

There are studied the peculiarities of the problem of using of waste in the form of intrinsic recovery at receiving by casting in the constant ingots modes for the mating rings of turbo-compressors. It is shown, that presence of more than 50 % of the intrinsic recovery in the burden of induction melting allows to decrease the amount of the spheroidizing modifier of type FSMg 7 at production of cast iron with ball-shape graphite up to 1,3–1,4% without impairment of the graphite impurities form.

А. М. БОДЯКО, С. В. ГАЛАГАЕВ, А. А. СУПОНЕВ, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74.043:669.131.7

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЛИТЬЕМ В ПОСТОЯННЫЕ ФОРМЫ ЗАГОТОВОК ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

Введение

Изготовление изделий типа уплотнительных колец турбокомпрессоров из литых заготовок отличается относительно низким коэффициентом использования металла (КИМ). Он составляет 2–5 % для колец диаметром 10–30 мм. При использовании технологии литья непрерывно-циклическим намораживанием (НЦЛН) КИМ выше, чем при литье в кокиль или методом непрерывного горизонтального литья (НГЛ), поскольку в этом случае в отливке формируется полость диаметром до 10–12 мм. Отходы чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ), образующиеся при производстве уплотнительных колец турбокомпрессоров, отличаются повышенным содержанием дорогих и дефицитных легирующих элементов, к которым относятся медь и никель. В результате возникает достаточно актуальная задача повторного использования максимально возможного количества собственного возврата. Известно, что при получении ЧШГ с использованием модификаторов на основе ферросилиция может возникнуть проблема переработки возврата собственного производства по причине “накопления” в нем кремния вследствие необходимости выполнения после каждого переплава операции инокулирования, связанной с вводом в расплав значительного количества высококремнистого ферросплава.

Анализ изменения концентрации кремния в процессе последовательных переплавок

С целью оценки именно этого эффекта влияния случайных факторов, связанных с нестабильностью химического состава компонентов шихты, отклонением от заданных значений режима плавки, неточностями в дозировке шихты и т.п., пренебрегаем. Если предположить, что исходный собственный возврат с концентрацией по кремнию Si_{B0} получен при нулевой плавке, то, считая, что в качестве стального лома использу-

ется низкоуглеродистая сталь с низким содержанием легирующих элементов, после первого переплава получим

$$Si_{B1} = \gamma_M Si_M + \gamma_{пл} (Si_{B0} + Si_{\text{ч}} \text{Ч}), \quad (1)$$

где Si_M – процент кремния, вводимый с модификаторами; $Si_{\text{ч}}$ – содержание кремния в чушковом чугуне, %; γ_M – коэффициент усвоения кремния из модификаторов; $\gamma_{пл}$ – коэффициент усвоения кремния из шихты в процессе плавки; B – доля возврата в шихте; Ч – доля чушкового чугуна в шихте. Полагая коэффициенты усвоения кремния и доли компонентов шихты в процессе последовательных переплавок постоянными, после второго переплава получаем следующее содержание кремния в чугуне:

$$Si_{B2} = \gamma_M Si_M + \gamma_{пл} (Si_{B1} B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) = \\ = \gamma_M Si_M + \gamma_{пл}^2 B (Si_{B0} B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) + \gamma_{пл} (\gamma_M Si_M B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}). \quad (2)$$

Аналогично после третьего переплава содержание кремния в ЧШГ составит

$$Si_{B3} = \gamma_M Si_M + \gamma_{пл}^3 B^2 (Si_{B0} B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) + \\ + \gamma_{пл} (\gamma_M Si_M B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) (1 + \gamma_{пл} B), \quad (3)$$

после четвертого

$$Si_{B4} = \gamma_M Si_M + \gamma_{пл}^4 B^3 (Si_{B0} B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) + \\ + \gamma_{пл} (\gamma_M Si_M B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) (1 + \gamma_{пл} B + \gamma_{пл}^2 B^2). \quad (4)$$

