

# ГОРНОЕ ДЕЛО. МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК669.4.04.003.18

МРНТИ 53.07.05

## РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТОПКИ ДЛЯ РЕАКТОРА ИНВЕРСИЙ ФАЗ

*Б. И. Диханбаев*, к.т.н.

ТОО «Отрар»

Таби™ газды тжелей суйык цожда жандыратын жандыртыныщ жаца курылымы жасалуда. Балкыту процеандеп сындар жа^сы нэтиже керсеткен, бiраК мырышты кождан ушыруда жандыргы курылымын вл1 де шындау ^ажет. Туйжд! сездер: энергия унемдеуцл жандырсылар, реакторлар, табиги газды жагу.

The new design of furnace for natural gas direct burning under the melt is developed. Tests show good results for melting process, but for the efficient zinc volatilization further furnace improvement is needed.

Key words: energy-saving furnaces, reactors, natural gas burning.

Для практической реализации энергетически эффективного реактора инверсий фаз с донной продувкой большое значение имеет разработка горелки, обеспечивающей сжигание горючей смеси непосредственно в расплаве. Первые опыты по определению возможностей прямого сжигания газа были проведены в 1999 г. на опытной установке по переработке отвальных цинксодержащих шлаков производительностью 4т/ч [1-4]. Опытная установка состояла из реактора инверсий фаз (РИФ), трубчатой печи (ТП) и воздухоподогревателя (ВЗП). «Богатый» шлак Z«« 10 % с бункеров подавался в ТП, затем после подогрева до 850-950 °С - плунжерным механизмом - в РИФ.

Давление природного газа в магистральном газопроводе не превышало 0,2-0,3 атм, что соответствовало условиям газоснабжения того времени. Встала задача компримировать природный газ с помощью сжатого воздуха и подавать их под ванну расплава в РИФ. С этой целью была разработана и сконструирована горелка-компрессор [5], (рис. 1), в которой активным агентом служил сжатый воздух  $P = 2,0$  ати, пассивным - природный газ  $P = 0,2$  ати. Расчет геомет-

рических размеров горелки производился по соответствующей методике [6]. Согласно расчетам давление газовой смеси на выходе из горелки-компрессора составляло 1,8 ати.

