

Здесь есть над чем поработать, поскольку при таком подходе возрастает роль профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений региона, среди которых ведущим, по праву, является Донецкий национальный технический университет, физико-металлургическому факультету которого в следующем году исполнится 80 лет. Авторитет выпускников ДОННТУ известен широкому кругу специалистов и неоднократно подтверждался на высоком государственном уровне. Так, в 2002 г. Указом Президента Украины Л.Д.Кучмы авторы работы «Разработка и реализация энерго- и ресурсосберегающих технологических циклов производства конкурентоспособных металлоизделий на основе комплекса печей-ковшей и машин непрерывного литья заготовок» удостоены звания Лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники. Среди авторов шесть представителей Донецкой области: ректор Донецкого национального технического университета проф., д.т.н. Минаев А.А.; профессор Донецкого национального технического университета проф., д.т.н. Смирнов А.Н.; проректор Донецкой Академии управления чл.-корр. НАНУ, проф., д.т.н. Пилюшенко В.Л.; президент АО ДАНКО Момот С.В.; главный конструктор АО НКМЗ, к.т.н. Белобров Ю.Н.; председатель правления — генеральный директор ОАО «Донецкий металлургический завод» Рыженков А.Н. Примечательно то, что все они — выпускники Донецкого национального технического университета.

В металлургическом комплексе Донбасса происходят серьезные прогрессивные перемены. Это позволяет говорить о бесценном позитивном опыте, накопленном нашими предпринимателями, промышленниками и учеными. Видимо, едва ли не главным фактором становится экономическая и инженерная способность управляющих компаний к выполнению долгосрочных инвестиционных проектов. Наиболее актуальным представляется вопрос привлечения инвесторов. И здесь одним металлургам и машиностроителям не справиться. Нужна действенная помощь государства, заключающаяся в повышении инвестиционной привлекательности промышленных объектов. Реализация такой стратегии силами украинских машиностроителей, металлургов и финансистов послужит серьезным толчком для развития отечественного металлургического и машиностроительного комплексов, а также сопряженных отраслей науки и народного хозяйства.

© Смирнов А.Н., 2003

ЯРОШЕВСКИЙ С.Л. (ДОННТУ), БАБИЧ А.И. (ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ, ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ААХЕНА, Г. ААХЕН, ГЕРМАНИЯ), НИКИШИН С.Ю. (ДОННТУ), КУЗНЕЦОВ А.М. (ОАО «ЕМЗ»), КУЗИН А.В. (ДОННТУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛАКА — ОДИН ИЗ ВАЖНЕЙШИХ КОМПОНЕНТОВ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДОМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

На основании литературных данных, опыта работы современных доменных цехов установлено, что оптимальные шлаки с точки зрения технологии имеют основность (CaO/SiO_2) 0,9–1,1 при содержании 7–11% MgO и 10% Al_2O_3 . Показано, что минимизация выхода и оптимизация химического состава доменного шлака являются обязательным компонентом современного технического уровня доменной плавки, характерного эффективным использованием: дополнительных видов топлива и снижением расхода кокса до 150–300 кг/т чугуна.

Мировой опыт 90-х годов показывает, что минимизация выхода шлака и оптимизация его химического состава, наравне с другими технологическими мероприятиями, способствуют полной и комплексной компенсации нарушений технологического режима, вызываемых горением дополнительных топлив и снижением доли кокса в шихте, создавая, таким образом, максимально благоприятные условия для повышения оптимального расхода и эффективности применения природного газа, мазута или пылеугольного топлива (ПУТ). Опыт доменных цехов в Германии, Франции, Бельгии, США, Японии, Китае в 90-х годах прошлого столетия показывает, что технология замены до 30–50% кокса при вдувании в горн 120–260 кг/т чугуна дополнительного топлива реализована на основе полной и комплексной компенсации, в том числе и за счет минимизации выхода шлака и оптимизации его химического состава, прежде всего, исходя из требований технологии.

Роль шлака в доменной плавке неоднозначна: с одной стороны — шлак и флюс являются балластом, снижение их расхода на 1 т чугуна определяет уменьшение расхода кокса, прирост производительности печи [1–4]. С другой — шлак в доменной плавке является десульфуратором, фактором, обеспечивающим резерв тепла в горне, нагрев чугуна и стабилизацию температурного режима, восстановление Si и Mn.

