

УДК 669.162.2:669.162.1

Н.М.Можаренко, Е.Д.Вышинская, В.В.Горупах

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ ТОПЛИВНО-СЫРЬЕВЫХ УСЛОВИЯХ*Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины*

Рассмотрена целесообразность корректировки размеров профиля доменных печей при проведении ремонтов и модернизаций. Показана возможность снижения высоты шахты и увеличения поперечных размеров элементов профиля. Установлена целесообразность уменьшения углов наклона шахты и заплечиков при увеличении доли окатышей в шихте до 100 % и внедрения технологии пылеугольного топлива. Уменьшение углов наклона заплечиков на одной из доменных печей ПАО «ЕМЗ» до 76° способствовало улучшению теплового состояния печи.

Ключевые слова: доменная печь, профиль, углы наклона шахты, окатыши, пылеугольное топливо, тепловое состояние печи

Введение. Вопросам обеспечения производительной и экономичной работы доменных печей всегда придавалось большое значение. Помимо обязательного ритмичного снабжения их необходимым количеством железорудных материалов, коксом и топливными добавками, с обеспечением должного их качества и рациональной организацией производства, большое внимание уделялось проведению плановых капитальных и расширенных модернизационных ремонтов. Именно при выполнении последних, как правило, ставится в настоящее время задача вывода плавильных агрегатов на качественно новый уровень. При этом, кроме внедрения на печах новых технологий, оснащения новыми средствами загрузки, управления и контроля ходом печи, выдвигаются задачи по расширению эксплуатационных возможностей непосредственно центрального узла – доменной печи. Это достигается как за счет обеспечения более высокой газопропускной способности столба шихты (качества шихтовых материалов), так и расширения универсальности проплавки за счет использования более широкого диапазона железорудных материалов (агломерат, окатыши, брикеты и др.) и топливно-восстановительных добавок (природный газ, ПУТ, мазут, технологические газы и др.). Наряду с другими мероприятиями эти задачи, в значительной мере, обеспечивались технологическими возможностями принятых проектных профилей особенно в нестабильных топливно-сырьевых условиях.

Краткий анализ тенденций изменения профилей доменных печей. Профиль доменной печи, ограничивающий ее рабочее пространство, так называемый «полезный объем», является важнейшей технологической частью конструкции печи. В зависимости от его очертания доменная печь может быть склонна к периферийному или осевому ходу, к неустойчивости

заданного режима и даже к настылеобразованию [1]. Поэтому, исключительно важно создание так называемого «рационального» профиля, обеспечивающего стабильный ровный сход материалов по сечению печи и максимальное использование восстановительной способности газа в широком диапазоне проплавки видов и качественных показателей железорудных и топливно-восстановительных материалов. Современные типовые профили, рассчитанные на любые условия плавки, не следует считать правильными с точки зрения их классического определения по М.А Павлову [2]. Это обусловлено тем, что различные минералогические, гранулометрические и физико-химические особенности разного железосодержащего сырья имеют свою специфику поведения при проплавке их в доменной печи. Создание же профиля для приоритетного проплавления узкого класса железорудных материалов может значительно снизить технологические возможности доменной печи. Поэтому важно создание так называемого «рационального» профиля, пригодного в достаточной степени для широкого спектра условий доменной плавки [3-6]. Однако до настоящего времени наука и практика не выработали надежной методики определения его очертания для таких условий. При этом многочисленные результаты исследований и рекомендации ограничиваются только статистическими данными на основе службы отдельных зон профиля в сопоставимых условиях [7-14].

Для оценки тенденций развития профилей были рассмотрены особенности проектных профилей всех типовых доменных печей СССР [15] и наиболее современных Японии, Западной Европы, России и Америки (табл. 1 – 4).

Для доменных печей бывшего СССР характерным было то, что с увеличением их полезного объема поступательно росли их высотные и поперечные размеры. При этом соблюдалось сохранение основных соотношений поперечных и высотных размеров элементов профиля. Причем, в соотношении линейных размеров элементов профиля и углов наклона шахты и заплечиков присутствовало влияние использования в шихте сырых материалов (руды и известняка). Такой путь развития конструкций доменных печей присущ был длительное время также и для печей Западной Европы. Это обуславливалось необходимостью наиболее полного восстановления железа из железорудной шихты [1,15].

