

УДК 669.184.244.66:669.184.235

**В.П. Корченко, Л.Г. Тубольцев, В.Ф. Поляков,  
Н.И. Падун, Т.С. Семькина**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОРОДНО–КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА МАЛОШЛАКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Определены вероятностные зависимости изменения параметров кислородно–конвертерной плавки от содержания кремния в передельном чугуне

Производство стали в Украине с 1990 года (последний год докризисного периода с объемом выплавки 49,8 млн.тонн) претерпело этапы спада до 20–23 млн.т в 1994–1996гг. и подъема до 31,3 млн.т. в 2000г. С 2000г. продолжается дальнейший рост производства, но более замедленными темпами. В целом, показатели динамики производства по способам выплавки представлены в табл.1. [1,2].

Табл.1. Динамика производства стали в Украине.

Способ выплавки	Объем производства, тыс.т				
	1990г.	2000г.	2001г.	2002г.	2003г.
Маргеновский	26960	15656	16288	16404	16805
Кислородно–конвертерный	21271	14723	15886	16656	18372
Электродной	1596	922	794	930	1080

Анализ динамики производства стали по способам выплавки, во–первых, показывает, что наибольший прирост выплавки обеспечивается за счет кислородно–конвертерных цехов. Во–вторых, если учесть, что демонтированный ККЦ–1 МК «Криворожсталь» в 1990г. произвел 1951тыс.т стали, то можно сделать вывод, что выплавка стали в кислородно–конвертерных цехах приближается, либо достигла объемов докризисного периода (1990г.). Принимая, что в 1990г. загрузка кислородно–конвертерных цехов была предельно высокой, то в резерве осталось (21271–1951)тыс.т–18372тыс.т=948 тыс.т. Для более детального анализа сопоставим в табл.2 показатели производства стали в 1990 и 2003гг.

Анализ показывает, что ряд цехов превзошел объемы производства докризисного периода, а ряд – не достиг. К последним относится и ККЦ–2 МК «Криворожсталь». Отношение годового производства к уровню 1990г. в этом цехе в последние 3 года (2001–2003гг.) находится на одном и том же уровне – 0,83–0,84 [1]. Если причины, не позволяющие увеличить объемы производства в этом цехе не устранимы, то возможности увеличения выплавки кислородно–конвертерной стали в Украине в целом без специальных мероприятий ограничены.

Таблица 2. Объемы выплавки стали в кислородно–конвертерных цехах в 1990 и 2003 гг., тыс.т

Предприятие	1990г.	2003г.	Отношение 2003/1990
«Криворожсталь», ККЦ–2	6058	5114	0,84
«Азовсталь»	3824	3652	0,95
Енакиевский МЗ	2939	2263	0,76
ДМК им.Дзержинского	2684	3170	1,18
МК им.Ильича	2639	2939	1,11
ДМЗ им.Петровского	1176	1232	1,04
Всего	19320	18372	0,95

По результатам анализа динамики сталеплавильного производства необходимо выделить следующее.

Как в докризисный период, так и в настоящее время порядка 97% стали выплавляется в комплексе «Доменная печь–Сталеплавильный агрегат» с использованием жидкого чугуна.

Одним из путей повышения эффективности производства в таких условиях является переход на передел чугуна с пониженным содержанием кремния [3]. Реализация такого направления может быть эффективной в условиях мартеновского и кислородно–конвертерного производства.

В связи с постоянно возрастающей дефицитностью энергоносителей (в частности, кокса в доменном производстве, электроэнергии при выплавке ферросплавов), дефицитности металлолома, все большее количество фирм– производителей стали по схеме «Доменная печь–Кислородный конвертер» переходят на технологии выплавки и передела чугуна с пониженным содержанием кремния. Среди них, например, такие, как:

Хооговенс	– 0,35% Si [4];
Инленд	– 0,30–0,36% Si [5,6];
Юзинор	– 0,25–0,40% Si [7,8];
Фест–Альпине	– 0,40% Si [9,10];
Тиссен	– 0,25–0,40% Si [8];
Сольмер	– 0,22–0,36% Si [8];
Италсидер	– 0,25–0,40% Si [8];

Следует отметить, что для реализации технологий выплавки чугуна в доменных печах при понижении содержания кремния необходимо соблюдение ряда условий. Среди них: высокая степень подготовки шихтовых материалов и кокса, подбор состава и качества железорудного сырья, стабильность качественных факторов, ритмичность поставки шихты и др. Соблюдение комплекса этих условий является задачей сложной, а для многих регионов, фирм, заводов (и в мировом масштабе) обеспечение

массовой выплавки чугуна, например, на уровне содержания кремния 0,4%, задачей недостижимой даже в ближайшем будущем.

