

– для измерения и прогнозирования прочностных свойств кокса в потоке рекомендуется приобретение спектрометра-релаксометра MARAN Ultra, Великобритания, с программным обеспечением

WinFit (OXFORD Instruments), а также оборудования для подготовки проб кокса путем контролируемого по медианному размеру измельчения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курунов И. Ф. Качество кокса, его поведение в доменной печи и влияние на ее работу // Новости черной металлургии за рубежом. Приложение. 2003. — 38 с.
2. Модель оптимизации показателей прочности кокса на основе химико-петрографических параметров углей и нелинейного программирования / А. С. Станкевич и др. // Кокс и химия. 2000. № 5. С. 2–10.
3. Рациональное распределение углей и оптимизация состава шихты для коксования / А. С. Станкевич и др. // Там же. 2003. № 9. С. 8–16.
4. Вегман Е. Ф. Доменное производство: Справочное изд-е. В 2-х т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс. — М.: Металлургия. 1989. — 496 с.
5. Диагностирование прочности металлургического кокса с применением методов ЯМР ¹H и ¹³C спектроскопии / Е. В. Карунова, А. М. Гюльмалиев, Г. А. Калабин, И. А. Султангузин: Тезисы докладов. Российская научная конференция (с международным участием) “Глубокая переработка твердого ископаемого топлива — стратегия России в 21-м веке”. 21–24 ноября 2007 г. Звенигород. С. 34.

Аглодоменное производство

УДК 669.162

Ю. В. ФИЛАТОВ, А. Н. РЫЖЕНКОВ, А. В. ЕМЧЕНКО, к.т.н.; В. Е. ПОПОВ,
А. И. ДРЕЙКО, С. Л. ЯРОШЕВСКИЙ, д.т.н., проф.; И. В. МИШИН
(ЗАО “Донецксталь” – металлургический завод”, Донецкий национальный технический университет)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОКСА УЛУЧШЕННОГО КАЧЕСТВА (“ПРЕМИУМ”) ПРИ РАБОТЕ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

В доменном цехе ЗАО “Донецксталь” – МЗ” при подготовке к работе с высоким (>150 кг/т чугуна) расходом пылеугольного топлива (ПУТ) проведены промышленные испытания и освоена технология доменной плавки с применением кокса “Премиум”. Применение кокса “Премиум” позволило снизить расход кокса, полностью исключить применение природного газа, существенно повысить расход ПУТ, производительность печи.

Ключевые слова: доменная печь; кокс “Премиум”; пылеугольное топливо; удельный расход кокса; опытно-промышленная плавка.

At the blast furnace shop of ZAO “Donetskstal” – MZ”, industrial tests have been carried out and blast furnace heat technology using the “Premium” coke has been mastered during preparing for operation with high consumption (>150 kg/t of cast iron) of pulverized coal (PCI). Application of the “Premium” coke has made it possible to decrease coke consumption, to fully exclude natural gas utilization, to essentially increase PCI consumption, furnace productivity.

Key words: blast furnace, “Premium” coke, pulverized coal, specific coke consumption, pilot-industrial heat.

Последние 30 лет развитие и эффективность доменной технологии в значительной мере определены применением пылеугольного топлива (ПУТ), расход которого повысился с 0 до 200–260 кг/т чугуна, доля замены им кокса возросла на 40–45 %, что определило снижение последнего до 250–350 кг/т чугуна [1]. Указанный ход событий определил появление нового в металлургии термина — “малококсовая технология”, с использованием которой в последние годы работают современные крупнейшие доменные печи, производящие более половины мировой выплавки чугуна.

Освоение малококсовой технологии способствовало повышению времени пребывания

шихты в печи, снижению в ней доли кокса, увеличению рудных нагрузок на кокс с 3–4 до 5–7 т/т. Поэтому закономерно, что переход на данную технологию определил необходимость значительного повышения качества кокса, особенно по прочности: показатель горячей прочности (CSR) на современных доменных печах повысился с 30–50 до 60–75 %.

Очевидно, что улучшение качества кокса является важнейшим и необходимым компенсирующим мероприятием при работе доменных печей с применением ПУТ.

В доменном цехе ЗАО “Донецксталь” – металлургический завод (МЗ)” в порядке подготовки к работе с высоким (более 150 кг/т чугуна)

расходом ПУТ проведены промышленные испытания и освоена технология плавки с приме-

нием кокса "Премиум", который характеризуется повышенным уровнем прочностных показателей.

Качество кокса — определяющий компенсирующий фактор при освоении малококсовой доменной технологии выплавки чугуна

Газопроницаемость доменной шихты в решающей степени определяется качеством кокса и его долей в шихте. В доменных цехах Украины расход кокса на 1 т чугуна традиционно выше на 20–30 %, чем в цехах европейских стран, что объясняется как менее благоприятными шихтово-технологическими условиями, так и низким качеством кокса. Последнее объясняется такими специфическими причинами, как:

- преобладание в структуре геологических запасов и добыче углей в Украине малометаморфизированных углей с высоким выходом летучих веществ и низким показателем отражения витринита, что характеризует их более низкую способность к спеканию [2];

- повышенным индексом основности минеральной части большинства углей Донбасса

(0,25–0,35 против 0,12–0,15), необходимым для получения кокса с высоким показателем после-реакционной прочности (CRS = 60–70 %) [2];

- повышенными зольностью, сернистостью и выходом летучих угольной шихты [2];

- менее совершенной технологией обработки кокса и подготовки его к доменной плавке.

