



The article presents the possibility of obtaining high values of spherulitic iron stretch ratio in the cast condition at treatment of highsulfur cast irons.

*Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,
С. Г. МОЛЕВ, ОАО "Могилевский металлургический завод"*

ПОЛУЧЕНИЕ ЧШГ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТЬЮ В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ

УДК 621.74

На ОАО "Могилевский металлургический завод" применяется пластичный ЧШГ. Отливки из этого чугуна используются в качестве заготовок для некоторых деталей дробильного и прокатного оборудования, которые ранее изготавливали из проката углеродистых сталей. Замена материала деталей стала возможна после разработки технологии получения ЧШГ с повышенной пластичностью в литом состоянии.

Для достижения высокого относительного удлинения (δ) ЧШГ при значительной прочности в литом состоянии (среднее значение для углеродистых сталей без ТО $\sigma_b \approx 500$ МПа) необходимо обеспечить:

- химический состав чугуна, позволяющий получить ферритно-перлитную металлическую матрицу (ММ), содержащий минимальное количество вредных примесей (S, P) и элементов, стабилизирующих цементит (Mn, Cr);
- эффективное сфероидизирующее и инокулирующее модифицирование, способствующее образованию в структуре ЧШГ мелкого графита правильной формы, равномерно распределенного в мелкодисперсной ММ, и отсутствию свободного цементита;
- рафинирование металла от неметаллических включений (НВ) на всех стадиях получения отливок (очистка металла в форме в работе не рассматривается).

При разработке технологии определяли влияние Si, Mn на комплекс механических свойств ЧШГ при достаточно высоких концентрациях S, P, Cr, расход модификаторов и других материалов.

Чугун плавил в индукционной печи ИЧТ-1 на передельном чугуне с низким содержанием Si, Mn и стали (обрезки электросварных труб) до 10 %. В результате исходный чугун содержал 0,04—0,05 % S (80 % всех плавок), 0,2—0,3 % Mn, 0,05—0,10 % P, 0,08—0,10 % Cr. Содержание Si, Mn изменяли добавками ферросилиция ФС45 и ферромарганца ФМн78. Гомогенизацию расплава и снижение влияния наследственности чушкового чугуна обеспе-

чивали термовременной обработкой: выдержка в течение 10 мин при 1500—1550 °С. Для обеспечения максимального инокулирующего эффекта металл из печи выдавали при температуре 1480—1500 °С.

При внепечной обработке чугуна использовали материалы фирмы "SKW Giesserei". Сфероидизирующую обработку производили модификаторами VL53 (9—11 % Mg) и VL63 (5,5—6,3 % Mg) в соотношении 1:1 фракции 4—10 и 0,2—1,2 мм соответственно (далее расход модификатора — это сумма VL53 и VL63), инокулирование — бариевым модификатором SB5 (2,0—2,5 % Ba) фракции 0,6—3,0 мм. При обработке шлака на зеркале металла в печи и ковше использовали связыватель шлака Remmos 100G фракции 0,3—1,0 мм.

Сфероидизирующее и инокулирующее модифицирование проводили одновременно в чайниковом ковше, подогретом до $\sim 650^\circ\text{C}$, комбинированным методом (разработка фирмы "SKW Giesserei" для сфероидизации высокосернистых чугунов (0,05—0,08 % S)) [1]. Чайниковый ковш емкостью 1 т оснащен крышкой и перегородкой, образующей реакционную камеру. Ковш имеет соотношение $D_k/H_k = 1/2$. Нос ковша оборудован приемной воронкой. Заполнение ковша производится через нос до нижнего уровня воронки (соответствует 1 т жидкого металла в ковше). Такая конструкция позволяет точно дозировать металл. Для повышения гибкости производства и снижения времени разлива ЧШГ менее 15 мин в настоящее время изготавливается чайниковый ковш емкостью 0,5 т.

Заливку клиновидных проб производили в песчано-глинистые формы при 1430—1450 °С. Из проб вырезали образцы (тип VI, ГОСТ 1497-84) для механических испытаний.