Интересен и поучителен путь совершенствования профилей доменных печей Японии. На конец 50-х начало 60-х годов прошлого столетия доменное производство страны находилось в стадии конца 19 начало 20 столетия. Но, встав на путь промышленного развития, в Японии было уделено большое внимание интенсивному развитию металлургии. Это коснулось, в частности, и отработки эффективных профилей доменных печей с учетом определенных топливно-сырьевых условий. Оценив успешное интенсивное развитие доменного производства СССР в 50-е – 60-е годы прошлого столетия японскими промышленными компаниями были

приобретены лицензии на проектные профили доменных печей полезным объемом 1719 м³, 2000 м³ и 2700 м³. На этой базе были выполнены обширные исследования по выявлению достоинств и недостатков приобретенных вариантов проектных профилей с учетом перспективных сырьевых условий. В результате, уже к концу 60-х годов в Японии начали вводиться в эксплуатацию печи с откорректированными проектными профилями. В целом, развитие профилей доменных печей Японии характеризовалось, главным образом, увеличением поперечных размеров и незначительным приростом их высоты, что положительно сказалось на газопропускной способности, эксплуатационной устойчивости, производительности, экономичности и длительности кампаний, табл.2,3, [1]. Такой путь развития обеспечивался хорошей подготовкой железосодержащих материалов к плавке и, в первую очередь, высокой их восстановимостью и повышенной горячей прочностью.

К концу 60-х началу 70-х годов исследователями Института черной металлургии было установлено, что, при существующем на то время уровне подготовки железорудных материалов, верхняя часть шахты в тепловом и восстановительном понимании работала в пассивном режиме

Было показано, что на участке столба шихты ниже уровня засыпи на 3 м степень отнятия кислорода от окислов железа шихты была в среднем равна 1 % на 1 м полезной высоты печи. Причем, это достигалось, преимущественно, за счет восстановления Fe₂O₃ железосодержащей шихты, которое, при существующем там уровне температур 250-300⁰С, могло бы восстанавливаться даже в присутствии диоксида углерода. Такой уровень развития восстановления не оправдывался затратами на подъем материалов на эту высоту. На основании этого Институтотом была выдана рекомендация Минчермету и Гипромету о целесообразности снижения высоты шахт проектируемых доменных печей [16].

Таким образом, эволюция профилей доменных печей Японии и наши исследования создали в начале 70-х годов предпосылки для снижения соотношения полезной высоты к диаметру распара (H : D) для печей полезным объемом 3200 м³, 5034 м³ и 5500 м³ до 2,30-2,50 ед., при высоте шахт, табл.2,3, [1]. По мере повышения степени подготовки материалов к плавке такая тенденция в соотношениях поперечных размеров и высоты доменной печи получила подтверждение и всеобщее признание.

Необходимо отметить, что, наряду с увеличением всех поперечных размеров профиля печи, приоритетное развитие получил диаметр распара. Это, в значительной мере, увеличило технологические возможности доменных печей, что особенно важно стало в условиях применения повышенной доли окатышей в шихте и вдувании пылеугольного топлива [1].

Таблица 1 – Профили типовых советских печей [2]

Объем, м ³	Диаметр, мм				Высота, мм				Угол наклона, °		Отношение		К-во форм		
	Горн, d	Распар, D	Колошник ₀		Распар	Шахта	Колошник	Зумпф		Шахта	Запелчки	Hс:D		D:d	
			Горн, Hс	Общая, Hс				Горн, Запелчки	Распар						
1033	7200	8200	28700	3200	3000	2000	15000	2800	600	85°25'34"	80°32'15"	3,18	0,71	1,14	14
1386	8200	9300	6500	31225	3200	2000	16000	2900	450	84°59'52"	80°14'51"	2,94	0,70	1,13	16
1513	8600	9600	6600	30750	3200	1800	17300	2500	766	85°02'40"	81°07'10"	2,92	0,69	1,12	18
1719	9100	10200	6900	31250	3200	2000	17800	2500	1099	84°42'14"	79°36'40"	2,79	0,68	1,12	18
2000	9750	10900	7300	32358	3500	3000	17000	18200	2900	84°21'06"	79°09'	2,70	0,67	1,12	20
2300	10500	11700	7300	33150	3800	3200	17000	19000	2500	83°23'47"	79°22'49"	2,68	0,66	1,11	20
2700	11000	12300	8100	33650	3900	3400	18700	3000	1699	83°35'33"	79°10'38"	2,64	0,66	1,12	20
3000	11600	12800	8400	34950	3900	3200	20000	20100	3000	83°45'14"	79°22'49"	2,51	0,656	1,12	28
3200	12000	13100	8900	35290	3900	3400	19600	2990	-	83°53'	80°49'	2,46	0,675	1,09	28
5000	14700	16100	10800	36100	4400	3700	17000	20700	3000	82°42'17"	79°17'13"	2,08	0,67	1,095	36
5500	15100	16500	11200	35500	5700	3700	20000	20400	3000	82°35'35"	79°17'13"	2,22	0,69	1,095	40