За последние 20–25 лет определяющим фактором технического прогресса в доменном производстве является применение ПУТ с целью замены им кокса: в настоящее время в ряде стран практически весь чугун выплавляют с применением ПУТ (Франция, Нидерланды, Бельгия, Испания, Италия, Китай, Япония и др.). Естественно, что применение ПУТ и снижение доли кокса в шихте определяют необходимость повышения требований к качеству кокса (табл. 1) [1].

ТАБЛИЦА 1. ТРЕБОВАНИЯ К ПОКАЗАТЕЛЯМ ГОРЯЧЕЙ ПРОЧНОСТИ, РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КОКСА (А) И ХОЛОДНОЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА (Б) НА ЗАВОДАХ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ [1]

А) Показатели горячей прочности и реакционной способности кокса		
Страна, фирма и завод	Показатель	
	CSR, более	CRI, менее
Австрия, Voest Alpine	60	31
Бельгия, Sidmar	65	23
Финляндия:		
Rautaruuki	60	30
Koverhar (основной кокс)	65	25
Koverhar (кокс в осевой зоне)	70	22
Франция, Sollac в Фос-сюр-Мер	53	—
Германия, средние данные по девяти заводам	65	23
Голландия, Cogus в Эймейдене	60	24-30
Англия:		
Cogus в Редкаре	64	25
Cogus в Скантропе	65	25
Cogus в Порт Талботе	45–70	20–25
Cogus в Лларверне	57	30
Б) Показатели холодной прочности кокса		
	M ₄₀ , более	M ₁₀ , менее
Австрия, Voest Alpine*	50	18
Бельгия, Sidmar*	58	
Финляндия:		
Rautaruuki	65	7
Koverhar (основной кокс)	87	5
Koverhar (кокс в осевой зоне)	87	5
Франция:		
Sollac в Дюнжерке*	49	19
Sollac в Фос сюр Мер*	44	19
Германия, средние данные по девяти заводам*	57	18
Голландия, Cogus в Эймейдене*	58	18
Англия:		
Cogus в Редкаре	87,5	5,8
Cogus в Скантропе	82,5	6,5
Cogus в Лларверне	80	8

* Показатели I₄₀ и I₁₀.

Наиболее успешно используют ПУТ доменные печи, на которых обеспечено значительное повышение показателей качества кокса: показатели горячей прочности кокса (CSR) и реакционной способности (CRI) достигают 60–74 и 17–25 %, отсев из металлургического кокса фракции (35–40) мм, содержание фракции +80 мм в скиповом коксе — менее 5 %.

В 2006 г. в ЗАО “Макеевкокс” (МКХЗ), ОАО “Ясиновский коксохимический завод” (ЯКХЗ) и

ОАО “Донецкий коксохимический завод” (ДХКЗ) на основе использования малосернистых углей шахты “Красноармейская Западная № 1”, исследований, выполненных специалистами ЗАО “Донецксталь” – МЗ”, коксохимических предприятий концерна “Энерго” и ОАО УХИН (г. Харьков), освоено производство кокса повышенного качества, на который разработаны и утверждены технические условия. Промышленное производство кокса “Премиум” начато в 2006 г. [2, 3].

Опытно-промышленные плавки с применением кокса улучшенного качества (“Премиум”)

В табл. 2 и 3 представлены результаты производства и длительных промышленных испы-

таний кокса “Премиум” на доменных печах ЗАО “Донецксталь” – МЗ”.

ТАБЛИЦА 2. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КОКСА И ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ЗАО “ДОНЕЦКСТАЛЬ”–МЗ”