В условиях Украины из-за низкого качества железорудного сырья, кокса, неритмичных поставок шихты на заводах вынуждены осуществлять процесс доменной плавки с повышенным тепловым резервом. Верхний предел содержания кремния составляет 1,6% при средних пределах 0,7–1,0%. Передел такого чугуна производится в кислородно-конвертерных цехах в условиях дефицита и низкого качества металлолома, повышенного расхода извести.

Исходя из достижений мировой практики и специфических условий, в которых находится черная металлургия Украины, принимается следующая классификация технологий кислородно-конвертерной плавки в зависимости от содержания кремния в передельном чугуне:

1. Обычная технология (среднее содержание кремния в чугуне – 0,9%).
2. Обычная технология при пониженном содержании кремния (среднее содержание кремния в чугуне – 0,6%).
3. Малошлаковая технология (среднее содержание кремния в чугуне – 0,4%).
4. Технология с минимальным количеством шлака (среднее содержание кремния в чугуне – 0,15%).
5. Бесшлаковая технология (в чугуне следы кремния).

Первые 4 варианта технологии обеспечивают получение сталей необходимого качества для широкого сортамента непосредственно в кислородном конвертере, за исключением сталей, к которым предъявляются специальные требования. При реализации бесшлаковой технологии необходимо осуществлять обескремнивание чугуна, десульфурацию и дефосфорацию металла (чугуна или стали) вне конвертера при производстве всех марок стали. Преимуществом бесшлаковой технологии является возможность восстановления оксидов марганца, хрома, никеля в конвертере углеродом металлической ванны.

Для оценки качественного влияния кремния разработали схему взаимодействия между параметрами кислородно-конвертерной плавки, которая в матричном виде представлена в табл.3

Определяющим фактором в системе кислородно-конвертерной плавки является чугун. Это утверждение, естественно, в соответственной меньшей степени, относится и к содержанию кремния в чугуне. Кремний является теплоносителем, шлакообразующим элементом, влияет на содержание железа в чугуне и т.д. Однако, такие параметры, как расход извести и выход шлака напрямую определяются содержанием кремния.

Для обоснования и определения количественных значений технико-экономических параметров были систематизированы и обработаны данные опубликованных исследований, промышленной практики, мате-

риальных и тепловых балансовых расчетов. Расход чугуна, лома, металлошихты определили по результатам обработки нормативных данных, сложившихся по условиям практической деятельности кислородно-конвертерных цехов Украины, принимаемых на предприятиях за основу расходных величин с учетом способа разливки стали (МНЛЗ, слитки) [11].

Таблица 3. Взаимодействие между параметрами кислородно-конвертерной плавки в матричном виде.

	Элементы системы	Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Ч	Л	И	К	Qпр	С	Ш	Ог	Qрх
1	Чугун	Ч	■	Ч-Л	Ч-И	Ч-К	Ч-Qпр	Ч-С	Ч-Ш	Ч-Ог	
2	Лом	Л		■				Л-С	Л-Ш		Л-Qрх
3	Известь	И			■				И-Ш		И-Qрх
4	Кислород	К				■	К-Qпр		К-Ш	К-Ог	
5	Приход тепла	Qпр					■				
6	Сталь	С						■			С-Qрх
7	Шлак (+корольки)	Ш							■		Ш-Qрх
8	Отходящий газ (+пыль)	Ог								■	Ог-Qрх
9	Расход тепла	Qрх									■

На основании анализа данных по содержанию кремния в чугуне получены обобщенные величины расхода чугуна, лома, металлошихты, которые отнесли к среднему содержанию кремния (0,9%) [4]. К содержанию кремния 0,9% (как к исходному) были определены расходы извести, кислорода, выхода шлака и отходящего газа. Для расчетов использовали данные справочников, монографий, статей [12–24]. Поскольку некоторые определяемые параметры имеют меньшую значимость, чем составляющие металлошихты, их величины не разделяли в зависимости от способов разливки стали. На основании определенных технико-экономических параметров (для условий содержания кремния в чугуне 0,9% и разливки на МНЛЗ) в матричной форме был составлен предварительный материальный баланс кислородно-конвертерной плавки. При его анализе возникла необходимость в частичной корректировке расходов извести, кислорода, выхода шлака и газа. Все эти изменения не выходили за пределы

данных, принятых для анализа в качестве исходных. В окончательном виде матрица материального баланса представлена в табл. 4.