Таблица 2 – Профили печей большого объема Японии, Западной Европы и Америки *)

Название печи	Объем, м ³	Диаметр, мм				Высота, мм				Угол наклона, °		К-во форм	
		Горн	Распар	Колошник		Горн	Запелчки	Распар	Шахта	Колошник	Зумпф		
				Горн	Распар						Шахта		Колошник
"Fukuyama", Japan, № 5	4617	14000	15900	10700	6200	4300	2500	17000	2000	1500	80°18'	80°06'	42
№ 4	4197	13800	15200	10500	5750	4000	2750	16750	2000	1350	82°01'	80°04'	40
№ 3	3223	12400	13000	9000	5700	3500	3000	17000	1500	1500	83°17'	80°16'	34
"Oita", Japan, № 2	5070	14800	16000	10500	4165	3800	2500	18400	2600	2085	82°14'5"	81°52'12"	40
№ 1	4158	14000	15000	10200	5200	3500	1900	17600	1400	1987			38
"Kimitsu" Japan, № 3	4063	13500	14600	9500	4900	4000	3000	18100	2000	1800	80°22'	79°48'	38
"Tobata" Japan, № 4	3799	13500	14400	10000	5700	3400	2000	16400	1000	2500	82°22'26"	79°47'46"	36
"Kashima" Japan, № 1	3159	12400	13100	9600	5200	3200	2800	15350	1890	1500			36
№ 2	4080	13800	14600	10000	6300	3500	3000	18100	2000	1500			38
№ 3	5050	15000	16300	11200	5100	4000	2800	16900	2400	1500	81°22'	80°46'	40
№ 4	4500	14100	15500	10500	5300	4100	2700	17100	1839	2100	81°41'	80°19'	40
"Dunkierka", France, № 4	4615	14200	15400	11000	7100	4000	3000	17000	3500	2100	82°57'	81°28'	40
"Redcar", UK, № 1	4572	14000	15300	10800	5400	3600	3000	18100	1500	2050	82°55'	79°46'	36
"Schwelgern", RFN, № 1	3600	13600	15300	10000	5000	4000	2500	17000	4650	1055	84°27'	78°	40
"Jmuiden", Hollandia, № 7	4177	13100	14630	9815			32890						38
"Sparrows Point", USA, L	4220	13565	14985	10070	5715	3050	3810	16840	3050	1525	81°42'	80°26'	38
"Indiana Harbor", USA, № 7	4175	13715	15115	10220	4995	4000	2500	17000	2000	1540	81°48'	80°06'	40

Таблица 3 – Профили доменных печей с тонкостенной шахтой*)

