

УДК 621.74: 669.131.7

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛОВИНЧАТЫЕ И СЕРЫЕ ЧУГУНЫ

Л. Х. Иванова, д. т. н., проф., А. Ю. Хитько, к. т. н., доц., Я. С. Маймур, асп.,
А. Ю. Калашникова, асп., И. В. Шляпин, асп., Д. В. Муха, студ.,
С. А. Кисляков, студ.

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Актуальность исследований и постановка проблемы. Программа развития Украины предусматривает в качестве первоочередного приоритета реструктуризацию горно-металлургического комплекса на основе действующих и внедрения новых высокоэффективных технологических процессов получения железоуглеродистых расплавов и производства из них готовых деталей и заготовок.

Улучшение качества продукции литейного производства, повышение ее надежности и долговечности является насущным требованием нашего времени. Подавляющая часть отливок изготавливается из чугуна, поэтому совершенствование его физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик служит важным резервом в деле экономии энергетических и материальных ресурсов и интенсивного развития промышленности.

Ежегодно в Украине производится около 1 млн. т чугунных отливок, и только 5...6% от их выпуска из высокопрочных чугунов, что существенно меньше, чем в мировом выпуске таких отливок (30...60%).

Анализ достижений и публикаций. В основе технологии литья прокатных валков лежит следующее: получение отливок с твердым, износо- и термостойким рабочим слоем и высокопрочной сердцевиной. Это требование и в настоящее время является основным при оценке качества литых валков. В настоящее время нормативно-технической документацией на чугунные прокатные валки [1] изготовленные их из чугунов с вермикулярным графитом не предусматривается.

В зависимости от структуры рабочего слоя валки делятся на отбеленные и с невыраженным отбелом или из половинчатого чугуна, сердцевина же валка это – серый чугун. Модифицирование (введение примесей) является значительным фактором управления структурой чугунных отливок. В реальных производственных условиях, когда заданы скорость охлаждения отливок, состав чугуна и температура расплава, этот фактор является единственным в руках технолога.

Впервые в отечественной литературе термин «вермикулярный графит» был введен в 1967 г. в работе [2]. В качестве конструкционного материала чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) предложили использовать авторы [3], а четкую классификацию понятия вермикулярного графита дал Шеленг (Shelleng R.D.) в 1967 г. [4]. К преимуществам ЧВГ в сравнении с чугуном с пластинчатым графитом следует отнести: более высокую прочность без применения дорогих легирующих добавок; более высокую пластичность и вязкость и обусловленное этим высокое сопротивление разрушению; более низ-

кую склонность к окислению и росту в случае использования при высоких температурах.

Вермикулярный графит образуется в чугунах, содержащих около 0,01% магния и небольшие концентрации церия. Область концентрации модификаторов, обеспечивающих получение ВГ, расширяются при добавках 0,3% титана. Аналогичным образом действуют добавки алюминия и циркония. Чугун с вермикулярным графитом имеет предел прочности при растяжении от 300 до 500 МПа, относительное удлинение от 2 до 6% и модуль упругости около 145000 МПа. В связи с более высокой демпфирующей способностью ЧВГ рекомендуется применять зачастую вместо ЧШГ.

От момента открытия ЧВГ до настоящего времени интерес к этому материалу значительно возрос причем, как к технологии его получения, так и к применению в различных областях промышленности. В частности, в работе [5] была показана перспективность применения КМ на основе РЗМ для литья прокатных валков из ЧВГ.

В настоящее время известно несколько тысяч составов чугунов с вермикулярным графитом. Вермикулярный графит в чугунах в настоящее время получают различными методами, которые сводятся к обработке расплавов, в том числе: а) магнием или его лигатурами до достижения остаточного содержания магния в чугуне 0,01...0,03%; б) РЗМ или лигатурами на их основе. Рядом исследований [6-8] однозначно было показано, что модифицирование белых и половинчатых валковых чугунов металлическим магнием и его лигатурами приводит к снижению физико-механических свойств. Однако применение их для производства литых прокатных валков требует дополнительных исследований.

Целью работы было исследование модифицирования расплавов комплексными модификаторами (КМ) на основе редкоземельных металлов (РЗМ) или магния, обеспечивающих получение в структуре половинчатых и серых чугунов графитных включений вермикулярной формы и улучшение физико-механических свойств чугунов.

Основные результаты исследования. Исследования проводили с использованием базового чугуна следующего химического состава, масс. %: С 3,82; Si 1,06; Mn 0,84; P 0,20; S 0,03 или 0,07; Cr 0,45; Ni 2,15; Fe – остальное при охлаждении образцов со скоростями, имеющими место в реальной валковой литейной форме, – 5,5 (рабочий слой) и 0,5 град/с (шейки валка). В качестве модификаторов были использованы КМ на основе РЗМ марки СРЗМ30 и КМ на основе магния марки КМг9 ДСТУ 3362-96.

Влияние возрастающих количеств модификаторов на форму графитных включений, микроструктуру матрицы и свойства валковых чугунов исследовали на серии из 28 лабораторных плавок.