На практике химический состав шлака — прежде всего его основность — устанавливается либо, исходя из условия обеспечения производства кондиционного по содержанию серы чугуна, либо из условия удовлетворения требований технологии, рассчитанных на достижение максимальных производительности и эффективности доменной плавки.

Согласно профессору Курунову И.Ф., выполнившему обстоятельный анализ состояния доменной технологии за рубежом в 90-х г., «...работа на устойчивых кислых шлаках с последующей внедоменной десульфурацией выплавленного сернистого (до 0,060% S) чугуна», является одним из основных параметров современного технического уровня доменной технологии, характерного, прежде всего, снижением расхода кокса до 250–300 кг/т чугуна (таблица 2) [5].

1. Обоснование оптимального с точки зрения технологии доменной плавки выхода и химического состава шлака для выплавки передельного чугуна

Как показывает практика, высокая температура передельного чугуна на выпуске — 1450–1500°C — при выходе шлака ниже 200 кг/т чугуна может быть обеспечена за счет офлюсования шихты и поддержания ее повышенной температуры плавления, снижения показателя степени прямого восстановления оксида железа, максимальной стабилизации и оптимизации шихтового, шлакового и температурного режимов, обеспечивающих ровный и устойчивый сход шихты. Опыт 90-х годов показывает, что при выплавке передельного чугуна на доменных печах в Швеции, Бельгии, Финляндии и США, выход шлака снижен до 115 кг/т чугуна и пока не получено противопоказаний к дальнейшему его снижению (таблицы 1 и 2) [6].

В общем плане требования технологии выплавки передельного чугуна к шлаку заключаются в следующем:

- минимальный выход;
- низкая температура плавления — 1250–1300°C;
- минимальная вязкость при температуре 1400–1500°C;
- высокая устойчивость физических свойств при колебаниях химического состава и температуры;
- высокая гомогенность структуры при температуре 1400–1500°C;
- достаточная поверхностная энергия, — не менее 380 эрг/см²;

— по возможности, достаточная и стабильная обессеривающая способность, обеспечивающая выплавку чугуна с содержанием серы в пределах 0,04–0,08%.

Табл. 1. Показатели работы некоторых зарубежных доменных печей

Показатели	Франция 1999	Швеция 1999		Австрия 1999		Италия 1998	Бельгия 1999	Финляндия 1999	
	Pont-à-Mousson 3	SSAB Luleå 2	SSAB Oxelösund 4	VA Linz A	VA Linz 5	LUCCHINI Piombino 4	Duferco Clabecq Clabecq 6	Fundia Wire Oy Ab Koverhar 1	Rautaruukki Raahe Steel 1
Рабочий объем, м ³	565	1290	1339	2454	1132	2057	1200	567	1059
Производ. т/м ³ сут	1,75	3,18	1,92	2,23	1,64	2,36	1,85	2,72	3,21
Расход, кг/т:									
Руда <42% Fe	0	0	0	0	0	80	0	0	0
Руда >42% Fe	200	0	0	388	275	165	399	0	0
Агломерат	1175	0	0	705	565	0	0	0	1140
Окатыши B>0,5 ((CaO+MgO)/SiO ₂)	0	1370	1333	0	0	1322	1128	1431	0
Окатыши B<0,5 ((CaO+MgO)/SiO ₂)	0	0	0	542	736	0	0	0	371
Скрап	105	0	0,4	0	57	0	0	0	29
Флюс	0	45	21	0	0	14	63	81	0
Др. добавки	75	51	57	13	0	18	73	45	0
Кокс	401,0	350,0	390,2	404,0	416,0	381,5	383,0	413,2	352,7
Коксов. орешек	25,0	11,0	0	20,0	0,0	30,80	17,0	0,3	28,3
ПУТ	0,0	122,0	92,8	0,0	0,0	96,80	135,0	0	0
Мазут	0,0	0	0	62,1	56,3	0,00	0	66,6	91,0
Содержание в дутье O ₂	21,00	23,7	23,8	21,13	21,44	21,00	24,00	23,70	25,98
Температура дутья, С	1152	1120	991	1183	1066	1124	1096	1119	1084
Колошниковый газ:									
Температура, С	152	164	128	138	133	122	86	138	159
Хим. состав: CO ₂	20,7	24,2	23,4	21,4	20,2	21,60	22,5	22,0	22,8
CO	21,1	20,7	21,7	22,8	22,3	21,90	23,5	23,3	23,0
H ₂	1,9	3,2	2,8	3,8	3,5	3,30	3,3	3,9	5,0
Выход шлака, кг/т чугуна	233	168	153	289	265	205	239	174	200
Химсостав, %: MgO	3,8	17,0	16,8	8,90	8,42	11,24	12,27	14,92	11,44
Al ₂ O ₃	9,2	12,0	12,8	9,60	10,07	11,41	11,41	12,76	8,90
S	1,47	1,56	1,45	1,15	1,24	1,13	1,43	2,08	1,40
MnO	0,34	0,38	0,54	1,01	1,16	1,37	0,81	0,12	0,67
CaO/SiO ₂	0,87	0,96	0,91	0,97	0,94	0,9	1,04	1,17	1,06
Чугун, %: Si	2,29	0,44	0,63	0,57	0,83	0,79	0,71	0,47	0,40
Mn	0,17	0,39	0,31	0,65	0,69	0,77	0,56	0,05	0,32
P	0,047	0,037	0,041	0,072	0,071	0,056	0,090	0,023	0,043
S	0,142	0,039	0,057	0,059	0,077	0,045	0,047	0,053	0,091
C	4,06	4,66	4,41	4,61	4,51	4,61	4,54	4,24	4,25
Температура, С	1459	1481	1474	1464	1445	1483	1475	1490	1476