Наименование элементов профиля	Сидмар А, Бельгия	Сидмар В, Бельгия	Австралия, Испания	Н. Тагил №5, Россия	НЛМК Россия (тонкостенная футеровка)	НЛМК №7, Россия (проект)	Прайсаг, Германия	Порт Кембла А, Австралия	Порт Кембла В, Австралия	Порт Кембла 6, Австралия
Проектировщик	PW	PW	SMS	МПП	Гипромез	PW	МД	PW	PW	PW
Диаметр горна d_g , м	11	10,5	11,3	9,8	12	13	11,2	12	12	11,8
Диаметр распара d_p , м	12,7		12,8	11,9	14,2	14,82	13,2	13,83	13,83	13,83
Высота горна, м	4,6	3,9		4,6	4,6	5,2		4,35	4,35	4,8
Высота заплечиков, м	3,8	3,25	3,7	5,1	4,45	4,8	3,8	4,5	4,5	3,95
Высота распара, м	2,25	2,42	2,2	2,6	0,85	2	3,25	2,5	2,5	2,35
Высота шахты, м	18,8	18,1	16,1	14,2	20	19,65	16,5	16,47	16,47	16,47
Полезная высота Н (от фурм до верха шахты)	25,6	25,55	25,5	23,8	28,1	29,35	25,65	26,2	26,2	25,47
Соотношение Н : d_g	2,33	2,42	2,25	2,43	2,34	2,25	2,3	2,18	2,18	2,15
Соотношение d_p : d_g	1,15		1,13	1,21	1,18	1,14	1,18	1,15	1,15	1,17
Угол по шахте	84,35	84,1		82,5	82,5	83	81,3	81,25	81,25	81,25
Угол заплечиков по футеровке	77		78,5	79	76,14	79,265	75,3			
Угол заплечиков по холл. плитам	83	79,3		79	76,14			83,27	83,27	81,49
Рабочий объем, м ³ от фурменных приборов до уровня засыпи	2550	2347	2730	1890		3739		2860	2860	2749

Наименование элементов профиля	Сидмар А, Бельгия	Сидмар В, Бельгия	Австралия, Испания	Н. Тагил №5, Россия	НЛМК №6, Россия (тонкостенная футеровка)	НЛМК №7, Россия (проект)	Прайсаг, Германия	Порт Кембла А, Австралия	Порт Кембла 5, Австралия	Порт Кембла 6, Австралия
Проектировщик	ФАИ	MANGHN	MANGHN	MANGHN	МПП	МПП		PW		Гипрометз
Диаметр горна d, м	11	13,6	14,9	10,2	9	9,1	13,7	9,75	15	11
Диаметр распара ϕ_p , м	12,3	16	17,16	11,8	10,6	10,6	15,3	11,3	17,3	12,8
Высота горна, м	3,4	5,1	5,3	4,5	4,6	4,6	5,1	4,1		4,4
Высота заплечиков, м	2,8	3,65	3,9	3,5	3,2	3,2	4,1	3,55	5,6	3,4
Высота распара, м		2,5	3	2,5	2,5	2,5	2,2	2,35	1,8	2,45
Высота шахты, м	17,55	17	17,7	15	13,9	13,7	16,0	16,15	17,3	17
Полезная высота Н (от фурм до верха шахты)	25,85	27,3	29	23,6	22,0	21,9	24,7	23,39	27,3	25,7
Соотношение Н : dг	2,35	2	1,94	2,31	2,44	2,4	1,80	2,4	1,82	2,34
Соотношение ϕ_p : dг	1,12	1,17	1,15	1,16	1,17	1,16	1,12	1,16	1,15	1,16
Угол по шахте	83,1	81	81	81,9	82	84	81,3	83	80	83,5
Угол заплечиков по футеровке		74	73,7	77,7	76	76,8	79	77	77	79,2
Угол заплечиков по холл. плитам		74	73,7	77,7	76	79		77,8	77	79,2
Рабочий объем, м3 от фурменных приборов до уровня засыпи	2550	3844	4769	1833	1510		4100		5370	

Таблица 4 – Проектные профили доменных печей Tissen Shtal и Hoogowens [17]

