УДК 621.74

Р.К. Гасанли, к-т техн. наук, доц.
Азербайджанский Технический Университет, Азербайджан
Тел.: +994 (055) 7872477; E-mail: hasanli_dr@ mail.ru

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Рассматриваются вопросы влияние способов модифицирования на структуры и свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Установлено, что эффективным способом модифицирования ВЧШГ является обработка чугуна в литейной форме. Исследованиями выяснено, что модифицирование в литейной форме обеспечивает получение отливок из чугуна с шаровидным графитом с высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Изучено влияние температуры заливаемого металла на структуру и свойства чугуна с шаровидным графитом.
Ключевые слова: *модифицирование, температура, высокопрочный чугун, структура, свойства, качество*

1. Введение

Известно, что на структуру и свойства чугуна существенное влияние оказывает способы модифицирования [1,2], а качество чугунных деталей во многом зависит от структуры и свойства металла [3÷6]. Поэтому, исследования в этом направлении вызывают несомненный интерес.

2. Основные содержание и результаты работы

Микроструктуру и механические свойства чугунов с шаровидным графитом исследовали по трем технологическим способом модифицирование: модифицирование в литейной форме, в открытом ковше и в автоклаве. Для получения высокого качество металла исходный чугун выплавляли в индукционной печи промышленной частоты.

В форме чугун модифицировали присадками 90% лигатуры ФСМг и 10% флюса ФФС-95. Расход лигатуры составила 1,5 % от массы жидкого металла. Чугун при 1380÷1420°С заливали в формы емкостью 20 кг со скоростью 1,2 кг/с.

В открытом ковше, металлоемкостью 60 кг чугун при 1400÷1420°С методом «сэндвич-процесс» модифицировали лигатурой ФСМг. Размер кусков лигатуры составила 2÷20 мм. Расход лигатуры составила 1,0 % от массы жидкого металла. Модификатор загружали в днища ковша, прикрывали 1,0% чугунного скрапа. Перед модифицированием ковш нагревали с газовой горелкой до температуры 500°С. После заливки расплава в ковш и модифицировании, с поверхности чугуна сняли шлака.

В автоклаве КМ-2 чугун при 1410-1450°С и под избыточным давлением (0,6 МПа) модифицировали металлическим магнием Мг90. После сброса давления чугун вторично модифицировали 1,0% ФС75 и 0,3% флюса ФФС-95. Жидкий метал перемешивали при закрытой крышке автоклава графитовым колокольчиком. В формы заливали чугун при 1350-1390°С. После заливки выполняли извлечения ковша из автоклава и с поверхности чугуна сняли шлака. Химический состав и расход модификаторов обеспечили 96÷98% сфероидизации графита и примерно одинаковое содержание магния и кремния в сравниваемых чугунах (табл. 1).

Таблица 1. Химические составы модифицированных чугунов

Материал	Содержание элементов, %					
	C	Si	Mn	S	P	Mg
Исходный чугун	3,71	2,17	0,34	0,025	0,08	-
Ввод модификатора в:						
реакционную камеру формы	-	1,02	-	-	-	0,24
открытый ковш	-	1,15	-	-	-	0,20
ковш, помещенный в автоклаве	-	0,97	-	-	-	0,24
Чугун, модифицированный в:						
форме	3,70	3,09	0,34	0,014	0,08	0,059
ковше	3,59	3,20	0,34	0,009	0,08	0,043
автоклаве	3,65	2,89	0,34	0,006	0,08	0,061

Металлографический анализ чугунов производили на образцах, вырезанных из цилиндрических образцов длиной 140 и диаметром 6÷40 мм, а также из стандартных клинообразных проб для механических испытаний с толщиной рабочей части 25 мм. Пределы прочности, текучести и относительного удлинения определяли на цилиндрических образцах с расчетной длиной 25 мм, диаметром 5 мм, а ударную вязкость - на образцах 10х10х55 мм без надреза, вырезанных из клинообразных проб. Твердость по НВ измеряли на плоскости отреза рабочей части пробы от прибыли.

Методом дисперсионного анализа установили, что химический состав модификаторов на структуру и свойства высокопрочного чугуна влияет незначительно. В то же время способ модифицирования оказывает существенное влияние на указанные характеристики высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в литом состоянии. Установлено, что в чугуне, модифицированного в форме, количество сфероидов графита достигает 600÷900 мм$^{-2}$.

При диаметром 12÷20 мм количество сфероидов резко падает, а при диаметра 40 мм изменяется незначительно. С уменьшением количества сфероидов графита увеличиваются их размеры. Модифицированных в ковше или автоклаве, в образцах чугунов, диаметром 6 мм, размер графитовых включений мало отличается от размеров графита в аналогичных образцах, модифицированного в форме.

