

## Динамика расхода сталеплавильной шихты. Материалы

Проанализировано влияние используемых в сталеплавильных процессах шихтовых материалов на технико-экономические показатели производства. Табл. 12. Библиогр.: 11 назв.

**Ключевые слова:** сталеплавильное производство, шихта, удельный расход

*The influence of used in steelmaking processes change materials on technical-economic values of production is analyzed.*

**Keywords:** steelmaking, charge materials, rate of consumption

### 1. Состояние вопроса

Шихтовые материалы за всю историю производства железа и стали неизменно составляли около 80 % стоимости их производства и определяли успешность существования металлургического предприятия.

Металлошихта может использоваться в оптимальных количествах, как, например, в ККЦ на КМЗ-1 [1], когда при удельном расходе лома 19 % максимизировался выход годного (Y), составляя 91,5 %. На ДЗП в 1965 г. по данным авторов при работе КК на одноканальных фурмах максимальный Y был при содержании марганца в чугуна 1,0-1,1 %, а при Mn > 1,4 % уменьшался из-за выбросов. На ДСПА НКГ(СГSR) удельный расход металлошихты минимизировался при оптимальной доле лома  $m_{\text{л}} = 28-30\%$  [2]. В некоторых случаях для одного ККЦ зависимость удельного расхода металлошихты от фактора со временем может измениться на противоположную, как, например, для МКИ [3-4].

Расход металлошихты может быть проанализирован не по абсолютным величинам, а по их изменению относительно базовых (средних), как это сделано для 100 т КК [5], когда выяснилось противоположное действие химического состава чугуна и удельного расхода окислителей на удельные расходы чугуна  $m_{\text{ч}}$  и лома  $m_{\text{л}}$ . Это согласуется с результатами обработки данных [6], которые для европейских кислородных конвертеров могут быть, в первом приближении, аппроксимированы зависимостью, кг/т,

$$m_{\text{ч}} + m_{\text{л}} = 1100 \quad (1)$$

которая отвечает теоретической [7].

В [8] для кислородных конвертеров страны была получена эмпирическая зависимость, кг/т,

$$m_{\text{мш}} = 1098,75 + 0,133m_{\text{л}} \quad (2)$$

свободный член которой близок к теоретическому и приведенному в (1).

Еще в 1970-х гг. начала ощущаться нехватка качественного лома и велись поиски альтернативных источников. Применение железа прямого восстановления (sponge iron-SI) показало [9], что на 3 т КК оно дает выход годного 89,4 % против 86,5 % для скрапа, а на 100 т КК, соответственно, 94,5 % и 95,3 %. На КК КМЗ-1 были опробованы металлизированные окатыши с заменой лома на 31,74 и 92 %, что увеличило выход годного на 1,1-0,7 % [10].

В условиях колебания спроса на сталь на рынке сбыта зарубежные предприятия при сокращении производства гранулируют лишний чугун и используют его для охлаждения конверторной плавки вместо лома, которого не хватает. Отмечено, что при его расплавлении окисление углерода сопровождается удалением азота.

Качество металлошихты влияет на ход сталеплавильного процесса особенно заметно в ЭДП, где доля твердой части приближается к 100 %. Анализ данных позволил установить, что коэффициент усвоения тепла в ЭДП составляет

$$\eta_{\text{т}} = 0,84 - 0,3\rho_{\text{мш}} \quad (3)$$

(где  $\rho_{\text{мш}}$  – насыпная плотность металлошихты, 0,5-1,1 т/м<sup>3</sup>), который в ходе электроплавки изменяется от

$$\eta_{\text{т}} = 0,70 - 0,43\bar{\tau} \text{ при } \bar{\tau} < 0,3 \quad (4)$$

до

$$\eta_{\text{т}} = 0,57 / \bar{\tau} \text{ при } \bar{\tau} > 0,3, \quad (5)$$

где  $\bar{\tau} = \tau / \tau_{\text{пл}}$ ;  $\tau$ ,  $\tau_{\text{пл}}$  – текущее время и продолжительность плавки.

По прогнозу технического директора IRSID (Франция) [6], если в 2000 г. население мира составляло 6 млрд человек и было произведено 814 млн т стали и образовалось 2,5 млрд т лома, то в 2100 году будет 12 млрд человек, и стали выплавлено 2,5 млрд т, а лома формироваться 770 млрд т.

Смелый человек – смелый прогноз!

