

УДК 669.162.266:669.132.4

Л.П.Курилова, А.С.Булахтин, В.Г.Кисляков, А.Л.Руденко, Н.Т.Ткач

О РЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА ОТ ВЫПУСКА ИЗ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ДО СЛИВА В КОНВЕРТЕР

Показано, что содержания серы в чугуне изменяется в зависимости от характеристик сформировавшихся ковшевых шлаков в процессе выпуска чугуна из доменной печи, транспортировки, переливов и десульфурации чугуна диспергированным магнием. На результат процесса десульфурации отрицательное влияние может оказывать сформировавшийся в ковше низкоосновный окислительный шлак. Наличие в чугуне остаточного магния и тщательное удаление шлака с поверхности расплава снижает вероятность развития процесса ресульфурации.

Десульфурация чугуна, ковшевой шлак, магний, сера, ресульфурация

Современное состояние вопроса. Чугун, начиная от выпуска из доменной печи и до слива в конвертер, практически постоянно находится под слоем покровного ковшевого шлака. В системе «чугун–шлак» в зависимости от условий может происходить межфазное перераспределение серы как в сторону понижения, так и в сторону повышения (ресульфурации) содержания серы в чугуне на следующих этапах:

- при выпуске чугуна из доменной печи;
- при транспортировании;
- при переливах чугуна (из чугуновозного ковша в заливочный, в миксер, из миксера в заливочный ковш).

Развитие процессов ресульфурации на каждом из этапов имеет свои особенности и определяющие термодинамические и кинетические факторы. В технологической цепи доменная печь–внепечная обработка чугуна–конвертер наиболее существенные изменения химического и фазового состава шлака происходят в процессе выпуска чугуна из доменной печи в чугуновозный ковш и в результате обработки чугуна на установке десульфурации [1–3].

Цель исследования. Исследование проведено с целью определения зависимости содержания серы в чугуне от характеристик ковшевых шлаков, которые формируются на пути от выпуска чугуна из доменной печи до слива его в конвертер, а также оценки возможности предотвращения ресульфурации чугуна.

Изложение основных материалов исследования. Шлак, формирующийся в чугуновозном ковше при наливке чугуна из доменной печи, представляет собой смесь металла (20–50 %) в виде корольков, заплесков, остатков коржей, шлака (46–78 %) и графита (2,2–4,6 %) в виде спели. Количество корольков в ковшевом шлаке колеблется в широких пределах, достигая в среднем 30 %. Находясь в объеме высокосернистого

шлака и имея развитую поверхность, корольки насыщаются серой, причем, чем меньше размер корольков, тем выше в них содержание серы, что видно из табл.1. Корольки, как и шлак, могут быть источниками поступления серы в металл.

Таблица 1. Содержание серы в корольках различной фракции в ковшевом шлаке

№ пробы	Содержание серы в корольках, %			Содержание серы в шлаке, % Основность шлака
	≤1 мм	>1–3 мм	4–6 мм	
1	не опред.	2,04	0,85	<u>2,21–2,30</u> 0,48
2	–	1,82	0,80	
3	–	1,81	0,61	
4	–	0,62	0,045	<u>1,15</u> –
5	0,17	0,70	0,050	–

Ковшевые шлаки, как правило, сухие, рассыпчатые или в виде корки, в отдельных случаях под коркой имеются участки жидкого шлака, поэтому с точки зрения межфазного диффузионного перераспределения серы ковшевые шлаки не активны. Их активность увеличивается во время переливов (из ковша в ковш, в миксер, в заливочный ковш), когда происходит интенсивное перемешивание металла со шлаком, в результате чего увеличивается удельная реакционная поверхность шлака и уменьшается вследствие нагрева его вязкость. Такие кинетические условия могут быть благоприятными для ресульфурации чугуна (при невысокой основности шлака).

Термодинамическая вероятность обратного перехода серы из шлака в металл определяется химическим составом шлака и соотношением количества серы в шлаке и количества серы в чугуне – величиной коэффициента распределения серы $L_S=(S)/[S]$. Чем больше отклонение фактического коэффициента ($L_{ф}$) от равновесного ($L_{р}$), тем больше при благоприятной кинетике вероятность процесса ресульфурации.

