

## Анотація

Шаповалов В. І.

Газоармовані матеріали (газари) – 30-річний шлях проблем і прогресу. Повідомлення 2

Представлено огляд відомостей про газоевтектичні матеріали (газари): історія винаходу, наукова база, технологія виробництва, структура, властивості та застосування, який базується на даних, отриманих автором в різні періоди в Україні, Росії, США, Японії та Китаї. Особливу увагу приділено способам виробництва та пристроям для отримання газарів у лабораторному та промисловому масштабах. Частина огляду присвячена новітньому способу отримання газарів, який нещодавно розроблено в США.

## Summary

Shapovalov V.

Gas-armed materials (gasars) – 30-year way of problems and progress. Message 2

The broad review of gas-eutectic materials (gasars) is presented: history of invention, scientific base, production technology, structure, properties, and application. The review is based on experimental data obtained by the author in former Russia, Ukraine, USA, Japan, and China from 1979 to the present time. Gasar production methods and designs of gasar devices for laboratory and industrial manufacturing are discussed. A part of the review is dedicated to last results obtained in USA using fundamentally new method and device.

## Keywords

porous materials, gasars, structure, technology, properties, application

Поступила 24.11.09

УДК 669.162.22:477

**Ю. В. Филатов, А. Н. Рыженков, А. В. Емченко, В. Е. Попов, А. И. Дрейко,  
С. Л. Ярошевский, И. В. Мишин**

ЗАО «„Донецксталь“-МЗ», Донецк

Донецкий национальный технический университет, Донецк

## Опыт работы доменных печей на коксе улучшенного качества и замены природного газа пылеугольным топливом

Рассмотрены технология и эффективность доменной плавки с применением кокса улучшенного качества (кокс «Премиум»). В результате реализации данной технологии содержание серы в коксе снизилось на 0,2-0,3 %, показатели прочности и истираемости составили 88,3 и 89,3 %, 6,55 и 6,50 % соответственно, выход фракции кокса +80 снизился до 3 %. Использование кокса на доменной печи № 1 ЗАО «„Донецксталь“-МЗ» позволило снизить расход кокса на 4,2 и 5,1 % и существенно повысить производительность. Применение опытного кокса способствовало повышению температуры дутья, выводу из его состава природного газа (ПГ), увеличению расхода пылеугольного топлива (ПУТ) и, соответственно, эффективности доменной технологии. Технология внедрена в промышленную эксплуатацию с марта 2009 г.

**Ключевые слова:** кокс «Премиум», пылеугольное топливо, горячая прочность кокса, реакционная способность кокса

Отечественный и зарубежный опыт показывают, что развитие и эффективность доменной технологии в последние 30 лет в значительной мере определены применением пылеугольного топлива (ПУТ), расход которого повысился на 1 т чугуна от 0 до 200-250 кг; доля замены им кокса возросла до 40-45 %, что определило снижение расхода последнего до 250-350 кг/т чугуна [1].

Освоение так называемой малококсовой технологии способствовало повышению времени пребывания шихты в печи и рудных нагрузок на кокс от 3-4 до 5-7 т/т, а также снижению в печи доли кокса. Поэтому закономерно, что переход на такую технологию определил необходимость значительного повышения качества кокса.

В доменном цехе ЗАО «„Донецксталь“-МЗ» в

порядке подготовки технологии к работе с высоким (более 150 кг/т чугуна) расходом ПУТ проведены промышленные испытания и освоена технология плавки с применением кокса «Премиум», характерного повышенным уровнем прочностных показателей.

Газопроницаемость доменной шихты в решающей степени определяется качеством кокса и его долей в шихте. Качество кокса – определяющий компенсирующий фактор при освоении малококсовой доменной технологии выплавки чугуна. 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 преобладанием в структуре геологических запасов и добычей в Украине малометаморфизированных углей с высоким выходом летучих веществ и низким показателем отражения витринита, повышенными зольностью и сернистостью, а также индексом основности минеральной части большинства углей Донбасса, менее совершенной технологией обработки кокса и подготовки его к доменной плавке [2].