**Руда.** В свое время кислородно-конвертерный процесс охлаждался рудой. Сегодня в условиях нехватки лома и использования железосодержащих материалов уместно проанализировать соответствующие данные, тем более что в последнее время к ней возвращаются.

Анализ данных [3] показывает, что выход годного  $Y$  стабильно уменьшается в разных ККЦ с увеличением удельного расхода руды  $m_p$ , кг/т, с коэффициентом пропорциональности 34-39, если в статистической обработке участвуют одинаковые переменные. Удельный расход жидкого чугуна  $m_c$ , кг/т также уменьшается с коэффициентом пропорциональности 36.

При статистической обработке в виде степенной зависимости  $Y$ - $m_p$  определяется оптимальная величина  $m_p$ , при которой  $Y$  максимизируется: 50 кг/т, 90 кг/т [1], 20 кг/т, разная в связи с разницей в технологиях.

При пределе фосфористых чугунов в конвертере верхнего кислородного дутья (КВ) установлена величина оптимального темпа присадки железной руды, при которой минимизируется окисленность конечного шлака.

В последнее время металлургические предприятия используют пыль из шламоотстойников ККЦ в качестве железосодержащего материала, анализ данных по использованию железосодержащих брикетов в шихте КВ ДЗП показывает, что в диапазоне удельного расхода брикетов 0-25 кг/т удельный расход чугуна максимизируется при  $m_{бр} = 4$  кг/т.

**Уголь.** В начале освоения конверторного процесса с верхней продувкой, когда дефицита лома не было, на 2 т конвертере в Linz (Австрия) опробовали (1949) работу на твердой завалке чугуна с использованием угля с удельным расходом 50 кг/т. Позже фирма *Klöckner Werke* (Германия) подтвердила такую возможность в промышленном масштабе. ДМетИ и ИЧМ использовали уголь на конвертерах в промышленном масштабе. Анализ полученных в этих работах результатов показывает, что зависимость удельного расхода лома  $m_l$  от удельного расхода угля  $m_{уг}$  имеет затухающий характер вследствие того, что по мере увеличения  $m_{уг}$  его тепловой КПД стремится от 0,5 к нулю.

В процессе КМС угольная пыль вдвигается через донные фурмы вместе с кислородом и известью. При удельном расходе антрацита 85 кг/т доля твердой металлозавалки составляла 50 %. Процесс был освоен на заводах США и Японии.

В [11] были сопоставлены результаты использования в шихте ДСПА различных видов угля и углесодержащих отходов электродного производства. Максимальная величина удельного расхода лома и минимальная – металлоших-

ты были получены при использовании термоантрацита. К ним приближались результаты полученные на угольных отходах. Расчеты показывают, что максимальный тепловой КПД теплоносителя составлял, соответственно, 34 и 25 %.

## 2. Томасирование

В 1930 г. металлургическая секция VDI (Общество немецких инженеров) запросила сведения о показателях томасовского (Т) процесса 17-ти немецких заводов и получила ответы о работе 86 конвертеров садкой по новой (н) футеровке 11,5-40 т и старой – (с) 12,5-45 т. В ходе кампании конвертера по мере износа футеровки и увеличения удельного объема ( $V$ , м<sup>3</sup>/т) садку увеличивали на всех заводах. В табл. 1 приведены сведения о влиянии содержания в чугуне кремния  $Si_c$ , %, и удельной интенсивности продувки воздухом  $i$ , м<sup>3</sup>/т мин, на удельные расходы, кг/т, лома  $m_l$ , извести  $m_i$  и выход шлака  $m_{шл}$ , содержание оксидного железа в конечном шлаке (Fe), %, и выход годного  $Y$ , %. Передел фосфористых чугунов в томасовском конвертере при увеличении содержания  $Si_c$  сопровождается выбросами, и для его уменьшения доменный процесс ведется холодно, а чугун имеет низкую температуру. На горловине конвертера образуются настывы  $H$ , кг/т, имеют место выбросы  $B$ , кг/т, а общие потери металла составляют  $HВ$ , кг/т. Так как главным теплоносителем является содержание в чугуне фосфора, которое в конкретных условиях более или менее стабильно, то для компенсации низкой температуры чугуна и во избежание выбросов величину  $m_l$  с ростом величины  $Si_c$  несколько снижают, а извести  $m_i$  увеличивают для получения густого шлака, масса которого уменьшается из-за скачивания при выбросах (табл. 1). Несмотря на эти меры потери с выбросами растут, что увеличивает общие потери металла  $HВ$ .