Изучение химического состава ковшевых шлаков на ряде металлургических предприятий показало, что ковшевые шлаки отличаются от доменных (табл.2). Попадающий с чугуном в ковш во время выпуска доменный шлак разбавляется продуктами размыва желоба доменной печи и разрушения футеровки ковша (в основном, SiO_2), а также оксидами железа и марганца, образующимися от окисления открытой поверхности расплава на желобе и струе металла при наполнении ковша. В результате в ковше образуется кислый шлак с более низкой основностью (0,07–0,64), чем доменный (1,19–1,46). Снижение основности шлака сопровождается уменьшением серы в шлаке и увеличением её количества в чугуне. Прирост содержания серы в чугуне в чугуновозном ковше в результате ресульфурации составляет 0 – 0,017 % (табл.2). Как видно из таблицы, количество перешедшей из шлака в чугун серы тем больше, чем больше

количество шлака в ковше, ниже его основность и содержание серы в чугуне.

Таблица 2. Химический состав чугуна и шлака на желобе доменных печей (числитель) и в чугуновозных ковшах (знаменатель) на различных предприятиях [2]

Металлургический комбинат	Содержание компонента в неметаллической части шлака, %							Отношение CaO/SiO ₂	Содержание серы в чугуне, %	Прирост серы в чугуне, %
	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	C	S			
им.Петровского	$\frac{35,06}{64,13}$	$\frac{0,72}{5,88}$	$\frac{51,24}{14,00}$	$\frac{2,87}{1,15}$	$\frac{8,83}{3,00}$	$\frac{0,71}{7,05}$	$\frac{2,52}{0,30}$	$\frac{1,46}{0,22}$	$\frac{0,029}{0,041}$	0,012
им. Дзержинского	$\frac{37,96}{65,92}$	$\frac{1,04}{8,08}$	$\frac{48,26}{10,94}$	$\frac{5,15}{2,16}$	$\frac{7,34}{4,73}$	$\frac{0,66}{3,35}$	$\frac{2,01}{0,17}$	$\frac{1,27}{0,17}$	$\frac{0,025}{0,032}$	0,007
«Криворожсталь»	$\frac{35,86}{41,50}$	$\frac{0,71}{0,67}$	$\frac{48,36}{42,45}$	$\frac{4,34}{3,77}$	$\frac{8,94}{9,67}$	$\frac{0,70}{0,69}$	$\frac{2,25}{1,34}$	$\frac{1,35}{1,02}$	$\frac{0,074}{0,074}$	0
им. Ильича	$\frac{37,30}{49,38}$	$\frac{0,57}{1,73}$	$\frac{46,91}{31,46}$	$\frac{5,35}{4,69}$	$\frac{7,00}{7,62}$	$\frac{0,67}{1,23}$	$\frac{2,34}{0,55}$	$\frac{1,26}{0,63}$	$\frac{0,024}{0,037}$	0,013
«Запорожсталь»	$\frac{38,87}{58,36}$	$\frac{1,30}{6,62}$	$\frac{46,16}{19,06}$	$\frac{4,57}{2,46}$	$\frac{6,57}{5,02}$	$\frac{0,46}{1,20}$	$\frac{1,69}{0,29}$	$\frac{1,19}{0,32}$	$\frac{0,036}{0,040}$	0,004
	$\frac{39,04}{67,88}$	$\frac{0,45}{2,68}$	$\frac{48,14}{20,66}$	$\frac{4,66}{2,21}$	$\frac{6,74}{3,44}$	$\frac{0,56}{0,32}$	$\frac{1,67}{0,30}$	$\frac{1,24}{0,22}$	$\frac{0,058}{0,075}$	0,017
Челябинский, [7]	$\frac{42,50}{19,70}$	$\frac{—}{50}$	$\frac{41,50}{1,40}$	$\frac{6,50}{1,00}$	$\frac{8,50}{2,80}$	н/д	$\frac{0,45}{—}$	$\frac{0,98}{0,07}$	н/д	н/д