Табл. 2. Показатели работы доменных печей на окатышах с вдуванием ПГ

Показатели	США 1998			
	Rouge Steel Company, Dearborn BF-C	Geneva Steel, Provo, BF №1	Geneva Steel, Provo, BF №2	Inland Steel
				Company, East Chicago, BF №7
Полезный объем, куб. м	1506	1250	1250	4403
Удельная произв-сть, т/м ³ сут	2,50	2,30	2,60	2,1
Руда, кг/т	29	0	0	6
Агломерат, кг/т	0	0	0	240
Окатыши (офлюс.), кг/т	1340	1191	1182	1359
Окатыши В (кислые), кг/т	173	298	294	0
Скрап, кг/т	38	25	22	0
Сод-е Fe в ж/р части шихты, %	64,96	67,14	67,85	1
Сталеплавильный шлак, кг/т	38	37	34	0
Флюс (известняк), кг/т	5	0	0	0
Флюс (доломит), кг/т	11	44	44	0
Расход кокса (скиповой), кг/т	397,0	379,0	358,0	313,0
Коксовый орешек, кг/т	2,0	11,0	9,0	25,00
Мазут, кг/т	0,0	0,0	0,0	147,00
ПГ, куб. м/т	107,79	118,18	133,77	0,00
Расход дутья, м ³ /т	1128	1253	1105	1001
Обогащение O ₂ , %	27,10	25,10	26,50	25,10
Температура, С	1079	988	985	1258
Давление дутья, бар (абсолют.)	2,9	2,9		4,5
Теор. температура горения, С	2004	1879	1816	2289
Температура кол. газа, С	143	141	112	110
Давл. кол.газа, бар (абсолют.)	1,5	1,3		3,2
CO ₂	22,20	18,2	17,25	22,97
CO	24,06	16,6	17,68	24,53
H ₂	8,25	8,8	10,27	3,38
Выход шлака, кг/т	222	140	115	264
MgO	12,91	12,36	12,49	10,88
Al ₂ O ₃	9,23	7,77	7,47	10,19
S	0,61	0,58	0,53	0,97
MnO	0,66	0,24	0,25	?
В (CaO/SiO ₂)	0,88	0,87	0,86	1,07
Чугун: С	4,53	?	?	?
Si	0,79	0,75	0,59	0,36
Mn	0,44	0,190	0,19	0,39
P	0,054	0,049	0,048	0,039
S	0,046	0,037	0,045	0,036
Температура, С	1494	1450	1447	1499

Исходя из изложенных требований в условиях Украины наиболее дискуссионными являются вопросы содержания в шлаке MgO, а также его основности.

Равное весовое повышение в шлаке содержания MgO по сравнению с CaO способствует более значительному снижению вязкости, что объясняется большей способ-

ностью катионов Mg^{+2} дробить кремнекислородные комплексы на элементарные группы (SiO_4^{-4}) благодаря соизмеримости ребер октаэдров анионов (SiO_4^{-4}) и кислородных октаэдров катионов Mg^{+2} , меньшей молекулярной массе MgO .