Применение пылеугольного топлива с целью замены им кокса в последние 20-25 лет является определяющим фактором технического прогресса в доменном производстве. Франция, Нидерланды,

Таблица 1

**Показатели горячей прочности и реакционной способности кокса на заводах Западной Европы [1]**

Страна, фирма, завод	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 (г. Фос сюр Мер)	53	–
Германия. Средние данные по 9 заводам	65	23
Голландия. Corus (г. Эймейден)	60	24-30
Англия:		
Corus (г. Редкар)	64	25
Corus (г. Скантропе)	65	25
Corus (г. Порт Талботе)	45-70	20-25
Corus (г. Лларверне)	57	30

Бельгия, Испания, Италия, Китай, Япония и другие в настоящее время практически весь чугун выплавляют с применением ПУТ.

Использование ПУТ наиболее успешно в доменных печах, на которых обеспечено значительное повышение следующих параметров качества кокса:

Таблица 2

**Характеристики кокса и железорудного сырья ЗАО «„Донецксталь“-МЗ»**

Периоды		Вид кокса по периодам исследований							
		кокс «Премиум»	обычный	обычный	кокс «Премиум»				
		период 1 (2006 г., май-сентябрь, 149 суток)	период 5 (2007 г., апрель, май, июль, 91 сутки)	период 7 (2009 г., январь-март, 90 суток)	период 8 (2009 г., апрель-июнь, 89 суток)				
Показатели качества кокса по поставщикам									
Характеристики 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	5,50	5,13	4,80				
	зола	10,62	10,91	11,20	10,61				
	сера	0,85	1,15	0,97	0,77				
Прочность	M25	88,38	87,64	88,41	89,31				
	M10	6,55	7,11	7,20	6,51				
Ситовый состав	> 80	2,76	4,0	5,26	4,08				
	< 25	3,45	4,98	4,13	3,16				
Показатели качества агломерата (А) и окатышей (О) по поставщикам									
Характеристики железорудного сырья		А	О	А	О	А	О	А	О
		ЮГОК	СевГОК	МК им. Ильича, ЮГОК	СевГОК	МК им. Ильича	СевГОК	МК им. Ильича	СевГОК (оффлюс.)
Химический состав, %	Fe	54,29	61,20	53,60	61,70	50,05	62,46	51,01	60,71
	FeO	12,67	8,12	13,30	–	14,07	–	14,0	–
	SiO <sub>2</sub>	9,87	3,53	10,04	7,91	11,28	6,85	10,57	7,30
	CaO	12,15	0,88	12,44	3,08	14,01	2,51	13,05	4,42
	MgO	0,55	0,53	1,20	1,0	1,27	0,82	1,32	1,14
	CaO/SiO <sub>2</sub>	1,23	3,69	1,24	0,47	1,24	0,49	1,23	0,76
Фракция до 5 мм, %		17,66	3,77	14,40	3,48	14,30	3,05	14,30	3,80
Прочность		–	226,60	–	231,60	–	232,0	–	229,0

показатели горячей прочности кокса (CSR) и реакционной способности (CRI) – соответственно 60-74 и 17-25 %; отсев из металлургического кокса фракции (35-40) мм; содержание фракции +80 мм в скиповом коксе – менее 5 % (табл. 1) [1].

Специалистами ЗАО «Донецксталь-МЗ», коксохимическими предприятиями концерна «Энерго»

и ОАО УХИН (г. Харьков) в 2006 г. на ЗАО «Макевкокс», ОАО «Ясиновский КХЗ» и ОАО «Донецкий КХЗ» при использовании малосернистых углей шахты «Красноармейская Западная № 1», выполнены исследования, позволившие освоить технологию производства кокса повышенного качества [2, 3].