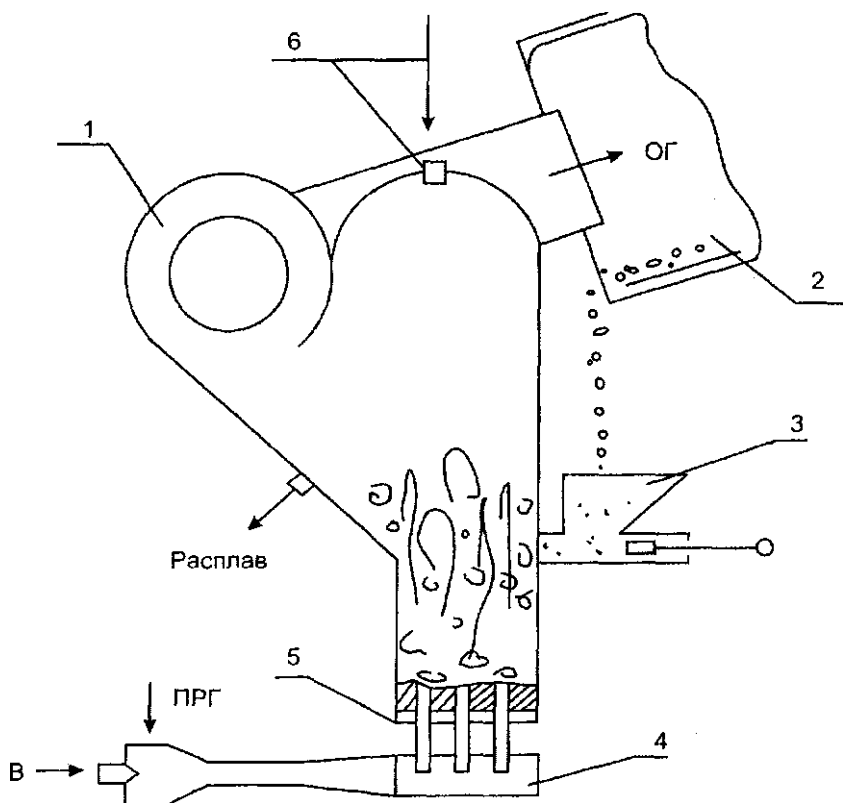


Рис. 1. Структурная схема опытного плавильного агрегата «РИФ-ТП»: 1 - реактор инверсий фаз; 2 - трубчатая печь; 3 - шлакозагрузочное устройство с плунжерным механизмом; 4 - горелка-компрессор; 5 - продувочная решетка; 6 - отверстие и щуп для замера глубины ванны; 7 - гарниссажный слой; В - сжатый дутьевой воздух; ПРГ - природный газ; ОГ - отходящие газы

К концу каждого эксперимента шлак с ТП сбрасывали на пол, при этом поддерживался температурный режим в РИФ. Жидкую часть шлака (масса ванны), вытекающую из летки, гранулировали водой и взвешивали. Вытеснение расплава из ванны происходило вследствие увлечения газовым потоком пленки расплава с наклонной части РИФ. После охлаждения РИФ гарниссаж на продувочной решетке выдалбливали и взвешивали. Определены режимные параметры установки, систематизированы результаты экспериментов (табл. 1, рис. 2). Процесс плавки в режиме 1 и 2 происходил стабильно, горелка-компрессор работал гладко, без проскока пламени из РИФ. В режиме 3 с увеличением массы ванны с 250 до 360 кг степень сжатия горелки-компрессора (ГК) стала снижаться, расход природного газа уменьшился с 270 до 213  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . Для поддержания теплового баланса РИФ в слой расплава вместе со шлаком подавали коксик. В режиме 4 при увеличении массы ванны с 360 до 480 кг расход природного газа уменьшился с 213 до 170  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . В ванне реактора началась пульсация давления газов, а в ГК стали возникать удары взрывной волны вследствие проскока искры с ванны реактора.

Таким образом, экспериментально установлена возможность реализации прямого сжигания газа в слое инверсий фаз посредством нового устройства - «горелка-компрессор». Определен диапазон устойчивой работы под расплавом -  $1_{сЮ_в} > 0,06$ . Опыт работы может оказаться весьма ценным при сжигании искусственного газа низкого давления и высокой температуры, вырабатываемого из высокотемпературных отходящих газов РИФ.

Экспериментально определена зависимость массы ванны от производительности РИФ по шлаку ( $P_{РИФ}$ ) и режима продувки ( $I_{сЮ_в}$ ) при выпуске расплава с наклонной подины РИФ (рис. 3). Для данного случая масса ванны не является величиной, зависящей от высоты выпускной летки, а - функциональной, и имеет вид:

$$K = f (P_{РИФ}, I_{сЮ_в}).$$

Разработанная конструкция горелки-компрессора имеет преимущества перед существующей топкой конструкции СКБ Гинцветмет [7], а именно: отсутствие огнеупоров и теплопотерь; безграничная возможность обогащения дутья кислородом; большой срок межремонтной службы; хорошая плавильная способность в режиме слоя инверсий фаз.

Недостатками данного устройства являются: возможность проскоков пламени в ГК, при нарушении режима плавки и связанные с этим удары взрывной волны в горелке; узкий диапазон режима работы; использование только компрессорного воздуха как активного агента; неудовлетворительная цинковосстановительная способность.

