

**Н.А.Гладков, Д.Н.Тогобицкая, А.И.Белькова, В.С.Евглевский,  
К.А.Дмитренко**

**РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОМЕННОЙ  
ПЛАВКИ ПРИ СНИЖЕНИИ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА,  
ВДУВАЕМОГО В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ**

Выполнено расчетно-аналитическое исследование и выявлены основные закономерности влияния снижения расхода природного газа, вдуваемого в доменную печь, на основные технико-экономические показатели работы и качество продуктов плавки ДП-9 ОАО «Миттал Стил Кривой Рог».

**Постановка задачи.**

В настоящее время в связи с изменениями, происходящими на рынке основных энергоносителей Украины – природного газа и кокса, актуальными становятся исследования, направленные на применение энергосберегающих технологий в металлургических переделах. В частности, снижение количества либо полный отказ от использования природного газа, вдуваемого в горн доменных печей, является в настоящий момент стратегической задачей отрасли. В связи с этим в работе выполнялись расчетно-аналитические исследования влияния уменьшения количества природного газа, вдуваемого в доменную печь, на основные технико-экономические показатели и качество продуктов доменной плавки.

**Изложение основных материалов исследования.**

В качестве объекта исследования была выбрана доменная печь №9 комбината «Миттал Стил Кривой Рог» полезным объемом 5000 м<sup>3</sup>, на которой, вследствие сложившихся обстоятельств, ставилась задача сокращения расхода природного газа до 30 нм<sup>3</sup>/т чугуна и ниже.

Расчеты выполнялись на базе компьютерной системы прогноза состава и свойств продуктов доменной плавки «Прогноз» [1], функционирующей в составе АСУТП ДП-9 ОАО «Миттал Стил Кривой Рог», позволяющей по химическому составу загружаемых материалов и технологическим параметрам процесса прогнозировать состав и свойства продуктов доменной плавки [2].

С использованием указанной системы проведены прогнозные расчеты состава и свойств продуктов плавки при последовательном уменьшении количества природного газа, вдуваемого в доменную печь.

В качестве исходных данных для расчетов выбраны технологические параметры и данные о химическом составе сырья базового режима работы ДП-9 за январь – февраль 2006 года. В частности: производительность печи – 8800 т/сут; расход кокса – не выше 470 кг/т чугуна; расход антрацита – 60 кг/т чугуна; расход дутья – 7200-8600 м<sup>3</sup>/мин; содержание кислорода и влаги в дутье соответственно – 21-23% и 12-25 г/м<sup>3</sup>; температура дутья 1050°C; давление дутья 3.2 – 3.4 ати., и др.

В таблице 1 представлены расходы шихтовых материалов для каждого варианта расчета.

Таблица 1. Расходы шихтовых материалов, кг/т чугуна.

Материал	№ расчета						
	1	2	3	4	5	6	7
Кокс сухой, кг/т чугуна	423	415.749	422.089	428.56	435.18	441.936	454.93
Агломерат НКГОК-II, кг/т чугуна	1498	1498	1497.94	1497.77	1497.6	1497.43	1497.1
Окатиши СевГОК, кг/т чугуна	87.22	87.19	87.182	87.17	87.16	87.15	87.13
Флос (известняк сырой), кг/т чугуна	23.3	23.46	24.153	24.86	25.59	26.33	27.76
Антрацит, кг/т чугуна	61.85	61.846	61.846	61.85	61.85	61.85	61.85
Шлак обогащенный + скрап чугуна, кг/т чугуна	135.7	135.675	135.675	135.675	135.67	135.67	135.67

Результаты, полученные на основе проведенных прогнозных расчетов, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Показатели доменной плавки при различных расходах природного газа.