Таблица 3

**Показатели работы доменных печей № 1, 2 ЗАО «Донецксталь-МЗ» с применением кокса «Премиум»**

Характеристики	Средние показатели кокса по доменным печам и периодам			
	ДП № 2		ДП № 1	
	май-октябрь 2006 г., «Премиум»	апрель-июль 2007 г., обычный	январь-март 2009 г., обычный	апрель-июнь 2009 г., «Премиум»
Производство среднесуточное, т/сутки	2190	1959	1665	2010
Производство, приведенное без качества кокса, т/сутки	2109	–	–	–
Расход кокса сухого скипового и коксового орешка, кг/т чугуна	405	472	539	461
Расход кокса сухого скипового и коксового орешка, приведенных по всем факторам, но без показателей качества кокса, кг/т чугуна	453	–	–	–
Содержание железа в железорудной части шихты, %	58,4	57,9	58,2	60,6
Расход материалов, кг/т чугуна:				
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
металлосодержащих материалов	93,7	60,5	1,2	1,1
известняка обыкновенного	141,3	132,3	180,2	150,3
Дутьевой режим:				
расход, м <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /т чугуна	0	1,3	0	0
Расход ПУТ, кг/т чугуна	171,3	131,5	106,8	136,1
Расход кислорода, м <sup>3</sup> /т чугуна	78,8	64,7	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, %:				
СО	26,2	26,1	22,4	24,2
СО <sub>2</sub>	20,5	16,4	19,9	19,5
Н <sub>2</sub>	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	429	393	326
химический состав, %:				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,2	6,5	6,5	6,2
MgO	4,5	5,7	5,1	6,8
основность шлака, CaO/SiO <sub>2</sub>	1,24	1,24	1,24	1,18
основность шлака, (CaO + MgO)/SiO <sub>2</sub>	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

Опытно-промышленные плавки с применением кокса улучшенного качества («Премиум»). В табл. 2 и 3 представлены результаты производства и длительных промышленных испытаний кокса «Премиум» на доменных печах ЗАО «„Донецксталь“-МЗ».

Доменные печи № 1 и 2 (полезным объемом по 1033 м<sup>3</sup>) имеют по 16 воздушных фурм и 2 чугунные летки, типовые двухконусные засыпные аппараты, работают на дутье, обогащенном кислородом, с повышенным (1,2-1,3 ати) давлением газа на колошнике и вдуванием в горн ПГ и ПУТ.

С 1989 г. на указанных печах успешно освоена технология с вдуванием ПУТ + ПГ с обогащением дутья кислородом (O<sub>2</sub>), которая, в силу повышения дефицитности и стоимости ПГ, с 2006 г. заменена на технологию с вдуванием ПУТ + O<sub>2</sub>. В качестве железорудной шихты использовали агломераты ОАО ЮГОК и ММК им. Ильича, окатыши ОАО СевГОК, а в качестве кускового топлива – коксы ОАО «Донецкого КХЗ», ЗАО «Макеевского КХЗ» и ОАО «Ясиновского КХЗ». Пылеугольное топливо производилось из смеси донецкого тощего угля и низкосернистого газового угля (Кузбасс, Россия) (см. табл. 2, 3). Приведение периодов работы ДП № 1, 2 к равным условиям выполнялось по общепринятым методикам и коэффициентам [4, 5].

Значительное различие в показателях плавки ДП № 2 (2006-2007 гг.) и ДП № 1 (2009 г.) объясняется, прежде всего, состоянием доменных печей, их профилем, незавершенностью на ДП № 1 освоения технологии плавки на 100 % окатышей СевГОК в шихте и другими причинами.

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

Железорудная шихта, состоявшая из окатышей СевГОК и агломератов ЮГОК и ОАО «ММК им. Ильича», характеризовалась относительной стабильностью и постепенным повышением (вплоть до 100 %) доли окатышей в шихте. Качество кокса отличалось значительным различием физико-химических свойств (см. табл. 2).

Периоды 1 и 4 представлены преимущественно коксом улучшенного качества «Премиум» ОАО «МКХЗ» (см. табл. 2).

Во 2-м и 3-м периодах на указанных КХЗ производили кокс обычного качества при снижении доли кокса ЗАО «МКХЗ». В сравниваемых (1 и 2) и (3 и 4) периодах (см. табл. 3) значительно различие коксов «Премиум» и обычного по содержанию серы (0,30 и 0,20 %), показателю М10: -0,56 и -0,69 % соответственно, 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 1 т чугуна на 67 и 78 кг/т чугуна (14,1 и 14,5 %), приросту производительности печей на 231 и 345 т/сутки (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 ОАО «Енакиевский металлургический завод» («ЕМЗ») [6].

