

## К вопросу об эффективности технологии вдувания ПУТ в условиях металлургических предприятий Украины\*

Рассмотрена сырьевая и топливная база доменного производства Украины. Показано, что в качестве восстановителя железа в современных доменных печах могут быть использованы твёрдые углеродсодержащие материалы (кокс, уголь), а также жидкие и газообразные углеводороды (природный газ и мазут). При этом независимо от вида используемых восстановителей общий их расход относительно постоянен и составляет 480-510 кг/т чугуна, а минимальный расход кокса – 280-320. Среди альтернативных коксу восстановителей наиболее эффективным является вдуваемое в горн доменной печи пылеугольное топливо (ПУТ). За рубежом расход ПУТ составляет 180-260 кг/т чугуна. Это обеспечивается за счёт использования качественного железорудного сырья (агломерата и окатышей с содержанием железа более 58 % и  $\text{SiO}_2$  менее 5 %) и кокса ( $\text{CSR} > 60-70$  %,  $\text{CRI} < 25-30$  %), а также в результате оптимизации технологии доменной плавки (в том числе за счёт повышения температуры дутья и содержания в нём кислорода). Показано, что из-за недостаточного качества исходного сырья эффективность технологии ПУТ в условиях металлургических предприятий Украины существенно меньше. Особую озабоченность вызывает необходимость рециклинга вторичных железосодержащих материалов методом агломерации. Переход доменного производства предприятий полного цикла на железорудные окатыши не может рассматриваться в качестве компенсирующего фактора, так как они обладают собственным агломерационным переделом. Наиболее логическим решением является брикетирование вторичных материалов с организацией собственного производства для дальнейшего использования в технологическом цикле.

**Ключевые слова:** доменное производство, кокс, восстановители, пылеугольное топливо, колошниковый газ, газопроницаемость, рудная нагрузка

**А**ктуальность применения технологии ПУТ. Современная экономическая ситуация в мире характеризуется резким повышением цен на сырьевые материалы для производства стали. Это значительно повышает себестоимость и энергоёмкость получаемой продукции.

Анализ состояния металлургического производства показывает, что на данном этапе его развития (низкие темпы внедрения внедоменных технологий получения стали) наиболее эффективным мероприятием снижения энергоёмкости и себестоимости продукции является снижение энергоёмкости чугуна за счёт вдувания в горн доменной печи пылеугольного топлива (ПУТ), которое позволяет существенно сократить расход кокса и практически полностью отказаться от природного газа.

За рубежом технология ПУТ используется в 25 странах на 120 доменных печах Западной Европы, Китая, Японии, США, Кореи и др. [1-6]. В Украине проблема перехода доменного производства на технологию ПУТ в связи с высокой стоимостью и дефицитом природного газа стоит особенно остро. В настоящий момент эта технология используется на четырёх металлургических предприятиях отрасли. Кроме ПрАО «Донецксталь» к её реализации приступили три крупнейших металлургических комбината полного цикла – ПАО «Запорожсталь», ПАО «АМК», ПАО «ММК им. Ильича». Объёмы производства чугуна и показатели работы аглодоменного производства этих предприятий представлены в табл. 1.

Опыт использования пылеугольного топлива показывает, что данная технология оказывает положительное влияние на энергетику доменного процесса. Охлаждающий эффект вдувания ПУТ в горн доменной печи позволяет перейти на более высокие температуры дутья и высокую концентрацию в нём кислорода. Это существенно снижает расход дутья и повышает производительность печей.

Однако при реализации данной технологии в условиях Украины (основные объёмы стали выплавляются на интегрированных предприятиях полного цикла) следует принять во внимание множество логистических, технологических и экономических факторов, а также сравнительно низкую гибкость (эффективность) интегрированного производства и ужесточение экологических норм ЕС. При этом необходимо сбалансировать не только энергетический (тепловой) баланс доменного процесса, но и учесть влияние технологии ПУТ на восстановительные процессы, происходящие в объёме печи.

*Энергетические аспекты использования ПУТ.* Восстановление железной руды (каким бы способом это не происходило) является довольно энергоёмким процессом. Анализ показывает, что альтернативные доменному процессы, а также использование альтернативных коксу материалов при рассмотрении энергетического баланса доменного процесса – сопоставимы. Речь идёт о доступности сырья и ценах на энергоносители.