Показатель	Вид кокса в периоде исследования							
	кокс “Премиум”	кокс обычный	кокс обычный	кокс “Премиум”				
	период 1	период 2	период 3	период 4				
	май–сентябрь 2006 г., 149 сут	апрель, май–июль 2007 г., 91 сут	январь–март 2009 г., 90 сут	апрель–июнь 2009 г., 89 сут				
<i>Показатели качества кокса</i>								
Соотношение по поставщикам кокса	МКХЗ, ЯКХЗ (81 % + 19 %)	ДХКЗ, ЯКХЗ (41,3 % + 58,7 %)	ДХКЗ, МКХЗ, ЯКХЗ (7,5 % + 76,4 % + 16,1)	ДХКЗ, МКХЗ, ЯКХЗ (4 % + 86 % + 10 %)				
Технический анализ, %:								
влага	5,23	5,5	5,13	4,8				
зола	10,62	10,91	11,2	10,61				
сера	0,85	1,15	0,97	0,77				
Прочность:								
M ₂₅	88,38	87,64	88,41	89,31				
M ₁₀	6,55	7,11	7,2	6,51				
Ситовый состав:								
>80	2,76	4,00	5,26	4,08				
<25	3,45	4,98	4,13	3,16				
<i>Показатели качества агломерата и окатышей</i>								
Показатель	А		О		А		О	
	Поставщики железорудного сырья							
	ЮГОК	СевГОК	ММК им. Ильича	СевГОК	ММК им. Ильича	СевГОК	ММК им. Ильича	СевГОК (офлюс.)
Химический состав и другие показатели качества сырья, %:								
Fe	54,29	61,2	53,6	61,7	50,05	62,46	51,01	60,71
FeO	12,67	8,12	13,3	—	14,07	—	14	—
SiO ₂	9,87	3,53	10,04	7,91	11,28	6,85	10,57	7,3
CaO	12,15	0,88	12,44	3,08	14,01	2,51	13,05	4,42
MgO	0,55	0,53	1,2	1	1,27	0,82	1,32	1,14
CaO/SiO ₂	1,23	3,69	1,24	0,47	1,24	0,49	1,23	0,76
Фракция до 5 мм, %	17,66	3,77	14,4	3,48	14,3	3,05	14,3	3,8
Прочность	—	226,6	—	231,6	—	232	—	229
<i>Примечание:</i> А — агломерат, О — окатыши.								

**ТАБЛИЦА 3. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ № 1, 2 ЗАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» – МЗ»
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОКСА «ПРЕМИУМ»**

Показатель	Доменная печь № 2		Доменная печь № 1	
	кокс «Премиум»	кокс обычный	кокс обычный	кокс «Премиум»
	период 1	период 2	период 3	период 4
	май–октябрь 2006 г.	апрель–июль 2007 г.	январь–март 2009 г.	апрель–июнь 2009 г.
Производство среднесуточное, т/сут	2190	1959	1665	2010
Производство, приведенное без качества кокса, т/сут	2109			1905
Расход сухого скипового кокса и коксового орешка, кг/т	405	472	539	461
Расход сухого скипового кокса и коксового орешка, приведенных по всем факторам, но без показателей качества кокса, кг/т	453			509
Содержание железа в железорудной части шихты, %	58,4	53,2	58,2	60,6
Расход материалов, кг/т:				
агломерата	669,7	755,3	413,1	3,5
окатышей	824,9	774,0	1186,4	1569,8
железной руды и вторичных железорудных материалов	103,4	120,7	80,2	52,0
металлсодержащих материалов	93,7	60,5	1,2	1,1
известняка обыкновенного	141,3	132,3	180,2	150,3
Дутьевой режим:				
расход, м ³ /мин	1932	1963	1985	2072
давление, ати	2,34	2,26	2,20	2,24
температура, °С	1046	969	964	968
Расход:				
природного газа, м ³ /т чугуна	0,0	1,3	0,0	0,0
ПУТ, кг/т	171,3	131,5	106,8	136,1
кислорода, м ³ /т чугуна	78,8	64,7	0,0	42,6
Вынос колошниковой пыли, кг/т чугуна	73,0	54,3	57,3	69,7
Колошниковый газ:				
давление, ати	1,24	1,24	1,24	1,26
температура, °С	205	239	286	270
химический состав, %	26,2	26,1	22,4	24,2
СО				
СО ₂	20,5	16,4	19,9	19,5
Н ₂	4,2	3,3	2,2	3,3
Химический состав чугуна, %				
Si	0,69	0,71	0,78	0,73
Mn	0,16	0,19	0,12	0,10
S	0,039	0,040	0,040	0,040
Шлаковый режим:				
выход, кг/т чугуна	407,0	429,0	393,0	326,0
химический состав, %:				
Al ₂ O ₃	6,2	6,5	6,5	6,2
MgO	4,5	5,7	5,1	6,8
основность шлака CaO/SiO ₂	1,24	1,24	1,24	1,18
основность шлака (CaO+MgO)/SiO ₂	1,34	1,40	1,37	1,35
Соотношение в железорудной части шихты агломерата, %	44	50	26	0
Соотношение в ПУТ углей марок Г + Т, %	33+67	62+38	17+83	51+49

Доменные печи № 1 и 2 полезным объемом 1033 м³ каждая, имеющие по 16 воздушных фурм и 2 чугунные летки, типовые двухконусные засыпные аппараты, работали на дутье, обогащенном кислородом, с повышенным (1,2–1,3 ати) давлением газа на колошнике, вдуванием в горн природного газа (ПГ).

С 1989 г. на указанных печах успешно освоена технология с вдуванием ПУТ + ПГ с обогащением дутья кислородом (О₂), которая в силу повышения дефицитности и стоимости ПГ заменена с 2006 г. на технологию с вдуванием ПУТ + О₂. В качестве железорудной шихты использовали агломераты Южного ГОКа (ЮГОКа) и Мариупольского металлургического комбината (ММК им. Ильича), окатыши Северного ГОКа (СевГОКа), в качестве кускового топлива — кокс ДКХЗ, МКХЗ и ЯКХЗ. ПУТ производилось из смеси донецкого тощего угля и низкосернистого газового угля (Кузбасс, Россия) (см. табл. 2, 3).