Исследования, выполненные на меткомбинате «Азовсталь», подтвердили такую закономерность и показали, что при наполнении первого по наливу ковша (в начале выпуска чугуна из доменной печи) содержание серы на желобе было высоким – в среднем 0,040 %, и в ковше не изменилось (среднее 0,039%). При наполнении второго ковша содержание серы на желобе было меньшим (в среднем 0,021 %), а количество шлака в ковше больше (более 100 мм), чем в первом. Увеличение количества шлака во втором по наливу ковше и коэффициента распределения серы способствовали переходу серы из шлака в чугун. Содержание серы во втором по наливу ковше было на 0,012 % больше, чем в пробе чугуна, отобранной на желобе доменной печи. В пределах одного выпуска в среднем по 182 ковшам содержание серы в чугуновозных ковшах после их наполнения в доменном цехе на 0,010 % больше, чем на желобе доменной печи.

При транспортировании чугуна в чугуновозных ковшах из доменного цеха на установку десульфурации шлак на поверхности металла охлаждается, увеличивается его вязкость, и, несмотря на имеющуюся термодинамическую возможность, заметной ресульфурации чугуна не происходит из-за отсутствия надлежащих кинетических условий. Особое значение приобретает вопрос ресульфурации чугуна после внепечного обессеривания, в результате которого содержание серы в чугуне значительно уменьшается, а в шлаке возрастает, что приводит к увеличению фактического коэффициента распределения серы и сдвигу межфазного распределения серы в сторону возможного её увеличения в металле.

В процессе десульфурации чугуна инжестированием гранулированного магнезия происходит изменение химического состава и физических характеристик ковшевого шлака. В табл.3 приведены некоторые данные, характеризующие изменение состава шлака при десульфурации чугуна магнием. Как видно, химический состав шлака после десульфурации изменяется в широких пределах и зависит как от состава и количества шлака в ковше до десульфурации, так и от глубины десульфурации. Содержание серы в чугуне в результате обработки может уменьшаться до 0,001–0,002 %, в шлаке количество серы после десульфурации может достигать 4–6 %, вследствие чего фактический коэффициент распределения L_s значительно возрастает – с 16,7–55,3 до 147–954.

Таблица 3. Некоторые характеристики ковшевых шлаков до (числитель) и после (знаменатель) десульфурации чугуна магнием [2]

Предприятие	Содержание серы, %		Отношение $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	Отношение $\frac{\text{CaO}+\text{MgO}+\text{MnO}}{\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3}$	Отно- шение (S)/[S]
	в чугуне	в шлаке			
«Запорожсталь»	<u>0,052</u>	<u>1,06</u>	<u>0,58</u>	<u>0,63</u>	<u>20,3</u>
	0,024	3,53	0,62	0,94	147
им. Ильича	<u>0,038</u>	<u>1,43</u>	<u>0,84</u>	<u>0,99</u>	<u>37,6</u>
	0,006	3,81	0,73	1,15	638
«Азовсталь»	<u>0,026</u>	<u>0,80</u>	<u>0,54</u>	<u>0,63</u>	<u>30,8</u>
	0,003	2,45	<1,0	<1,1	817
«Криворожсталь»	<u>0,069</u>	<u>1,07</u>	<u>0,76</u>	<u>0,76</u>	<u>16,7</u>
	0,019	5,89	0,71	1,05	414

Химический состав шлака после десульфурации чугуна магнием изменяется, в основном, за счет прихода в находящийся в ковше до обработки кислый ковшевой шлак продуктов реакции десульфурации и окисления металла (FeO) во время барботажки обрабатываемой ванны. Содержание серы в шлаке после десульфурации увеличивается в 1,3–15 раз, содержание MgO – в 1,5–8,5 раз, FeO – в 1,1–3 раза. Изменение химического состава шлака тем значительнее, чем меньше его количество

