

УДК 669.162.225  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
ЗАМЕНЫ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОСТРЫМ  
ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Н.В. Голухин  
Донецкий национальный технический университет

*Розглянуто світовий досвід використання водяної пари у доменній плавці, наведено результати сучасних досліджень щодо теоретичної заміни природного газу гострою водяною парою та її вплив на хід технологічного процесу.*

В настоящее время в Украине вопрос об увлажнении горячего дутья, подаваемого в горн доменной печи, является неоднозначным и дискуссионным. С одной стороны имеется успешный опыт работы зарубежных доменных цехов с использованием пара в доменной плавке, с другой стороны – полувековая устоявшаяся советская традиционная технология доменной плавки с использованием ПГ, успешно используемая и после распада СССР и благополучно дожившая до начала XXI века.

Доменщиками на постсоветском пространстве свято поддерживается постулат об исключительном вреде воды в доменной печи. Поэтому большие расходы пара (температура=120-150оС) категорически отменяются, и небезосновательно.

Для понимания природы использования пара в доменной плавке и такой противоречивости оценки его использования считаем необходимым обратиться к истории вопроса, в которой подобные противоречия встречались постоянно.

Влияние влажности дутья на работу ДП привлекало внимание металлургов еще в XIX веке. В 1841 английский металлург К.Карстен в своем руководстве доменной плавкой советовал добавлять водяной пар к дутью при слишком горячем ходе печи. Уже в те времена был известен тот факт, что водяные пары разлагаются в горне, причем кислород участвует в горении углерода, а водород является реагентом косвенного восстановления железа.

Но в 1904 г. на заводе Изабелла в США по патенту Дж. Гейли была введена в эксплуатацию первая промышленная установка для осушения дутья. Данные о работе печи на осушенном дутье были столь благоприятными, что вызвали сенсацию. Судите сами: при понижении влажности дутья от 1,6 до 0,5% расход кокса снизился на

19,6%, а производительность печи возросла на 24,7%. Аналогичные установки были введены в эксплуатацию на заводах в США, Канаде и Англии. Во всех случаях была зафиксирована существенная экономия кокса и прирост производительности. Данные установки, работающие на силикогеле, проработали недолго по всей видимости. Причиной отказа от них стала высокая стоимость сооружения и ненадежность в работе.

В конце 1930-х гг. в США получили распространение установки, в которых поддерживалась автоматически заданная влажность дутья: осушалась при избыточном значении и увлажнялась паром при недостаточном. На двух печах завода Вудворт в штате Алабама, где высокая естественная влажность, были получены значительные цифры роста: производительность +25% и +27%, расход кокса -14% и -18% соответственно. И снова остро стал вопрос о ненадежности в эксплуатации подобных установок и шумиха вокруг таких колоссальных результатов улеглась.

В СССР в 1937 г. по предложению ученых Афанасьева и Габриэляна для регулирования хода и интенсификации работы ДП были проведены опытные плавки на увлажненном дутье (Кузнецкий, Магнитогорский и Новолипецкий заводы). При соответствующем повышении температуры дутья увлажнение путем добавления 2-5% пара повысило производительность и понизило расход кокса. Впоследствии практически все печи СССР были переведены на паровоздушное дутье «повышенной и постоянной влажности», благодаря чему получили повышение производительности от 5 до 15% и экономию кокса от 2 до 5%.

Из рассмотренных примеров можно сделать вывод, что применение дутья постоянной влажности однозначно благоприятно для доменной плавки.

Однако, продвижению данной технологии воспрепятствовало внедрение вдувания ПГ в горн доменных печей. ПГ являлся прямой заменой кокса с коэффициентом замены 0,8; продукты сгорания – CO и H<sub>2</sub> – повышали восстановительную способность горновых газов. Также применение ПГ являлось инструментом прямого воздействия на теоретическую температуру горения и на ход печи. Благоприятная ценовая конъюнктура на тот момент (стоимость ПГ в 4-5 раз ниже стоимости кокса) способствовала повсеместному распространению технологии с применением ПГ, что вытеснило использование пара в доменной плавке.

В настоящий момент стоимость ПГ выше стоимости кокса, что заставляет украинских металлургов искать ему замену.