Немодифицированный чугун при скорости охлаждения 5,5 град/с имел микроструктуру половинчатого чугуна с небольшим количеством графитных включений пластинчатой формы с характеристикой ПГф2-ПГд180-ПГр3-ПГ2 ГОСТ 3443-87 и цементита ледебурита Ц40-Цп6000, металлическая основа вида Пт1 и Ф состояла из перлита дисперсностью ПД0,5 и 12% феррита. При охлаждении со скоростью 0,5 град/с этот же чугун имел микроструктуру серо-

го перлитно-ферритного чугуна с пластинчатым графитом, которая характеризовалась следующими баллами: графит ПГф1-ПГд350-ПГр3-ПГ10, матрица вида Пт1 и Ф, П70 (Ф30), перлит дисперсностью ПД1,0 и ПД0,5.

Модифицирование исследуемого чугуна возрастающими количествами лигатуры СРЗМ30 вызывало при скорости охлаждения 5,5 град/с изменение формы графитных включений и увеличение степени дисперсности перлита. Уже при присадке 0,2 мас.% модификатора в расплав чугуна при РЗМост - 0,045% около 80% графитных включений в нем приобретали вермикулярную форму баллов ВГф2-ВГр1-ВГ100 ГОСТ 3443-87. Вермикулярная форма графитных включений в исследуемом чугуне сохранялась до концентраций РЗМост - 0,104% включительно. Графит при содержании РЗМост - 0,085% в чугуне характеризовался баллами ВГф2-ВГр1-ВГ92 ГОСТ 3443-87, а при содержании РЗМост - 0,104% - ВГф2-ВГр1-ВГ70 ГОСТ 3443-87. При концентрациях РЗМост менее 0,045% форма графитных включений оставалась пластинчатой. Дальнейшее же увеличение содержания РЗМост в чугуне свыше 0,104 до 0,144% обеспечивало получение в чугуне графитных включений шаровидной формы баллов ШГф4-ШГд45-ШГр1 ГОСТ 3443-87 и приводило к полному подавлению их выделения при концентрации РЗМост - 0,165%. Кроме того, модифицирование исследуемого чугуна РЗМ привело к значительному снижению (на 50...87,5%) количества феррита. Количество карбидной фазы увеличилось незначительно.

Структурные изменения в модифицированных чугунах сопровождались повышением их прочностных характеристик. При оптимальной присадке лигатуры СРЗМ30 0,5% и соответственно содержанию РЗМост - 0,104% предел прочности $\sigma_b^{изг}$ повысился на 14, предел прочности σ_b^p - на 30 и твердость НВ - на 4%.

При скорости охлаждения 0,5 град/с около 30% графитных включений в исследуемых чугунах приобретали вермикулярную форму ВГф1 ГОСТ 3443-87 при концентрациях РЗМост - 0,085%, и только при концентрациях РЗМост - 0,104...0,144% графитные включения приобретали вермикулярную форму баллов ВГф2- ВГ98...ВГ85 ГОСТ 3443-87. Увеличение концентраций РЗМост до 0,165 % привело к образованию только шаровидного графита баллов ШГ4-ШГд45-ШГр1 ГОСТ 3443-87.

Модифицирование чугунов РЗМ обеспечивало в матрице снижение количества феррита на 20...34% и повышение дисперсности перлита. Твердость чугуна изменялась незначительно, прочностные свойства повышались в среднем на 27% – при получении графитных включений вермикулярной формы и на 38...44% – при получении графитных включений шаровидной формы.

Таким образом, для скоростей охлаждения 5,5 и 0,5 град/с интервалы концентраций РЗМ, обеспечивающие получение графитных включений вермикулярной формы в чугунах типа 1, невелики и составляют 0,045...0,104 и 0,104...0,144% соответственно.

Известно, что для получения ЧВГ большинство исследователей рекомендуют иметь в расплаве 0,01...0,025% остаточного содержания магния. Учитывая то, что при литье прокатных валков скорости охлаждения различных частей отливки значительно выше или ниже, чем при получении машинострои-

тельных отливок, провели серию плавов для установления областей образования в микроструктуре исследуемых чугунов графитных включений вермикулярной формы при модифицировании лигатурой КМг9. Присадку лигатуры изменяли в пределах 0,3...1,2% от массы расплава (от 0,012 до 0,37% Mg ост).

При скорости охлаждения 5,5 град/с уже остаточное содержание магния в чугуне Mgост - 0,019% позволило изменить форму графитных включений с пластинчатой на вермикулярную. Следует отметить, что модифицирование лигатурой, содержащей магний, также как и лигатурой, содержащей РЗМ, при малых концентрациях (0,012%) вызывало в микроструктуре чугуна увеличение количества графита, а при дальнейшем повышении содержания модификатора происходило монотонное уменьшение количества графита. Для скорости охлаждения 0,5 град/с область выделения графитных включений вермикулярной формы была ограничена концентрациями магния 0,022...0,030%.

Механические свойства модифицированного магнием чугуна были выше: предел прочности при изгибе - на 8...35, предел прочности при растяжении - на 17...29%, однако ниже, чем у чугунов, модифицированных лигатурой СРЗМ30 - на 2...4 и 3...8%, соответственно.