Таблица 1

Технико-экономические показатели томасовского процесса

Показатель	Параметр $Si_c$ , %	Величина показателя		
		< 0,3	0,3-0,4	> 0,4
$m_a$		$\frac{30-95}{59/8}$	$\frac{20-78}{40/6}$	$\frac{26-55}{46/2}$
	$m_i$	$\frac{120-165}{139/8}$	$\frac{120-145}{136/7}$	$\frac{145-150}{148/2}$
$m_{шл}$		$\frac{220-275}{243/8}$	$\frac{200-260}{244/7}$	$\frac{210-250}{230/2}$
	H	$\frac{10-48}{22/9}$	$\frac{15-50}{31/10}$	$\frac{11-49}{25/3}$
B		$\frac{0-15}{4/9}$	$\frac{4-12}{7/10}$	$\frac{5-30}{15/3}$
	HВ	$\frac{10-56}{26/9}$	$\frac{20-62}{38/10}$	$\frac{20-79}{40/3}$

Примечание. Числитель – диапазон величины, знаменатель – среднее/количество случаев.

## СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Например, попытка фирмы Phoenix Lanzen (1962, Германия) работать в томасовском конвертере на передельном чугуна увеличила  $m_{\text{мш}}$  с 1087 кг/т при 0,2 % Si<sub>д</sub> до 1250 кг/т при 0,7 % Si<sub>д</sub>.

Увеличение удельной интенсивности продувки сокращает продолжительность окисления кремния и ускоряет переход к интенсивному окислению углерода, которое начинается при меньшем содержании оксидов железа в шлаке. Это уменьшает выбросы и потери металла НВ (табл. 2), благодаря чему выход годного  $\Upsilon$  растет, оставаясь большим при старой футеровке (С), благодаря большому удельному объему конвертера.

В 1897-1941 гг. в Мариуполе на базе Керченского месторождения выплавлялся томасовский чугун, перерабатывавшийся в томасовских конвертерах и мартеновских качающихся печах. Согласно сообщениям в печати существуют ПФГ, изучающие экономическую целесообразность возвращения к этой возможности. В свое время фирма Hainaut Sambre (Бельгия) перерабатывала фосфористый чугун 240 т конвертерах комбинированным процессом LD-НС. В Республике Казахстан на КарМК используют фосфористые руды Лисаковского месторождения для выплавки и переработки в КВ фосфористых чугунов.

### 3. Конвертеры КВ

#### 3.1 Общие сведения

В зарубежной практике удельный расход лома выше, чем в отечественной.

В табл. 3 приведены данные о влиянии удельного расхода лома  $m_{\text{л}}$  на удельные расходы чугуна  $m_{\text{ч}}$  и металлошихты  $m_{\text{мш}}$  в отечественных (О) и зарубежных (З) конвертерах. В обоих случаях с увеличением  $m_{\text{л}}$  величина  $m_{\text{ч}}$  уменьшается, причем в отечественной и зарубежной практике они близки между собой. Приблизительно то же можно сказать и об удельном расходе металлошихты. При  $m_{\text{л}} > 320$  кг/т величина  $m_{\text{мш}}$  резко возрастает (З).

В последние годы в Украине удельные расходы чугуна и металлошихты больше средних величин для КВ, приведенных в табл. 3, но остаются в пределах приведенного диапазона. В конвертерах КВ РФ удельный расход чугуна выходит за верхний предел диапазона  $m_{\text{ч}}$  в Украине из-за большей на порядок величины доли стали, выплавляемой в ЭДП, и нехватки лома для конвертеров.

#### 3.2 Стружка

Уже сейчас ощущается дефицит лома в мире, который согласно долгосрочному прогнозу [6] будет нарастать, что вызывает вовлечение в сталеплавильное производство все менее качественного лома. В 1986 г. НПО «Конвертер» начал применять стальную стружку в конвертерах КВ ДЗП с удельным расходом  $m_{\text{ск}}$ , кг/т (табл. 4.1). Это сопровождалось стабильным снижением удельного расхода чугуна при удельном расходе лома  $m_{\text{л}} < 50$  кг/т. При больших величинах  $m_{\text{л}}$  величина  $m_{\text{ч}}$  склонна максимизироваться при  $m_{\text{ск}} = 10-30$  кг/т. С уве-