По представленным в табл.4. данным из исходных материалов в продукты плавки переходит ( в кг/т стали): из чугуна в сталь– 798,5; из чугуна в шлак– 52,2 (кремний и марганец – 12,6; железо – 24,1; корольки – 15,5); из чугуна в отходящий газ– 49,0 ( пыль – 13,0; углерод – 36,0); из лома в сталь – 201,5; из лома в шлак– 10,6; из извести в шлак– 75,0 из кислорода в шлак– 17,4; из кислорода в отходящий газ– 58,5;

Таблица 4. Материальный баланс кислородно–конвертерной плавки в матричной форме при содержании кремния в чугуне 0,9%.

	<b>Элементы системы</b>	Шифр	Расход кг/т стали			Итого	
			5	6	7		
			<b>С</b>	<b>Ш</b>	<b>Ог</b>		
1	<b>Чугун</b>	<b>Ч</b>	899,7	798,5	52,2	49,0	899,7
2	<b>Лом</b>	<b>Л</b>	212,1	201,5	10,6		212,1
3	<b>Известь</b>	<b>И</b>	75,0		75,0		75,0
4	<b>Кислород</b>	<b>К</b>	75,7		17,4	58,3	75,7
5	<b>Сталь</b>	<b>С</b>	1000				1000
6	<b>Шлак (+корольки)</b>	<b>Ш</b>	155,2				155,2
7	<b>Отходящий газ (+пыль)</b>	<b>Ог</b>	107,3				107,3
	<b>Итого</b>			1000	155,2	107,3	

Задача дальнейшего анализа сводилась к выявлению обоснованных путей определения изменений параметров при снижении содержания кремния в чугуне. Выше были обоснованы наиболее показательные величины содержания кремния в чугуне, характеризующие тип (вариант) технологии, а именно: 0,9% кремния – обычная (исходная); 0,6% кремния – с пониженным содержанием кремния; 0,4% кремния – малошлаковая; 0,15% кремния – с минимальным количеством шлака. Ниже приведен общий вид зависимости параметров кислородно–конвертерной плавки от содержания кремния в чугуне:

$Y$  кг/т стали =  $K_I$ , кг/т стали + [ $\Delta K_I$ , кг/т стали \* 0,1% Si чугуна] \* [Si чугуна исходное, % – Si чугуна заданное, %], где  $K_I$ , – исходная

величина параметра;  $\Delta K_1$ , – изменение параметра при снижении содержания кремния в чугуна на 0,1%.

Тогда исходная величина параметра ( $K_1$ ) равна его значению для пелледа чугуна с содержанием кремния 0,9%. За основу  $\Delta K_1$  взяты значения изменений параметров, приведенных в [19], сопоставленных с данными других балансовых расчетов и экстраполированных по данным японских исследователей в область малошлаковой технологии и технологии с минимальным количеством шлака.

При расчете  $\Delta K_1$  для определения количества отходящего газа принимали, что количество отходящего газа изменяется за счет увеличения расхода чугуна на 5,4 кг/т стали и выгорания из чугуна 4% углерода, из которого 90% сгорает до CO и 10% CO<sub>2</sub>. При таком допущении с одного кг углерода чугуна выделяется 2,466кг газов. Принятые для расчетов значения  $K_1$  и  $\Delta K_1$  приведены в табл.5, результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 5. Принятые для расчетов значения коэффициентов  $K_1$  и  $\Delta K_1$

Способ разливки	Технико-экономические параметры	$K_1$ , кг/т стали	$\Delta K_1$ , кг/т стали* 0,1% Si чугуна
МНЛЗ	Чугун	899,7	+5,4
	Лом	212,1	- 8,5
	Металлошихта	1111,8	- 3,1
В слитки	Чугун	852,1	+ 5,4
	Лом	266,5	- 8,5
	Металлошихта	1118,6	- 3,1
МНЛЗ и в слитки	Известь	75,0	- 7,0
	Кислород	75,7	- 1,285
	Шлак	155,0	- 15,0
	Отходящий газ	107,3	+ 0,5326

Приведенные в табл.6 величины ряда основных параметров, материального баланса кислородно-конвертерной плавки при различном содержании кремния в чугуна позволяет оценивать динамику изменения параметров, определять количественные значения изменений параметров, что необходимо для выполнения экономического анализа, экономического обоснования целесообразности перехода на малошлаковые технологии. Наиболее радикально изменяются такие параметры, как расход извести и выход шлака. Их значения снижаются более чем в три раза. Динамика потерь тепла со шлаком представлена в табл.7.