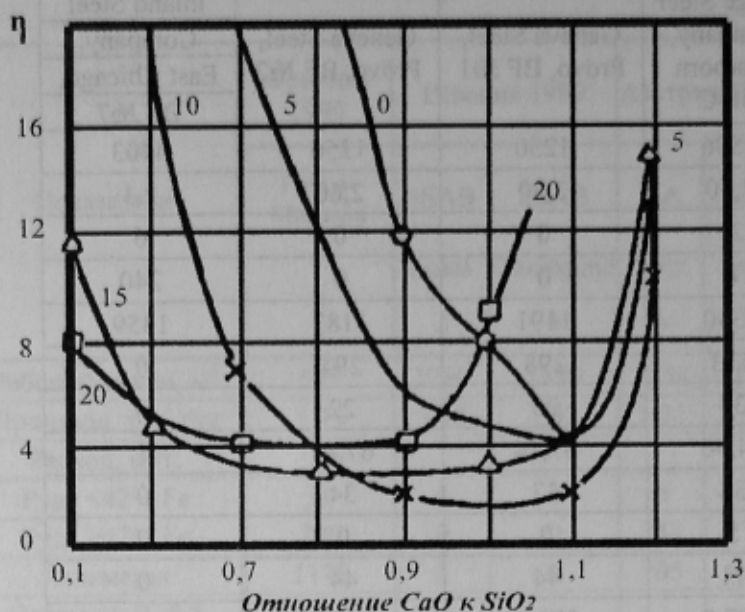


Рис. 1. Вязкости шлаков системы CaO-MgO-SiO₂ с постоянным содержанием Al₂O₃ -5% в зависимости от отношения CaO : SiO₂ и для различных содержаний MgO (цифры на кривых) при 1450°C [7]

Из рис. 1 следует, что минимальную вязкость и максимальную устойчивость имеют шлаки, основностью (CaO/SiO₂) 0,90-1,10 при содержании 10% MgO [7].

Наличие в шлаке MgO диктуется также соображениями повышения эффективности процесса десульфурации чугуна.

Из рис. 2 следует, что в интервале основности (CaO+MgO/SiO₂) от 1,25 до 1,45 обессеривающая способность MgO составила 1,1-1,5 обессеривающей способности CaO [8].

Ранее указанное явление отмечалось В.И. Логиновым [9].

Повышение эффективности процесса десульфурации при повышенном содержании MgO достигается как за счет увеличения основности, так за счет более

полного использования потенциальной обессеривающей способности шлаков — большего приближения к равновесию [10].

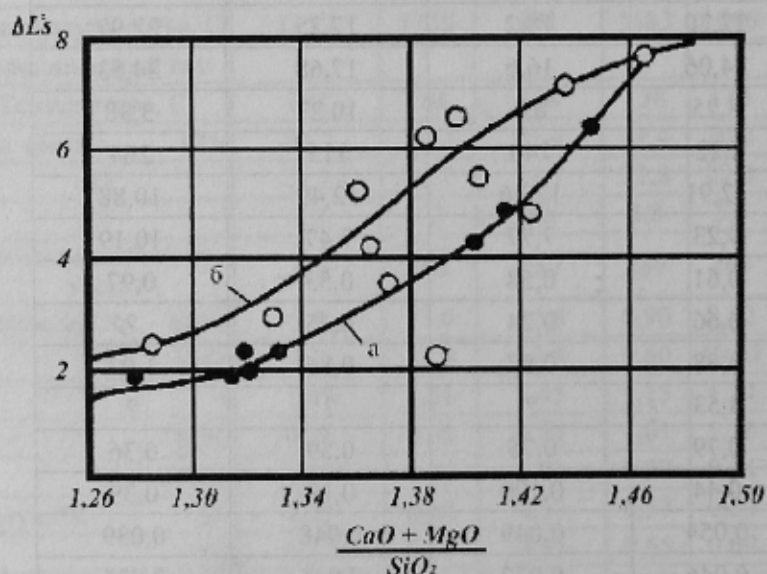


Рис.2. Влияние основности шлака на прирост коэффициента распределения серы ΔL_s^0 в результате добавок к шлаку [8]: а — CaO; б — MgO

Жило Н.Л. и Большакова Л.И. подтверждают, что «...замена 9,5% извести магнезией в шлаках с содержанием SiO₂ 34,8% обеспечивает получение наиболее устойчивого по физическим свойствам шлака при колебаниях температуры от 1275 до 1500°C» [11].

