

И. Г. Товаровский, А. Е. Меркулов

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

Проблемы замещения кокса в доменной плавке продуктами газификации низкосортных углей

Установлено, что реализация отечественных разработок по замещению в доменных печах (ДП) части кокса и всего вдуваемого природного газа (ПГ) продуктами газификации низкосортных углей при использовании резервных ДП для организации процессов газификации углей позволит сократить расход кокса до уровня, соизмеримого с вариантом вдувания максимального количества пылеугольного топлива, ресурсы которого ограничены, а получение в некоторых ДП топливных газов энергетического назначения призвано улучшить топливный баланс предприятия и региона при одновременном положительном воздействии на экологическую обстановку. Указанные разработки целесообразно включить в комплекс работ, намечаемых руководством страны в плане замещения импортного природного газа и вовлечения в производственный оборот низкосортного угля собственной добычи.

Ключевые слова: газификация угля, доменная печь, продукты газификации угля

Постановка задачи. В связи с подписанием Президентом Украины В. Ф. Януковичем в августе 2012 г. закона № 5189-V об увеличении на 30 млрд. грн. размера государственных гарантий для привлечения кредитов у государственных банков КНР с целью реализации программы замещения дорогого импортного газа добычей более дешевого угля в Украине Министр энергетики и угольной промышленности нашей страны Ю. А. Бойко отметил: «Украина взяла курс на замещение импортного газа альтернативными украинскими источниками энергии, в частности углем, объемы добычи которого активно наращиваются. Планируется построить три предприятия по газификации угля. Технологию мы берем у компании Shell. Эта технология опробована в Китайской Народной Республике. Там работает 15 таких предприятий...» [1].

Принятые решения принципиально соответствуют основным результатам анализа и исследований, полученным в различных отраслях, однако они не учитывают отечественных разработок, к которым относятся и разработки Института черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины по получению и использованию в доменных печах продуктов газификации низкосортных углей. Работу, начатую более трех десятилетий назад, выполняли совместно со специализированными организациями и предприятиями. Результаты этой работы востребованы в стране и за рубежом, они отмечены премией НАН Украины (2003 г.), однако реализацию разработок задержали вплоть до нынешнего обострения ценовой ситуации с использованием природного газа.

Потребление природного газа предприятиями черной металлургии в настоящее время составляет порядка 4 млрд. м³ в год, треть которых потребляют доменные печи. При этом в 2012 г. цена природного газа составляла 484 дол. США за 1 тыс. м³ против 293 дол. США за 1 т кокса [2], что при эквиваленте замещения 0,7 кг/м³ приводит к удорожанию чугуна на 484 - 0,7 × 293 ≈ 279 грн. при использовании каждой 1 тыс. м³ газа.

При решении задач сокращения расхода кокса одной из приоритетных является реализация технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива (ПУТ), которая нашла широкое развитие на передовых предприятиях мира с достижением расхода ПУТ до 250 кг/т чугуна. Выполненные ранее расчетно-аналитические исследования показали возможность сокращения расхода кокса до 280 кг/т чугуна при вдувании указанного количества ПУТ на отдельных доменных печах (ДП) Украины с учетом выполнения требований к свойствам сырья и кокса. Однако общие масштабы развития этой технологии ограничены, прежде всего, повышенными требованиями к качеству кокса и, соответственно, составу угольной шихты для коксования, а также сортаменту углей для приготовления ПУТ. По заявлению генерального директора объединения «Металлургпром» В. С. Харахулаха: «С учетом перспективных сроков строительства установок по вдуванию ПУТ на основных метпредприятиях Украины к 2015-му неплохо бы ежегодно получать уголь марок К, Г, Ж в объеме 8 млн. т, причем, необходим уголь с низким содержанием серы и невысокой зольностью, а с учетом этих требований украинские угольщики пока могут обеспечить потребность металлургов лишь на 4 млн. т в год. Без импорта угля необходимого качества не обойтись» [3].

