



*There are developed the composition and technology of high-strength aluminium cast iron production using cupola heat as an initial cast iron. New cast iron may be used for castings, which are to be of high oxidation, heat and growth resistance.*

Л. З. ПИСАРЕНКО, С. Ф. ЛУКАШЕВИЧ, В. И. ГУРИНОВИЧ, Е. В. САВИЦКАЯ, ОАО «МЗОО»

УДК 621.74

## ВЫСОКОПРОЧНЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ ЧУГУН – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТЕПЛОСМЕН

На ОАО «Минский завод отопительного оборудования» совместно с Физико-техническим институтом НАН Беларуси разработан, защищен патентом РБ № 4436 от 20.12.2001 г. и внедрен в производство жаростойкий высокопрочный алюминиевый чугун (Al–ВЧ). Разработана оригинальная технология получения экономно-легированного Al–ВЧ из чугуна ваграночной плавки для отливок томильных емкостей, предназначенных для отжига белого чугуна на ковкий, а также для получения других отливок.

В томильные емкости из Al–ВЧ загружали отливки из белого чугуна, где в проходной газовой термической печи они проходили предварительный нагрев и две стадии отжига при 1020 – 1035 и 730 – 780 °С в окислительной среде с последующим охлаждением на воздухе. Длительность цикла – 38 ч.

Ранее для отжига белого чугуна на ковкий использовали томильные емкости из хромоникелевой жароупорной стали марки 35Х23Н7. В процессе эксплуатации томильные емкости постепенно выходили из строя и остро возник вопрос поиска более дешевых и недефицитных заменителей дорогой хромоникелевой стали.

Томильные емкости, отлитые из серого чугуна марки СЧ15, выходили из строя из-за трещин и роста через 3 – 5 циклов. Несколько большая стойкость (5 – 7 циклов) наблюдается при использовании томильных емкостей из белого чугуна. Томильные емкости из Al–ВЧ имеют достигнутую термостойкость 20 – 30 циклов и более, при этом показатели ростоустойчивости и окалиностойкости значительно выше, чем у серого или белого чугуна и приближаются к аналогичным показателям для хромоникелевой стали.

Стойкость чугунов при повышенных температурах определяется характером металлической основы (МО), формой и количеством графитных включений (ГВ), свойствами оксидных пленок на поверхности отливок. Пластинчатый графит в чугуне позволяет проникать окислительным газам

в глубь отливки, и чем больше и грубее пластинки графита в структуре чугуна, тем интенсивнее окисление.

Шаровидная форма графита благоприятно сказывается на физико-механических свойствах чугуна, его жаро- и ростоустойчивости из-за изолированности ГВ. Однако КЧ с компактной формой ГВ при 800 – 900 °С окисляются так же быстро, как и серые чугуны. Слабое сопротивление газовой коррозии МО связано с низким содержанием в ней Si.

Известно, что повышение жаростойкости СЧ при ~4,5 % Si связано с появлением в структуре кремнистого феррита. Факт существования только одной металлической фазы исключает возможность графитизации и фазовых превращений при нагреве до высоких температур, что в основном определяет относительно высокую ростоустойчивость таких чугунов. Однако механические свойства их низкие ( $\sigma_B=140 - 180$  МПа) и при высоких температурах, например 800 °С, происходит их дальнейшее снижение до  $\sigma_B=25 - 30$  МПа. Кроме того, повышенное содержание Si уменьшает теплопроводность чугуна, что приводит к низкой стойкости изделий при термоциклических воздействиях из-за появления трещин.

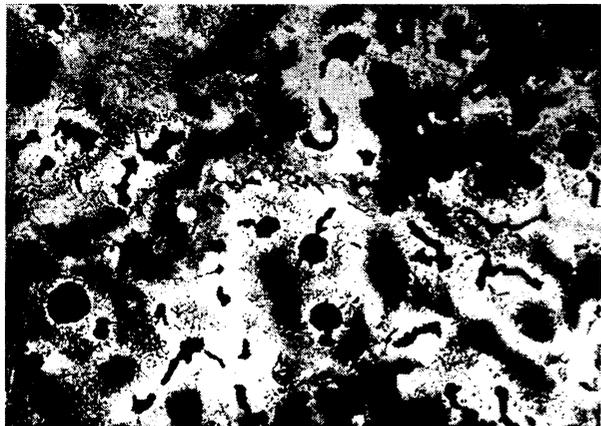
Низкая теплопроводность кремнистых чугунов, наличие слоя SiO<sub>2</sub> в аморфном состоянии под слоем окалины Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – причины ее отслаивания и осыпания при термоциклических воздействиях, что и подтверждается эксплуатацией томильных емкостей из чугуна с повышенным содержанием Si.

Однако наличие тонкого слоя SiO<sub>2</sub> на границе раздела «металл – окалиновый слой» открывает путь к увеличению жаростойкости чугунов. Сопротивление окисляемости МО может быть повышено путем образования на ее поверхности высокостойких оксидных пленок.