Значительное уменьшение экономии приведенного к равным условиям кокса объясняется (особенно в первой паре периодов) значительным повышением температуры дутья и расхода ПУТ при использовании кокса «Премиум», что можно объяснить благоприятным влиянием на технологию применения кокса улучшенного качества. Это выражение подтверждается расчетом экономии кокса за счет улучшения его качества, выполненным по коэффициентам приведения, составившим для рассматриваемых пар периодов соответственно 15,5 и 20,7 кг/т чугуна [4, 5].

Благодаря улучшенному качеству кокс в меньшей мере подвергался разрушению в доменной печи, что способствовало комплексному улучшению технологических условий плавки, более ровному сходу шихты, эффективному распределению газопотока и др. В конечном счете, эти изменения определили повышение температуры дутья и расхода ПУТ, соответственное снижение расхода кокса.

Таблица 4  
Комплексные характеристики плавки при работе доменной печи № 2 ЗАО «„Донецксталь“-МЗ» на коксе «Премиум» (база – табл. 2)

Показатели	Средние показатели по видам кокса и периодам исследований	
	«Премиум» май-октябрь, 2006 г.	обычный апрель-июль, 2007 г.
Объемная доля кокса в шихте, %	46,73	50,15
Выход горновых газов, м <sup>3</sup> /т чугуна	1540	1720
Выход восстановительных газов, м <sup>3</sup> /т чугуна	722,42	740,60
Время пребывания газа в печи, с	3,16	3,36
Время пребывания шихтовых материалов в печи, ч	7,20	7,42
Суммарный приход тепла, ккал/т чугуна	2392,6	2505,1
Потери тепла, ккал/% т чугуна	291,6 / 12,19	335,5 / 13,39
Теоретическая температура горения, °С	2120	2097
Степень использования газа:		
$\eta_{CO}$ , %	44,71	42,26
$C_{\Phi}$ , кг/т	204,4	255,4
Коэффициент полезного действия тепла, %	87,81	86,61
Коэффициент использования тепловой энергии $C$ , %	63,69	60,39
Тепловое значение углерода, ккал/кг (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 <sup>3</sup> /т кокса	4186	4035
скорость газа в распаре, м/с	12,25	9,46

Экспериментальный и аналитический анализы результатов опытно-промышленных плавки. Анализ комплексных параметров плавки, полученных в результате расчета материально-тепловых балансов в анализируемых периодах, представлен в табл. 4, из которой следует, что доменная плавка на коксе «Премиум» способствовала улучшению степени использования в печи оксида углерода ( $\eta_{CO}$ ) на 2,45 % (5,5 % относительных), повышению теоретической температуры горения (+23 °С) и коэффициента полезного действия тепла (+1,2 %) при сохранении в оптимальных пределах основных определяющих показателей плавки.

Следствием указанных изменений технологии являются 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 1 т чугуна – 24,65 кг/т ( $\approx 4$  %).

Результаты оценки основных технологических параметров плавки в процессе работы доменной печи с вдуванием (ПГ + ПУТ +  $O_2$ ) при обычном качестве кокса и ПУТ +  $O_2$  – с использованием кокса «Премиум» представлены в табл. 5, из которой (периоды 2 и 3) следует, что вывод из состава дутья 54 м<sup>3</sup> ПГ, переход на использование 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 м<sup>3</sup>/т,  $\approx 10$  %), повысились теоретическая температура горения (+48 °С) степень использования газа  $\eta_{CO}$  (0,02).

Итогом указанных изменений являются повышение производительности печи на 288 т/сутки ( $\approx 15,7$  %), снижение расхода кокса и коксового орешка на 44 кг/т чугуна ( $\approx 9,5$  %) (табл. 5).