В случае небольших расходов ПУТ, ограниченных реальными условиями по качеству кокса, железорудного сырья и сортаменту вдуваемых углей, необходимо также одновременное вдувание природного или другого восстановительного газа. Учитывая изложенное, следует сочетать развитие вдувания ПУТ с разработкой альтернативных коксозамещающих технологий [4].

Из возможных газообразных энергоносителей, замещающих кокс и природный газ, наиболее реально использование коксового газа, вдуваемого через воздушные фурмы. Эта технология освоена на Макеевском металлургическом заводе, где в период с 1980 по 1992 г. в доменные печи вдували до 250 м³/т

чугуна коксового газа, что обеспечивало замещение 100-120 м³/т чугуна природного газа с уменьшением расхода кокса на 30-50 кг/т чугуна [5]. Для реализации данной технологии необходимо сооружение комплекса подготовки к вдуванию газа в доменные печи с целью компримирования и очистки от нафталина, бензольных углеводородов, сероводорода и оксидов азота.

В настоящее время разработана технология загрузки в доменные печи сырого кускового антрацита в количестве до 100 кг/т чугуна через колошник печи по тракту загрузки основных компонентов шихты, что практически не требует капитальных затрат и обеспечивает доход на разнице цен кокса и антрацита [6]. Параллельно, по мере накопления средств, будут созданы возможности капиталовложений в сооружение комплексов для вдувания ПУТ. К тому времени проблема замены природного газа коксовым в значительной мере будет решена, что обеспечит более эффективное функционирование технологии вдувания ПУТ.

Наиболее приемлемое решение проблемы замещения кокса и природного газа при ограниченных ресурсах углей требуемого сортамента можно получить на основе разработки упомянутой выше новой технологии доменной плавки с использованием продуктов газификации низкосортных углей (ПГУ).

Известно более шестидесяти методов газификации твердого топлива, но развитие получили только некоторые. Основными разработчиками соответствующих технологий являются компании Shell, Lurgi, British Gas, Техасо, а также Всероссийский теплотехнический институт, Институт горючих ископаемых, Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского, КАТЭКНИИуголь, ДонНТУ, УХИН, МИСиС, Институт газа НАН Украины, УГХТУ и др.

Большинство разработок, связанных с технологией газификации угля, направлено на интеграцию газификатора в парогазовый цикл производства электроэнергии. Известны также разработки технологии производства и использования генераторного газа для нужд металлургии:

- первая очередь установок на основе газогенераторов типа Lurgi мощностью 960 тыс. м³ газа в сутки для обжига гидрооксида алюминия [7], запущенная в 2007 г. в г. Павлодар на АО «Алюминий Казахстана» силами ЗАО «СУЗМК Энерго» в партнерстве с «ZVU Engineering» (Чехия);

- технология «Термококс» для производства горючего газа энергетического или металлургического назначения, разработанная российскими специалистами под руководством С. Р. Исламова [8];

- опытно-промышленная установка газификации угля в шлаковом расплаве на Новолипецком металлургическом комбинате и пилотная установка в научном центре г. Таеджон для фирмы Samsung Heavy Industries (Южная Корея), созданные на основе процесса Ромелт, важнейшим элементом которого является газификация угля кислородом и оксидами железа в барботируемом шлаковом расплаве [9].

В связи с актуализацией проблемы использования продуктов газификации углей следует обра-

титься к результатам разработок Института черной металлургии (ИЧМ) совместно с некоторыми специализированными организациями применительно к доменной плавке [10, 11]. С позиций требований доменной технологии (максимальная температура газа и минимальное содержание окислителей) показана пригодность способов газификации в потоке с помощью циклонных и вихревых аппаратов, а также в шлаковом расплаве и плотном слое с жидким шлакоудалением.