Таблица 1

## Режимные параметры установки

№ режима	$P_{РИФ}$ т/ч	$V_{\frac{V}{3}}$ нм <sup>3</sup> /ч	% $\alpha_c$ шт/мм	$M_{\theta}$ кг	$M_{зап}$ кг	$H_{гор}$ мм	$t$ °C	$t^p$ °C	$B_{пр}$ нм <sup>3</sup> /ч	a	м/с	'с $G_e$
1	1,0	2200*	10/34	230	321	255	420	1380	340	0,71	181	0,07
2	1,15	2200	10/34	250	309	246	382	1320	270	0,9	170	0,059
3	1,9	2200	10/34	360	298	238	375	1300	213	0,9	159	0,038
4	3,1	2200	10/34	480	288	216	378	1300	170	0,9	140	0,0245

## Примечания:

•обогащенный до 28 % кислородом воздух;

$P_{риф}$  - производительность РИФ по шлаку;

F - расход дутьевого воздуха;

$n_c/d_c$  - количество/диаметр сопел в продувочной решетке;

$M_{\kappa}$  - масса ванны;

M - масса гарниссажа;

H - высота гарниссажного слоя;

$t_{\theta}$ ,  $t$  - температура воздуха и расплава;

$B^{\wedge}$  - расход природного газа;

a - коэффициент расхода окислителя;

$W_c$  - скорость газов в соплах;

$1_c$  - импульс газового потока (количество движения) в соплах;

$G_t$  - вес ванны;

E - степень извлечения цинка из расплава.

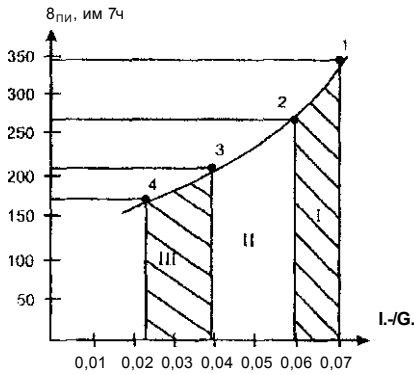


Рис. 2. Зависимость устойчивости работы компрессора-горелки от режима плавки: • - режимы: 1 - М - 230 кг; 2 - 250 кг; 3 - 360 кг; 4 - 480 кг. I - зона устойчивой работы КГ; II - зона снижения степени сжатия газа; III - зона хлопков и взрывов

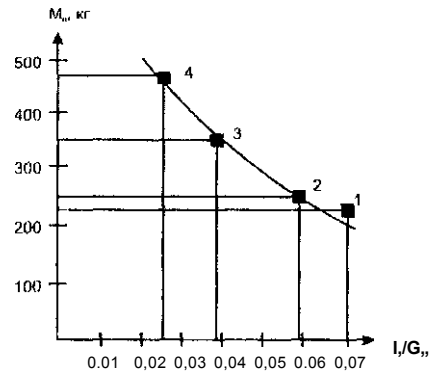


Рис. 3. Зависимость массы ванны РИФ от режима продувки ( $I/G_e$ ) и производительности реактора по шлаку: • - режимы: 1 -  $P_{прод} = 1,0$  т/ч; 2 - 1,15 т/ч; 3 - 1,9 т/ч; 4 - 3,1 т/ч

Для нейтрализации вышеуказанных недостатков был изготовлен и смонтирован на пилотной установке ТОО «Отар» [4], следующий вариант горелки прямого сжигания газа (ПСГ) (рис. 4).

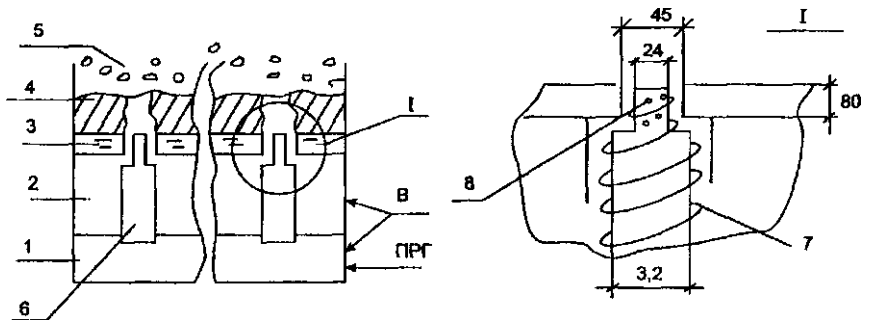


Рис. 4. Принципиальная схема горелки прямого сжигания природного газа: 1 - камера смешения первичного воздуха с природным газом; 2 - камера подвода вторичного воздуха; 3 - водоохлаждаемая продувочная решетка; 4 - твердый слой гарниссажа; 5 - слой расплава; 6 - трубка подвода газозвушной смеси; 7 - завихритель воздуха; 8 - отверстия выхода газозвушной смеси; В - воздух, ПРГ - природный газ