Наиболее сильное влияние на механические свойства чугуна оказывают C и Si. Для определения совместного влияния C и Si на состояние ММ и механические свойства ЧШГ углеродный эквивалент (C_s) уменьшали с 4,6 до 4,1 %. Учитывая различные рекомендации, содержание C приняли 3,4—3,6 %. Такое содержание углерода обусловлено двумя факторами. При единичном и мелкосе-

рийном производстве, имея один исходный чугуны, необходимо получать отливки с различной толщиной стенок (20–60 мм) из чугунов с разными свойствами. Угар углерода при модифицировании составляет 0,1–0,2 %, т.е. в исходном чугуне должно быть 3,7 % С, что соответствует условиям получения ЧШГ чистого по НВ с однородными механическими свойствами [2]. Верхний предел по Si ограничили ≤ 3 %. При превышении этого значения легированный кремнием феррит резко теряет пластические свойства. По данным работы [3], в чугунах, модифицированных Mg, эвтектическая точка сдвинута до $C_e = 4,6$ %. Чугуны, содержащие 2,8–3,0 % Si и близкие к эвтектическому, имеют соотношение $C/Si = 1,1–1,3$. По данным, приведенным в работе [4], чугуны с соотношением $C/Si = 1,23$ обладают максимальной жидкотекучестью. Такое содержание С и Si снижает склонность ЧШГ к объемной кристаллизации, увеличивает жидкотекучесть, ферритизирует ММ, а значит, повышает значение δ . При модифицировании вследствие высокого исходного содержания S образуется большое количество оксидов и сульфидов Mg, а высокий С_э улучшает условия удаления НВ из чугуна.

Уменьшение С_э производили за счет снижения содержания Si, содержание Mn было 0,2–0,3 %. Снижение содержания Si с 3,0 до 2,1 % увеличивает долю перлита в ММ от 10 до 70 %. Максимальное $\delta = 18$ % в литом состоянии имеет ЧШГ с $C/Si = 1,2$ (2,8–3,0 % Si) при содержании перлита до 15 %. Снижение соотношения C/Si до 1,5 увеличивает содержание перлита до 70 %, а δ уменьшает в 2 раза. Дальнейшее снижение содержания Si увеличивает долю перлита до 96 %, что вызывает резкое падение δ в 3–4 раза по сравнению с ЧШГ, содержащим 70 % перлита.

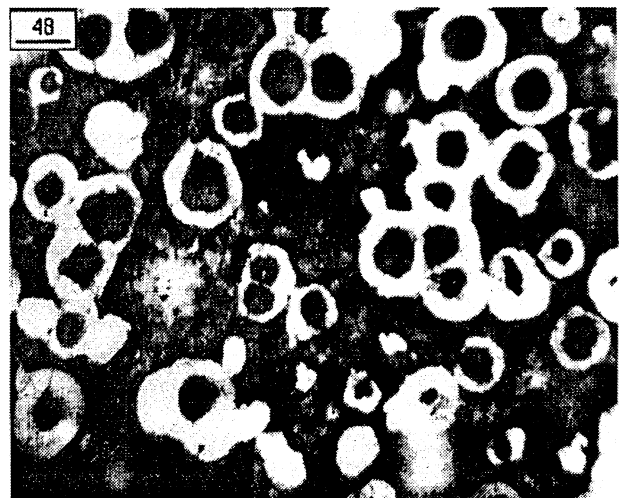
В ЧШГ для обеспечения высоких значений δ многие авторы рекомендуют содержание Mn $\leq 0,3$ %. Эксперименты показали, что содержание 0,2–0,3 % Mn не влияет на δ , при этом чугун имеет высокие значения пластичности. При росте содержания от 0,3 до 0,4 % Mn оказывает незначительное влияние на δ , поэтому для стабильного получения высоких значений прочности ($\sigma_B = 650$ МПа) содержание Mn должно быть 0,4 %. Влияние Mn при

содержании $> 0,4$ % изучали на чугунах, содержащих более 50 % перлита. Рост содержания Mn до 0,5 % вызывает падение δ в 1,2–1,3 раза, а при 0,6 % Mn — в 2–3 раза. При этом прочность и твердость возрастают на 5 % по сравнению с ЧШГ, содержащим 0,2–0,3 % Mn. Содержание 2,0–2,1 % Si и 0,7 % Mn позволяет получить ЧШГ со следующими свойствами: $\sigma_B = 700$ МПа, НВ 250 и $\delta = 3–4$ %.