Анализ результатов. Возможны две схемы подачи горячих восстановительных газов (ГВГ) в доменную печь, отличающиеся расположением газогенераторов относительно доменной печи и их единичной мощностью: с подачей восстановительного газа из индивидуальных реакторов-газификаторов (РГ) на каждую фурму доменной печи; с подачей из одного или нескольких мощных РГ через кольцевой газопровод в фурмы доменной печи. Обе схемы имеют свои преимущества и недостатки. Подача по первой схеме позволяет снизить потери за счет сокращения протяженности трубопровода горячего газа, лучше организовать окружное распределение газа, однако усложняется процесс синхронного управления газогенераторами. При подаче по второй схеме увеличиваются гидравлические и тепловые потери, однако, использование большей мощности газогенераторов уменьшает энергетические потери при производстве газа и возможны промежуточные этапы обработки газа (шлакоотделение, очистка, нагрев, компримирование).

Прифурменная газификация углей (ПФГ). Газогенератор для энерготехнологической схемы РГ-фурма разрабатывали на основе газогенератора пылеугольного топлива вихревого типа Объединенного Института высоких температур РАН (ОИВТ РАН, Российская Федерация). В течение нескольких лет в ОИВТ РАН и ИЧМ НАН Украины проводили аналитические и экспериментальные исследования по отработке конструкции и режима работы газогенератора с получением горячих восстановительных газов для вдувания в доменные печи. Выполненные расчеты и экспериментальные исследования подтвердили возможность получения ГВГ с температурой до 2000 °С и содержанием окислителей 1-2 %, формирования защитного гарнисажа нужной толщины для обеспечения высокой стойкости газогенератора, создания на базе РГ ОИВТ РАН компактного газогенератора, габариты которого позволяют установить его в пределах существующего фурменного прибора, работающего в режиме с выносом всей ожигенной золы угля в фурменный очаг вместе с получаемым ГВГ. После стендовых испытаний реактор демонтировали и перенесли на доменную печь № 2 ОАО «Тулачермет». Эксперименты в течение двух месяцев показали принципиальную возможность реализации разработки после устранения некоторых недостатков изготовления реактора.

Для анализа особенностей новой технологии и ожидаемых результатов выполнены расчеты на модели, разработанной в ИЧМ НАН Украины (табл. 1). В качестве базового периода приняли

Ожидаемые показатели доменной плавки на доменной печи 5000 м³ ПАО «АМКР» при вдувании ПУТ, ПГУ-ГВГ, а также минимизации расхода кокса ($K_{мин}$) за счет увеличения температуры дутья и перевода сырого известняка из доменной шихты в агломерационную

Показатели	База	ПУТ ₂₅₀	ПГУ ₄₀₀	ПГУ ₄₀₀ K _{мин}
Суточная производительность, т/сут	9604	9170	7910	9012
Расход кокса, кг/т чугуна	483	308	342	250
Дутье: расход, м ³ /мин	6674	6389	3060	2172
температура, °С	1090	1090	1090	1300
содержание кислорода, %	30,5	30,5	30,5	30,5
Расход природного газа, м ³ /т	87	0	0	0
Расход вдуваемого угля, кг/т	0	250	400	400
ГВГ-ПГУ: количество, м ³ /т чугуна	0	0	1106	1106
температура, °С	-	-	1590	1693
содержание CO + H ₂ , %	-	-	60,3	60,3
Колошниковый газ: температура, °С	81	308	289	185
содержание, % – CO	29,1	27,9	29,3	28,3
– CO ₂	19,8	22,4	19,0	19,9
– H ₂	7,7	5,0	8,3	9,2
Известняк / конвертерный шлак, кг/т	35/56	47/56	132/55	0/57
Количество шлака, кг/т	416	445	550	545
Расход кислорода (расч.), м ³ /т	141	142	79	49
Теоретическая температура горения, °С	2219	2328	2056	2054
Прямое восстановление оксида железа, %	35,9	33,1	22,0	28,3
Использование CO + H ₂ , %	40,5	44,4	39,1	41,3
Общий приход теплоты, кДж/кг	4425	4917	5314	4617
Потребность теплоты, кДж/кг	3899	3846	3777	3591
Потери теплоты, кДж/кг	302	247	373	388