Приведение периодов работы доменных печей № 1, 2 к равным условиям выполнялось по общепринятым методикам и коэффициентам [4, 5].

Значительное различие в показателях плавки доменной печи № 2 в 2006–2007 гг. и доменной печи № 1 в 2009 г. объясняется прежде всего состоянием доменных печей, их профилем, незавершенностью на доменной печи № 1 освоения технологии плавки на 100 % окатышей СевГОКа в шихте, другими причинами.

Периоды исследования характеризуются высокой представительностью (до 6 месяцев), стабильностью состояния печей и шихтово-технологических условий.

Железорудная шихта, состоявшая из окатышей СевГОКа и агломератов ЮГОКа и ММК им. Ильича, отличалась относительной стабильностью, постепенным повышением, вплоть до 100 %, доли окатышей в шихте. Качество кокса характеризовалось значительным различием физико-химических свойств (см. табл. 2).

Периоды 1 и 4 представлены преимущественно коксом улучшенного качества “Премиум” МКХЗ (см. табл. 2).

Экспериментальный и аналитический анализ результатов опытно-промышленных плавок

Сказанное убедительно подтверждается при анализе комплексных параметров плавки, полученных в результате расчета материально-теп-

В периодах 2 и 3 на указанных КХЗ производился кокс обычного качества при снижении доли кокса МКХЗ.

В сравниваемых (1 + 2) и (3 + 4) периодах (см. табл. 3) наблюдалось значительное различие коксов “Премиум” и обычного по содержанию серы (–0,30 и 0,20 % соответственно), показателю М₁₀ (–0,56 и –0,69 %), выходу фракции – 25 мм (–1,53 и –0,97 %) (см. табл. 2).

Из табл. 3 следует, что плавка на коксе улучшенного качества способствовала снижению его расхода на 67 и 78 кг/т чугуна (14,1–14,5 %), приросту производительности печей на 231 и 345 т/сут (10,5 и 16,5 %).

Снижение расхода кокса, приведенного к равным технологическим условиям, в сравниваемых периодах составило 19 и 30 кг/т чугуна (4,2 и 5,1 %). Аналогичные цифры экономии при внедрении кокса “Премиум” получены на Енакиевском металлургическом заводе [6]. Значительное уменьшение экономии приведенного к равным условиям кокса объясняется, особенно в первой паре периодов, повышением температуры дутья и расхода ПУТ при использовании кокса “Премиум”, что, однако, в значительной мере можно объяснить и благоприятным влиянием на технологию кокса улучшенного качества.

Данное соображение подтверждается расчетом экономии кокса за счет улучшения его качества, выполненным по коэффициентам приведения, составившим для рассматриваемых пар периодов 15,5 и 20,7 кг/т чугуна соответственно [4, 5].

Очевидно, что значительное улучшение качества кокса благодаря меньшему разрушению его в печи способствовало комплексному улучшению технологических условий плавки, более ровному сходу шихты, более эффективным распределению газопотока, нагреву продуктов плавки и др., что в итоге выразилось в благоприятном изменении параметров плавки и получении дополнительной экономии кокса.

ловых балансов плавки в анализируемых периодах плавки (табл. 4).

**ТАБЛИЦА 4. КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАВКИ ПРИ РАБОТЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ № 2
ЗАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» – МЗ» НА КОКСЕ «ПРЕМИУМ» (база — табл. 2)**

Показатель	Виды кокса и период исследования	
	кокс «Премиум»	кокс обычный
	май–октябрь 2006 г.	апрель–июль 2007 г.
Объемная доля кокса в шихте, %	46,73	50,15
Выход горновых газов, м ³ /т чугуна	1540	1720
Выход восстановительных газов, м ³ /т чугуна	722,42	740,60
Время пребывания газа в печи, с	3,16	3,36
Время пребывания шихтовых материалов в печи, ч	7,2	7,42
Суммарный приход тепла, ккал/т чугуна	2392,6	2505,1
Потери тепла, ккал (%) чугуна	291,6 (12,19)	335,5 (13,39)
Теоретическая температура горения, °С	2120	2097
Степень использования газа:		
η_{CO} , %	44,71	42,26
C_f , кг/т	204,4	255,4
Коэффициент полезного действия тепла, %	87,81	86,61
Коэффициент использования тепловой энергии С, %	63,69	60,39
Тепловое значение углерода, ккал/кг С (по Павлову)	5,019	4,756
Расход условного топлива, кг/т чугуна	582,02	606,67
Определяющие показатели:		
Выход шлака, кг/т кокса	1006	908
Выход колошникового газа, м ³ /т кокса	4186	4035
Скорость газа в распаре, м/с	12,25	9,46

Из табл. 4 следует, что доменная плавка на коксе «Премиум» способствовала улучшению степени использования в печи оксида углерода η_{CO} на 2,45 % [5,5 % (отн.)], повышению теоретической температуры горения (23 °С), коэффициента полезного действия тепла (+1,2 %), сохранению в оптимальных пределах основных определяющих показателей плавки.