Наименование элементов профиля	Tissen Shtal		Hoogowens	
	ДП-1	ДП-2	ДП-4	ДП-9
Высота, мм :				
колошника	н/св.	н/св.	н/св.	н/св.
шахты	17000	17700	16310	15000
распара	2500	3000	1500	2500
заплечиков	3710	3900	3250	3500
горна между осями ч. леток – в. фурм	4359	4600	3738	4000
зумпфа	2205	2980	2012	2220
рабочая	26900	28200	23505	23089
колошник – ось ч. леток	31250	32800	27243	27089
колошник - зумпф	33455	35780	29255	29309
Диаметр, мм :				
колошника, dk	10000	11000	7500	7500
распара, D	16000	17165	12234	11800
горна (по защите)	13100	14400	10400	10050
горна (по профилю), dr	13600	14900	10640	10200
Углы наклона, ° :				
шахты	81°17'	80°58'	80°56'	81°50'
заплечиков	71°48'	73°46'	74°07'	77°07'
Соотношения				
dk : D	0,625	0,641	0,613	0,636
D : dr	1,221	1,192	1,176	1,124
dk : dr	0,735	0,738	0,704	0,735
H : D	1,953	1,911	2,227	2,296
Количество воздушных фурм, шт.	40	42	30	28
Расстояние между фурмами	1,037/1,068	1,077/1,068	1,089/1,114	1,128/1,144
Объемы, м ³ :				
полезный	4416	5513	2323	2132
полезный + зумпф	4687	6020	2475	2298

Влияние топливно-сырьевых условий на величину углов наклона шахты и заплечиков.

Принятый в 60-е годы прошлого столетия к широкому распространению жесткий «рациональный» профиль с тонкой (не выше 345 мм) футеровкой в настоящее время является обязательной составляющей конструкции доменных печей [18,19]. Очертания такого профиля были ориентированы на шихту, состоящую из агломерата или смесей агломерата и окатышей, содержание которых в них не превышало 30-40 %. Многолетняя практика эксплуатации доменных печей с жестким

«рациональны» профилем того периода показала, что в течении кампании печей его параметры изменялись не значительно. В тоже время, попытки увеличения содержания окатышей в смеси с агломератом на ряде печей с такими профилями посредством совершенствования комплекса технологических мер, при обязательном обеспечении устойчивой и экономичной их работы и нормального технического состояния, позволили поднять содержание окатышей в смеси не более 50-55% [19].

В последние годы (15-20 лет) во всем мире, ввиду специфики подготовки руд к плавке (глубокое обогащение, преимущественное развитие процесса окомкования, сезонные транспортные проблем и хранения подготовленного железосодержащего сырья) и прогрессирующего снижения производства агломерата, в составе шихты загружаемой в доменную печь, поступательно увеличивалась доля окатышей. В результате, на ряде заводов Западной Европы и Америки доля окатышей в составе шихты достигла 80-100%. Аналогичная ситуация имела место и в условиях работы ряда доменных печей Украины и СНГ. Увеличение содержания окатышей в шихте негативно отразилось на технологии плавки и эксплуатационной надежности доменных печей. Это вызвало снижение интенсивности хода, экономичности работы и ухудшения стойкости шахты и заплечиков. Причиной этого явилось значительное увеличение горизонтального (бокового) распирающего давления шихты на футеровку в верхней части шахты печи, образующегося из-за разбухания окатышей при их восстановлении, что вызывало повышенный износ футеровки шахты и снижение экономичности работы печей. Кроме того, при таком изменении доли окатышей в шихте в пристенной зоне низа шахты печи, распара и заплечиков развивается активное химическое взаимодействие футеровки с высокоокисными первичными шлаками при содержании в них FO более 25 %.

Аналогичные негативные явления снижения стойкости шахты, распара и заплечиков наблюдаются и при внедрении технологии доменной плавки с применением ПУТ из-за хронически развитого периферийного хода. Накопленный опыт эксплуатации доменных печей работающих с применением ПУТ за рубежом показывает, что только путем использования штатных технологических приемов управления подавить периферийный поток газов и их негативное влияние на участке заплечики – середина шахты доменных печей не давало положительных результатов. С переходом на технологию плавки с применением ПУТ межремонтные кампании печей по причине неудовлетворительного состояния этих элементов профиля, как правило, уменьшились до 1,0-1,5 лет. Аналогичная ситуация произошла и в первые 2-3 года промышленной эксплуатации доменных печей с технологией вдувания ПУТ на АЛМК, ДМКД им. Дзержинского, МК им. Ильича и МК «Запорожсталь». Практически на всех доменных печах этих предприятий, оснащенных

системами ПУТ, футеровка заплечиков, распаров и нижней части шахт требуют капитальных ремонтов [20].