Таблица 2

Зависимость выхода годного ( $\Upsilon$ ) от интенсивности продувки

Показатель	$I, \text{ м}^3/\text{т мин}$	< 20	20-24	24-28	> 28
НВ, кг/т		$\frac{21-79}{47/5}$	$\frac{22-62}{36/10}$	$\frac{15-46}{26/4}$	$\frac{20-34}{27/2}$
		$\frac{9-12}{10/5}$	$\frac{8-13}{11/10}$	$\frac{11-13}{12/2}$	$\frac{10-12}{11/2}$
$\Upsilon$	Н	$\frac{87-90}{88,5/4}$	$\frac{86-91}{88,9/8}$	$\frac{89-90}{89,2/4}$	$\frac{88-90}{89/2}$
	С	$\frac{88-90}{89,2/4}$	$\frac{89-82}{90,4/8}$	$\frac{90-91}{90,2/4}$	$\frac{90}{96/2}$

Таблица 3

Удельные расходы металлошихты в отечественных и зарубежных конвертерах КВ

Страна	$m, \text{ кг/т}$	$m_{\text{л}}, \text{ кг/т}$				
		0-80	80-160	160-240	240-320	> 320
О	$m_{\text{ч}}$	$\frac{1000-1099}{1050/2}$	$\frac{934-1001}{978/3}$	$\frac{828-919}{891/4}$	$\frac{748-893}{837/12}$	-
	$m_{\text{мш}}$	$\frac{1099-1136}{1118/2}$	$\frac{1113-1149}{1127/3}$	$\frac{1068-1166}{1126/4}$	$\frac{1032-1170}{1113/12}$	-
З	$m_{\text{ч}}$	-	$\frac{970}{970/1}$	$\frac{872}{872/1}$	$\frac{744-936}{840/2}$	$\frac{768-819}{800/3}$
	$m_{\text{мш}}$	-	$\frac{1128}{1128/1}$	$\frac{1090}{1090/1}$	$\frac{1038-1200}{1119/2}$	$\frac{1153-1176}{1163/3}$

личением  $m_{ck}$  величина  $m_l$  стабильно уменьшается, но  $(m_l + m_{ck})$  и  $m_{mш}$  склонны максимизироваться при  $m_{ck} = 50-70$  кг/т из-за недостатка тепла.

Таблица 4.1

Удельные расходы  $m_q$  и  $m_{mш}$ , кг/т, при удельных расходах  $m_{ck}$  и  $m_l$ , кг/т (1986)

$m_l$ , кг/т		$m_{ck}$ , кг/т					
		0	10-30	30-50	50-70	70-90	> 90
< 50	$m_q$ , кг/т	1085	1060	1040	1035	994	984
50-100		995	1034	1000	984	-	-
100-150		970	990	929	1025	-	-
150 >		938	998	934	926	-	-
$m_l$ , кг/т		114	110	90	80	127	8
$m_{ck} + m_l$ , кг/т		114	130	130	140	107	107
$m_{mш}$ , кг/т		1136	1146	1138	1151	1102	1163

С увеличением  $m_{ck}$  удельный расход извести  $m_{из}$  имеет тенденцию к уменьшению и, соответственно, падает удельный расход плавикового шпата  $m_{шп}$ . Удельный расход известняка  $m_{ик}$  в определенной степени, компенсирует эти изменения (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Удельные расходы шлакообразующих материалов, кг/т (1986)

Материал	$m_{ck}$ , кг/т					
	0	10-30	30-50	50-70	70-90	> 90
$m_q$	65	70	65	63	67	44
$m_{ик}$	11	14	11	7	19	16
$m_{шп}$	1,7	2,0	2,2	2,1	1,0	1,4

В дальнейшем НПО «Конвертер» поставил присадку стружки в конвертер на индустриальную основу (1991-1996). Статистическая обработка производственных данных на ДЗП показала, что масса конвертерной стали зависит от масс чугуна  $m_q$ , стружки, присаженной в конвертер  $m_{ck}$  и лома  $m_l$  по уравнению, т,

$$m_{ст} = 39,5 + 0,3106m_q + 0,3092m_l + 0,2307m_{ck} \quad (1)$$

Согласно (1), стружка приблизительно эквивалентна 0,75 доле лома, очевидно, не только из-за больших загрязнений, но и в связи с угаром. Об этом свидетельствует ее влияние на удельный расход чугуна т/т:

$$m_q = 1,049 - 0,813m_{ck} - 0,643m_l \quad (2)$$

Была механизирована присадка стружки в миксеры ККЦ ДЗП и КМЗ-2 и осуществлена присадка стружки в конвертера КМЗ. В табл. 5 приведена динамика использования стружки по этим предприятиям (1991-1996). При удельном расходе стружки в миксер ДЗП 6-10 кг/т величины  $m_q$  и  $m_{шп}$  минимизируются. Возможно, на КМЗ-2 величина  $m_{cm}$  была недостаточно велика для получения аналогичного результата. При  $(m_{cm} + m_{ck}) \approx 40-60$  кг/т на ДЗП минимизировалась величина  $m_{mш}$ .