Из табл. 5 (периоды 1, 2, 3) также 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 +  $O_2$ ), а также повышение оптимальных уровней теоретической температуры горения (+40 °С), интенсивности плавки (+50 кг/м<sup>3</sup> сутки) при существенном повышении использования восстановительной энергии газа ( $\eta_{CO}$ ).

В опытном периоде благоприятно изменились условия десуль-

фурации чугуна, что объясняется как уменьшением поступления серы с шихтой и снижением выхода шлака, так и благоприятными изменениями технологических условий.

Установлено, что для выплавки кондиционного по содержанию серы чугуна (0,04 %) уровни основности шлака и содержания кремния в чугуне в опытном периоде могут быть снижены на  $\approx 0,05$  ед. ( $CaO/SiO_2$ ) и 0,1 % соответственно, что само по себе предопределяет возможность улучшения технико-экономических показателей плавки.

Указанные изменения, прежде всего, определены повышением эффективности процесса десульфурации: в опытном периоде при оптимальной основности шлака ( $CaO/SiO_2 = 1,23$ ) коэффициент использования обессеривающей способности шлака ( $\epsilon$ ) был выше на 8 % ( $\approx 12,5$  % относительных), чем в базовом периоде.

Таблица 5

Показатели работы ДП № 2 ЗАО «„Донецксталь“-МЗ»

Показатели	Средние показатели по периодам		
	01.06-31.08, 2002	01.03-31.10, 2003	01.05-31.10, 2006
Производство чугуна расч., т/сутки	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 кислорода, м <sup>3</sup> /т	42	40	79
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т	88,3	54,0	0
Расход ПУТ, кг/т	0	96	175
Интенсивность плавки по коксу, кг/м <sup>3</sup> в сутки	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, $\eta_{CO}$ , %	0,407	0,42	0,44
Химический состав чугуна, %:			
Si	0,81	0,77	0,69
Mn	0,27	0,23	0,16
S	0,030	0,038	0,039
Шлак:			
выход шлака, кг/т	455	422	407
Химический состав шлака, %:			
MgO	4,3	3,1	4,5
$Al_2O_3$	6,20	6,36	6,25
$CaO/SiO_2$	1,26	1,28	1,22

## Выводы

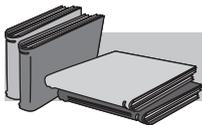
1. При работе современных доменных печей с применением ПУТ и уровнем расхода кокса ниже 400 кг/т чугуна одним из определяющих компенсирующих мероприятий является улучшение качества кокса по прочностным показателям, содержанию золы и серы, фракционному составу.

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 более 80 мм – менее 5 %. Обязательным является применение коксового орешка, загружаемого в печь в смеси с железорудной шихтой.

2. Разработана и освоена технология производства кокса улучшенного качества («Премиум»), характерного пониженным содержанием серы (до 0,8 %), показателем истираемости (M10) 6,5 %, содержанием фракции +80 мм от 5 до 10 %. В 2006-2009 гг. кокс с указанными характеристиками применен в промышленном масштабе 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 применение ПГ (50-70 м<sup>3</sup>/т чугуна), 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  $\eta_{\text{CO}}$  (+2,45 %) и уровня теоретической температуры горения.

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 кокс улучшенного качества, соответствующий по основным показателям коксу современных зарубежных металлургических предприятий.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Савчук Н. А., Курунов И. Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. – 2000. – Ч. II, прил. 5. – 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. – 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. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 248-254.
4. Узлов И. Г., Пухов А. П., Товаровский И. Г. Методика анализа изменений удельного расхода кокса и производительности доменных печей под влиянием изменений технологических параметров доменной плавки. – Москва: МЧМ, 1987. – 14 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. // Чер. металлургия. – 2008. – № 11. – С. 59-70.

### Анотація

Філатов Ю. В., Риженков О. М., Ємченко А. В., Попов В. Є., Дрейко О. І., Ярошевський С. Л., Мішин І. В.