до обработки и ниже его основность. Основность шлака CaO/SiO_2 принципиально не изменяется, так как шлак в ковше после десульфурации остается кислым. В некоторых случаях, когда приход MgO в шлак значителен, основность шлака $\left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \right)$ становится

больше единицы, и серопоглотительная способность шлака повышается. С увеличением MgO в шлаке связывают увеличение его вязкости и повышение температуры плавления на $40\text{--}60^\circ$ за счет образования в шлаке тугоплавких соединений типа форстерита ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) и монтичеллита ($\text{CaO}, \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) [3]. Наблюдения показали, что после обработки чугуна магнием имеющаяся в ковше в небольшом количестве жидкая часть шлака становится более густой, твердая часть – более рассыпчатой. Это препятствует диффузионному переходу серы из слоя шлака в низкосернистый металл.

При транспортировании обессеренного магнием чугуна в чугуновозном ковше от установки десульфурации до миксерного отделения существенных изменений содержания серы в чугуне не установлено. Из 49 контролируемых ковшей с обессеренным чугуном в 14 ковшах через $0,7\text{--}2,7$ часа содержание серы было ниже на $0,001\text{--}0,002\%$, в 14 ковшах – на $0,001\text{--}0,002\%$ выше и в 21 ковше содержание серы не изменилось.

В миксере межфазному перераспределению серы способствует уменьшение вязкости шлака вследствие нагрева его при перемешивании с чугуном, сливаемым в миксер, и нагрева шлака газовой атмосферой миксера, имеющей температуру порядка $1100\text{--}1250^\circ\text{C}$, многократное увеличение межфазной поверхности «шлак–металл» при наполнении миксера, низкая основность ($0,44\text{--}0,71$) высокосернистых миксерных шлаков, а также значительное превышение фактического коэффициента распределения серы (L_f) над равновесным (L_p) (табл.4). Так, для обессеренного чугуна, находящегося в миксере, отклонение (ΔL_S) фактического коэффициента распределения серы от равновесного на порядок больше ($\Delta L_S = 80\text{--}375$), чем для обычного чугуна ($\Delta L_S = 2\text{--}12$), что, наряду с указанными выше кинетическим факторами, свидетельствует о возможности обратного перехода серы в миксере из шлака в чугун, особенно низкосернистый.

В табл.5 приведены данные о содержании серы в обычном необессеренном чугуне на желобе доменной печи и в пробах, отобранных со струи при сливе чугуна из миксера в заливочный ковш. Из табл.5 видно, что за период от выпуска чугуна из доменной печи до слива из миксера содержание серы в обычном необессеренном чугуне увеличилось на $0,006\text{--}0,008\%$ (в среднем на $0,007\%$).

При особо глубоком обессеривании чугуна (до $0,002\text{--}0,003\%$ S, табл.6), транспортировании и переливе его с небольшим количеством

шлака (5–30 мм) из чугуновозного ковша в заливочный, минуя миксер, содержание серы практически не изменилось (увеличилось на 0,0005 % – в пределах ошибки анализа). Содержание магния в чугуне за это же время уменьшилось вдвое – с 0,0380 (0,0402) % до 0,0210 (0,0195) %, соответственно. Основное уменьшение магния произошло при переливе чугуна в заливочный ковш.

Таблица 4. Химический состав шлака, отобранного из миксера при работе на обессеренном и обычном чугуне

Содержание, %							CaO SiO ₂	Коэффициент распределения серы (L_s)		
SiO ₂	FeO	CaO	MgO	MnO	C	S		равно- весный	факти- - ческий	ΔL_s
обессеренный чугун										
33,35	3,90	17,52	17,82	4,11	4,56	2,36	0,52	19	394	375
30,70	8,58	17,68	15,93	8,20	3,48	5,60	0,57	130	336	206
32,58	9,84	16,48	17,20	5,33	2,94	2,26	0,50	30	187	157
39,62	5,19	17,30	11,77	6,85	3,45	2,77	0,44	7	87	80
32,90	3,01	23,40	11,32	3,45	4,50	1,54	0,71	16	257	241
26,98	2,05	17,60	14,16	3,38	12,2	2,03	0,65	29	300	271
обычный чугун										
48,18	2,61	27,02	6,75	5,06	0,12	0,135	0,56	3	5	2
44,72	1,44	28,09	8,50	3,81	1,04	0,268	0,63	4	9	5
39,12	0,71	27,54	7,44	3,31	1,56	0,548	0,70	6	18	12