Таблица 5

Динамика присадки стружки в миксер  $m_{cm}$ , кг/т и конвертер  $m_{ck}$ , кг/т

Завод	Показатель	Год					
		1991	1992	1993	1994	1995	1996
ДЗП	$m_{cm}$	0	6	10	13	-	-
	$m_q$	1020	985	985	1020	-	-
	$m_{mш}$	1128	1110	1118	1135	-	-
КМЗ-2	$m_{cm}$	-	0	0,6	3	4	-
	$m_q$	-	820	848	832	820	-
	$m_{mш}$	-	1112	1118	1123	1125	-
ДЗП	$m_{cm} + m_{ck}$	8	38	63	86	120	-
	$m_l + m_c m_{mш}$	109	125	135	136	150	-
КМЗ-2	$m_{cm}$	-	-	-	-	-	6
	$m_q$	-	-	-	-	-	838
	$m_{mш}$	-	-	-	-	-	1130

В табл. 6.1, 6.2 приведены данные о влиянии  $m_{ck}$  (табл. 6.1) и доли стружки в металлозавалке конвертеров ДЗП  $D_{ck}$  (табл. 6.2) в течении определенного срока N (месяцев) на  $m_q$  и  $m_{mш}$ . При работе в производственном режиме в диапазоне  $m_{ck} = 10 \times 70$  кг/т величина  $m_q$  оставалась стабильной. Стабильной  $m_{mш}$  была в диапазоне  $m_{ck} = 10-60$  кг/т (табл. 6.1) при доле стружки в металлозавалке  $D_{ck} = 0,1-0,5$  величины  $m_q$  и  $m_{mш}$  (табл. 6.2).

Таблица 6.1

Удельные расходы  $m_q$  и  $m_{mш}$ , кг/т, при удельном расходе  $m_{ck}$ , кг/т (1991-1993)

Этап	$m_{ck}$ , кг/т							
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
1991-92 N	1	3	2	2	5	-	-	-
	$m_q$	1019	986	979	983	986	-	-
	$m_{mш}$	1129	1106	1104	1105	1112	-	-
1993 N	-	-	-	-	1	3	1	1
	$m_q$	-	-	-	982	976	976	1015
	$m_{mш}$	-	-	-	1105	1112	1030	1034

Таблица 6.2

Удельные расходы  $m_q$  и  $m_{mш}$ , кг/т, при доле стружки  $D_{ck}$  в металлозавалке (1991-1993)

Этап	$D_{ck}$						
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7
1991-92 N	1	3	2	5	2	-	-
	$m_q$	1019	985	978	981	987	-
	$m_{mш}$	1129	1106	1104	1115	1108	-
1993 N	-	-	-	3	2	-	1
	$m_q$	-	-	-	972	984	-
	$m_{mш}$	-	-	-	1107	1116	-

Для охлаждения 250 т плавки в ковше в ККЦ ДМК была освоена технология с использованием как длинномерной стружки Вторчермета, так и образующейся при обдирке заготовки в прокатных цехах завода. Наиболее заметное влияние на снижение температуры стали ока-

## СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

зывали продолжительность пребывания плавки на УКДС, объем продутого аргона и номер плавки по футеровке ковша. Одна тонна стружки охлаждала плавку на 6 °С (по расчету 6,9 °С).

### 3.3 Скрап

В 1980-х гг. при разработке шлаковых овалов на МКИ скрап отделялся от шлака в специальном вращающемся барабане и доля шлака уменьшалась в 3-4 раза. В ККЦ ДЗП оценка доли шлака в скрапе производилась мастером и, в среднем, составляла 25 %.

В табл. 7 приведены данные о соотношении удельных расходов скрапа  $m_{скр}$  и  $m_{ч}$ ,  $m_{мш}$ . Сопоставление табл. 7 и табл. 6.1 показывает лишь незначительную разницу влияния удельных расходов скрапа и стружки. Только при  $m_{скр} = 70-80$  кг/т заметно увеличилась величина  $m_{мш}$ .