Снижение вязкости шлака, являющееся следствием оптимизации химического состава, в свою очередь определяет повышение его устойчивости и однородности и, как следствие, повышение эффективности процесса десульфурации чугуна (рис. 3) [10].

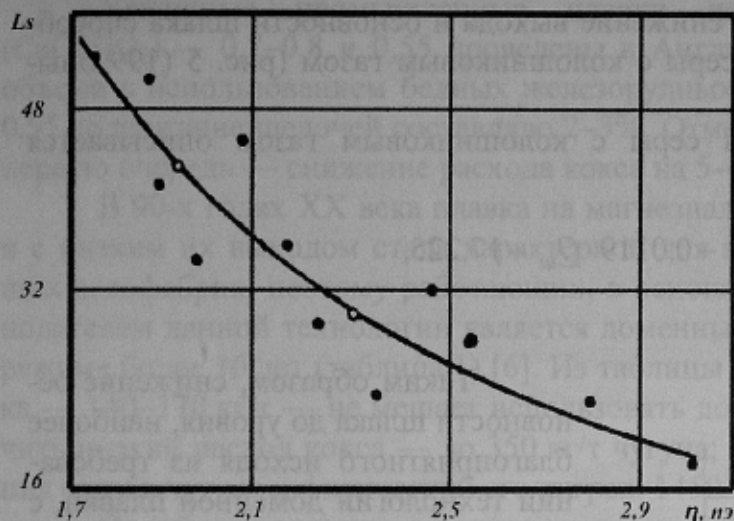


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения серы от вязкости шлака [10]

По данным ряда исследований оптимальное содержание Al_2O_3 в шлаке равно 10%. При указанном содержании Al_2O_3 достигнуты наиболее благоприятные физические свойства шлака, сохраняется базовая десульфурация чугуна [7, 12].

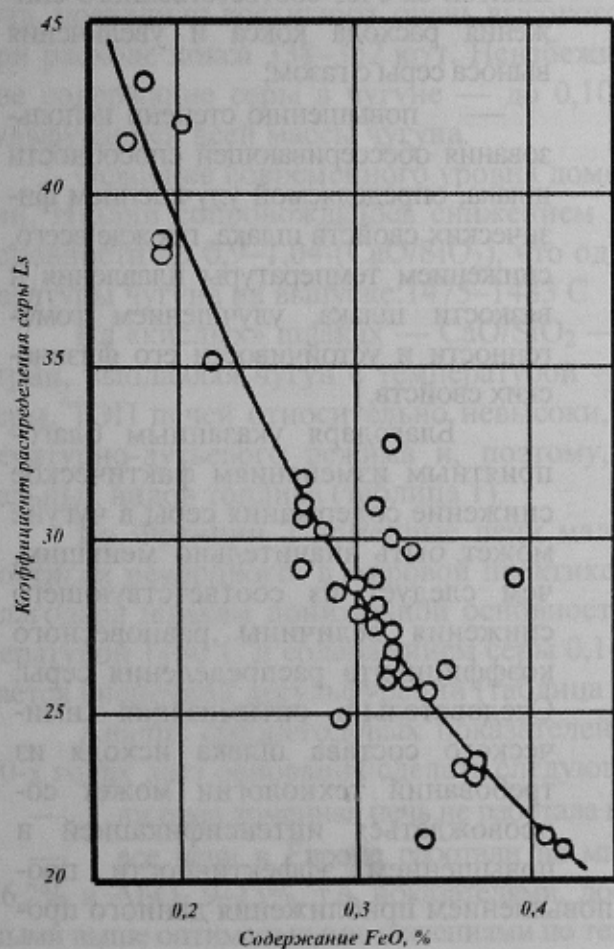


Рис. 4. Влияние концентрации FeO в шлаке на фактический коэффициент распределения серы (L_s) [8]

При прочих равных условиях устойчивый и легкоплавкий шлак способствует достижению максимальной его раскисленности (снижение содержания FeO и MnO), при сохранении высокой температуры продуктов плавки на выпуске, что также благоприятно сказывается на его обессеривающей способности (рис. 4) [8, 10].

Таким образом, обобщение исследований дает основания утверждать, что оптимальные с точки зрения технологии шлаки должны иметь основность (CaO/SiO_2) 0,9–1,1 при содержании MgO 7–11%.