параметры работы ДП-9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Вариант ПУТ предполагает вдувание 250 кг/т чугуна малозольного угля (%: до 10 – золы, 13 – летучих), а вариант ПГУ – вдувание ГВГ-ПГУ из высокозольных углей (%: 25 – золы, 25 – летучих) в количестве 400 кг угля на 1 т чугуна с замещением количества кокса, близкого к варианту ПУТ.

Аналитические и экспериментальные исследования прифурменной газификации угля способствовали выявлению закономерностей процессов и разработке новых технических решений на уровне изобретений, положенных в основу новой технологии доменной плавки [10, 11].

Придоменная газификация углей. Данная схема подачи ГВГ предполагает получение всего газа, необходимого для доменной плавки, в одном газификаторе высокой производительности с разводкой его по фурмам. В роли газификатора можно использовать одну из печей доменного цеха, переведенную в режим работы газогенератора. В зависимости от используемого способа возможны варианты.

Слововой газогенератор (СГГ). Доменную печь реконструируют в СГГ некоксуемого угля путем оснащения ее дополнительными заплечками, газоотборными каналами и коллектором горячего восстановительного газа. Эти заплечки располагают в области низа шахты и распара, они предназначены для разделения газогенератора на две зоны: верхнюю (подготовки шихты) и нижнюю (обработки шихты с получением ГВГ) [12].

В верхней зоне СГГ осуществляется прогрев ших-

ты и удаление гигроскопической влаги (балласта ГВГ). В нижней зоне ведется процесс получения ГВГ путем паровоздушной газификации угля с жидким шлакоудалением. Дополнительные заплечки формируют успокоительную зону (газовую камеру) ГВГ перед газоотборными штуцерами и коллектором и снимают давление столба шихты находящейся в зоне подготовки, на слой в зоне обработки, реагирующий с паровоздушным дутьем. На фурмах СГГ осуществляется газификация угля горячим, атмосферным дутьем для поддержания теоретической температуры горения 1900-2000 °С с целью формирования в горне СГГ рационального температурного поля, обеспечивающего образование и удаление жидких продуктов (шлака и чугуна) и температуру производимого ГВГ на уровне 1200 °С. Основную часть образующегося ГВГ отбирают из кольцевой полости, образованной поверхностями кольцевого пережима и стенки печи, и направляют для вдувания в доменную печь. Другая (небольшая) часть газа идет через нижнюю часть кольцевого пережима на подготовку шихтовых материалов и отводится из шахтной печи через колошник. В качестве угольной базы газогенератора рекомендовано применять кусковый некоксуемый уголь, например марок Т, Д, А, СС крупностью 5-50 мм.

Жидкофазный газификатор (ЖФГ). Достижение высокой производительности получения ГВГ возможно также на основе технологии газификации угля в жидкой ванне. Выбор шлакового расплава в качестве реакционной среды обеспечивает высокий температурный уровень и, следовательно, высокую

производительность процесса, значительные экологические выводы и простоту конструкции основного оборудования. Помимо этого, при газификации угля в расплаве можно на одном и том же оборудовании использовать практически любой уголь без ограничений по составу, влажности и крупности. При расположении установки для газификации на металлургическом комбинате возможно использовать в качестве флюса сталеплавильные шлаки, содержащие CaO и оксиды железа. При этом выход чугуна значительно увеличится, в результате чего за счет попутной продукции можно покрыть долю расходов на топливо для производства ГВГ. При газификации в шлаковом расплаве угля недожог топлива полностью исключается. Отработку технологии газификации угля в шлаковом расплаве осуществляли на опытной установке Ромелт Новоліпецкого металлургического комбината, на которой был получен ГВГ с температурой 1200 °С и содержанием (CO + H₂) до 90 % [13].