Таблица 5. Изменение содержания серы в обычном чугуне в миксере

Период наблюдений, сутки	Количество слитых в миксер ковшей	Содержание серы, %, среднее		Прирост содержания серы, % абс.
		на желобе	в миксерном чугуне (со струи из миксера)	
2	82	0,0212	0,0272	0,006
3	71	0,0224	0,0284	0,006
2	61	0,0236	0,0318	0,008
Среднее		0,0223	0,0291	0,007

Если низкосернистый чугун (среднее содержание серы 0,0043 %, табл.7) переливали дважды – в миксер, а затем в заливочный ковш, то и в этом случае ресульфурации не наблюдали. Напротив, содержание серы в чугуне в заливочном ковше было на 0,0005 % ниже (0,0038 %), чем после обработки его магнием (0,0043 %). Содержание магния в сливаемом в миксер чугуне было на уровне содержания магния после десульфурации. За время транспортирования чугуна оно не изменилось, а в миксере содержание магния уменьшилось значительно – с 0,0418 до 0,0151 %.

По результатам промышленных экспериментов установлена взаимосвязь содержания магния в обессеренном чугуна и изменения содержания серы при выдержке чугуна в миксере. Содержание магния в чугун в количестве более 0,006–0,008 % не только предотвращало возврат серы в чугуне, но и оказывало некоторое десульфурующее воздействие на расплав. Если содержание магния в чугуне было менее 0,005 %, то наблюдалась ресульфурация чугуна.

Таблица 6. Изменение содержания серы и магния в особо низкосернистом чугуна после его обработки магнием в чугуновозных ковшах, скачивания шлака, перелива в заливочный ковш и повторного очищения от шлака [4].

№ эксперимента	№ ковша	Содержание серы в чугуна, %				Содержание магния в чугуна, %				Толщина слоя шлака в чугуновозных ковшах, мм	
		в чугуновозном ковше		в заливочном ковше		в чугуновозном ковше		в заливочном ковше		до скачивания шлака	после скачивания шлака
		после вдувания магния	после скачивания шлака	после налива чугуна из доменных ковшей	после скачивания шлака	после вдувания магния	после скачивания шлака	после налива чугуна из доменных ковшей	после скачивания шлака		
1	1–1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,034	0,028	0,021	0,0165	100	20
	1–2	0,003	0,003			0,041	0,037			80	30
	1–3	0,003	0,003			0,047	0,035			100	10
	1–4	0,002	0,002			0,030	0,030			120	20
	среднее	0,0025	0,0025	0,002	0,002	0,038	0,032	0,0210	0,0165	100	20
2	2–1	0,002	0,002	0,003	0,002	0,035	0,028	0,0195	0,0195	80	10
	2–2	0,003	0,003			0,052	0,052			40	10
	2–3	0,002	0,001			0,050	0,040			120	5
	2–4	0,003	0,003			0,024	0,021			80	5
	среднее	0,0025	0,0023	0,003	0,002	0,0402	0,0352	0,0195	0,0195	80	8

Защитная роль растворенного в чугуна магния в предотвращении процесса ресульфурации установлена и при обработке чугуна гранулированным магнием в 420–тонных миксерных ковшах. По представленным в табл.8 данным об изменении содержания серы и магния в чугуна в период выдержки в течение 0,5 часа, 1,5 часа и 2–х часов в миксерном ковше после обработки чугуна магнием можно заключить, что, несмотря на высокое содержание серы в шлаке после десульфурации (1,79–3,84%), большое значение фактического коэффициента распределения серы между шлаком и чугуном (179–1280), более благоприятные, чем в открытом ковше, кинетические условия, увеличение содержания серы в чугуна после выдержки было незначительным (от 0 до 0,001 %), что связано с действием растворенного в чугуна магния, предотвращающего переход серы из шлака в металл.

