удлинения до 15% в литом состоянии

имеет высокопрочный чугун с соотношением  $C/Si = 1,2$  ( $Si = 2,8-3,0 \%$ ). Повышение соотношения  $C/Si$  до 1,5 увеличивает содержание перлита до 70 %, а относительное удлинение снижается в 2-3 раза.

Дальнейшее снижение содержания  $Si$  увеличивает долю перлита до 96 %, что вызывает резкое падение относительного удлинения в 3-4 раза.

При выпуске отливок с высокими требованиями к относительному удлинению необходимо ограничить марганец не более 0,4%, до этого уровня марганец не оказывает значительного влияния на механические свойства ферритных высокопрочных чугунов. С увеличением содержания марганца с 0,4% до 0,6%, величина относительного удлинения падает в 2-3 раза, предел прочности на разрыв и твердость повышаются всего на 5%, по сравнению с чугуном, содержащим 0,2-0,3% марганца. Дальнейшее повышение содержания марганца до 0,7-0,8%, при содержании кремния 2,0-2,1 %, перлитизирует металлическую матрицу и обеспечивает высокопрочному чугуну следующие механические свойства в литом состоянии:  $\sigma_b = 700$  МПа,  $\delta = 3-4 \%$ . Значения твердости в таком чугуне обеспечиваются на уровне  $HB250 \pm 10$ . Для обеспечения более высоких значений твердости и износостойкости высокопрочного чугуна необходимо легирование  $Cu$  или  $Ni$ .



Перлитный ЧШГ. Механические свойства:  $\sigma_b = 650$  МПа,  $\delta = 10\%$ ,  $HB 210$ . Микроструктура: ШГф5, ШГд25-45, ШГр1, П70(Ф30).  $\times 100$

Строгое соблюдение всех факторов обеспечивают получение высоких значений относительного удлинения даже в перлитных высокопрочных чугунах на уровне 5-7% в литом состоянии.

Таким образом, предложенная технология позволяет получать отливки из высокопрочного чугуна стабильного качества в условиях серийного и единичного производства при обработке малых объемов расплава. Регулирование химического состава в комплексе с комби-методом позволяет получать ферритные и перлитные высокопрочные чугуны с высокими механическими свойствами в литом состоянии, с использованием одного базового исходного расплава [2].

## Литература

1. Райффершайд К. Применение метода перелива с использованием магнийсодержащих модификаторов // Литейное производство. 1998. №11. С. 21-23
2. Марукович Е.И., Молев С.Г. Получение ЧШГ с повышенной пластичностью в литом состоянии // Литьё и металлургия. 2001. №2. С. 51-53