Таблица 7

Удельные расходы  $m_{ч}$  и  $m_{мш}$ , кг/т, при удельном расходе  $m_{скр}$ , кг/т (1991-1993)

Этап	$m_{скр}$ , кг/т							
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
1991-92 N	1	3	2	5	3	-	-	-
$m_{ч}$	1019	981	978	987	986	-	-	-
$m_{мш}$	1129	1106	1106	1115	1108	-	-	-
1993 N	-	-	-	2	2	1	-	1
$m_{ч}$	-	-	-	975	979	975	-	1016
$m_{мш}$	-	-	-	1110	1120	1113	-	1134

### 3.4 Производство

В табл. 8 представлены данные об изменении удельных расходов металлошихты в зависимости от производительности ККЦ ДЗП и КМЗ-2 (П, тыс. т/мес.) при использовании стружки в режиме, указанном в табл. 5.

Таблица 8

Влияние цехового производства ККЦ (П, тыс. т/мес.) на удельные расходы металлошихты, кг/т

Завод	Показатель П	П, тыс. т/мес.				
		< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
ДЗП	N	1	4	7	14	12
	$m_{л} + m_{ск}$	119	142	120	125	125
	$m_{мш}$	1170	1157	1133	1133	1110
КМЗ-2	П	< 160	160-200	200-240	240-280	> 280
	N	4	6	9	6	4
	$m_{л} + m_{ск}$	810	830	830	840	843
	$m_{мш}$	1128	1121	1130	1128	1126

На ДЗП сумма ( $m_{л} + m_{ск}$ ) максимизировалась при П = 20-40 тыс. т/мес. Удельный расход металлошихты стабильно уменьшался с ростом производительности цеха, благодаря сокращению простоев конвертеров и уменьшению потерь тепла футеровкой.

В ККЦ КМЗ-2 влияние производительности цеха сказалось только на удельном расходе чугуна, возможно, в связи более напряженной ра-

ботой. Разница с ККЦ ДЗП объясняется, частично, тем, что его диапазон производства составил более 4, в то время как в ККЦ КМЗ-2 он меньше в 2,3 раза.

### 4. Конвертеры ККД

При продувке в конвертерах комбинированного дутья (ККД) с увеличением доли донного дутья  $D_d$  потери с оксидами железа в шлаке и выбросами уменьшаются. В табл. 9.1 систематизированы данные о влиянии величины  $D_d$  на удельный расход лома в ККЦ ДМК в период его работы верхней ( $B_n$ ) и комбинированной ( $K_n$ ) продувкой по технологии ИЧМ НАНУ. Благодаря дожиганию СО в СО<sub>2</sub> при комбинированной продувке удельный расход лома больше, чем при верхней, и максимален при  $D_d < 0,1$ . При  $D_d > 0,1$  он снижается из-за уменьшения окисления железа.

Таблица 9.1

Зависимость  $m_{л}$ , %, от  $D_d$  на ДМК

Способ	П, тыс. т/мес.			
	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
B	27,4/96	-	-	-
K	-	29,4/56	29,1/46	28,4/14

Примечание. Числитель – средняя величина, знаменатель – количество случаев.

Содержание в шлаке железа на первой повалке ( $Fe_1$ ) при комбинированной (КП) продувке меньше, чем при верхней (ВП) при одинаковой степени передувки, характерного для технологии ДМК. В 2003 г. при верхней продувке величина ( $Fe_1$ ) была близка к 1986 г. (табл. 9.2), что свидетельствует о стабильности процесса и надежности приведенных результатов.

Таблица 9.2

Содержание ( $Fe_1$ ) на первой повалке в конвертерах ДМК

Проч, вес	Год	$C_1$ , %			
		0,03	0,04	0,05	0,06
B	1986	15,7	14,7	13,2	12,0
K	1986	12,2	11,5	10,7	10,0
B	2003	14,9	14,0	13,2	13,0

### 5. Кампания конвертера

Износ футеровки в ходе кампании конвертера и увеличение его удельного объема влияет на ТЭП процесса, как показано выше для томасирования. Это может иметь место и для подовых агрегатов, мартеновской (М) и электродуговой (Э) печи, в связи с износом ванны. По литературным данным для этих агрегатов было определено отношение количества плавков от начала кампании  $N_k$ , продолжительности кампании  $N_{max}$  ( $N = N/N_{max}$ ) и величина соответствующего ТЭП.