Предполагаемое снижение выхода и основности шлака предопределяют перспективу повышения количества серы, улетучиваемой с колошниковым газом.

Из работ В.Е. Васильева и В.И. Логинова, следует, что снижение расхода флюса в шихту, основности и выхода шлака однозначно способствуют интенсификации выноса серы с колошниковыми газами [9, 13]. На основании теоретических соображений и промышленного опыта В.И. Логиновым представлены данные, из которых следует, что при снижении основности шлака до 1,0 и его выхода до 300 кг/т улетучивание серы с газом может возрасти до 45–50%, что соответственно снизит поступление в печь серы с шихтой и создаст предпосылки для снижения содержания серы в чугуне.

Обработка данных современных доменных печей, достигших выхода шлака 115–200 кг/т и основности CaO/SiO_2 — 0,85–0,9, однако, количественно не подтверждает ожидаемых по данным [7,9–13] выносов серы. Тем не менее, несомненно, что и в современных технологических условиях

указанная закономерность имеет место: снижение выхода и основности шлака способствуют интенсификации улетучивания серы с колошниковым газом (рис. 5 (199 опытов)).

Кривая изменения улетучивания серы с колошниковым газом описывается уравнением:

$$S_{\text{улет}} = -10^{-5} \cdot Q_{\text{ш}}^2 - 0,0119 \cdot Q_{\text{ш}} + 17,225,$$

где $Q_{\text{ш}}$ — выход шлака, кг/т чугуна.

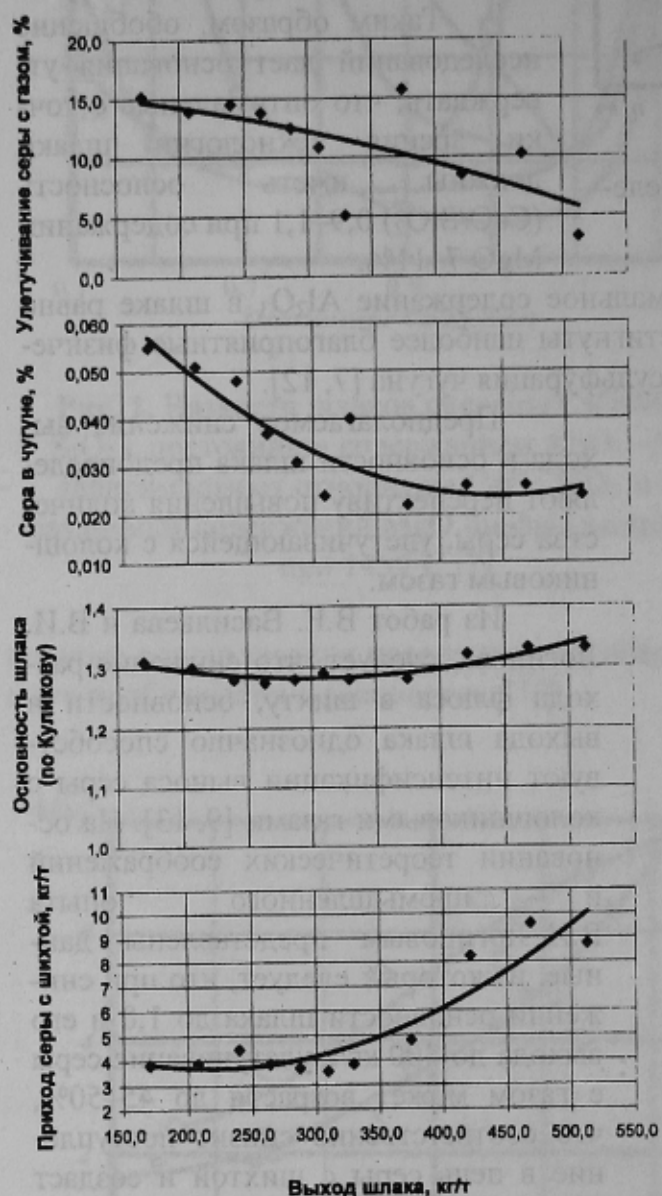


Рис. 5. Зависимость показателей распределения серы в доменной печи от выход шлака

процесса десульфурации чугуна в доменной печи, повышением приближения данного процесса к равновесному.

