

УДК 669.162.16

Е.Г. ДОНСКОВ, В.П. ЛЯЛЮК, доктора техн. наук, проф.,  
 А.Д. ДОНСКОВ, студент, Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук  
 КМИ ГВУЗ “Криворожский национальный университет”

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ГОДЫ И НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

На современном этапе работы доменных печей расход дутья ниже достигнутого в прежние годы, несмотря на широкое использование повышенного давления газа предназначенного для увеличения расхода дутья. Обогащение дутья кислородом не компенсировало сокращение его расхода, что привело к снижению интенсивности поступления кислорода через фурмы и, соответственно, интенсивности горения кокса. На рубеже тысячелетий видно, что оба метода не оправдали возложенных на них ожиданий.

В самом общем смысле интенсификация это усиление, ускорение, повышение производительности агрегата, участка, процесса. Применительно к доменной плавке это понятие имеет еще и более узкий смысл - повышение производительности печей за счет роста интенсивности горения кокса (интенсивности плавки). Иными словами это достижение более высокого (превышение) уровня интенсивности горения кокса, по сравнению с исходными (до применения интенсификатора), и увеличение из-за этого суточной выплавки чугуна.

В числе признанных и широко распространенных методов такой интенсификации первые позиции занимают повышение давления газа в рабочем пространстве доменной печи, призванное обеспечить возможность повышения расхода дутья, и обогащение дутья кислородом. Отправной точкой для таких представлений служит и широко известная пропорция взаимосвязей основных показателей доменной плавки, согласно которой производительность  $\Pi, n$  печи определяется как отношение интенсивности горения кокса  $J_k, i_k$  к удельному его расходу на выплавку 1 т чугуна ( $\kappa$ )

$$\Pi = \frac{J_k}{\kappa}, m/сутки; \quad n = \frac{i_k}{\kappa}, m/m^3 \cdot сутки. \quad (1)$$

При этом, значения производительности и интенсивности горения кокса могут быть отнесены как ко всей печи, так и к одному кубическому метру полезного ее объема. В соответствии с приведенной пропорцией производительность может возрастать за счет увеличения числителя  $J_k, i_k$ , сокращения знаменателя  $\kappa$  или, более значительно, при одновременном изменении данных показателей в указанных направлениях. В случае одновременного увеличения или снижения  $J_k$  и  $\kappa$  конечный эффект определяется соотношением величин их приращений.

Используемые методы интенсификации и совершенствования технико-экономических показателей плавки разработаны и используются, отталкиваясь от изложенного. В частности, одним из важных направлений повышения производительности доменных печей является интенсификация плавки, т.е. повышение интенсивности горения кокса. Повышение производительности за счет сокращения расхода кокса точнее именовать совершенствованием технико-экономических показателей доменной плавки и особенно если учесть стоимость кокса в себестоимости чугуна.

В простейшем случае, при отсутствии топливных добавок к дутью, интенсивность горения кокса  $J_k$  равна примерно 1,15-1,20 интенсивности горения углерода  $J_c$ , которая однозначно определяется суммарным кислородом, поступающим через фурмы с дутьем  $J_o^d$  и расходуемым в реакциях прямого восстановления  $J_o^w$

$$J_k = 1,15 \cdot J_c = 1,15(0,75 \cdot J_o^d) \approx 0,9(J_o^d + J_o^w). \quad (2)$$

В свою очередь интенсивность плавки по подаваемому через фурмы кислороду возрастает в двух случаях: при увеличении расхода дутья и содержания кислорода в нем. В плане реализации данного направления на печах Советского Союза в истекшем полувеке осуществлялось повышение давления газа в рабочем объеме доменных печей, как уже указано предназначенное для увеличения расхода дутья, и обогащение подаваемого дутья кислородом.

В настоящее время на доменных печах Украины эти методы продолжают достаточно ши-

роко использоваться, хотя к достижению конечной цели по интенсификации плавки, как правило, не приводят. Во многих случаях эффект по интенсификации не просто нулевой, т.е. его нет, а - отрицательный, т.е. интенсивность плавки при наличии (применении) интенсификаторов ниже, чем без них.