о	008	008	
кз ^	40	00	
	00	00	
0,5 И	00	00	
у		00	
	0	0	
и	00	00	
е "а	00   00	00	
к Б		00	
о "и		00	
к &	00	00	
0,0 Г™		00	

Для предотвращения воспламенения в нижнюю камеру 1 подавали газозвоздушную смесь  $\alpha = 0,23$ , а вторичный воздух - в камеру 2, к месту выхода газозвоздушной смеси в соплах решетки 3. После окончания плавки расплав с реактора сливали и взвешивали. После охлаждения реактора гарниссажный слой раскалывали и также взвешивали. Определены режимные показатели плавки (табл. 2).

В ходе экспериментов горелка ПСГ работала очень устойчиво, без хлопков и взрывов, розжиг горелки осуществлялся легко и плавно. Удельные потери теплоты через продувочную решетку снизились с 600 (случай работы с топкой) до  $250 \text{ кВт/м}^2$ .

Недостатком работы горелки ПСГ (как и в случае с горелкой-компрессором) была низкая цинковосстановительная способность, несмотря на высокую температуру расплава ( $1320^\circ\text{C}$ ) и малую производительность РИФ по шлаку ( $660 \text{ кг/ч}$ ). Причину этого видели в незавершенности смешения потоков «газ - воздух» в камерах 1 и 2. Поэтому была произведена рекон-

струкция горелки ПСГ-1. Перед камерой 1 установлен специально изготовленный смеситель (рис. 5), который состоит из газового коллектора 3 и улитки для подачи воздуха 4. Воздух вводится через улитку тангенциально, вследствие чего он поступает в газовый коллектор закрученным потоком. Газ вводится в коллектор, выполненный в виде кольца, по периметру которого расположены отверстия 5 навстречу воздушному потоку под углом 30°. Длину участка трубы, подводящей газозвоздушную смесь, и толщину продувочной решетки увеличили с 80 до 160 мм, количество сопел в решетке - с 9 до 13 шт., а диаметр сопла решетки сузили с  $d_i = 45$  до  $d_j = 34$  мм.

ш  
3

≈

Сравнение результатов 2-х режимов показало, что изменение конструкции горелки ПСГ (с целью улучшения смешения), несмотря на снижение производительности РИФ с 660 до 480 кг/ч, не дает ощутимых результатов по повышению извлечения цинка. Видимо, время контакта газозвоздушной смеси с расплавом ( $T_{oi}$ ) меньше, чем время преобразования метана в  $CO(Y_2)$ , ( $1_{яp}$ ), и остатки  $CH_4$  догорают при выходе из слоя. На это указывают высокая температура расплава

о D  
г °  
р q  
о  
р „  
-о

(1430°C) и большая толщина гарниссажного слоя над продувочной решеткой (230 мм). Для сравнения: толщина гарниссажного слоя для предварительного преобразования природного газа в  $CO(H_2)$  в топке -3-5 мм. Однако по сравнению с горелкой-компрессором горелка ПСГ устойчиво работает в диапазоне  $I_c/G_{\text{н}}$  = 0,0645-0,026.

Таким образом, разработанные конструкции горелок прямого сжигания газов в расплаве (ГК, ПСГ) показывают хорошие результаты при плавлении шлаков, но при восстановительном процессе они оказались малоэффективными по сравнению с топкой. Это может быть объяснено различными условиями протекания тепло- и массообменных процессов в слое «газ - расплав».