Соответственно после n -го переплава будем иметь

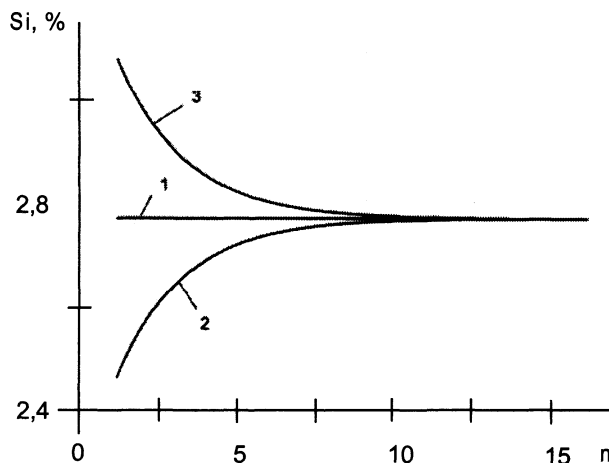
$$Si_{Bn} = \gamma_M Si_M + \gamma_{пл}^n B^{n-1} (Si_{B0} B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) + \\ + \gamma_{пл} (\gamma_M Si_M B + Si_{\text{ч}} \text{Ч}) \frac{1 - (\gamma_{пл} B)^{n-1}}{1 - \gamma_{пл} B}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что после 5–7 последовательных переплавок содержание кремния в возврате стабилизируется, если значения коэффициентов усвоения и относительные доли компонентов шихты остаются постоянными.

В то же время если происходит отклонение γ_m и $\gamma_{пл}$ от некоторых стабильных для данных условий плавки значений, то изменяется и текущее содержание кремния в возврате. Однако после 3–5 переплавов оно практически достигает нового равновесного состояния. Таким образом, наблюдаемое иногда на практике возрастание содержания кремния в процессе последовательных переплавов является следствием возникших устойчивых отклонений от заданных режимов плавки. В нашем случае возрастание содержания кремния наблюдалось при использовании в составе возврата в ряде последовательных переплавов большей доли элементов металлопровода НЦЛН, покрытых достаточно толстым слоем пригара, ввод которых в расплав выполняется обычно при повышенных температурах и сопровождается обильным образованием высококремнистого шлака. В то же время, если используемые при расчете шихты значения γ_m , $\gamma_{пл}$, C и B соответствуют их фактическим величинам, а расчетное содержание кремния в чугуна соответствует $Si_{в0}$, то содержание кремния в ЧШГ в процессе переплавов остается постоянным и равным $Si_{в0}$ (см. рисунок, кривая 1). Если же содержание кремния в исходном возврате отличается от расчетного в меньшую (кривая 2) или большую (кривая 3) сторону, в данном случае на 0,5% при $B = 62\%$, то через 5–6 переплавов эта разница не превысит 0,03%. Таким образом, явление “накопления” кремния при производстве отливок из ЧШГ может проявиться при устойчивом отклонении от заданного технологического процесса и отсутствии соответствующей корректировки. В результате, скорее, имеет место проблема переработки высококремнистого возврата как такового и связанное с этим изменение традиционного состава шихты.

Разработка технологии плавки ЧШГ на основе собственного возврата

Обычно содержание кремния в ЧШГ марок ВЧ50 – ВЧ80 не должно превышать 2,6–2,9 %. Исходя из приведенных выше значений КИМ при изготовлении уплотнительных колец турбокомпрессоров из литых заготовок, полученных в постоянных литейных формах, содержание воз-



Изменение содержания кремния в процессе последовательных переплавов в зависимости от исходной его концентрации в возврате (доля возврата в шихте 62%): 1 – при $Si_{в0} = 2,75\%$; 2 – 2,25; 3 – при $Si_{в0} = 3,25\%$

врата в шихте не должно быть ниже 60–70%. С учетом того, что с модификатором типа ФСМг7 (при вводе его в количестве 2% от массы расплава в ковше) в чугун вносится около 1,3% Si, вторым по массе компонентом шихты становится сталь, а чушковый литейный чугун будет составлять не более 7% от завалки. При этом около 0,9% углерода нужно будет вводить в чугун в виде карбюризаторов. В результате с учетом химического и гранулометрического состава шихты должна измениться и технология плавки.

Применительно к технологии получения литых заготовок из ЧШГ в постоянных формах можно выделить следующие основные виды собственного возврата: образующиеся на литейном участке (литники, выплески, сливы в изложницы, литейный брак); образующиеся на механическом участке (технологическая обрезь, брак (скрытый литейный и обработки резанием), стружка). По размерам отходы можно разделить на дисперсные (стружка) и кусковые (все остальные). Соотношение между различными видами отходов, полученное при проведении экспериментальных работ по литью из ЧШГ заготовок малого диаметра, представлено в таблице.