Таблица 6. Технично–экономические параметры кислородно–конвертерной плавки при различном содержании кремния в чугуна

Способ раз-ливки	Технично–экономические параметры	Содержание Si в чугуна,%			
		0,9	0,6	0,4	0,15
МНЛЗ	Чугун, кг/т стали	899,7	915,9	926,7	940,2
	Лом, кг/т стали	212,1	186,6	169,6	148,35
	Металлошихта (чугун + лом) кг,т стали	1111,8	1102,5	1096,3	1088,55
В слитки	Чугун, кг/т стали	852,1	868,3	879,1	892,6
	Лом, кг/т стали	266,5	241,0	224,0	202,75
	Металлошихта (чугун + лом) кг,т стали	1118,6	1109,3	1103,1	1095,35
МНЛЗ и в слитки	Известь, кг/т стали	75,0	54,0	40,0	22,5
	Кислород, мЗ/т стали	53,01	50,031	48,51	46,26
	Кислород, кг/т стали	75,7	71,84	69,27	66,06
	Сталь, т	1	1	1	1
	Шлак, кг/т стали	155	110	80	42,5
	Количество шлака, %	100	71	51,6	27
	Отходящий газ, кг/т стали	107,3	108,9	109,96	111,29
	Количество отходящего газа, %	100	101,5	102,5	103,7

Таблица 7. Динамика потерь тепла при кислородно–конвертерной плавке со шлаком

Способ разливки	Технико–экономические параметры	Содержание Si в чугуна, %			
		0,9	0,6	0,4	0,15
МНЛЗ и в слитки	Количество шлака, кг/т стали	155	110	80	42
	Количество шлака, %	100	71	51,6	27
	Потери тепла со шлаком, МДж/т стали	348	247	179,7	94
	Потери тепла со шлаком, Мкал/т стали	83	59	43	22,5
	Потери тепла со шлаком от исходных при Si чугуна = 0,9%, %	100	71	51,6	27
	Снижение потерь тепла со шлаком от исходных при Si чугуна = 0,9%, МДж/т стали		101	168,5	253,8
	Снижение потерь тепла со шлаком от исходных при Si чугуна = 0,9%, Мкал/т стали		24	40	60,6

При переделе чугуна с содержанием кремния 0,15% потери тепла со шлаком составляют 27% от потерь при содержании кремния 0,9%. Процесс усвоения извести также связан с большими затратами тепла. Известно, что для усвоения 1кг извести расходуется столько тепла, сколько необходимо для проплавления 2кг лома. Однако, экономия тепла за счет сокращения расхода извести и количества шлака не может компенсировать потерь, связанных с сокращением содержания кремния в чугуна. Поэтому, при реализации малошлаковых технологий необходимо увеличивать расход чугуна и сокращать расход лома. В некоторой степени положение улучшается за счет повышения выхода годного и естественного сокращения металлошихты в целом. Главная целесообразность применения малошлаковых технологий связана с соотношением цен на чугун и лом.

1. Динамика выплавки чугуна и стали в 2000–2002гг. / В.П. Корченко, Н.М. Можаренко, В.Ф. Поляков, Л.Г. Тубольцев и др. // Металл Украины. – №31. – 01–15 октября 2003г. – С.25–28.
2. Статистика // Металл Украины. – №1 (324). – 1–15 января 2004г. – С.21.