Необходимо отметить, что изложенное относится только к методам форсирования плавки путем повышения интенсивности горения кокса за счет увеличения расхода дутья на основе повышения давления газа в печи и обогащения дутья кислородом. Следует также отметить и то, что в последнее время складывающиеся конъюнктурные обстоятельства часто вообще исключают необходимость интенсификации доменной плавки. Тем не менее, и (даже) в этих условиях, рассматриваемые методы продолжают применяться довольно широко.

В историческом плане метод интенсификации повышением давления газа в печи предшествовал обогащению дутья кислородом. Широкое распространение метода на доменных печах Советского Союза одновременно с не менее широкими теоретическими исследованиями и промышленными испытаниями его относится к пятидесятым годам прошлого века [1-5 и др.]. К этому же времени относится начало некоторых рассогласований в оценке его эффективности определяемой расчетом и полученной в действительности на действующих печах [5, 6 и др.]. Как представляется наиболее остро это проявилось в ходе дискуссии о работе доменных печей на повышенном давлении, проведенной Украинским республиканским правлением НТО ЧМ в г. Днепропетровске в 1958 году [6]. Здесь, наряду с положительными результатами, полученными при повышении давления на доменных печах Советского Союза и, в частности, на ММК, отмечено что: "...нигде нет увеличения количества дутья даже на 12 %...", "...считать, что в снижении расхода кокса на 1-2 % сыграло роль повышение давления, нельзя" - из выступления профессора А.Д. Готлиба; "...доменщики будут повышать давление газа на колошнике, но только при условии, если одновременно будет соответствующим образом подготовлена шихта..." - из выступления инженера В.П. Щербатова, завод "Запорожсталь"; "...доменная печь №2 работает не на повышенном давлении, она не имеет агломерата, но ее интенсивность горения равна 1,2 т/м<sup>3</sup>·сутки, против 1,17 т/м<sup>3</sup>·сутки на доменной печи №3, работающей с давлением 1,1 ати и имеющей в составе шихты 45 % агломерата ЮГОКа", "...персонал цеха считает, что необходимо уменьшить давление на колошнике, потому что, когда мы работали с давлением 0,8 ати, наш результат был не хуже..." - из выступления инженера Л.М. Фрейдина завод им. Ворошилова [6].

Содержание кислорода в дутье доменщики Советского Союза начали повышать на 10-15 лет позже и осуществлялось это в условиях, когда повышенное давление в основном было освоено. Например, доменные печи объемом 2000 м<sup>3</sup> завода "Криворожсталь" к этому периоду работали с давлением на колошнике 1,5 ати, причем к этому времени уже подоспело применение в качестве добавки к дутью природного газа в пределах 60-80 м<sup>3</sup>/т·чугуна.

Примечательно, что вопреки расширению применения интенсификаторов процесса (повышенного давления и кислородного дутья) интенсивность плавки по сожженному углероду кокса не повысилась, а начиная с конца семидесятых годов по многим печам значительно уменьшилась. В частности, на доменных печах завода "Азовсталь" интенсивность горения кокса снизилась с 0,964 (1978 год) до 0,892 т/м<sup>3</sup>·сутки (1982 год) при увеличении расходов кислорода со 100 до 108 м<sup>3</sup>/т чугуна, природного газа с 96 до 102 м<sup>3</sup>/т чугуна и снижении выхода шлака с 559 до 522 кг/т чугуна [7]. На доменной печи №1 Череповецкого комбината при увеличении расхода кислорода с 210 до 229 м<sup>3</sup>/т чугуна и природного газа с 110 до 135 м<sup>3</sup>/т чугуна интенсивность горения кокса снизилась с 1,34 до 1,30 т/м<sup>3</sup>·сутки, что привело к снижению и производительности печи [8]. На ЗСМЗ при повышении степени обогащения дутья кислородом на 3 % при одновременном увеличении расхода природного газа интенсивность горения по суммарному углероду снизилась с 0,994 до 0,948 т/м<sup>3</sup>·сутки при неизменной производительности печи [9]. Специально проведенные исследования [10] показали, что по Минчермету УССР с 1978 по 1981 год интенсивность горения кокса снизилась с 0,912 до 0,845 т/м<sup>3</sup>·сутки (на 7,4 %). Такая же интенсивность имела место в 1965 году при значительно (в 6 раз) меньшем расходе кислорода на выплавку чугуна. При этом самая высокая удельная производительность и интенсивность горения кокса в 1981 году была достигнута на заводе им. Петровского, печи которого работали на атмосферном дутье при самом низком на Украине суммарном расходе топлива (кокс+газ+мазут) [10].