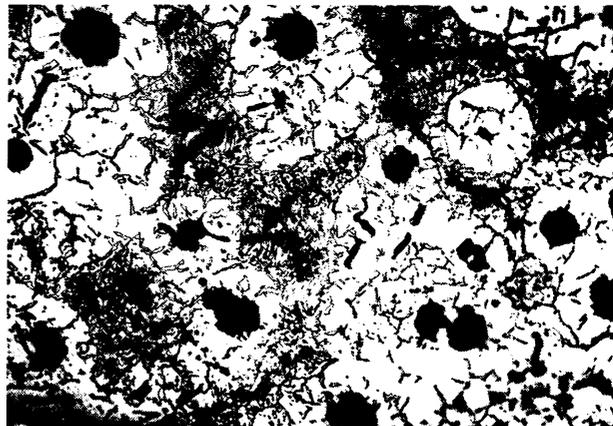
Легирование чугуна такими элементами, как Si, Al, Cr, повышает жаростойкость МО, способствует образованию устойчивых стабильных струк-

тур, исключая процессы графитизации и фазовых превращений при нагреве и, тем самым, способствуя созданию сплавов с большим сопротивлением росту. Создаваемые этими элементами защитные оксидные пленки увеличивают сопротивление окисляемости МО. С ростом содержания в сплаве Al (при постоянном содержании Si, Cr, Mn) кристаллизация происходит таким образом, что в микроструктуре присутствуют наряду с

шаровидным и вермикулярным графитом и ферритом два эвтектоида: обычный перлит, состоящий из пластин феррита и цементита, и перлитоподобная смесь из чередующихся пластин феррита и карбида  $Fe_3AlC_x$  (рисунок, а). По мере увеличения содержания в сплаве Al до 4,5 % в структуре чугуна присутствует только один эвтектоид из феррита и  $Fe_3AlC_x$  (рисунок, б). При этом  $\sigma_B = 440 - 480$  МПа.



а



б

Изменение микроструктуры чугуна, содержащего, %: C=3,0; Si=3,6; Mn=0,6; S=0,01 после сфероидизирующей обработки ваграночного чугуна с добавками: а – 3,6% Al (Г+Ф+П+перлитоподобный Ф+ $Fe_3AlC_x$ ); б – 4,5% Al (Г+Ф+перлитоподобный Ф+ $Fe_3AlC_x$ )

В качестве дополнительных резервов повышения стойкости к окислению при высоких температурах может быть создание условий для окисления графита в монооксид углерода (СО), обладающий восстановительными свойствами по отношению к оксидам железа. Для этого введены в состав сплава элементы Са, Ва, Се, Тi и др., образующие на поверхности защитные слои, которые ограничивают доступ кислорода. В данной работе использовали идею создания защитных слоев на основе сложной шпинели, в состав которой входят остекловывающиеся при 900 °С составляющие. Остекловывающиеся составляющие, пластифицируя оксидный слой, обеспечивают самозалечивание дефектов кристаллической структуры и повышают стойкость при термоциклических воздействиях, т. е. способствуют повышению жаростойкости чугуна.

Аморфный слой на границе раздела «окалина – подложка» – газонепроницаемый барьерный слой, ограничивающий доступ кислорода в отливку и обеспечивающий условия окисления графита в СО.

Исходя из этих предпосылок, а также учитывая требования к структуре, составу подложки, форме и размерам ГВ, а также из экономических соображений, выбрали сплав, легирующие элементы и разработали технологию получения чугуна, обеспечивающую получение ШГ и ВГ для уменьшения дефектности структуры, повышения прочности чугуна и замедления диффузионных процессов при окислении.

Разработанный и освоенный в производстве новый жаростойкий Al-чугун наиболее полно удовлетворяет приведенным выше требованиям. Разработаны ТУ на отливки из этого чугуна и технологическая инструкция на его выплавку и сфероидизирующую обработку с использованием ваграночного чугуна.

Важное значение для получения качественного чугуна имеет созданная на ОАО «МЗОО» конструкция специализированного ковша для сфероидизирующей обработки, защищенная патентом РБ № 647 от 02.05.2002 г. Применение таких ковшей для сфероидизирующей обработки ваграночного чугуна обеспечивает эффективность модифицирования, близкую к «инмолд-процессу».

Из нового чугуна получают томильные емкости для печей отжига белого чугуна на ковкий, отливки кокилей, жаростойкие насадки жаровых труб котелов, поддоны термических печей, элементы печной арматуры, тигли для плавки Al-сплавов, а также другие отливки, от которых требуется повышенная окалиностойкость, термостойкость и ростоустойчивость при эксплуатации в условиях нагрева до температуры 900 °С.

Патентообладатели на договорных началах могут оказать помощь во внедрении в производство нового состава жаростойкого чугуна, принимаются заказы на изготовление отливок.

Контактные телефоны: 254-42-03, 254-61-92.