Нейтрализация негативных явлений при работе доменных печей на смесях агломерат - окатыши или на одних окатышах и технологии доменной плавки с применением ПУТ осуществлялось, также конструкционно путем изменения геометрических характеристик проектных профилей, главным образом, заплечиков, распара и шахты, двумя путями:

- уменьшением угла наклона верхней части шахты на $1,5-3,0^{\circ}$ с уменьшением высоты колошника до величины, при которой точка встречи траектории схода шихты с большого конуса оставалась бы в цилиндре колошника. При этом, высота верхней части шахты ниже цилиндрической части колошника до перегиба должна быть в пределах 2,0 - 4,5м [8]. Такое изменение профиля действительно снижало в верхней части шахты боковое давление и, естественно, абразивное воздействие, но из-за увеличения угла наклона нижней части шахты ниже перегиба в этом случае усиливались явления химического износа футеровки и кострения шихты (неустойчивость её схода) на этом участке шахты, что ограничило её использование. Этот способ разрабатывался только для работы печей на повышенном содержании окатышей;

- уменьшение угла наклона шахты до $83^{\circ}-81^{\circ}$. Такой подход развит металлургами Японии и Европы. На доменных печах Европы уменьшение угла наклона шахты начало проследиваться при содержании окатышей в шихте более 50 %. На печах же Японии изменение этого параметра профиля наблюдаться уже при содержании окатышей в шихте 25-27 %. Практика эксплуатации доменных печей Западной Европы и Америки за последние 10 лет подтвердила правильность этого решения. Возможное увеличение при этом периферийного хода печей достаточно надежно сдерживается уменьшением угла наклона заплечиков до $76,0^{\circ} \div 71,0^{\circ}$, а в отдельных случаях имеются рекомендации уменьшения угла наклона заплечиков до $69,0^{\circ}$. Уменьшение углов наклона шахты до $83^{\circ} \div 81,0^{\circ}$ и заплечиков до $76,0^{\circ} \div 71,0^{\circ}$ также положительно сказалось на стойкости шахты при работе доменных печей с применением пылеугольного топлива. Анализ работы доменных печей с различными очертаниями профилей позволил установить, что угол наклона заплечиков и шахты зависит в основном от активного веса столба шихты или содержания железа в ней. Чем больше активный вес шихты, тем меньше принимаются углы наклона заплечиков и шахты. Выбор углов наклона заплечиков и шахты при различной доле окатышей в шихте имеет такую же зависимость – чем выше содержание их в шихте, тем меньше принимаются углы наклона этих элементов профиля.

В качестве примера такого подхода в таблице 4 приведены данные о профиле доменных печей Tissen Shtal и Hoogowens, которые работают устойчиво с высоким расходом окатышей (до 90 % при содержании железа

в шихте более 60 %) без осложнений в эксплуатационной стойкости шахты и заплечиков [17].

В настоящее время, учитывая положительный опыт работы доменных печей Западной Европы, Японии, Австралии, результаты отечественных исследований и опыта практиков-технологов, при разработке модернизационных проектов доменных печей Украины поступательно осуществляются коррективы параметров их профилей с учетом топливно-сырьевых условий плавки. Так на ДП № 3 ПАО ЕМЗ полезным объемом 1719 м³ угол наклона заплечиков был уменьшен до 76° 21' 03", а на ДП № 5 этого же завода до 76° 46' 32", что соответствует верхнему пределу рекомендуемого интервала. Углы наклона шахт этих печей составили соответственно 83° 42' 44" и 83° 54' 55", что превышает максимальные значения рекомендуемого интервала.

На ДП № 4 ПАО «Запорожсталь» рекомендуемый угол наклона заплечиков составил 77° 45' 57" , а шахты 83° 09' 57" . Печь задута после модернизационного капитального ремонта первого разряда в июле 2014 г.

К сожалению, принимаемые величины коррекции геометрических размеров проектных профилей при проведении модернизационных капитальных ремонтов сдерживаются в основном из-за габаритных ограничений периферийных конструкций центрального узла печи.