В трудах V международного конгресса доменщиков, проведенном в 1999 году, и международной научно-технической конференции посвященной 70-летию комбината “Криворожсталь”, приведены среднегодовые показатели работы доменных печей комбината за четырнадцатилетний период их работы. Здесь же представлены усредненные значения тех же показателей примерно за тот же период по всем доменным печам Украины и России [11-13]. Показатели по интенсивности плавки печей комбината “Криворожсталь” в 1990-2003 гг., взятые из работ [11,12] приведены в табл. 1.

Условия работы печей характеризуют представленные здесь же данные по выходу шлака, выносу пыли и расходу сырого флюса. В соответствии с приведенными данными интенсивность горения кокса по печам комбината “Криворожсталь” и в целом Украины на рубеже тысячелетий составила в среднем около  $0,7 \text{ т/м}^3 \cdot \text{сутки}$ . При интенсивности плавки по дутью  $J_d$  на уровне  $1,5 \text{ м}^3/\text{мин} \cdot \text{м}^3$ . Обращает на себя внимание низкий, в ряде случаев чрезвычайно низкий, уровень интенсивности плавки, как по сожженному коксу, так и по дутью, который получен в условиях достаточно широкого совместного применения интенсификаторов: кислорода (до 30 % в дутье) и повышенного (до 1,0-1,8 ати) давления газа на колошнике.

Таблица 1

Показатели работы доменных печей комбината “Криворожсталь” (1990-2003 годы)

Печи	Показатели							
	$P_k$ , ати	$O_2$ , %, $\text{м}^3/\text{т}$	$i_k$ , $\text{т/м}^3 \cdot \text{сут}$	$i_d$ , $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{мин}$	$i_d^{O_2}$ , $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{мин}$	Выход* шлака	Вынос* пыли	Расход* сырого флюса
№1	<u>1.04</u> 0,63-1,26	<u>26.8</u> 23,6-30,0	<u>0.65</u> 0,55-0,75	<u>1.35</u> 1,20-1,50	<u>0.36</u> 0,29-0,43	<u>492</u> 456-552	<u>43</u> 19-57	<u>59</u> 39-87
№5	<u>1.16</u> 0,75-1,38	<u>25.8</u> 23,0-28,6	<u>0.65</u> 0,50-0,80	<u>1.32</u> 1,20-1,60	<u>0.34</u> 0,27-0,46	<u>464</u> 423-510	<u>39</u> 30-50	<u>64</u> 41-87
№6	<u>1.1</u> 0,91-1,29	<u>25.1</u> 23,7-26,7	<u>0.65</u> 0,58-0,71	<u>1.44</u> 1,30-1,51	<u>0.36</u> 0,31-0,35	<u>471</u> 432-493	<u>22</u> 19-27	<u>49</u> 38-56
№7	<u>1.18</u> 0,93-1,4	<u>25.6</u> 23,0-28,4	<u>0.78</u> 0,61-0,95	<u>1.62</u> 1,46-1,86	<u>0.42</u> 0,35-0,53	<u>447</u> 420-470	<u>35</u> 27-43	<u>61</u> 51-76
№8	<u>1.26</u> 0,78-1,55	<u>24.5</u> 21,6-27,3	<u>0.75</u> 0,59-0,90	<u>1.45</u> 1,21-1,63	<u>0.37</u> 0,29-0,51	<u>452</u> 414-498	<u>28</u> 18-37	<u>64</u> 51-86
№9	<u>1.3</u> 0,78-1,82	<u>24.8</u> 21,0-29,9	<u>0.68</u> 0,46-0,90	<u>1.29</u> 0,95-1,53	<u>0.32</u> 0,20-0,46	<u>447</u> 397-516	<u>6.8</u> 3,9-7,7	<u>56</u> 28-96