Таким образом, изменяя содержание Si и Mn, можно регулировать соотношение перлита и феррита в ММ. В результате определяем химические составы чугунов, обеспечивающие стабильное получение двух типов чугунов, названных ферритными (ФЧШГ) и перлитными (ПЧШГ), характеристики которых приведены в таблице. Соотношение механических свойств ЧШГ в отливках с толщиной стенки 60 мм и отливаемых пробах равно 0,7–0,8, что меньше значений, приведенных в работе [5], для отливок с толщиной стенки 60 мм оно составляет 0,86.

Расход сфероидизирующего модификатора зависит в основном от содержания S, так как содержание O₂ существенно не изменяется. Экспериментальным путем определяли минимальный расход модификаторов. Установлено, что при содержании в исходном чугуне 0,04–0,05 % S минимальный расход сфероидизирующего модификатора составил 1,5–1,6 %, а при 0,07 % S — 2 %. Такой расход модификатора обеспечивает 0,05 % Mg_{ост} и получение графита, имеющего следующие характеристики: ШГф5, ШГд25–45, ШГр1 (см. рисунок). Для повышения стабильности получения такого графита в чугунах с 0,07 % S Mg_{ост} должно быть 0,06 %. Применение чайникового ковша позволило полностью устранить пироэффект и снизить пыле-, газовыделения и достичь высокой степени усвоения модификаторов. Количественно усвоение Mg определить сложно, так как на него влияет

Характеристика чугуна	Тип чугуна	
	ФЧШГ	ПЧШГ
Углеродный эквивалент С _э , %	4,4–4,5	4,2–4,3
Отношение C/Si	1,2	1,5
Содержание Mn, %	Не более 0,3	0,3–0,4
Содержание перлита, %	Не более 20	Не менее 70
Механические свойства:		
предел прочности при растяжении σ_B , МПа	450–500	600–650
относительное удлинение δ , %	15–18	8–10
твердость НВ	170–190	190–220



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

много факторов, но усвоение магния в чайниковых ковшах намного превышает усвоение Mg в конических ковшах. При одинаковом расходе модификатора в коническом и чайниковом ковшах $Mg_{\text{ост}}$ равен 0,05 и 0,07 % соответственно. Усвоение Si из модификатора достигает 90 %, что позволяет точно получать требуемый химический состав ЧШГ.

Расход SB5, рекомендуемый фирмой-изготовителем, составляет 0,05—0,50 %. Установлено, что расход модификатора 0,5 % оказывает максимальное влияние на ММ, т. е. ЧШГ обладает высокими механическими характеристиками. При высоком содержании вредных элементов расход необходимо увеличивать до 0,7 %.

Применение связывателя шлака Remmos 100G более эффективно при литье из конических ковшей. Пленка, которую он образует, не только коагулирует шлак на зеркале металла, но и задерживает частицы шлака, образующиеся в жидком металле и всплывающие в процессе заливки. Отбор металла снизу в чайниковом ковше снижает эффективность применения Remmos 100G. В чайниковом ковше связыватель шлака облегчает съем мелких частиц шлака с зеркала металла, уменьшая время съема

шлака, предотвращает попадание всплывающего шлака в отливку с последними порциями металла. Расход Remmos 100G зависит от количества шлака и составляет 100—200 г на 1 т чугуна.

Таким образом, созданная технология позволяет регулировать структуру ЧШГ и получать требуемый комплекс механических свойств в литом состоянии. В настоящее время производятся работы по определению влияния инокулирующего модифицирования, скорости охлаждения (толщины стенки отливки) на структуру ЧШГ и его пластичность.

Литература

1. Райффершайд К. Применение метода перелива с использованием магнийсодержащих модификаторов // Литейное производство. 1998. № 11.
2. Шапранов И. А. Влияние углерода в исходном металле на качество отливок из высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1992. № 11.
3. Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев: Наукова думка. 1986.
4. Солнцев Л. А., Рудникова Р. А., Кац Я. М., Белкин Л. М. Влияние соотношения C/Si на литейные свойства высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1980. № 3.
5. Чугун. Справ. / Под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. М.: Металлургия, 1991.

Унитарное предприятие "БелТОР 7"

*продает две установки
 электрошлакового переплава УШ159
 для производства отливок*

из цветных сплавов — меди, бронзы, латуни.

Получаемые отливки — тела вращения (штулки, цилиндры).

Цена договорная.

Обращаться по телефону: (017) 2859213, 2859219.