2. Промышленный опыт работы доменных печей на шлаках пониженной основности

Павлов М.А. приводит шлаки, типичные для древесноугольной плавки, основнойностью CaO/SiO_2 0,10–0,90, однако без указания основных ТЭП [14].

Таким образом, снижение основности шлака до уровня, наиболее благоприятного исходя из требований технологии доменной плавки, с целью достижения более высоких ТЭП, способствует:

- снижению выхода шлака, равновесного коэффициента распределения серы и, соответственно, сульфидной емкости шлака;

- снижению прихода серы с шихтой за счет соответственного снижения расхода кокса и увеличения выноса серы с газом;

- повышению степени использования обессеривающей способности шлака, определяемой улучшением физических свойств шлака, прежде всего, снижением температуры плавления и вязкости шлака, улучшением однородности и устойчивости его физических свойств.

Благодаря указанным благоприятным изменениям фактическое снижение содержания серы в чугуне может быть значительно меньшим, чем следует из соответствующего снижения величины равновесного коэффициента распределения серы. Следовательно, оптимизация химического состава шлака исходя из требований технологии может сопровождаться интенсификацией и повышением эффективности про-

Успешные промышленные плавки на «кислых» шлаках, основностью (CaO/SiO_2) — 0,7–0,8 и 0,55 проведены в Англии и ФРГ на доменных печах малого объема с использованием бедных железорудных материалов. На шлаках основностью 0,55 содержание щелочей составляло 2–3%. Отмечено существенное улучшение ТЭП; в первую очередь — снижение расхода кокса на 5–6% [15, 16].

В 90-х годах XX века плавка на магнезиальных шлаках пониженной основности и с низким их выходом стала характерной для небольших доменных цехов, не имеющих аглофабрик, поэтому работающих, в основном, на окатышах. По-видимому, законодателем данной технологии является доменный цех в Швеции, работающий в таком режиме более 10 лет (таблица 1) [6]. Из таблицы 1 видно, что очень низкий выход шлака — 140–170 кг/т — не мешает использовать дополнительные виды топлива и обеспечить низкий расход кокса — до 350 кг/т чугуна; удовлетворительные уровень содержания серы в чугуне и физический его нагрев: 1450–1480°C.

Подобная технология весьма распространена в США, где в 1998 г. отмечен самый низкий в мире среднегодовой выход шлака — 115 кг/т чугуна. Доменные печи США работают с вдуванием ПГ, ПУТ или мазута, высокими параметрами дутья, в т.ч. с обогащением дутья кислородом, что способствует достижению высокого уровня производительности и снижению расхода кокса до 313 кг/т чугуна (таблица 2).

С низким выходом шлака пониженной основности работали 3 доменные печи в Финляндии (таблица 1): высококачественная железорудная шихта и современные параметры технологического режима, в т.ч. обогащение дутья кислородом и вдувание мазута, позволили достигнуть очень высокого уровня производительности 3,3 т/(м³·сутки) при расходе кокса 338–352 кг/т. Неизбежная издержка такой технологии — повышенное содержание серы в чугуне — до 0,10% и более, ликвидируется внедоменной десульфурацией всей массы чугуна.

Освоение современного уровня доменной технологии на доменных печах в Бельгии, Италии сопровождалось снижением выхода шлака до 205–239 кг/т чугуна и его основности до 0,9–1,04 (CaO/SiO_2), что однако не помешало сохранению высокой температуры чугуна на выпуске: 1475–1483 С

На «кислых» шлаках — CaO/SiO_2 — 0,85–0,97 работали 5 доменных печей в Австрии, выплавляя чугун с температурой — 1440–1464°C и повышенным содержанием серы. ТЭП печей относительно невысоки, что объясняется низкими параметрами температурно-дутьевого режима и, поэтому, неэффективным использованием дополнительных видов топлива (таблица 1).

Во Франции 2 доменные печи малого объема при выплавке литейного чугуна достигли рекордного в мировой практике расхода кокса — 400–420 кг/т, в частности, благодаря шлакам пониженной основности — 0,84–0,87. Производимый чугун, с температурой 1460°C и содержанием серы 0,142–0,148%, по-видимому, полностью подвергается внепечной десульфурации (таблица 1).