\* Выход шлака, выход пыли, расход сырого флюса – кг/т чугуна

Несколько более высокий уровень интенсивности хода печей России соответствует меньшему (на  $\sim 100 \text{ кг/т}$  чугуна) выходу шлака, более высокой температуре дутья ( $\sim 1100$  против  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ), большему расходу природного газа (96 против  $86 \text{ м}^3/\text{т}$ ), меньшему расходу сырого флюса ( $\sim 8$  против  $62 \text{ кг/т}$ ). Детальная характеристика условий работы печей и их изменений на протяжении рассматриваемого периода приведены в указанных работах и в части их влияния на расход кокса и производительность доменных печей здесь не анализируются. В данном случае сопоставляются лишь показатели интенсивности плавки, прежде всего по дутью, в последние несколько десятилетий с их уровнем в предшествующие годы, когда доменные печи работали с гораздо более высокой интенсивностью на нормальном давлении газа на колошнике и без обогащения дутья кислородом. Особо отметим в намного худших условиях по температуре дутья, вещественному, химическому, гранулометрическому составу, а также по прочностным свойствам сырья и топлива. Например, по доменным печам США, Германии и особенно Советского Союза, приведенная М.А. Павловым в книге, опубликованной в 1949 году, интенсивность плавки намного превышает ее уровень на современных печах. В частности по доменной печи №2 Криворожского завода она составляла  $1,307 \text{ т/м}^3 \cdot \text{сутки}$  [14].

Интенсивность плавки по дутью на доменных печах №1 ММК и №3 завода “Запорожсталь”, приведенная И.З. Козловичем в работе, опубликованной в 1951 году, составляла 2,9 и  $2,6 \text{ м}^3/\text{мин} \cdot \text{м}^3$  при работе на атмосферном воздухе и нормальном давлении на колошнике [15].

В табл. 2 и представлены данные о влиянии интенсификаторов ( $P_k$  и %  $O_2$  в дутье) на показатели интенсивности плавки  $J_k$ ,  $J_d$ ,  $J_d^0$  по Криворожским печам за период 1999-2003 годы.

Уместно отметить еще раз (подчеркнуть), что в таблицах приведены усредненные значения среднегодовых величин показателей работы доменных печей по отчетным данным, опубликованным в работах [11 и 12].

Влияние интенсификаторов ( $P_k$  и  $O_2$  в дутье) на показатели интенсивности плавки

Показатели	Номер печи	Давление газа, кПа							Содержание кислорода в дутье, %				
		< 70	71-90	91-110	111-130	131-150	150-170	> 170	< 22	22,1-24	24,1-26	26,1-28	> 28
$J_k$ , кг/м <sup>3</sup> ·сут	1	564	597	675	605					620	590	675	653
	5		560	690	603	800				633	645	555	800
	7			703	650	950				715	610	685	950
	8			687	640	750	900		650	640	720	840	
	9		510	580	600		780	867	533	600	780		867
	Средн.	564	563	679	618	800	840	867	562	643	667	689	789
$J_d$ , кг/м <sup>3</sup> ·сут	1	1,35	1,33	1,38	1,33					1,36	1,30	1,40	1,38
	5		1,33	1,36	1,19	1,60				1,24	1,28	1,33	1,60
	7			1,56	1,58	1,87				1,52	1,60	1,60	1,87
	8			1,39	1,40	1,52	1,56		1,50	1,31	1,45	1,58	
	9		1,0	1,14	1,26		1,44	1,51	1,04	1,26	1,44		1,52
	Средн.	1,35	1,24	1,40	1,33	1,60	1,50	1,51	1,16	1,32	1,39	1,48	1,52
$J_o$ , кг/м <sup>3</sup> ·сут	1	0,32	0,34	0,39	0,33					0,32	0,33	0,37	0,41
	5		0,37	0,33	0,28	0,46				0,29	0,31	0,36	0,46
	7			0,37	0,41	0,53				0,36	0,42	0,42	0,53
	8			0,35	0,32	0,37	0,51		0,32	0,31	0,36	0,47	
	9		0,22	0,24	0,30		0,37	0,45	0,22	0,30	0,37		0,45
	Средн.	0,32	0,32	0,35	0,32	0,42	0,44	0,45	0,27	0,31	0,35	0,41	0,45