Следствием указанных изменений технологии стало снижение прихода тепла на 1 т чугуна (112,5 ккал/т), потерь тепла на охлаждение печи на 43,9 ккал/кг, расхода условного топлива на 24,65 кг/т чугуна (~4 %).

Выполнена оценка оптимальности основных технологических параметров плавки при работе доменной печи с вдуванием ПГ + ПУТ + O₂, но при обычном качестве кокса, и ПУТ + O₂ при использовании кокса «Премиум» (табл. 5, рис. 1, 2).

Из табл. 5 (периоды 2 и 3) следует, что вывод из состава дутья 54 м³ ПГ, переход на использо-

вание кокса «Премиум», повышение в шихте доли окатышей и содержания кислорода в дутье (+2,7 %) способствовали значительному увеличению расхода ПУТ (+79 кг/т чугуна). При этом существенно снизился выход горновых газов (192 м³/т, ~10 %), повысилась теоретическая температура горения (+48 °С), улучшилась степень использования газа η_{CO} (+0,02 %) и др.

Итогом указанных изменений стало повышение производительности печи на 288 т/сут (~15,7 %), снижение расхода кокса и коксового орешка на 44 кг/т чугуна (~9,5 %) (см. табл. 5).

Из табл. 5 (периоды 1, 2 и 3) следует, что плавка на коксе «Премиум», способствовавшая выводу из состава дутья ПГ и значительному увеличению расхода ПУТ, определила увеличение экономии кокса в 1,7 раза по сравнению с традиционным режимом: с вдуванием в горн ПУТ + ПГ + O₂ (период 2, см. табл. 5).

ТАБЛИЦА 5. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ № 2 ЗАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» – МЗ»

Показатель	Периоды		
	1	2	3
	01.06–31.08.2002	01.03–31.10.2003	01.05.–31.10.2006
Производство чугуна расч., т/сут	1844	1902	2190
Расход кокса и коксового орешка, кг/т	527	466	405
Расход коксового орешка, кг/т	0	0	17
Расход шихтовых материалов, кг/т:			
агломерата	915	986	658
окатышей	817	662	825
железофлюса	0	0	61
доменного присада	0	0	6
металлодобавки	4,3	11	94
известняка	142,3	164	141
Дутье:			
давление, ати	2,01	2,37	2,34
температура, °С	996	1083	1058
содержание O ₂ , %	23,1	23,1	25,8
Расход, м ³ /т:			
кислорода,	42	40	79
природного газа	88,3	54	0
ПУТ, кг/т	0	96	175
Интенсивность плавки по коксу, кг/(м ³ ·сут)	972	891	807
Теоретическая температура горения, °С	2046	2084	2132
Колошниковый газ:			
давление, ати	1,02	1,25	1,24
температура, °С	285	249	205
степень использования газа η _{CO} , %	0,407	0,42	0,44
Химический состав чугуна, %:			
Si	0,81	0,77	0,69
Mn	0,27	0,23	0,16
S	0,03	0,038	0,039
Шлак:			
выход, кг/т	455	422	407
химический состав, %:			
MgO	4,3	3,1	4,5
Al ₂ O ₃	6,2	6,36	6,25
CaO/SiO ₂	1,26	1,28	1,22