Вид отходов	Структура отходов, %		
	Кокиль	НЦЛН	НГЛ
Дисперсные	55–65	65–70	80–90
Кусковые	35–45	30–35	10–20
В том числе литники и сливы в изложницы	20–25	10–15	5–10

Эксперименты по отработке технологии плавки ЧШГ на основе собственного возврата проводили в индукционной печи ИСТ-0,16 на литей-

ном участке ЛПКМ ИТМ НАН Беларуси. В состав шихты в качестве постоянных компонентов входили чугун чушковый Л5, Л6, П1, П2 (10–50%

от массы шихты), сталь (10–15% от массы шихты) и возврат (остальное). Доведение химического состава чугуна до требуемого (2,9–3,2% С; 2,4–2,8% Si; 0,4–0,5% Mn; 0,1–0,15% Cr; 0,3–0,5% Cu; 0,2–0,3% Ni) производили добавками боя электродного графита, ферросилиция ФС45, меди и никеля. Содержание остальных элементов определялось их концентрацией в компонентах шихты. Плавку во всех случаях начинали на твердой завалке из чушкового чугуна и кусковых компонентах возврата, одновременно с которыми загружали графит и при необходимости ФС45. Варьируемым параметром являлось количество возврата в шихте, при этом доля дисперсной составляющей в ней закономерно возрастала с повышением содержания возврата. Эксперименты показали, что начало плавки необходимо вести на кусковых компонентах шихты, загружая сразу 45–55 кг (30–35% от емкости тигля). Попытки введения дисперсных составляющих шихты (стружки) в промежутки между кусковыми компонентами не привели к ускорению разогрева завалки, а, наоборот, усложнили операции осаживания шихты в процессе ее плавления. Загрузку стружки целесообразно начинать после завершения плавления всех кусковых компонентов, в том числе стали, и создания некоторого перегрева расплава над ликвидусом. Завалку стружки надо проводить небольшими порциями (до 5% от номинальной емкости тигля) ввиду ее малой насыпной плотности. Для снижения угара легирующих элементов разогрев и плавление стружки вели на достаточно высокой мощности, обеспечивая ее быстрое погружение в расплав. На основании проведенных экспериментальных плавков можно утверждать, что зависимость обобщенного показателя эффективности переплава от доли возврата в шихте имеет вид параболы, координата максимума которого приходится на 60–65% возврата. Такой характер зависимости определяется тем, что увеличение количества возврата в шихте ведет к снижению расхода легирующих элементов на подшихтовку и, как следствие, к снижению стоимости расплава. Однако поскольку доля кусковой фракции в возврате ограничена 15–45% (в зависимости от применяемой технологии литья), то увеличение его количества сверх этого предела ведет к закономерному возрастанию доли дисперсной составляющей и, как след-

ствие, к увеличению продолжительности плавки и расхода электроэнергии. Во всех случаях после завершения плавления шихты расплав перегревали до 1490–1530 °С, вводили корректирующие добавки меди и никеля и выдерживали его при этой температуре 10–15 мин. Сфероидизирующее модифицирование выполняли в обычном разливочном ковше при выпуске металла из печи с использованием распространенного модификатора ФСМг7 фракцией 2–5 мм в количестве 1,9–2,1% от массы обрабатываемого расплава. Эксперименты показали, что повторные переплавы в индукционной печи и модифицирование магниевой лигатурой способствуют рафинированию собственного возврата. ЧШГ, выплавленные на основе 60–65% возврата с использованием карбюризаторов с низким содержанием серы и высококачественных чушковых чугунов, содержали менее 0,015% S. Низкая концентрация серы и наличие до 0,05% остаточного Mg в собственном возврате позволяют снизить количество используемого модификатора до 1,3–1,4% без ухудшения формы включений графита. В результате при 60–65% возврата в шихте и верхнем пределе содержания кремния в чугуне на уровне 2,7–2,8% появляется возможность использовать в шихте чушковый литейный чугун марки Л6 в количестве 25–30% от массы завалки при незначительной корректировке содержания углерода (на 0,1%) за счет ввода карбюризатора. Это существенно упрощает технологию плавки и позволяет повысить стабильность качества расплава, поскольку значительно снижается доля стали и карбюризаторов в шихте.

Выводы

Таким образом, явление “накопления” кремния при производстве отливок из ЧШГ может проявиться при устойчивом отклонении от заданного технологического процесса и отсутствии его соответствующей корректировки. Увеличение доли высококремнистого возврата в шихте при производстве литых заготовок из ЧШГ требует изменения ее состава, в частности перехода с литейных чугунов Л4, Л5 на низкокремнистый Л6 или даже на передельные П1, П2. При использовании более 50% собственного возврата в шихте индукционной плавки появляется возможность снизить количество сфероидизирующего модификатора до 1,3–1,4%.