Анализ работы доменной печи № 3 ПАО «ЕМЗ» (печь оснащена закладными термопарами в футеровке по периметру на девяти горизонтах) за три года ее эксплуатации показал, что средняя температура футеровки составила:

Заплечики –	162 °С	Середина шахты I –	414 °С
Распар –	262 °С	Середина шахты II –	411 °С
Низ шахты I –	283 °С	Верх шахты I –	347 °С
Низ шахты II –	414 °С	Верх шахты II –	313 °С

Приведенные значения температур показывают, что в самой теплонпряженной области «заплечики – распар – низ шахты I» температура удерживалась в заплечиках – 162 °С, распаре и низу шахты – 262 °С , 283 °С соответственно, при обычной 350-550 °С. Умеренный уровень температур в этой области свидетельствует о значительном ограничении газопропускной способности на периферии за счет уменьшения угла наклона заплечиков до 76°21'03''.

Таким образом, опыт работы ДП-3 ПАО «ЕМЗ» убедительно показывает, что интервал углов наклона заплечиков до 75-77°С для шихтовых условий Украины, следует считать близким к рациональным значениям, и его следует рекомендовать как критерий при работе проектного профиля при модернизации печей на капитальных ремонтах.

Выводы.

1. При проведении капитальных модернизационных ремонтов доменных печей целесообразно осуществлять коррекцию геометрических размеров профилей доменных печей исходя из особенностей физико-химических свойств топливно-сырьевой базы.

2. Поступательное увеличение в шихте доменных печей доли окатышей более 50 %, а в отдельных случаях до 100 % негативно отразилось на стойкости футеровки шахты, распара и заплечиков доменных печей за счет абразивного и физико-химического износа.

3. Эксплуатация доменных печей с вдуванием ПУТ в горн доменных печей за рубежом и в Украине, сопровождается ускоренным температурно-эрозионным разрушением футеровки заплечиков, распара и низа шахты печи. Практика работы доменных печей с вдуванием ПУТ показала, что штатными технологическими методами полностью устранить это негативное явление не удается.

4. Анализ эволюционного изменения проектных профилей доменных печей в мировой практике и странах СНГ показал, что в настоящее время сохраняется тенденция 70-80 гг. прошлого столетия по увеличению их рабочего пространства за счет поперечных размеров. Причем, приоритетное увеличение получил диаметр распара.

5. Анализ работы доменных печей работающих с применением ПУТ или повышенного содержания окатышей в шихте до 80-100 % показал, что для топливно-сырьевых условий Украины, угол наклона заплечиков должны быть в пределах $75^{\circ} \div 77^{\circ}$, шахты $81^{\circ} \div 83^{\circ}$ при соотношении полученной высоты (H_n), диаметру распара (D) в пределах $2,30 \div 2,50$ ед. Высоту шахты следует уменьшить до $15,5 \div 17,0$ м.

6. Принятый рекомендованный техническим заданием угол наклона заплечиков ДП-3 ПАО «ЕМЗ» равный $76^{\circ}23'03''$, позволил удерживать температуру футеровки заплечиков, распара и низа шахты в среднем на уровне 162°C , 262°C и 283°C соответственно, что значительно ниже для печей, работающих на горячем агломерате.

1. Павлов И.А. *Металлургия чугуна*: Т.3. – М.: Metallurgizdat, 1947. – С. 240.
2. *Металлургия чугуна*. Учебник для Вузов, 3-е изд. / Под редакцией Ю.С.Юсфина. – М. ИКЦ «Академкнига», 2014. – 112 с.
3. Грузинов В.К., Греков П.К. К вопросу о рациональном профиле доменной печи. // *Сталь*. – 1953. – № 9. – С.790-795.
4. Михалевич Г.Ф. Развитие рациональных профилей доменных печей // *Сталь*. – 1953. – № 9. – С. 784-789.
5. Бабарыкин Н.Н. О давлении шихты и рациональном очертании заплечиков доменной печи // *Сталь*. – 1969. – № 9. – С. 772-778.
6. Коробов И.И. / Рациональный профиль доменной печи // *Сталь*. – 1951. – № 5. – С. 401-405.
7. Логинов В.И., Кутнер С.М., Кутнер М.Б. К вопросу об оптимальном профиле доменной печи // *Сталь*. – 1976. – № 9. – С. 780 - 784.