3. *Аналитическое исследование целесообразности и перспективности реализации в условиях Украины комплексной технологии выплавки низкокремнистого чугуна в доменных печах и использование его в сталеплавильном производстве* / НАН Украины. Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова // Отчет о НИР Ч.051–03. – 2003г. –51 с.
4. *Влияние использования низко кремнистого чугуна на дефосфорацию металла в конвертере.* / Knoop Willen Van der, Unen Gerardus Van, Snoeijer Albert B., Soom Rob. // *Steel Times*. – 1994. – 222. № 4. – С. 141–142, 146, англ.
5. *Pulyerized Coalingection (PCI) at Inland №7 Blast furnace* / I. Ricketts, W. Karter, P. Graeenwald, // *Ironmaking Conferenc Proceedings*.–1996.–v.54,p.51–60. Цитируется по «Новости черной металлургии за рубежом»,1996;№ 3, С.27–29.
6. *Madification of the refining practices at Inlands № 4 EOF in order to accommodate the use low silicon hot metal* / D.R. Fosnacht, S.R. Balajee, A.R. Hebbard // 70–th *Steelmak. conf. Proc. Vol. 70: Pittsburgh Meet., March J9 –Apr. 1. 1987. Warrendale, Pa, 1987, 329–338 (англ.)*.
7. *Desulphurization of pig iron at USIHORs Dunkerk works*// – CLESIM news, 1985, № 2, p. 2–3. Цитируется по экспресс–информации. Черная металлургия / ин–т «Черметинформация», 1985, сер.«Производство стали и ферросплавов», вып.25,с. 1–2.
8. *Технология получения низкокремнистого и низкосернистого чугуна в доменных печах за рубежом Кондревкинская* / Р.М. Жак, Н.И. Савелов, // ин–т «Черметинформация» М., 1991 Обзор. инфор. Сер. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна, вып.3,с.28.
9. *Использование вспомогательной фурмы в конвертере* / K. Primas, G. Poferl, W. Rookenhamb // *Sublanzensteuerung im LD–Stahlwerk 3 der VOEST–Alpine AG in Linz.* – Berg: – und Hiittemannische Monatshefte, 1985, Bd –130, № 7, s.217–223. Цитируется по Экспресс–информации. Черная металлургия / ин–т «Черметинформация», 1985, сер. «Производство стали и ферросплавов», вып. 25, с.3–7.
10. *Управляемый ЭВМ сталеплавильный процесс, донная продувка инертным газом и выпуск стали с небольшим процентом попадания шлака в ковш, комплекс мероприятий по усовершенствованию производства стали* / В. Рокеншауб, Г. Грабнер // *Доклад Industrianlagenbau, Ges. м.в.Н., Linz. – Moskau. – Magz. – 1988.*
11. *Экономический анализ технологий выплавки металла* / В.П. Корченко, Л.Г. Тубольцев, В.Ф. Поляков, Н.И. Падун // *Метал Украины, №46 (285), 2–8 декабря 2002г. – С.29–30.*
12. *Краткий справочник металлурга.* Под редакцией В.П. Адриановой. – Москва: Государственное научно–техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1960. – 370 с.
13. *Сталеплавильное производство* / Под общей редакцией чл.–корр. АН СССР А.М. Самарина. // *Справочник, том 1. . – М.: «Металлургия», 1964. – 527 с.*
14. *Афанасьев С.Г.* Краткий справочник конверторщика // – М.: «Металлургия», 1967. – 160 с.
15. *Дои Дзе.* Конвертерное производство стали // Перев. с японского. М.: «Металлургия», 1971, 296 с.
16. *Якушев А.М.* Справочник конверторщика//Челябинское отделение,1990, 448с.

17. *Development of new steelmaking process with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$*  / S. Yamamoto, Dr. H. Kajioka. // Trans. of the Iron and Steel Inst. of Japan, 1980, № 2, v.20. P. B33.
18. *Development of slag minimum refrilne– process by desiloonidation of hot metal. (Development of slag minimum refining process – I)* / Yu. Itoh, Sh. Satoh, Yu. Kawauchi et al// Trans. ISI of Japan, 1980, v. 20, № 7, p. B–264.
19. *On the preliminary desiconization of hot metal by solid iron oxide. (Development of slag– minimum refining' process – II)* / Yu. Itoh, Sh. Satoh, Yu. Kawauchi et al. // Trans. ISI of Japan, 1980, v. 20, № 20, № 7, P. B–365.
20. *Дефосфорация чугуна с низким содержанием кремния в ЛД конвертере (Разработка процесса рафинирования с минимальным количеством шлака – III). On the dephosphorizatlon of low–silicon hot metal in LD converter. (Development of slag miniimum refining process – III)* / Yu. Itoh, Sh. Satoh, Yu. Kawauchi et al. // Trans. ISI of Japan, 1980, v. 20, № 7, p. B–266.
21. *Металлургические аспекты передела чугуна с низким содержанием кремния в ЛД конвертере. (Разработка процесса рафинирования с минимальным количеством шлака – IV). On the metallurgical characteristics of refining of low–silicon hot metal in LD converter* / Yu. Itoh, Sh. Satoh, Yu. Kawauchi et al. // Trans. ISI of Japan, 1980, v. 20, № 7, P. B267.
22. *Genma Nobuyuki. Производство высокоуглеродистой стали в конвертере из предварительно обработанного чугуна*// Tetsu to hagane, J Iron and Steel Inst. Jap. 1983, 69, № 12, 1005 (Яп.). Цитируется по РЖМ, 1984, N 2, 2B389.
23. *Технология производства стали в современных конвертерных цехах* / С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др. / Под общей редакцией Колракова С.В.// М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.: ил.
24. *Освоение технологии передела низкокремнистого чугуна с пониженным содержанием марганца с предварительным нагревом лома в кислородных конвертерах* / Р.С. Айзатулов, Ю.А. Пак, В.В. Соколов и др. // АО «Черметинформация», Бюллетень ЧМ, 2002. – №4. – С.30–32.

*Статья рекомендована к печати д.т.н. Д.Н.Тогобицкой*