В табл. 10.1 величина удельного расхода металлошихты ( $m_{л} + m_{ч}$ ), т/т, в конвертерах КВ и в ЭДП склонна уменьшаться в ходе кампании агрегатов по футеровке. Если удельный расход металлолома выразить как отношение  $\bar{m}_{л} = m_{л}/m_{л\max}$ , то оно, вероятно, остается постоянным, по крайней мере во второй половине кампании, как для конвертеров, так и для ЭДП (табл. 10.2).

Таблица 10.1

Изменение ( $m_{л} + m_{ч}$ ), т/т в ходе кампании агрегата

Процесс	N/N <sub>max</sub>				
	0,0-2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0
К	$\frac{0,981}{0,981/1}$	$\frac{0,943}{0,943}$	$\frac{0,935-1,0}{0,972/15}$	$\frac{0,901-1,0}{0,976/26}$	$\frac{0,914-1,0}{0,970/29}$
	-	-	$\frac{0,920}{0,920/1}$	$\frac{0,854-0,920}{0,893/4}$	$\frac{0,812-0,942}{0,850/14}$

Таблица 10.2

Соотношение  $\bar{m}_{л}$  и N/N<sub>max</sub>

Процесс	N/N <sub>max</sub>			
	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0
К	$\frac{1,00}{1,00/1}$	$\frac{0,50-1,00}{0,84/10}$	$\frac{0,46-1,00}{0,85/29}$	$\frac{0,54-1,00}{0,85/26}$
	-	$\frac{0,96}{0,96/1}$	$\frac{0,88-1,00}{0,96/5}$	$\frac{0,93-1,00}{0,096/14}$

Продолжительность кампании агрегата изменяется в зависимости от качества огнеупоров, наличия промежуточных ремонтов футеровки, в том числе ее торкретированием, производственной необходимости. В табл. 11.2, 11.2 показано влияние отношения  $\bar{N} = N_{\max}/N_{\min}$  в течение ряда кампаний на удельный расход металлошихты.

Отношение  $\bar{N}$  для конвертеров изменяется в большем диапазоне, чем для ЭДП, и склонно минимизировать как удельный расход металлошихты ( $m_{л} + m_{ч}$ ), т/т, так и удельный расход лома  $\bar{m}_{л} = m_{л}/m_{л\max}$  в середине этого диапазона ( $N_{\max}/N_{\min} = 2-2,5$ ). Приблизительно так же влияет величина  $\bar{N}$  на величину ( $m_{ч} + m_{л}$ ).

Колебания производства агрегата  $\bar{\Pi} = \Pi/\Pi_{\max}$  в течение определенного времени минимизирует удельный расход металлолома при  $\bar{\Pi} = 0,4-0,6$  для конвертеров и  $\bar{\Pi} = 0,6-0,8$  для мартеновских печей. Стабильность величины  $\bar{m}_{л}$  для ЭДП, по-видимому, объясняется стабильностью состава металлошихты (табл. 12).

**Выводы**

Рассмотрено изменение удельного расхода металлошихты в сталеплавильном производстве при выплавке металла в зависимости от вида процесса (конвертер донного, верхнего и ком-

Таблица 11.1

Изменение ( $m_{л} + m_{ч}$ ), т/т в ходе кампании агрегата

Процесс	N/N <sub>max</sub>						
	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5
К	$\frac{0,914-1,0}{0,972/35}$	$\frac{0,943-1,0}{0,977/13}$	$\frac{0,901-1,0}{0,970/10}$	$\frac{0,938-1,0}{0,979/5}$	-	$\frac{0,981}{0,981/1}$	$\frac{0,966-0,971}{0,968/2}$
	$\frac{0,812-1,0}{0,880/11}$	$\frac{0,815-0,942}{0,857/6}$	$\frac{0,853}{0,853/1}$	$\frac{0,920}{0,920/1}$	-	-	-

Таблица 11.2

Соотношение  $\bar{m}_{л}$  и N<sub>max</sub>/N<sub>min</sub>

Процесс	N <sub>max</sub> /N <sub>min</sub>						
	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5
К	$\frac{0,52-1,00}{0,86/34}$	$\frac{0,60-1,00}{0,86/13}$	$\frac{0,16-0,91}{0,79/10}$	$\frac{0,55-1,00}{0,85/5}$	-	$\frac{0,95}{0,95/1}$	$\frac{0,90-0,95}{0,92/2}$
	$\frac{0,94-0,96}{0,95/3}$	$\frac{0,96-1,0}{0,96/6}$	-	-	-	-	-