Для анализа влияния параметров газификации углей на формирование состава и свойств вдува-

емых в доменную печь через фурмы ПГУ, а также на конечные показатели доменной плавки, выполнили комплекс расчетно-аналитических исследований при варьировании параметров дутья в широком диапазоне: кислород – от 21 до 90 %; температура – от 1300 до 100 °С. Особенностью газификации угля в придоменном газификаторе является вдувание ПГУ в доменную печь без золы, которая остается в газификаторе. В табл. 2 приведены основные расчетные показатели и параметры процессов для ДП № 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» при различных параметрах дутья для газификации угля в придоменном газификаторе и дутья для газификации кокса на фурмах печи. В вариантах 1-3 увеличивали концентрацию кислорода и уменьшали температуру дутья газификатора, а в вариантах 4 и 5 уголь газифицировали атмосферным дутьем с максимальной температурой при вдувании в ДП (горячего дутья – в варианте 4 и холодного кислорода – в 5).

На основе полученных результатов расчета установлено, что обогащение дутья для газификации угля кислородом до 40-60 % дает возможность

Таблица 2

Расчетные показатели и параметры плавки на ДП-9 ПАО «АМКР»

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Удельная производительность, т/(м ³ ·сут)	1,37	1,51	1,56	1,38	1,44
Расход кокса, кг/т чугуна	251	267	291	187	221
Дутье для доменной печи: расход, м ³ /мин температура, °С содержание кислорода, %	1799	2249	2763	861	457
	1100	1100	1100	1300	100
	27	27	27	30	90
Расход технического кислорода, м ³ /т	33	38	45	23	90
Загружено угля в газификатор, кг/т чугуна	400	400	400	400	400
Дутье для газификации угля: расход, м ³ /кг температура, °С содержание O ₂ , %	2,34	1,59	1,06	3,02	3,02
	1100	700	100	1300	1300
	27	40	60	21	21
Коэффициент окислителя, моль O/моль C	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
ПГУ: количество, м ³ /т чугуна температура, °С содержание CO + H ₂ , %	1188	959	799	1395	1395
	1577	1563	1567	1595	1595
	56	69	83	48	48
Колошниковый газ: температура, °С содержание, % – CO – CO ₂ – H ₂	177	120	141	97	97
	25,0	28,9	32,1	20,5	24,0
	19,1	21,5	23,0	19,1	20,3
	8,6	9,6	10,2	8,0	8,7
Количество шлака, кг/т	429	429	431	426	427
Теоретическая температура горения, °С	1879	1946	2034	1787	1870
Количество сухого колошникового газа, м ³ /т	1679	1517	1459	1620	1565
Прямое восстановление оксида железа, %	24,2	23,1	21,3	24,2	23,3
Использование CO + H ₂ , %	43,3	42,7	41,7	48,3	45,9
Общий приход теплоты, кДж/кг: в том числе – горение кокса – теплота дутья и добавок	4470	4144	4130	4240	4214
	1085	1235	1466	570	862
	3278	2801	2556	3565	3246
Потребность теплоты, кДж/кг	3431	3396	3343	3458	3443
Энтальпия колошникового газа, кДж/кг	641	377	413	361	357
Потери теплоты, кДж/кг	398	372	375	420	414
Теплотворность колошникового газа, кДж/м ³	4093	4698	5165	3455	3981
Интенсивность по коксу, кг/(м ³ ·сут.)	337	393	444	254	312

получать высокопотенциальный ГВГ, вдувание которого в доменную печь оказалось менее эффективным, чем вдувание ГВГ, полученное на атмосферном дутье с максимально возможной температурой. Повысить производительность можно подачей кислорода в дутье доменной печи (вариант 5).