Параметры	№ расчета						
	1	2	3	4	5	6	7
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /мин	<b>533.3</b>	<b>220</b>	<b>187</b>	<b>148</b>	<b>111</b>	<b>73</b>	<b>0</b>
Расх. кокса, кг/т чугуна	423	415.75	422.09	428.56	435.18	441.93	454.93
Расход дутья, м <sup>3</sup> /мин	7800	7238	7332	7379	7452	7526	7605
Содержание O <sub>2</sub> в дутье, %	25.8	22.6	22.3	22.0	21.7	21.3	21.0
Температура дутья, °C	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
Длина фурменной зоны, м	2.213	1.912	1.931	1.939	1.955	1.97	1.991
Рудная нагрузка	3.758	3.656	3.609	3.562	3.517	3.473	3.385
Теоретическая температура горения, °C	2096	2142	2151	2153	2153	2153	2178
Si чугуна, %	0.909	0.637	0.705	0.744	0.806	0.879	1.062
S чугуна, %	0.028	0.029	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024
SiO <sub>2</sub> шлака, %	38.63	39.21	39.00	38.88	38.68	38.38	37.91
CaO шлака, %	46.23	46.161	46.30	46.382	46.52	46.76	47.07
MgO шлака, %	5.58	5.308	5.319	5.32	5.33	5.33	5.373
S шлака, %	1.28	1.203	1.22	1.24	1.26	1.27	1.315
CaO/SiO <sub>2</sub> шлака, %	1.197	1.177	1.187	1.193	1.203	1.218	1.242
Вязкость шлака при 1500 °C, Па·сек	0.288	0.276	0.281	0.284	0.29	0.301	0.320

На рис.1 представлен один из вариантов выходной формы программы. Анализ проведенных прогнозных расчетов показал, что при снижении расхода природного газа, вдуваемого в доменную печь, с 220 до 0 м<sup>3</sup>/мин и поддержании при этом теоретической температуры горения постоянной на уровне 2150°C при температуре дутья 1050°C, необходимо увеличивать расход холодного дутья с 7200 до 7600 м<sup>3</sup>/мин, а также уменьшать содержание в дутье кислорода с 22.6 до 21%.

ОАО "Криворожсталь" Наименование расчета: -- 1 g10k  
 Печь №9 Дата расчета загрузки: 11.05.2006 Время расчета загрузки: 13:29:44  
 Химический состав загружаемой шихты (%):

Наименование	Вес, тн	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	MnO	S	Fe	FeO	Feмет	Влага	Вискоз
КОКС КХП 1-4 Б	29.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.100	0.00	0.00	0.00	2.8	1.0
Z КОКСА КХП 1-	3.29	43.55	24.00	3.93	1.48	0.05	0.000	13.40	0.00	0.00	0.0	0.0
АГЛОМЕРАТ ГОК	97.59	9.36	1.16	11.23	1.18	0.18	0.035	54.03	11.05	0.00	0.0	2.5
ОКАТЫШИ СЕВГОК	5.68	7.37	0.40	2.51	0.99	0.06	0.050	60.00	0.00	0.00	0.0	2.5
ШО+Сжпр.чуг.	8.84	14.89	1.58	16.60	3.20	3.73	0.070	55.00	13.33	45.1	0.0	0.5
АНТРАЦИТ	4.00	4.00	1.87	0.25	0.14	0.10	1.300	0.41	0.00	0.00	2.5	0.0
ИЗВЕСТНЯК	1.80	0.80	0.60	54.61	0.82	0.00	0.030	2.00	0.00	0.00	2.4	0.0
Всего (тонн):	117.91	12.23	2.14	13.38	1.53	0.51	0.39	60.06	11.69	3.97		
Всего (%)	10.82	1.89	11.84	1.35	0.45	0.34	53.13	10.34	3.51			

Z КОКСА, % = 11.54 Пробы кокса: M25 = 66.7 ; M10 = 7.0 Кол-во подачи: 1. Из них примесных: 0.  
 Показатели шихты: De = -3.292 Колошниковый газ: Дутье:  
 Fe2O3 = 59.46 Dde = 0.757 Давление (ати) = 1.30 Содержание O2 (%) = 21.0  
 Feобщ. = 53.13 Ko = -1.113 CO2 (%) = 18.66 Расход пр. газа (м3/мин) = 0.0  
 CaO/SiO2 = 1.094 Al2O3/MgO = 1.400 CO (%) = 24.21 Расход дутья (м3/мин) = 7605  
 (CaO+MgO)/SiO2 = 1.219 Температура (°C) = 126.0 Температура дутья (°C) = 1050  
 Расчетные показатели технологии: Показатели кокса: Давление дутья (ати) = 3.40  
 Степень испол. газа (доли) = 0.435 Расход кокса (кг/т) = 464.5 Естеств. влажн. (г/м3) = 12.00  
 Расход топлива на 1кг Сф = 0.000 Диаметр кокса (мм) = 26.2 Расход пара (т/ч) = 5.50  
 Длина фурменной зоны (м) = 1.991 Плотн. кокса (кг/м3) = 1009.0 Влажн. дутья (г/м3) = 24.06  
 Рудная нагрузка = 3.385  
 Температура горения = 2178 Доли перехода в шлак:  
 LSi = 0.88127 Lmn = 0.24813 LS = 0.96126 LFe = 0.00135