Однако их количество не превышает 130 мм^2, поскольку основная часть углерода связана в карбиды железа.

При модифицировании в форме образцах диаметром 6 мм в структуре чугуна отсутствует цементит, а в чугуне, модифицированном в ковше, отбел исчезает лишь в образцах диаметром более 20 мм. А при обработке в автоклаве отдельные включения структурно-свободного цементита наблюдаются даже в образцах диаметром 40 мм.

Установлено, что сфероидизирующая обработка в форме обеспечивает более полную ферритизацию матрицы, особенно в образцах диаметром 20÷40 мм. Структура матрицы высокопрочного чугуна, модифицированного в автоклаве, в таких образцах преимущественно перлитная (рис. 1).

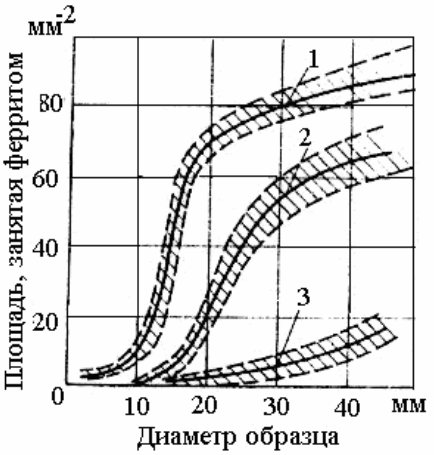

Рис. 1. Зависимость количества перлита от диаметра образцов: в форме, 2- в ковше, 3 - в автоклаве

Выяснено, что механизм графитизирующего модифицирования чугуна с шаровидным графитом, связан с образованием флуктуационных группировок кремния со значительным отклонением его концентрации от среднего содержания в общем объеме жидкого металла. В флуктуационных зонах, пересыщенных кремния, выделяется избыточный углерод, образующий группировки, которые являются потенциальными зародышами графита при кристаллизации чугуна.

Продолжительность эффекта модифицирования кремния зависит от длительности существования указанных группировок углерода в чугуне. Степень дезактивации потенциальных зародышей графитовых включений зависит от времени выдержки чугуна в жидком состоянии. Чем больше интервал времени между вводом модификатора в расплав и началом затвердевания, тем в большей степени флуктуационные зоны, обогащенные кремния, перераспределяются в объеме жидкого чугуна с выравниванием его химического состава и тем больше степень дезактивации потенциальных зародышей кристаллизации графитовых включений.

При модифицировании в автоклаве интервал времени между вводом кремния и началом затвердевания чугуна в форме колеблется 9÷13 мин. При модифицировании в ковше этот интервал составляет лишь 5÷7 мин.

При модифицировании в форме интервал времени между графитизирующей обработкой и началом затвердевания чугуна сведен к минимуму. Поэтому при модифицировании в форме графитизирующий эффект кремния, вводимого в чугун, проявляется в максимальной степени, что подтверждается результатами эксперимента. Различие в степени графитизации чугунов, модифицированных в форме, в ковше и в автоклаве, наиболее заметно проявляется при повышенных скоростях охлаждения. Однако указанное различие сохраняется и в достаточно массивных сечениях.

Различие микроструктур при одинаковом химическом составе и скорости охлаждения сравниваемых чугунов, проявляется и на их механических свойствах в литом состоянии [табл. 2, модифицирование в форме (1), в ковше (2), в автоклаве (3)].

Повышенные пластические характеристики чугуна, модифицированного в форме, при достаточно высоких прочностных характеристиках связаны с его более мелкодисперсной микроструктурой и более полной ферритизацией матрицы. Этот чугун в литом состоянии соответствует ГОСТ 7293-85 по трем маркам: ВЧ 40, ВЧ 45 и ВЧ 50. Следовательно, при внутриформенном модифицировании в форме можно

получать отливки из чугуна с шаровидным графитом двух-трех марок в едином технологическом потоке без дополнительного легирования и термической обработки.

После нормализации или отжига влияние способа модифицирования на механические свойства чугуна с шаровидным графитом существенно не проявляется (табл. 2).