8. *Кропотов В.К., Дружков В.Г.* Проектирование доменной печи. Учебное пособие. – Магнитогорск: МГМИ, 1991. – С. 112.
9. *Доменная производств*: Справочник в Т.2 / Под ред. И.П.Бардина. – М.: Металлургия, – 1963. – Т.2. – С. 648.
10. *Жембус М.Д.* Совершенствование профиля доменных печей // *Сталь*. – 1977. – № 5. – С. 338-390.
11. *Лапа А.М.* Новые принципы расчета профиля доменных печей // *Металлургия и коксохимия*. Респ. сб. – Киев. Техника, – 1968. – Вып. 9.: Металлургия чугуна – С. 79-84.
12. *Савелов Н.И., Сухоруков А.Е., Гохман Ю.М.* О совершенствовании профиля доменных печей // *Сталь*. – 1978. – № 8. – С. 685 - 688.
13. *Раховский Б.М.* Расчет поперечных размеров сверхмощных доменных печей // *Производство чугуна*: Метвуз. сб. – Свердловск: УПИ, 1978. – Вып. 8. – С. 125 - 133.
14. *Тлеугабулов С.М., Артыбаев О.А.* Метод расчета профиля доменной печи // *Металлургия черных металлов*. – Алма-Ата. – 1975. – Вып. 2. – С. 37 - 43.
15. *Атлас доменных печей СССР*. Гипромез. Москва. – 1986. – 193 листа.
16. *Бузоверя М.Т., Покрышкин В.Л.* Распределение газового потока по сечению нижней части шахты и изменении скорости восстановления по высоте печи объемом 2000 м³ в зависимости от интенсивности плавки // *Доменное производство*. Тематический отраслевой сб. № 2. – М.: Металлургия. – 1975. – С. 78 - 85.
17. *Проектные* профили доменных печей Tissen Shtal и Hoogowens. Рекламный материал фирмы Tissen Shtal.
18. *Цернох*. Конструкция доменных печей с тонкостенной шахтой // *Проблемы металлургии*. – 1956. – № 2. – С. 3 - 21.
19. *Кудояров М.С.* Совершенствование технологии выплавки чугуна в доменных печах с тонкостенной конструкцией шахты в условиях КМК. Автореферат дис. канд.техн.наук. – Новокузнецк. – 1971. – С. 20.
20. *Доклад* на совещании начальников цехов / Донецк. – Апрель. – 2014.

*Статья поступила в редакцию сборника 25.01.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

М.М.Можаренко, О.Д.Вишинська, В.В.Горунаха

Тенденції змінення проектних профілів доменних печей в сучасних паливно-сировинних умовах

Показано доцільність коригування геометричних розмірів проектних профілів доменних печей при проведенні модернізаційних ремонтів з урахуванням перспектив сировинної бази та паливних добавок. На основі дослідів показано можливість зниження висоти шахти та збільшення поперечних розмірів елементів профілю. Накопичені технологічні досвід та знання дозволяють встановити доцільність зменшення кутів нахилу шахти та заплечиків при збільшенні частки окатишів у шихті до 100 % та запровадженні технології пилувугільного палива. Зменшення кутів нахилу заплечиків на одній з доменних печей ПАТ ЄМЗ до 76 %

сприяло нормальному температурно-тепловому стану на ділянці «запечени-розпар-низ шахти» у період трирічної кампанії після її задувки.

Ключові слова: доменна піч, профіль, кути нахилу шахти, окатиші, пиловугільне паливо, тепловий стан печі

N.M.Mozharenko, E.D.Vyshynska, V.V.Gorupakha

Tendencies to change blast furnace project profiles under contemporary fuel and raw materials conditions

This article considers the expediency of changing the geometric dimensions of blast furnace project profiles during maintenance and modernization. Based on the experiments, the feasibility to reduce the furnace shaft is described in the terms of the increase in the transversal dimensions of the furnace profile. Technological expertise and knowledge on physical and chemical properties of charge materials enable us to find the feasibility to reduce the angles of the blast furnace shaft and bosh on condition that pellets in the charge are to make 100 % and the pulverized coal technology is to be used. The research results have been implemented at the blast furnaces of PJSC EMW and contributed to 76% of normal temperature and thermal state at the site of bosh-belly-bottom of shaft during the three-year campaign after its blowing.

Keywords: blast furnace, profile, angle of shaft inclination, pellets, pulverized coal, thermal state of the furnace