Нагрев и плавление шлаков происходят в основном в результате конвективного теплообмена в надсопловой зоне и слое расплава, а восстановление цинка [8, 9] интенсивно протекает в окрестностях сопел, где в результате взаимодействия с высокоскоростными газовыми струями расплав находится в виде мелких капель, поверхность реагирования которых непрерывно обновляется, что создает благоприятные условия для протекания массообменных процессов. Этому же способствует высокая концентрация  $CO(H_2)$  в этой зоне.

Малая скорость газов в горелках ГК, ПСГ (100-160 м/с) по сравнению с топкой Гинцветмета (550-618 м/с) и неполное преобразование метана в  $C(9(Y_2))$  в околосопловой зоне обуславливают слабую восстановительную способность ГК и ПСГ по сравнению с топкой.

Проведены опыты, обобщены результаты экспериментов на «богатом» шлаке, но при использовании в качестве горелочного устройства - топки Гинцветмета (табл. 3).

Результаты исследований показывают, что для восстановительных процессов оптимальна организация высокоскоростного сжига-

Таблица 3

### Результаты экспериментов

$V_{\text{ПРГ}}$ нм <sup>3</sup> /ч	$V_{\text{Г}}$ нм <sup>3</sup> /ч	$\alpha >$ нм <sup>3</sup> /ч	"С $d_3$ шт/мм	Re		"С	а	р. °С	$P_{\text{РИФ}}$ кг/ч	$M_{\text{в}}$ кг	$E$ %	м/с	$I_c$
				Р	ПРГ ати/ати								
310	1643	110	8	0,48	303	0,77	1343	594	49	69	618	0,89	
			34	0,8									



ния в соплах горелок типа ГК или ПСГ преобразованного состава газов, как например, продуктов паровой конверсии ( $CO$ ,  $H_2$ ) пиролиза ( $C$ ,  $H_2$ ) природного газа, полученного путем использования теплоты высокотемпературных отходящих газов РИФ.

### Литература

1. *Диханбаев Б. И., Диханбаев А. Б.* Прогнозные характеристики установки по переработке отвальных цинксодержащих шлаков // Перспективные направления развития химии и химической технологии: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. - Шымкент, 1999. - С. 137-138.
2. *Диханбаев Б. И., Асамбаев Т. К., Диханбаев А. Б.* и др. Способ переработки цинксодержащих шлаков: Предпатент РК № 7518 // Бюл. - 1999. - № 5.
3. *Диханбаев Б. И., Нысанбеков Д. А.* Эффективный теплотехнический принцип сжигания газа в расплаве // Теория и практика интенсификации ресурсо-энергосбережения в химической технологии и металлургии // Тр. Респ. науч.-практ. конф. - Шымкент - Алматы, 2000. - С. 109-111.
4. *Диханбаев Б. И.* Разработка и создание энергосберегающих установок по переработке цинксодержащих отходов на базе реактора инверсий фаз // Промышленность Казахстана. - 2003. - № 9. - С. 79-81.
5. *Диханбаев Б. И., Шевко В. М., Диханбаев А. Б., Болатбеков С. Ш., Картбаев С. К.* Горелка-компрессор: Патент РК № 10583 // Бюл. - 2000. - № 1.
6. *Щукин В. К., Калмыков И. И.* Газоструйные компрессоры. - М.: Машгиз, 1963. - 146 с.
7. *Чижов Д. И., Евдокименко А. И., Гнатовский Е. С.* Применение камер сжигания природного газа в цветной металлургии. - М.: ЦНИИТЭИЦМ, 1974. - 37 с.
8. *Сборщиков Г. С.* Возникновение и устойчивость горизонтальной газовой струи в жидкости // Тез. докл. 3-й науч. конф. по теплообменным процессам в ваннах сталеплавильных агрегатов. - Жданов, 1982.-С. 23-24.
9. *Гоечко А. В.* Исследование гидродинамики и массообмена в печах типа фьюминговых: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техЦ наук. - М., 1972.