Таблица 2. Свойства модифицированного чугуна после термической обработки

Механические свойства	В литом состоянии			После ферритизирующего отжига			После нормализации		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
σ_B, МПа	510	535	585	490	442	430	655	625	610
σ_T, МПа	330	345	390	321	315	308	586	570	545
δ,%	14	7,5	2,7	18	15,1	14,1	5,4	5,3	4,7
$\alpha_н$, кДж/м^2	745	300	110	1385	1105	905	317	299	262
НВ	150-175	190-210	300-327	142-150	142-150	141-150	283-317	283	283-319

Анализ показывает, что модифицирование в форме обеспечивает получение отливок из чугуна с шаровидным графитом с высокими механическими свойствами, чем модифицирование чугуна в открытом ковше или в автоклаве.

Формирование структуры высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при модифицировании в форме определяется в значительной степени атмосферой в реакционной камере. Наиболее полное усвоение магния, стабильность процесса и минимальный расход модификаторов в период взаимодействия его с расплавом возможны при создании восстановительной атмосферы.

Установлено влияние температуры заливаемого металла на структуру и свойства чугуна с шаровидным графитом. При температуре заливки менее 1380°С модификатор марки ФСМг реагирует слабо и графит в основном остается пластинчатой формы. С повышением температуры до 1400°С**,** возрастает доля шаровидного графита в смеси с вермикулярным. Полная сфероидизация графита имеют место при температуре заливки от 1400 до 1450^{o}С. Дальнейшее повышение температуры приводило к интенсивному сгоранию магния.

На усвоение магния существенно влияет скорость течения и продолжительность контакта жидкого металла с модификатором. При малых скоростях течения металла в структуре обнаруживается вермикулярный графит, вызываемый быстрым охлаждением металла и вследствие этого недостаточным контактом с модификатором. При большой скорости модификатор интенсивно окисляется в форме, что ведет к уменьшению содержания остаточного магния.

3. Заключение. Таким образом, установлено, что эффективным способом модифицирования высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, благоприятное влияющим на структуру и свойства является обработка чугуна в форме. Этот способ модифицирования выгодно и с точки зрения охраны окружающей среды. Подтверждено, что полная сфероидизация графита в обработанном чугуне происходит при температуре заливки в интервале от 1400 до 1450^{0}С.

Список литературы:

1. Ильинский В.А., Жуков А.А. и др. Новое в теории графитизации. Связь между первичной и вторичной кристаллизацией графитизирующихся железо-углеродистых сплавов. Металловедение и термическая обработка металлов, 2010, № 10, с.10-16.

2. Влияние комплексного модифицирования магнием и редкоземельными металлами на структуру металла /А.Е.Кривошеев, Г.Е. Белай, Ю.К. Бунина, И.Е.Лев/ Получение, свойства и применение чугуна с шаровидным графитом. К., 2008, с.126-133

3. Гасанли Р.К. Структура и свойства высокопрочных чугунов. Баку: Наука, 2013, 250 с.

4. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Теория, технология производства, свойства и применение / Под ред. М.В. Волощенко. Киев, Наука думка, 2001, 203с.

5. Гасанли Р.К. Влияние экономного легирования на качество высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, производимого в кокилях. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов.-Донецк: ДонНТУ, 2010. Вып.40, с.50-52

6. Гасанли Р.К. Повышение ударной вязкости высокопрочного чугуна, производимого в кокилях // Естественные и технические науки, М.: Спутник, 2010, №6(50), с.593-596

R. K. Hasanli

INFLUENCE OF WAYS OF MODIFYING ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH PIG-IRON WITH SPHERICAL GRAPHITE

Questions influence of ways of modifying on structures and properties of high-strength pig-iron with spherical graphite are considered. It is established, that effective way of modifying of high-strength pig-iron with spherical graphite is processing of pig-iron in the foundry form. By researches it is found out, that modifying in the foundry form provides reception casting from pig-iron with spherical graphite with high mechanical and operational properties. Influence of temperature of filled in metal on structure and properties of pig-iron with spherical graphite is investigated.

Key words: *modifying, temperature, high-strength pig-iron, structure, properties, quality*

Р.К. Гасанли

ВПЛИВ СПОСОБІВ МОДИФІКУВАННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

Розглядаються питання вплив способів модифіцірованія на структури і властивості високоіншного чавуну з кулястим графітом. Встановлено, що ефективним способом модифікувативаня високоіншного чавуну з кулястим графітом обработка чавуну в ливарній формі. Дослідженнями з'ясовано, що модифікування в ливарній формі забезпечі кість отримання відлівок з чавуну з кулястим графітом з високими механическими та експлуатаційними свойствами. Вивчено вплив температури заливається металу на структуру і властивості чавуну з кулястим графітом.

Ключові слова: *модифікованоговання, температура, високопроченний чавун, структуру, властивості, якість.*

Надійшла до редколегії 17.05.2013 р.