Таблица 7. Среднесуточные данные изменения содержания серы и магния в обессеренном чугуна на этапе после десульфурации чугуна до слива в заливочный ковш

№ суток эксперимента	Содержание серы в чугуна, %			Содержание магния остаточного в чугуна, %			
	в доменных ковшах		в заливочном ковше	в доменных ковшах		на струе из миксера	в заливочном ковше
	непосредственно после десульфурации	перед сливом в миксер		непосредственно после десульфурации	перед сливом в миксер		
1	0,0050	0,0050	0,0051	0,032	0,032	0,009	0,006
2	0,0063	0,0053	0,0050	0,033	0,033	0,006	0,005
3	0,0050	0,0047	0,0032	0,036	0,033	0,014	0,009
4	0,0041	0,0040	0,0032	0,044	0,041	0,014	0,013
5	0,0036	0,0037	0,0034	0,050	0,049	0,017	0,013
6	0,0030	0,0034	0,0030	0,052	0,050	0,024	0,017
Среднее за 6 суток	0,0043	0,0043	0,0038	0,0422	0,0418	0,0151	0,0110

Количество перешедшей из шлака в металл серы, как показали промышленные исследования, зависит от количества шлака. В двух циклах в стационарный миксер сливали чугун со шлаком (1,8 % от массы чугуна) и с удалением шлака до количества 0,48 % от массы чугуна. Данные об изменении S и Mg в чугуна, слитом в миксер, а затем в заливочный ковш со всем шлаком и с удалением 80 % шлака, приведены в табл.9. Видно, что при сливе чугуна со шлаком в количестве 1,8 % содержание серы в миксере повысилось в среднем на 0,0036 %, в заливочном ковше – на 0,0040 %, суммарно – на 0,0076 %. При уменьшении количества шлака до 0,48 % от массы чугуна содержание серы в чугуна в миксере повысилось лишь на 0,0014 %, в заливочном ковше – на 0,0003 %, общее повышение содержания серы в чугуна составило 0,0017%.

Таблица 8. Изменение содержания серы в чугуна и шлаке некоторых обработок чугуна гранулированным магнием в 420 т миксерном ковше [5]

№ эксперимента	Содержание серы в чугуна, %		Содержание магния в чугуна, %	Содержание серы в ковшевом шлаке, %		(S) [S]		Длительность выдержки чугуна в миксерном ковше, час.-мин.	Содержание серы перед сливом чугуна из миксерного ковша, %	Изменение содержания серы в чугуна за время выдержки в миксере, %
	до обработки	после обработки		до обработки	после обработки	до обработки	после обработки			
8	0,021	0,005	0,0140	0,40	2,00	19	400	0–30	0,006	+0,001
11	0,033	0,010	0,0100	0,30	1,79	9	179	2–07	0,010	0
12	0,011	0,003	0,0320	0,15	3,84	14	1280	1–29	0,004	+0,001

Таблица 9. Изменение содержания серы в чугуна в миксере и заливочном ковше в зависимости от количества шлака [6]

Количество шлака, % от массы чугуна	Содержание серы, % / содержание магния, %			Прирост серы, % абс.	Содержание серы в шлаке, %
	чугуновозный ковш	миксер	заливочный ковш		
1,8	<u>0,0149</u> 0,0136	<u>0,0172</u> 0,0045	<u>0,0225</u> 0,0033	0,0076	2,4
0,48	<u>0,0137</u> 0,0108	<u>0,0151</u> 0,0034	<u>0,0151</u> 0,0025	0,0014	2,3

Для конкретных условий заливочного ковша определено предельное количество шлака, которое не приводит к увеличению количества возвратившейся в чугун серы. Из графика рисунка следует, что для чугуна с содержанием серы 0,020–0,030 % количество шлака, при котором наблюдалась максимальная ресульфурация ($\Delta S = 0,005$ %), составило 160–200 мм. Дальнейшее увеличение количества шлака не изменило величины ΔS , что, по-видимому, связано со значительным возрастанием диффузионных затруднений процессов межфазного перераспределения серы, протекающих в отдаленных от металла слоях шлака.