Химический состав чугуна (%):

Вес, тн	Si	Mn	S	P	C	Fe
63.827	1.062	0.464	0.024	0.069	4.407	93.974

Химический состав шлага (%):

Вес, тн	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	MnO	FeO	S
Первичный:	35.269	30.605	3.823	37.579	4.193	1.436	1.103
Конечный:	28.430	37.904	7.522	47.074	5.373	0.444	1.315
Выход шлага:	445.415	кг/тн	Расчетные свойства шлага				

Наименование	Размер-ти	Первичный	Конечный
1. CaO/SiO2		1.228	1.242
2. (CaO+MgO)/SiO2		1.365	1.384
3. Al2O3/MgO		0.912	1.400
4. Коэфф. распр. серы Lсфакт.			56
5. Коэфф. распр. серы Lсравн.			92
6. Степень достижения равновесия	%		61
7. Серопоглощающая способность шлага			19
8. Физико-химический эквивалент шлага		-3.058	-2.253
9. Стехиометрия шлага		0.756	0.717
10. Температура начала фильтрации	°C		1351
11. Температура максимальной фильтрации	°C		1499
12. Вязкость шлага при 1300°C	па, сек	0.691	
13. Вязкость шлага при 1450°C	па, сек		0.457
14. Вязкость шлага при 1500°C	па, сек		0.320
15. Вязкость шлага при 1550°C	па, сек		0.229
16. Поверхностное натяжение при 1300°C	мН/м	354	
17. Поверхностное натяжение при 1500°C	мН/м		436
18. Энтальпия	кДж/кг		1844
19. Температура начала плавления	град°C	1265	1310
20. Температура начала кристаллизации	град°C		1366

Рис.1 Выходная форма программы прогноза состава и свойств продуктов доменной плавки «Прогноз».

Выявлено, также, что при снижении количества природного газа с 220 до 0 м<sup>3</sup>/мин длина фурменной зоны в горне доменной печи возрастает с

1.9 до 2.0 м, а рудная нагрузка снижается с 3.66 до 3.39 (в связи с увеличением расхода кокса).

При этом снижение количества природного газа сопровождается повышением основности доменного шлака до 1.24 ед., сера в чугуна снижается до 0.024, кремний возрастает до 1.1, вязкость шлака при 1500°C незначительно увеличивается.

Из полученных результатов также следует, что достаточно низкий расход кокса (порядка 430 – 450 кг/т чугуна) в исследуемом периоде на ДП-9 был обусловлен заметным расходом антрацита и металлосодержащих добавок. При их исключении из доменной шихты, расход кокса (даже при увеличении расхода природного газа до 35 – 37 м<sup>3</sup>/т чугуна) соответственно увеличится до 480 – 500 кг/т чугуна. Снижение расхода либо полное прекращение подачи природного газа в печь без использования специально подготовленного антрацита в доменной шихте обуславливает расход кокса на уровне  $\approx 520$  кг/т чугуна.

### **Выводы**

Таким образом, анализ приведенных расчетных данных показывает, что при прекращении подачи газообразного топлива и антрацита заметно возрастает расход кокса. Достаточно высокая экономичность доменной плавки при сокращении расхода природного газа возможна при использовании в доменной шихте высококачественных (богатых, калиброванных) железосодержащих и топливных добавок и металлизированного сырья. Актуальным при этом остается поиск (испытания) альтернативных углеродсодержащих материалов (ПУТ, жидких видов топлива, нефтяных отходов и др.).

1. Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Белькова А.И. Информационное, алгоритмическое и программное обеспечение для решения задач оптимизации доменной шихты. – М.: Металлург, 1999. – № 6. – С.42 – 43.
2. Тогобицкая Д.Н., Оторвин П.И., Белькова А.И., Гринько А.Ю. Автоматизированная система контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки. – М.: Металлург, 2004. – № 4. – С.43 – 46.

*Статья рекомендована к печати чл.-корр. НАН Украины  
В.И.Большаковым*