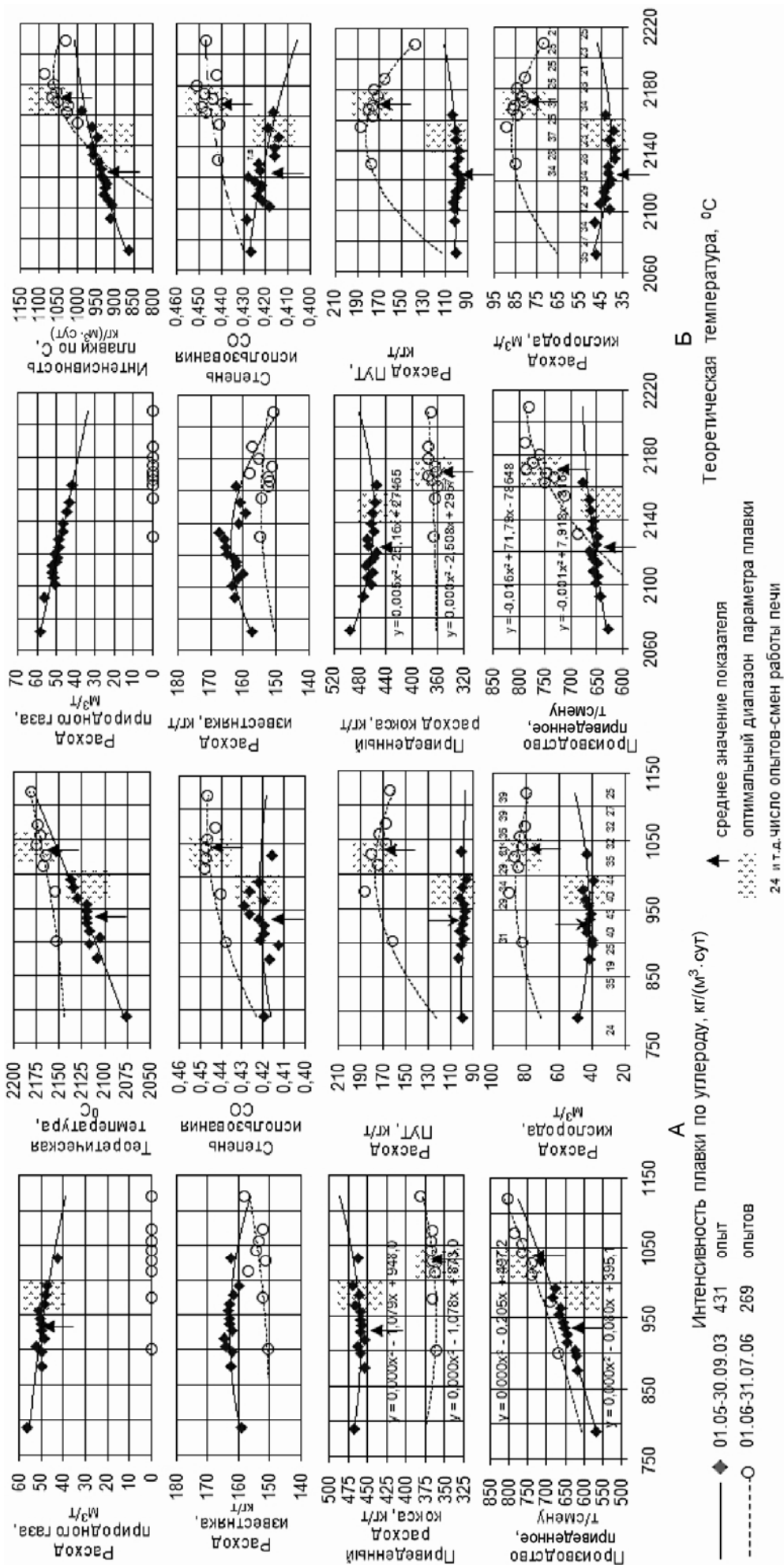


Рис. 1. Зависимость показателей доменной плавки от интенсивности плавки (А) и теоретической температуры (Б) (средние значения параметров плавки, приведенные в табл. 5)