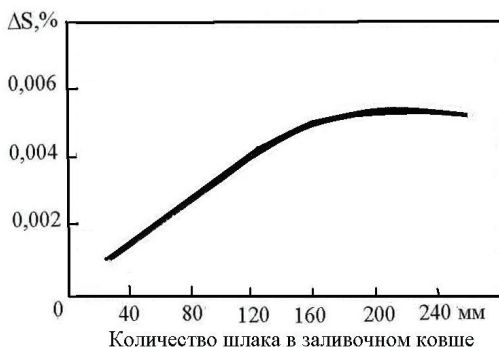


Рисунок. Зависимость прироста содержания серы в чугуна (ΔS , % абс.) от количества шлака в заливочном ковше при содержании серы в чугуна 0,020–0,030%

Заключение. Таким образом, чугун от выпуска из доменной печи до слива в конвертер находится под слоем кислого шлака, что может способствовать обратному переходу серы из шлака в чугун. Наличие избыточного магния в обессеренном чугуна и загущение шлака образующимися после десульфурации соединениями магния препятствует ресульфурации металла. Для предотвращения ресульфурации чугуна необходимо тщательное удаление шлака с поверхности чугуна.

1. *Особенности* шлакообразования в ковшах с жидким чугуном. / Н.Т.Ткач, А.Ф.Шевченко, Д.В.Костенко, П.С.Лындя // Сб. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2004. – № 8. – С.168–175.
2. *Воронова Н.А., Ткач Н.Т.* Содержание серы в доменном чугуне на металлургических заводах страны // Тематический отраслевой сборник № 7 «Производство стали в кислородно–конвертерных и мартеновских цехах». М.: Металлургия, 1978. – С.44–48.
3. *Химический* и микрорентгеноспектральный анализ чугуна и шлака до и после десульфурации чугуна магнием / Н.Т.Ткач, Ю.С.Шмелев, Л.П.Курилова и др. // Библ. указатель ВИНТИ «Депонир. научные работы». – 1981. – № 6. – С.141.
4. *Получение* и использование глубоко обессеренного чугуна при выплавке чистой стали / А.Ф.Шевченко, Д.В.Гулыга, М.А.Поживанов и др. // Библ. указатель ВИНТИ «Депонир. научные работы». – 1981. – № 11. – С.82.
5. *Десульфурация* чугуна в 420–тонных передвижных миксерных ковшах / Н.А.Воронова, А.С.Вергун, И.М.Лафер и др. // Бюллетень ЦНИИЧМ. – 1983. – № 8. – С.46–47.
6. *Повышение* качества передельного чугуна путем очищения его от шлака / Д.В.Гулыга, Н.А.Воронова, П.И.Стовпченко и др. // Сталь. – 1983. – № 6. – С.30–31.
7. *Скачивание* шлака из чугунозаливочного ковша перед заливкой чугуна в конвертер / В.Н.Артюшов, Д.Н.Ахметов, О.К.Токовой и др. // Металлург. – 2009. – № 7. – С.41–43.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук А.Ф.Шевченко

Л.П.Курилова, А.С.Булахтін, В.Г.Кисляков, О.Л.Руденко, Н.Т.Ткач

Про ресульфуратию чавуну від випуску з доменної печі до слива його у конвертер

Показані зміни вмісту сірки в чавуні залежно від характеристик ковшових шлаків у процесі випуску чавуну з доменної печі, транспортування, переливів і десульфуратії чавуну диспергованим магнієм. Низькоосновний окислювальний шлак може негативно впливати на результат процесу десульфуратії. Однак наявність залишкового магнію в чавуні й ретельне видалення шлаку з поверхні розплаву знижує ймовірність розвитку процесу ресульфуратії.