В ИЧМ НАН Украины ведут разработки по переводу доменных печей в режим газогенератора для получения восстановительного газа, пригодного к использованию в технологических и энергетических агрегатах в качестве высокотеплотворного топлива. В Украине в настоящее время насчитывают 36 доменных печей, из которых в работе 28. В резерве металлургических комбинатов находится три печи, к 2014 г. запланировано к списанию четыре доменные печи. В сложившихся конъюнктурных условиях эти доменные печи могут быть пригодны для выполнения функции газификации углей.

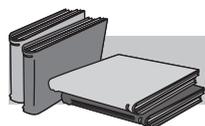
При выборе углей для газификации обычно предпочитают тощие и антрациты, которые при нагреве выделяют незначительное количество смол и достаточно доступны. Особенностью работы доменной печи в качестве газогенератора [10, 11, 14] является возможность использования твердых кусковых материалов, загружаемых с углем. Эти материалы содержат флюсующие добавки и другие полезные компоненты, извлекаемые в расплавы (чугун и шлак), которые образуются в качестве попутных продуктов при газификации угля. Для этих целей целесообразно использовать металлургические шлаки – конвертерный, сварочный, ферромарганцевый, силикомарганцевый

с извлечением полезных компонентов в расплав. Таким образом, наряду с энергетическими, решают экономические и экологические проблемы предприятия и отрасли. Использование металлургических шлаков помогает решить важную технологическую задачу: отходящий газ не пополняется газообразными продуктами восстановления (CO_2 и H_2O), которые уменьшают его теплоту сгорания, поскольку они не содержат легковосстановимых оксидов, отдающих кислород в шахте «косвенным» путем. При задании в шихту самофлюсующей смеси шлаков силикомарганца, ферромарганца и конвертерного шлака, полученный в ходе плавки металл содержит до 20 % Mn. Его можно добавлять в чугун других доменных печей с выводом из шихты этих печей марганцевых добавок, что способствует экономии кокса.

Таким образом, в ходе решения задачи замещения кокса и природного газа в доменной плавке, выполняется комплексная работа по использованию доменных печей как многофункциональных агрегатов.

Выводы

Для решения проблем сокращения расхода кокса и замещения природного газа в доменной плавке продуктами газификации углей ИЧМ НАН Украины совместно с другими организациями выполнены комплексные разработки, реализация которых даст возможность оказать положительное воздействие на решение энергетических, экологических и связанных с ними социально-экономических задач отрасли и региона.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Юрій Бойко* вважає газифікацію вугілля одним із пріоритетних напрямків розвитку ПЕК: [електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://mpre.kmu.gov.ua/>.
2. *Оприщенко И.* Модернизация в украинском ГМК-2012: капля от необходимого: [электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://ugmk.info/>.
3. *Кукин С.* Минус газ: [электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://investgazeta.net/>.
4. *Товаровский И. Г., Большаков В. И., Лялюк В. П.* Альтернативные коксосберегающие технологии – перспектива развития доменного производства // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2011. – № 2. – С. 10-13.
5. Доменная плавка с вдуванием коксового газа / В. Ф. Пашинский, И. Г. Товаровский, П. Е. Коваленко, Н. Г. Бойков. – Киев: Техника, 1991. – 104 с.
6. Антрацит и термоантрацит в шихте доменной плавки / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский, Д. А. Демчук и др. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 245 с.
7. *Загруддинов Р. Ш., Нагорнов А. Н., Сеначин П. К.* Наладочные испытания газогенераторов Лурги и перспективы газогенераторных технологий // Ползуновский вестник (Барнаул). – 2007. – № 3. – С. 40-47.
8. *Исламов С. Р.* Энергоэффективное использование бурых углей на основе концепции «Термококс»: Автореф. ... д-ра техн. наук. – Красноярск, 2010. – 37 с.
9. Газификация угля в шлаковом расплаве / В. Е. Лехерзак, А. В. Баласанов, В. А. Роменец, А. Б. Усачев. – М.: «Институт Стальпроект», 2008. – 288 с.
10. *Товаровский И. Г.* Процессы доменной плавки. Монография: Анализ состояния. – Т. 1; Проблемы и перспективы. – Т. 2 // Издательский дом LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 595 с.; 406 с.
11. *Товаровский И. Г.* Доменная плавка: Монография, изд. 2-е – Днепропетровск: Пороги, 2009. – 768 с.
12. Пат. РФ № 1770362, С 21 В 7/00. Шахтная печь / И. Г. Товаровский, С. И. Сучков, В. И. Бабий и др. // БИ. – 1999. – № 39. – С. 78.
13. *Роменец В. А.* Процесс «Ромелт»: Монография. – М.: МИСИС, 2005. – 400 с.
14. *Товаровский И. Г., Меркулов А. Е., Вышинская Е. Д.* Возможность использования доменной печи в качестве газогенератора некоксующихся углей // Чер. металлы. – 2006. – № 2. – С. 22-29.