Определяющую роль в замене ПГ играет, конечно же, ПУТ, как самое перспективное топливо, заменяющее кокс. Но высокая инерционность технологического процесса при использовании ПУТ, которая может оказаться пагубной при нестабильной ситуации с сырьем для шихтования, не дает отказаться от такого инструмента влияния на тепловое состояние горна и ход процесса, как ПГ. И в сложившейся ситуации стоит обратить взор на историю развития комбинированного дутья высоких параметров.

Одной из причин отказа доменщиков от водяного пара в дутье стало возможное конденсирование пара в трактах подачи дутья, из-за чего в воздухонагреватели попадал уже не пар, а водо-воздушная эмульсия, которая разрушала огнеупорную футеровку воздухонагревателей и вызывала коррозию металлических частей тракта подачи дутья. Все эти возражения относятся к техническому пару, который имеется на любом заводе и его температура находится в пределах 120-150оС.

Современный уровень теплотехники и теплоэнергетики позволяет получить водяной пар высокого давления и высокой температуры – до 500оС. Подобный пар не будет конденсироваться при смешивании с холодным дутьем, и даже имеет место привнесение тепла к дутью. Удалив возможную вероятность конденсирования водяного пара, мы удаляем все недостатки, присущие обычному насыщенному пару.

В лаборатории ПУТ ДонНТУ под руководством проф. Ярошевского были выполнены расчеты по возможной теоретической замене ПГ водяным паром различной температуры. Руководствуясь теорией полной и комплексной компенсации, за определяющий стержень было принято постоянство физических условий в фурменной зоне (температура продуктов реакции и выход восстановительных газов). Полученные результаты изложены в табл.1.

**Таблица 1**

Характеристика реакций горения кокса и реакции водяного газа при  
разной температуре пара

Т-ра пара, °С	Теплоемкость пара, Дж/м <sup>3</sup> *°С	Теплосодержание, кДж/м <sup>3</sup>	Вносимое тепло(дутье +пар), кДж	Т-ра продуктов реакции,°С	Выход восст. газов, м <sup>3</sup> /кг кокса
150	1,515	227,25	5684	826,8	2,92
450	1,58	711	5874	828,8	2,87
800	1,666	1332,8	6110	829,8	2,805
1200	1,775	2130	6403	828,2	2,72
1600	1,876	3001,6	6740	831,7	2,63

Введение в состав комбинированного дутья пара также примечательно тем, что изменяется соотношение продуктов реакции: вытесняется азот, повышается объемная доля водорода и кислорода, что, безусловно, является позитивным фактором для развития косвенного восстановления, а также интенсификация сгорания ПУТ (см. табл. 2).

**Таблица 2**

Химический состав восстановительных газов при замене ПГ острым паром

Т-ра пара, °С	Состав газа, %:		
	H <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>
150	23,67	44,73	31,6
450	24,69	44,94	30,37
800	26,32	45,26	28,42
1200	28,78	45,76	25,47

### Выводы

Руководствуясь теорией полной и комплексной компенсации, острый водяной пар может являться мощным инструментом влияния на теоретическую температуру горения и тепловое состояние горна, заменяя аналогичное влияние ПГ. Поддерживая постоянство физических условий в фурменной зоне (температура продуктов реакции 830°С, выход восстановительных газов – 3 м<sup>3</sup>/кг кокса), возможна полноценная замена дорогостоящего ПГ доступным водяным паром. Для поддержания температуры требуется определенный перерасход кокса, однако это не вызовет удорожания себестоимости.

### Библиографический список

1. Рамм А.Н. Современный доменный процесс / А.Н. Рамм – М.: «Металлургия», 1980. – 304 с.
2. Доменное производство. Справочник. Под редакцией И.П. Бардина. – М.: «Металлургиздат», 1963 – 648 с.
3. Ноздрачев В.А. Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива / В.А. Ноздрачев, С.Л. Ярошевский, В.П. Терещенк. – Донецк, «новый мир», 1996 – 173 с.
4. О Борнацкий И.И. Основы физической химии / И.И. Борнацкий – М.: «Металлургия», 1989 – 320 с.