Анализ среднегодовых показателей работы доменных печей Европы и США в 90-х годах дает основания сделать следующие выводы:

- ни одна доменная печь не работала на шлаках основностью (CaO/SiO_2) выше 1,20;
- все печи в Европе работали на магнезиальных шлаках с содержанием MgO 7–16,2% и Al_2O_3 9–13%, т.е. показателями, достаточно близко совпадающими с рекомендуемыми выше оптимальными значениями по технологии.

В России на шлаках, близких по химическому составу к оптимальным, исходя из требований технологии, работают доменные печи ОАО «ММК», ОАО «Северсталь», ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол», ОАО «НЛМК», чему способствует, прежде всего, низкий приход серы с шихтой (2,5–4,0 кг/т).

Заключение

Шлаки, для выплавки передельного чугуна, оптимальные по технологии, имеют основность CaO/SiO_2 0,9–1,1 при содержании 7–11% MgO и 10% Al_2O_3 . Указанные шлаки имеют вязкость при температуре 1500°C — 3–5 пуаз, легкоплавки и устойчивы, что представляется наиболее ценным для форсированного и ровного схода шихты. При выплавке передельного чугуна нижний предел выхода шлака теоретически и практически неограничен. Описан успешный промышленный опыт работы доменных печей с выходом шлака 115–140 кг/т чугуна. При этом, однако, необходимы внедоменная десульфурация чугуна и максимальная стабилизация шихтовых и технологических условий плавки с целью поддержания номинального и стабильного нагрева продуктов плавки.

Опыт доменных печей Европы в 90-х годах XX века показывает, что в подавляющем большинстве случаев выход шлака снижен до 250 кг/т; химический состав шлака, как правило, близок к параметрам, определенным выше как оптимальные с точки зрения технологии доменной плавки.

Список литературы

1. Пашинский В.Ф., Пархоменко Д.М. Справочник металлурга. — Донецк: Донбас, 1976. — 159 с.
2. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика. — М.: Металлургия, 1981. — 240 с.
3. Волков Ю.П., Шпарберг Л.Я., Гусаров А.К. Технолог-доменщик: Справочник. — М.: Металлургия, 1986. — 263 с.
4. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, Ю.С. Юсфин и др. — М.: Металлургия, 1989. — 512 с.
5. Савчук Н.А., Курунов И.Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом, 2000. — Часть II. — Приложение 5. — М.: АО Черметинформация. — 42 с.
6. Промышленный опыт работы доменных печей с высокой долей окатышей в шихте / В.И. Бирючев, С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев и др. // Металл и литье Украины, 1998. — № 5–6. — С. 16–21.
7. Гультей И.И. Вязкость шлаков системы окись кальция — окись магния — кремнезем при 5% глинозема // Известия АН СССР. Металлургия и топливо, 1960. — № 5. — С. 219–220.
8. Влияние магнезии на обессеривающую способность доменных шлаков / В.М. Зудин, Н.Н. Бабарыкин, А.Л. Галатонов, И.С. Куликов // Сталь, 1961. — № 5. — С. 385–331.
9. Логинов В.И. Обессеривающая способность кислых доменных шлаков и улетучивание серы // Сталь, 1955. — № 2. — С. 119–127.
10. Галатонов А.Л. Влияние основности и вязкости шлака на его обессеривающую способность в доменной печи // Известия АН СССР. Металлургия и горное дело, 1964. — № 6. — С. 48–57.
11. Жило Н.Л., Большакова Л.И. Влияние замены извести магнезией на физические свойства доменных шлаков // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1964. — № 8. — С. 25–27.
12. Гультей И.И. Влияние глинозема на вязкость шлаков системы окись кальция — окись магния — кремнезем // Известия АН СССР. Металлургия и топливо, 1962. — № 5. — С. 52–65.
13. Васильев В.Е. Доменная плавка на устойчивых шлаках. — Киев: Гос. изд-во техн. л-ры. УССР, 1956. — 260 с.
14. Павлов М.А. Расчет доменных шихт. — М.: Металлургиздат, 1947. — 258 с.
15. Iatan Nicolae, Avram Cezar, Ilinca Ioan. Contributii la desulfurarea in afara furnalului a fontelar obtinute sub sguri acide. // Cercetari metalurgicale si miniere, 1960. — №2. — P. 390–398.
16. Боноур, Дуэ // Circ. Inform. Techn. Center docum. Sider, 1958. — 15. — №7. — P. 1447–1463.

© Ярошевский С.Л., Бабич А.И., Никишин С.Ю., Кузнецов А.М., Кузин А.В., 2003