Получать вермикулярную форму графита можно также в валковых чугунах с повышенным содержанием серы, однако в таких случаях должен возрастать расход модификатора и соответственно себестоимость отливок.

Исследовали влияние возрастающих количеств лигатур СРЗМ30 на микроструктуру и свойства валкового чугуна с повышенным содержанием серы (0,07%).

Немодифицированный чугун с повышенным содержанием серы при скорости охлаждения 5,5 град/с имел структуру белого доэвтектического чугуна с небольшим количеством (2,5%) графитных включений пластинчатой формы. Металлическая основа состояла из перлита дисперсноостью ПДО,5 и 8,6% феррита. При охлаждении со скоростью 0,5 град/с чугун такого же химического состава имел структуру серого перлитно-ферритного чугуна с пластинчатым графитом.

Модифицирование расплава высокосернистого чугуна возрастающими количествами РЗМ вызывало при скорости охлаждения 5,5 град/с изменение формы графитных включений, увеличение дисперсности перлита и уменьшение количества ледобурита сотового строения. Графитные включения приобретали вермикулярную форму при концентрации РЗМост - 0,081%. Такая форма графитных включений сохранялась до концентрации в чугуне РЗМост - 0,129%. При концентрациях РЗМост менее 0,081% форма графитных включений оставалась пластинчатой, а количество графита в исследуемых чугунах несколько возрастало по сравнению с чугуном исходного состава. Увеличение содержания РЗМост свыше 0,081% приводило к монотонному снижению количества графита в микроструктуре чугуна и к полному подавлению выделения графитных включений при концентрациях РЗМост - 0,19% и более. При концентрациях РЗМост в чугуне менее 0,129% вплоть до РЗМост - 0,19% графитные включения в его микроструктуре имели шаровидную форму. Модифицирование чугуна с повышенным содержанием серы лигатурой СРЗМ30 привело к значительному снижению количества феррита (на 50...60%) в мик-

роструктуре чугуна, однако полного подавления выделения феррита не наблюдали. Количество карбидной фазы увеличивалось незначительно. Структурные изменения вызывали значительное повышение прочностных характеристик чугуна

При скорости охлаждения 0,5 град/с при концентрациях РЗМост 0,161...0,19% графитные включения приобретали вермикулярную форму. Модифицирование лигатурой СРЗМ30 в оптимальных количествах обеспечивало снижение количества феррита в матрице в среднем на 29% и повышение дисперсности перлита. Твердость чугуна изменялась незначительно, прочностные свойства повысились на 40...51%.

Таким образом, для чугуна с повышенным содержанием серы, затвердевающего при скоростях охлаждения 5,5 и 0,5 град/с, интервалы концентраций РЗМост, обеспечивавшие получение графитных включений вермикулярной формы, составляли 0,081...0,129 и 0,161...0,19%, соответственно.

Выводы

1. Установлены интервалы концентраций РЗМост в валковых чугунах, в том числе с повышенным содержанием серы, обеспечивающие при скоростях охлаждения 5,5 и 0,5 град/с получение графитных включений вермикулярной формы: 0,045...0,104 и 0,104...0,144% соответственно.

2. КМ на основе магния при скоростях охлаждения 5,5 и 0,5 град/с валковых чугунов обеспечивали получение графитных включений вермикулярной формы при концентрациях Mgост в пределах 0,019...0,030%.

Использованная литература

1. ТУ У 27.1-26524137-1291:2007 Валки чавунні для горячего прокатування металів.– Чинний з 01.02.2008.– X., 2007. – 29 с.
2. Белай Г.Е. Исследование влияния модифицирования на кристаллизацию чугуна, структуру и свойства листопрокатных валков: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Днепрпетр. металлург. ин–т.– Д., 1967.– 23 с.
3. Estes I.W., Schneidewind R. New high strength cast irons, produced by injection methods // AFS Transaction.–1955.– Vol.63.– P. 541–542.
4. Shelleng R.D. Effect of certain elements on the form of graphite in cast iron// AFS Cast Met. Res. J.– 1967.– Vol.3, №1.– P. 30–38.
5. Колотило Е.В., Иванова Л.Х. Чугун с вермикулярным графитом – перспективный материал для прокатных валков // Литейное производство.– 1980.– № 6.– С. 3–4.
6. Белай Г.Е. Исследование влияния модифицирования на кристаллизацию чугуна, структуру и свойства листопрокатных валков: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.323/ Днепрпетр. металлург. ин–т.– Д., 1967.–23 с.
7. Николаев Н.А. Исследование влияния химического состава и некоторых технологических факторов на качество листопрокатных валков: Автореф. дис....канд. техн. наук: 05.323/ Днепрпетр. металлург. ин–т.Д., 1968.–21 с.
8. Колотило Е.В. Исследование и усовершенствование процессов производства листопрокатных валков из модифицированных чугунов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04; Защищена 14.11.1977; Утв. 26.04.1978–Д., 1977.– 207 с.