Таблица 12

Соотношение  $\bar{m}_{л}$  и  $\bar{\Pi}$

Процесс	$\bar{\Pi}$				
	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0
К	-	$\frac{0,81-0,91}{0,86/2}$	$\frac{0,54-0,76}{0,65/2}$	$\frac{0,60-1,00}{0,87/29}$	$\frac{0,50-1,00}{0,85/59}$
	$\frac{0,63-0,97}{0,81/5}$	$\frac{0,61-1,00}{0,85/11}$	$\frac{0,78-1,00}{0,86/13}$	$\frac{0,38-0,89}{0,78/15}$	$\frac{0,56-1,00}{0,84/20}$
Э	$\frac{0,96}{0,96/1}$	$\frac{0,92-0,97}{0,95/8}$	$\frac{0,93-1,00}{0,97/9}$	$\frac{0,93-1,00}{0,97/3}$	$\frac{0,88-1,50}{0,97/23}$

бинированного дутья, мартен и ЭДП) и используемых материалов.

### Библиографический список

1. Смоктий В. В., Исаев В. В. // Тр. ЦНИИЧМ. – М.: Металлургия. – 1966. – № 41. – С. 55-59.
2. Petroš J., Haroh M., Borsky V. // Hutník (Č). – 1975. – № 12. – S. 449-455.
3. Малаховский Л. А., Квичанский И. И. // В кн. Металлургия и коксохимия. – Киев: Техніка. – 1968. – № 10. – С. 30-34.
4. Ребров Л. В. // Бюлл. ЦИИН ЧМ. – 1971. – № 8. – С. 40-41.
5. Czavek V. // Hutník (Č). – 1975. – № 12. – S. 455-457.
6. Бира Ж. П. // Черные металлы. – 2003. – С. 32-38.
7. Харахулах В. С., Охотский В. Б. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 1994. – № 1. – С. 8-10.
8. Дидковский В. К., Михневич В. Ф., Подопривога И. Д. и др. // В кн. Металлургия и коксохимия. – Киев: Техніка. – 1973. – № 35. – С. 71-77.
9. Dena J. M., Radtke D. // J. Met. – 1971. – № 8. – P. 27-32.
10. Бапгизманский В. И., Бойченко Б. М., Душа В. М. и др. // Сталь. – 1975. – № 7. – С. 592-594.
11. Яковлев Ю. Н., Олексенко В. В., Подгородецкий А. А. и др. // В кн. Металлургия и коксохимия. – Київ: Техніка. – 1978. – № 55. – С. 41-44.

Поступила 10.09.2014



УДК 669.18

Наука

Заспенко А. С., Низяев К. Г. /д. т. н./,  
Стоянов А. Н. /к. т. н./, Молчанов Л. С. /к. т. н./  
НМетАУ

Сигарев Е. Н. /д. т. н./  
Днепродзержинский ГТУ

## Динамика износа футеровки кислородных конвертеров в условиях ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

*Проанализированы статистические данные о динамике износа футеровки кислородных конвертеров. Разработана математическая модель изменения глубины конвертерной ванны от длительности эксплуатации. Установлена необходимость применения кислородных фурм различной конструкции для различных периодов кампании конвертера. Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.*

**Ключевые слова:** кислородный конвертер, футеровка, динамика износа, математическая модель

*Statistical data on the dynamics of lining wear of BOF was analyzed. A mathematical model of the change in depth of converter bath on the duration of operation was developed. Determined necessary of applying different designs of oxygen lances for different periods of the BOF life.*

**Keywords:** oxygen steel-making converter, lining, wear dynamics, mathematical model

### Постановка задачи исследования

Футеровка кислородных конвертеров работает в наиболее тяжелых условиях вследствие контакта со шлакометаллической ванной и высокотемпературными газами.

Факторы, влияющие на стойкость огнеупорной футеровки кислородных конвертеров, можно подразделить на следующие группы [1-3]:

– практически постоянные факторы (конструкция кислородной фурмы и дутьевой режим плавки, толщина отдельных элементов

кладки, емкость конвертера, вид применяемых огнеупоров);

– факторы, изменяющиеся с каждой плавкой, обычно не зависящие или мало зависящие друг от друга (физические и химические свойства чугуна, металлолома, железной руды, извести и доломита, минутный расход кислорода, длительность простоев между плавками, количество промежуточных повалок конвертеров, уровень фурмы над поверхностью металла, марка выплавляемой стали);