В ходе анализа наряду с традиционными показателями интенсивности плавки  $J_k$  и  $J_d$  использовался также показатель  $J_o$  - интенсивность по кислороду дутья, который точнее отражает влияние режима дутья при обогащении его кислородом. В приведенных данных достигнутый средний уровень значений показателей интенсивности противоречит характеру влияния на них (рассматриваемых) интенсификаторов. Как видно, при повышении давления колошниково-го газа в пределах 70-170 кПа и содержания кислорода в дутье до 30 % по всем печам наблюдается четкая тенденция к увеличению значений показателей интенсивности. Вместе с тем, максимально достигнутый (и тем более средний) уровень каждого из них гораздо ниже, чем это имело место в годы предшествующие освоению интенсификаторов. В соответствии с данными, приведенными М.А. Стефановичем [16 с. 124], А.Н. Раммом [17 с. 215], Б.И. Китаевым [18 с. 199] интенсивность горения кокса на печах в те годы достигала 1,308 т/м<sup>3</sup>·сут и редко опускалась ниже 1,0 т/м<sup>3</sup>·сут.

Обозначенные противоречия особо проявляются на зависимости  $J_o$  от  $O_2$  в соответствии с которым расход дутья возрастает при повышении содержания кислорода в нем. Данное обстоятельство, по мнению авторов, является следствием особенностей, кстати широко распространенных, управления ходом (газодинамическим режимом) доменной плавки. Они состоят в том, что при необходимости форсирования плавки наступают вперед интенсификатором (повышением давления газа или содержания кислорода в дутье), а затем увеличивают расход дутья и то, только в том случае, если он низкий. При необходимости снижения форсировки отступают вперед дутьем, т.е. вначале сокращают расход дутья, а затем, и то не всегда, снижают содержание кислорода в дутье или давление на колошнике.

Магнитогорская конференция доменщиков 1946 г., исходя из условий обеспечения нормального газораспределения, рекомендовала вдувать в домну 2,0 объема печи дутья в минуту при работе на неподготовленной шихте и 2,4 объема при работе на подготовленных материалах [19]. При работе без обогащения дутья это соответствует подаче 0,42 и 0,504 м<sup>3</sup>/мин кислорода на каждый 1 м<sup>3</sup> объема доменной печи. В соответствии с табл. 1 такой уровень интенсивности плавки по кислороду, подаваемому через фурмы, на печах комбината "Криворожсталь" в анализируемом промежутке времени достигался лишь в единичных случаях на двух доменных печах. В остальном, а также в среднем, он был гораздо ниже, хотя условия работы печей были намного лучше, чем в 1946 году.

Как видно в рассматриваемом периоде работы доменных печей комбината "Криворожсталь" интенсификация плавки совместно кислородом и повышение давления не компенсиро-

вала сокращения расхода дутья против норм указанной конференции доменщиков. Интенсивность была не увеличена, а снижена, причем на протяжении длительного промежутка времени по всем исследуемым печам не зависимо от их объема. Здесь необходимо добавить еще то, что стоимость технического кислорода в 4-5 раз выше стоимости кислорода атмосферного дутья, а повышение давления дутья, например, от 2,5 до 3,0 ата вызывает перерасход энергии на 23,4% [1, с. 356]. При повышении давления колошникового газа уменьшается на 30-60 % вынос пыли, что эквивалентно ухудшению работы системы отсева мелочи из шихтовых материалов в процессе загрузки печей, сокращаются размеры зон горения [1, 20], вызывая усиление периферийного газового потока, из-за чего возрастают температуры у стен, тепловые нагрузки на кладку, теплотери и, соответственно, расход кокса, существенно ухудшаются условия службы и стойкости засыпных аппаратов, атмосферных клапанов, охладительных приборов и другого оборудования, как на самой доменной печи, так и на воздуходувке и газоочистке [20].

Вывод из изложенного сформулировать не трудно, он очевиден - рассматриваемые методы форсировки интенсифицировали только износ агрегатов и оборудования, расходование средств на компримирование дутья, производство технического кислорода, ремонты и др. Данные обстоятельства совместно с низкой эффективностью кислородного дутья литературой отмечались неоднократно. Основной причиной, как уже указано, является сокращение расхода дутья, компенсировать которое возросшим содержанием кислорода в дутье оказалось невозможным.