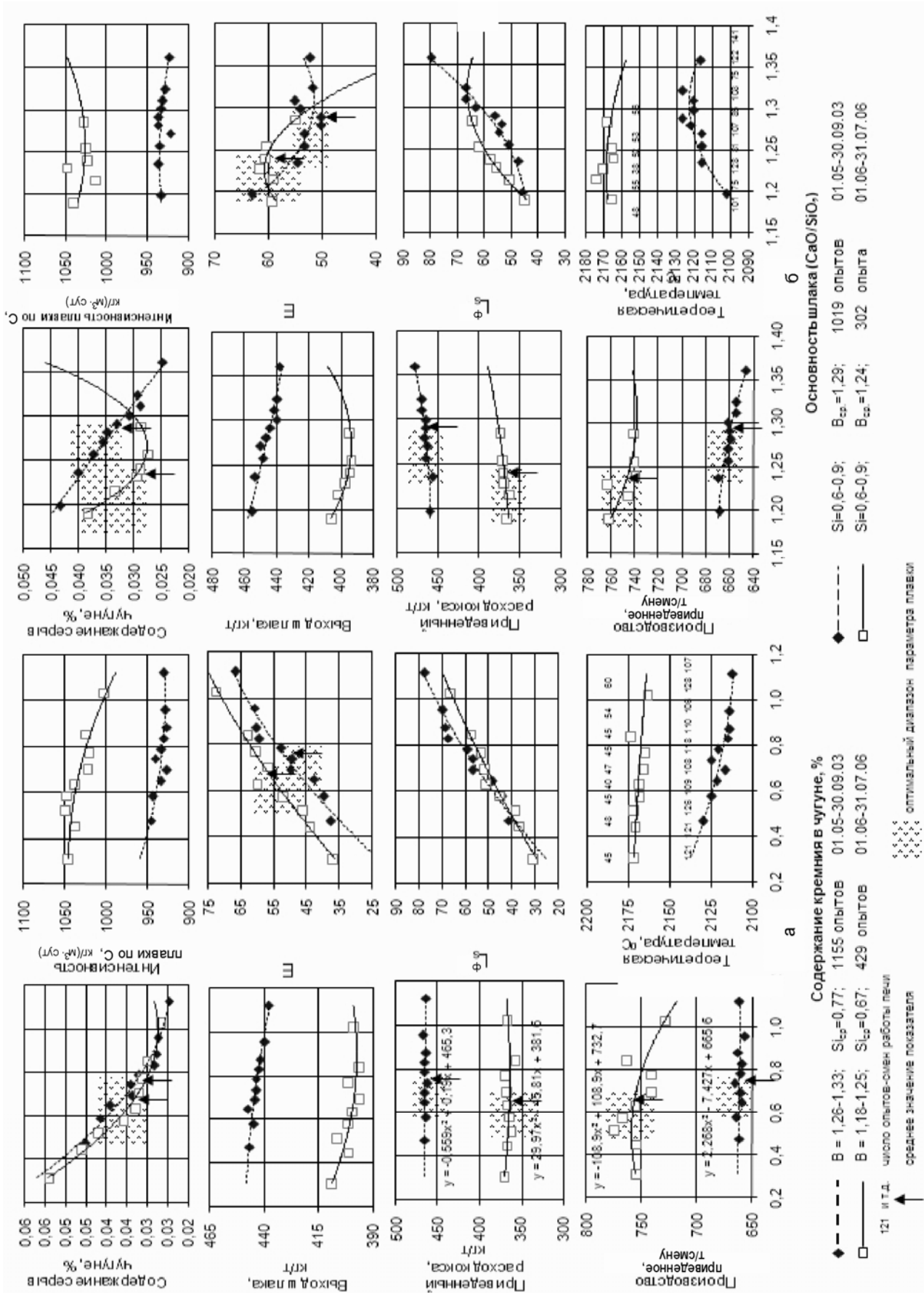


Рис. 2. Зависимость показателей доменной плавки от содержания кремния в чугунах (А — приведение без кремния) и основности шлака (Б — приведение по всем факторам)

Вывод из состава дутья ПГ и переход на кокс “Премиум” определили повышение оптимальных уровня теоретической температуры горения (+40 °С), интенсивности плавки [+50 кг/(м³·сут)] при существенном повышении восстановительной энергии газа η_{CO} (см. рис. 1, А, Б).

В опытный период существенно улучшились условия десульфурации чугуна, что объясняется как снижением прихода серы с шихтой и снижением выхода шлака, так и благоприятными изменениями технологических условий (см. рис. 2, А).

Из рис. 2 следует, что для выплавки кондиционного по содержанию серы (0,04 %) чугуна уровни основности шлака и содержания кремния

в чугуне в опытный период могут быть снижены на ~0,05 (CaO/SiO₂) и 0,1 % соответственно, что само по себе предопределяет возможность улучшения технико-экономических показателей плавки.

Данное изменение определено повышением эффективности процесса десульфурации, что также свидетельствует о соответственном улучшении технологических условий плавки.

При оптимальной основности шлака (CaO/SiO₂ = 1,23) в опытный период коэффициент использования обессеривающей способности шлака ε был выше на 8 % [~12,5 % (отн.)], чем в базовом периоде (рис. 2, Б).

Выводы

1. При работе современных доменных печей с применением ПУТ и уровнем расхода кокса ниже 400 кг/т чугуна одним из определяющих компенсирующих мероприятий является улучшение качества кокса, прежде всего по прочностным показателям, содержанию золы и серы, фракционному составу.

В зарубежной практике при вдувании на 1 т чугуна 150–250 кг ПУТ и расходе кокса 250–350 кг/т чугуна содержание золы и серы в ПУТ ниже, чем в применяемом коксе, показатель горячей прочности кокса (CSR) выше 60 %, содержание в скиповом коксе фракции +80 мм — менее 5 %. Обязательным является применение коксового орешка, загружаемого в печь в смеси с железорудной шихтой.

2. В связи с освоением и совершенствованием в доменном цехе ЗАО “Донецксталь” – МЗ” высокоэффективной пылеугольной технологии разработана и освоена технология производства кокса улучшенного качества (“Премиум”), который характеризуется пониженным содержанием серы (до 0,8 %), показателем истираемости M_{10} — 6,5 %, содержанием фракции +80 мм — от 5 до 10 %. Указанный кокс в 2008–2009 гг. в промышленном масштабе применен в доменном цехе ЗАО “Донецксталь” – МЗ” при работе доменных печей с вдуванием в горн ПУТ в количестве 120–180 кг/т чугуна.

3. Доменная плавка с применением кокса “Премиум” позволила снизить расход кокса на

19–30 кг/т чугуна (4,2–5,1 %), полностью исключить использование ПГ (50–70 м³/т чугуна), существенно повысить расход ПУТ, производительность печи.

При этом отмечено существенное улучшение уровня оптимальности и стабильности технологического процесса, о чем свидетельствуют повышение степени использования восстановительного потенциала оксида углерода η_{CO} (+2,45 %), уровня теоретической температуры горения, интенсивности плавки.

Отмечены также общее снижение затрат тепла и его потерь на охлаждение на 1 т чугуна, существенное — 8 % [12,5 % (отн.)] повышение эффективности использования обессеривающей способности шлака.