Досвід роботи доменних печей на коксі покращеної якості та заміни природного газу пиловугільним паливом

Розглянуто технологію та ефективність доменної плавки з використанням коксу покращеної якості (кокс «Премиум»). В результаті реалізації даної технології вміст сірки в коксі знизився на 0,2-0,3 %, показники міцності та стираності склали 88,3 і 89,3 %, 6,55 і 6,5 % відповідно, вихід фракції коксу +80 знизився до 3 %. Використання коксу на доменній печі № 1 ЗАТ «Донецьксталь»-МЗ дозволило знизити витрату коксу на 4,2 і 5,1 % та суттєво підвищити продуктивність. Застосування коксу, що досліджувався, сприяло підвищенню температури дуття, виведенню з його складу природного газу, підвищенню витрати пиловугільного палива і, відповідно, ефективності доменної технології. Технологію упроваджено в промислову експлуатацію з березня 2009 р.

### Ключові слова

кокс «Премиум», пиловугільне паливо, гаряча міцність коксу, реакційна здатність коксу

## Summary

Filatov U., Ryzhenkov A., Emchenko A., Popov V., Dreyko A., Yaroshevskiy S., Mishin I.

### Experience of blast furnace operation with using improved quality coke and replacing of natural gas with pulverized coal

The technology and efficiency of blast-furnace operation with using of coke of the improved quality (coke «Premium») are considered. As a result of technology realization the sulfur content in coke has decreased on 0,2-0,3 %, rate of stability and abrasability were 88,3 and 89,3 %, 6,55 and 6,50 % respectively, the output of coke fraction +80 has decreased to 3 %. Using of coke on a blast furnace № 1 of «Donetsksteel»-МЗ CISC allowed to decline the consumption of coke on 4,2 and 5,1 % and essentially elevate productivity. Using of experimental coke facilitated to rise the temperature of hot blast, remove natural gas from its structure rise pulverized coal consumption and thereafter efficiency of blast furnace technology. Technology is put into production since March, 2009.

## Keywords

coke «Premium», pulverized coal, coke strength, coke reactivity

Поступила 29.11.10

УДК 621.186.3

**Б. Н. Вишнеvский, В. П. Емельяненко\*, В. И. Лещенко\***

Государственное предприятие «Украинский институт по проектированию металлургических заводов», Днепропетровск

\*ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», Мариуполь

## 45 лет успешной эксплуатации уникального паропровода

Рассмотрено проектирование, строительство и многолетняя эксплуатация наружного паропровода высокого давления (10,0 МПа, 540 °С) на ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» (ныне ММКИ). Приведены эксплуатационные данные и реальные потери тепла паропроводом.

**Ключевые слова:** наружный паропровод, высокое давление, технические решения, эксплуатация, техническая диагностика металла, параметры пара, теплотери

**В** ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» (раньше – Ждановский металлургический завод им. Ильича) в 1962 г. приняли решение построить наружный паропровод высокого давления (10 МПа, 540 °С) от паровых котлов до приводных турбин ВКв-22 (мощностью по 22 МВт) этих компрессоров в связи с расположением воздушных компрессоров типа К-3000-61-1 двух кислородных блоков БР-2 на значительном удалении от паровоздуходувной станции – 2 (ПВС-2). Продиктовано это было, в основном, отсутствием в СССР электроприводов соответствующей мощности.

Рабочая документация паропровода, состоящая из двух трубопроводов (ниток), была выполнена Укргипрометом в 1963 г., ввод в эксплуатацию произведен в мае 1965 г. Длина одной нитки по оси с

учетом компенсаторов составляет 635 м. Паропроводы от котлов до турбин являются главными паропроводами станции. Обычно главные паропроводы проектируются более короткими (до 100-150 м) в связи с их высокой стоимостью в соответствии с параметрами и категорией. Для нашего случая (согласно [1], п. 1.2, табл. 1) такие паропроводы относятся к группе 2 самой ответственной категории I. Они должны выдерживать внутреннее давление пара 10,0 МПа при температуре 540 °С. Трубы из жаропрочной хромомолибденовой стали 12ХМФ (см. [1], п. 9.1, прил. 2) удовлетворяют этим условиям работы. Главный паропровод всегда располагается внутри станции. В нашем случае на подавляющей части своей длины его трубы являются внешними коммуникациями, подверженными всем