В этой связи обостряется вопрос о роли повышенного давления газа в печи. Основной задачей метода, как это хорошо известно, является повышение расхода дутья. В соответствии с представленными широчайшими данными практики эта задача не выполнена и предназначение метода не осуществлено. Имеет смысл еще раз обратить внимание и сопоставить показатели по интенсивности дутья современных печей с тем, что рекомендовала конференция доменщиков в 1946 году или с показателями, опубликованными И.З. Козловичем по печам, работающим при нормальном давлении газа, без кислорода, на сырой руде и сыром известняке с низкой температурой дутья.

**Заключение.** Проведенный анализ опубликованных производственных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Цель интенсификации плавки путем повышения давления газа на колошнике, в пределах 70-170 кПа, и содержания кислорода в дутье в пределах до 30 %, по исследуемым печам в период 1990-2003 гг. достигнута не была. Тот же уровень интенсивности по сожженному углероду, дутью и кислороду дутья, в соответствии с опытом прошлых лет, может быть, достигнут при работе печей на атмосферном дутье и нормальном давлении на колошнике.

2. В анализируемом периоде работы доменных печей расход дутья был ниже достигнутого в прежние годы, несмотря на широкое использование повышенного давления газа предназначенного для увеличения расхода дутья. Обогащение дутья кислородом не компенсировало сокращение его расхода, поэтому снизилась интенсивность поступления кислорода через фурмы и, соответственно, интенсивность горения кокса.

3. Исследования по углублению представлений по влиянию интенсификаторов плавки на доменный процесс целесообразно продолжать.

#### *Список литературы*

1. **Шедрин В.М.** Теория доменной плавки под давлением. – М.: Металлургиздат, 1962. – 454 с.
2. **Стефанович М.А., Якобсон А.П.**, Особенности движения газа в печи при повышенном давлении // *Сталь*. – 1953. – №2. – С. 108-115.
3. **Остроухов М.Я.** К теории работы доменных печей с повышенным давлением // *Сталь*. – 1954. – №10. – С. 882-886.
4. **Рамм А.Н.** О возможностях интенсификации доменной плавки при повышении давления газов // *Труды ЛПИ им. Калинина. Металлургия чугуна*. – М.: Металлургиздат, 1955. – Выпуск №179. – С. 118-125.
5. Достижение доменщиков Магнитогорского металлургического комбината. – М.: Металлургиздат, 1957. – 279 с.
6. Дискуссия о работе доменных печей на повышенном давлении. Днепропетровск: УкрНТО ЧМ, 1958. – 69 с.
7. **Шокул А.А., Гулыга Д.В., Лозовой В.П.** Совершенствование доменного производства на заводе “Азов-сталь” // *Металлург*, 1984. – №2. – С. 12-15.
8. Работа доменной печи с низкой степенью компенсации кислорода природным газом / **Л.А. Бялый, В.А. Улахович, Б.Л. Жураковский и др.** // *Сталь*. – 1981. – №11. – С. 31-35.
9. Особенности работы мощных доменных печей на магнезиально-глинозе-мистых шлаках и комбинированном дутье высоких параметров / **Б.И. Ашпин, А.С. Янковский, В.П. Горбачев и др.** // *Сталь*. – 1982. – №4. – С. 11-12.
10. **Коробов В.И., Чиглинцев И.А.** Эффективность использования комбинированного дутья высоких параметров на заводах Минчермета УССР. – В кн.: “Теория и практика современного доменного производства”. Днепропетровск, 1983. – С. 123-124.