Анотація

Товаровський Й. Г., Меркулов О. Є.

Проблеми заміщення коксу в доменній плавці продуктами газифікації низькосортного вугілля

Встановлено, що реалізація вітчизняних розробок щодо заміщення в доменних печах (ДП) частини коксу і всього обсягу природного газу (ПГ) продуктами газифікації низькосортного вугілля під час використання резервних ДП для організації процесів газифікації вугілля дозволить скоротити витрати коксу до рівня, порівнянного з варіантом вдування максимальної кількості пиловугільного палива, ресурси якого обмежені, а отримання в деяких ДП паливних газів енергетичного призначення покликано поліпшити паливний баланс підприємства і регіону із одночасним позитивним впливом на екологічну обстановку. Зазначені розробки доцільно включити в комплекс робіт, запланованих керівництвом країни стосовно заміщення імпортного природного газу і залучення у виробничий оборот низькосортного вугілля власного видобутку.

Ключові слова

газифікація вугілля, доменна піч, продукти газифікації вугілля

Summary

Tovarovsky I. G., Merkulov A. E.

Issue of substitution of coke with low-grade coal gasification products in blast furnaces

The implementation of national developments in replacement of coke and all injected natural gas (NG) in a blast furnace (BF) with low-grade coal gasification products when using redundant BF for organizing of coal gasification process allows to reduce the coke consumption to a level commensurate with the option of injecting the maximum number of pulverized coal, which has limited resources. Obtaining of fuel gases for energy use in blast furnaces meant to improve fuel balance of the enterprise and the region with simultaneous positive impact on the environment. Indicated developments are appropriate to include in a set of works planned by the leadership of the country in terms of imported natural gas substitution and involvement of low-grade coal of own extraction in the production operations.

Keywords

gasification of coal, blast furnace, coal gasification products

Поступила 13.01.13

УДК 621.74:669.131.2:669.131.4

М. О. Матвеева

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Структура и свойства низкохромистых чугунов, микролегированных титаном

Определено совместное влияние хрома и титана на структуру и свойства отливок из белого чугуна. С целью обеспечения заданных твердости отливок (не менее 51,0 HRC) и микротвердости структурных составляющих (цементита и перлита – выше 10320 и 4360 МПа соответственно) установлено оптимальное содержание (% по массе) Cr – 3,46...5,03 и Ti – 0,11...0,20 в экспериментальном сплаве.

Ключевые слова: чугун, хром, титан, легирование, твердость, структура, микротвердость

Система железо-углерод является основой большинства сталей и многих сплавов (как наиболее распространенных в промышленности, так и обладающих уникальными физическими, механи-

ческими и химическими свойствами). Полиморфизм железа, склонность к возникновению метастабильных состояний с разными компонентами, широкое разнообразие фазовых переходов в сплавах Fe-C