4. Теоретические соображения, анализ отечественного и зарубежного опыта показывают, что дальнейшее существенное повышение эффективности применения ПУТ в доменной плавке и снижение расхода кокса до 350 кг/т чугуна и ниже возможны и эффективны только на основе сохранения режима полной и комплексной компенсации нарушений технологии, определяемых горением ПУТ и снижением доли кокса в шихте. При этом одним из важнейших компенсирующих мероприятий является применение кокса улучшенного качества, соответствующего по основным показателям коксу современных зарубежных металлургических предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савчук Н. А., Курунов И. Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. 2000. Ч. II. Приложение 5. — М.: ОАО “Черметинформация”. — 42 с.
2. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный опыт производства такого кокса в Украине / А. Н. Рыженков, А. И. Гордиенко, Е. Т. Ковалев и др.; Труды Междунар. научно-технич. конф. “Пылеугольное топливо — альтернатива природному газу при выплавке чугуна”. Донецк, 18–21 декабря 2006 г. — Донецк: УНИТЕХ. 2006. С. 65–76.
3. Влияние кокса повышенного качества на работу доменной печи с вдуванием пылеугольного топлива без природного газа / Ю. В. Филатов, А. Н. Рыженков, Б. П. Крикунов, В. М. Замуруев и др.; Труды Междунар. научно-технич. конф. “Пылеугольное топливо — альтернатива природному газу при выплавке чугуна”. Донецк, 18–21 декабря 2006 г. — Донецк: УНИТЕХ. 2006. С. 248–254.

4. Методика анализа изменений удельного расхода кокса и производительности доменных печей под влиянием изменений технологических параметров доменной печи // МЧМ СССР. М., ИЧМ. — Днепропетровск, 1984. — 12 с.
5. Волков Ю. П., Шпарбер Л. Я., Гусаров А. К. Технолог-доменщик. — М.: Металлургия. 1986. — 263 с.
6. Опыт освоения и оптимизации технологии на доменной печи № 5 ОАО “ЕМЗ”/ А. Л. Подкорытов, А. М. Кузнецов, В. П. Падалка и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. 2008. № 11. С. 59–70.

Сталеплавильное производство

УДК 669.18

Т. А. ШИРОКИХ, В. Г. ГЕРАСИМЕНКО, к.т.н.
(Национальная металлургическая академия Украины)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ “МЯГКОГО” ОБЖАТИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ЦЕЛЬЮ ПОДАВЛЕНИЯ ОСЕВОЙ ПОРИСТОСТИ И ЛИКВАЦИИ

Перспективным направлением получения качественной продукции является применение при непрерывной разливке стали технологии “мягкого” обжятия непрерывнолитых заготовок.

Рассмотрены вопросы влияния “мягкого” обжятия на качество заготовок, а также поставлены задачи для дальнейших исследований и разработки данной технологии.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали; осевая ликвация; осевая пористость; “мягкое” обжятие непрерывнолитой заготовки.

Perspective trend in manufacturing the quality products is to apply “soft” reduction technology of continuously cast billets during continuous steel casting. Problems of “soft” reduction influence on quality of billets produced at the continuous caster have been considered as well as tasks have been assigned to further investigate and develop this technology.

Key words: continuous steel casting, centerline segregation, centre cavities, soft continuously cast billet reduction.

За последние два десятилетия непрерывная разливка стали стала одним из основных способов разливки стали в мире. В настоящее время, когда на металлургических предприятиях Украины проводится техническое переоснащение сталеплавильного производства с внедрением в работу машин непрерывной разливки стали (МНЛЗ), актуальной является разработка новых технологий для получения бездефектных непрерывнолитых заготовок.

Одними из основных дефектов непрерывнолитой заготовки являются осевая ликвация и осевая пористость, проявляющиеся в виде горячих внутренних трещин или расслоя. Эти дефекты встречаются при разливке сталей практически всех марок. Однако в большей степени они проявляются в высокоуглеродистых сталях с высоким содержанием серы. Основными причинами возникновения осевой пористости и осевой ликвации являются неправильный выбор режимов разливки, в том числе высокий уровень перегрева стали в промежуточном ковше и неравномерное охлаждение заготовки.

Бороться с этими дефектами можно двумя способами: использованием внешнего физического воздействия на кристаллизующуюся заготовку (ультразвуковая обработка, электрогидро-

импульсное воздействие, электромагнитное перемешивание и другие способы ввода упругих колебаний в расплав, которые обеспечивают появление динамической кристаллизации) или использованием “мягкого” обжятия непрерывнолитой заготовки. Анализ литературных источников показывает, что первый способ достаточно сложно реализовать из-за дороговизны оборудования и больших энергозатрат. Второй способ борьбы с дефектами — “мягкое” обжятие непрерывнолитых заготовок — является перспективным, так как он не такой дорогостоящий и более простой в реализации. В англоязычной литературе этот метод получил название “soft reduction”.

Современный технологический процесс разливки сталей широкого химического состава, включая трубные и высокопрочные низколегированные стали, в слябы на высокопроизводительных МНЛЗ должен обеспечивать высокие показатели по качеству макроструктуры: до 80–95 % слябов с баллом по осевой рыхлости и ликвации 0–0,1 и до 50–80 % слябов без трещин [1]. Для достижения таких показателей применяют систему “мягкого” обжятия. Известно, что “мягкое” обжятие значительно снижает осевую пористость и повышает однородность внутренней