11. **Шермет В.А.** Аглодоменное и коксовое производство КГГМК “Криворожсталь” // Труды V Международного конгресса доменщиков “Производство чугуна на рубеже столетий”. – Днепропетровск: Пороги, 1999. – С. 6-14.
  12. **Шермет В.А.** Развитие доменного производства Криворожского государственного горно-металлургического комбината “Криворожсталь” // Труды Международной научно-технической конференции посвященной 70-летию КГГМК “Криворожсталь” “Теория и практика производства чугуна”. Кривой Рог, 2004. – С. 5-12.
  13. Состояние технологии доменной плавки и основные направления ее совершенствования / **С.Т. Плискановский, И.Г. Товаровский, Ю.А. Приходько** и др. // Труды V Международного конгресса доменщиков “Производство чугуна на рубеже столетий”. – Днепропетровск: Пороги, 1999. – С. 31-37.
  14. **Павлов М.А.** Metallurgy of cast iron. Part II. Blast furnace process. Ed. 6. – M.: Metallurgizdat, 1949. – 628 p.
  15. **Козлович И.З.** Процессы восстановления и окисления в мощных доменных печах. Под редакцией М.А. Павлова. – Л-М: Metallurgizdat, 1951. – 300 p.
  16. **Стефанович М.А.** Анализ хода доменного процесса. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 286 p.
  17. **Рамм А.Н.** Современный доменный процесс. – М.: Metallurgiya, 1980. – 304 p.
  18. **Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г., Лазарев Б.Л.** Теплообмен в доменной печи. – М.: Metallurgiya, 1966. – 356 p.
  19. **Готлиб А.Д.** Доменный процесс. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 510 p.
  20. **Тетеревятников Е.Г., Андронов В.Н.** Работа доменной печи на давлении под колошником до 1,3 ати // Сталь, 1957. – №3. – С. 200-204.
- Рукопись поступила в редакцию 15.03.12

УДК 662.749:067.5

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, И.А. ЛЯХОВА, канд. техн. наук,  
В.П. СОКОЛОВА, канд. техн. наук, доц., Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук,  
КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В УГОЛЬНОЙ ШИХТЕ НА КАЧЕСТВО ДОМЕННОГО КОКСА

Высокая влажность угольной шихты и большие ее колебания наиболее сильно влияют на прочностные свойства кокса. Шихта должна поступать в углеподготовительные цеха коксохимических предприятий с содержанием влаги не выше 6-7 % или необходимо принимать меры для ее сушки на коксохимических предприятиях.

При классической технологии слоевого коксования марочный состав и свойства угольной шихты являются главными факторами, которые определяют физико-механические свойства кокса, а при подготовке углей и шихт для коксования главным фактором является насыпная масса угольной шихты. В то же время наибольшее влияние на насыпную массу угольной шихты, без применения механических способов ее увеличения (трамбование, брикетирование и т.д.), оказывает содержание в ней влаги, золы и степень помола шихты. В свою очередь, эти факторы влияют на тепловой режим процесса коксования, физико-механические свойства кокса, выход и качество химических продуктов коксования [1-3]. Следует при этом подчеркнуть преобладающее влияние содержания влаги в шихте на тепловой режим коксования и изменение градиента усадок шихты при ее коксовании по сравнению с ее влиянием на насыпную массу шихты. Не всегда увеличение насыпной массы шихты приводит к улучшению качества кокса, если при этом влажность шихты не снижается, а растет. Аналогичным образом ведет себя и зола. Так при увеличении зольности шихты насыпная масса растет, а механическая прочность кокса падает, т.к. частички золы являются концентраторами напряжения в кусках кокса, из-за чего они разрушаются.

Изучению влияния влажности шихты на изменение ее насыпной массы посвящено большое число работ. Так данные, приведенные в работе [3], показывают, что при общей влажности угля 1 % его насыпная масса с увеличением степени помола растет и имеет максимум при содержании класса 3-0 мм от 75 до 80 %. При влажности 2 % характер кривой тот же, но максимум выражен менее четко и находится в области содержания класса 3-0 мм около 90 %. Увеличение влажности с 4 до 8 % и выше вызывает резкое уменьшение величины насыпной массы угольной шихты при любом содержании класса 3-0 мм, что подчеркивает наибольшее влияние влажности шихты на ее насыпную массу. В этой работе также приведены графики зависимости насыпной массы угля от влажности для узких классов его ситового состава. Самую низкую насыпную массу имеет “отошающая” фракция 0-0,5 мм при влажности 10-14 %.

Исследованиями, проведенными на ОАО “Западно-Сибирский металлургический комбинат” [4], показано, что влажность угольной шихты оказывает существенное влияние на харак-