Разница в стоимости кокса, ПУТ и природного газа наиболее ощутима в Украине. Имеющиеся запасы

\* По материалам открытых публикаций

## Производство агломерата и состав агломерационной шихты предприятий ПХО «Металлургпром» в 2012 г.

Состав шихты	ПАО «ММК им. Ильича»	ПАО «АМК»	МК «Запорожсталь»	ПрАО «Донецксталь»
<i>Агломерационное производство</i>				
Производство агломерата, млн. т	10,7	5,17	5,39	Окатыши СевГОКа, %: Fe – 61,8; SiO <sub>2</sub> – 7,9, B – 0,3, < 5 мм – 4,5
Качество агломерата:				
содержание Fe, %	53,22	55,7	55,76	
основность, ед.	1,32	1,3	1,3	
содержание фракций менее 5 мм, %	14,3	16,86	14,6	
Состав агломерационной шихты, кг/т агломерата:				
аглоруда	257,6	93,8	360,7	
концентрат	528	747,3	530,8	
колошниковая пыль	6	22	15,5	
шлам	91,4	60,1	22,9	
<i>Доменное производство</i>				
Производство чугуна, млн. т	4,52	3,52	3,2	1,31
Содержание Fe в ЖРЧ, %	53,95	56,97	56,0	61,87
Расход шихтовых материалов, кг/т чугуна:				
агломерат	1605,8	1351,4	1633,9	0,6
окатыши	154,8	342,2	46,3	1549,0
железная руда	14	2,9	48	8,5
Расход восстановителей, кг/т:				
кокс	524,9	404,3	392,6	480
ПУТ	11,9	146,1	146,6	141,2
природный газ	35,6	2,6	0,7	–

коксующего угля не позволяют получить качественную продукцию, а используемый в качестве восстановителя природный газ полностью импортируется из России.

В мировой практике в качестве восстановителей железа в доменном процессе используют твердые углеродсодержащие материалы (кокс и различные виды углей) а также жидкие и газообразные углеводороды (природный газ и мазут). При этом производят перерасчет применяемых материалов на стандартный эквивалент восстановления (СЭВ – выраженный через стандартный сухой кокс, содержащий 87,5 % углерода), на основании которого рассчитывают коэффициент замены кокса другими восстановителями [1].

В энергетике различные виды топлива пересчитываются на условное. При пересчете в условное топливо теплоту сгорания дополнительного топлива делят на 29300 кДж/кг – теплоту сгорания стандартного кокса.

За рубежом используют суммарный расход топлива. Последний показатель не имеет физического смысла. Однако позволяет сопоставить технико-экономические показатели (ТЭП) доменного производства различных производителей. Любые варианты уменьшения расхода кокса в доменной печи имеют ограниченное значение, если не снижаются общие затраты условного или суммарного топлива [7].

В Германии за период 1945-1990 гг. расход восстановителей, благодаря различным технологическим мероприятиям, сократился в 2 раза и установился на уровне 500 кг/т чугуна. Технологические мероприя-

тия, направленные на снижение расхода кокса в этот период, представлены на рис. 1. В дальнейшем, несмотря на многочисленные усилия, существенно снизить суммарный расход восстановителей не удалось. Считают, что это предел возможности доменного процесса с точки зрения термодинамики, а коэффициент полезного действия современных доменных печей достигает 95 % [1, 3].

Об этом свидетельствует анализ работы зарубежных предприятий. После выхода на технологию ПУТ с расходом 186-266 кг/т чугуна, независимо от технических возможностей фирм и вида восстановителей, их общий расход колебался в незначительных пределах и составил 482-511 кг/т чугуна, в том числе расход кокса – 250-291 [3, 5].

В 2007 г. средний расход восстановителя в доменных печах Германии составил 487 кг/т чугуна (из них 350,7 – кокса, 106,8 – ПУТ и 33 – нефти и ее продуктов). В этот период в Украине и России в качестве восстановителей использовали кокс и природный газ. В Украине расход кокса составлял 494,4 кг/т чугуна, в России – 439. Расход природного газа – 77 и 99,4 м<sup>3</sup>/т чугуна, соответственно. В Украине только одно предприятие ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод освоило технологию ПУТ. Удельный расход восстановителей составлял 579 кг, в том числе 445 – кокса и 134 – ПУТ.

*Требования, предъявляемые к восстановителям.*  
На основании анализа отечественного и зарубежного

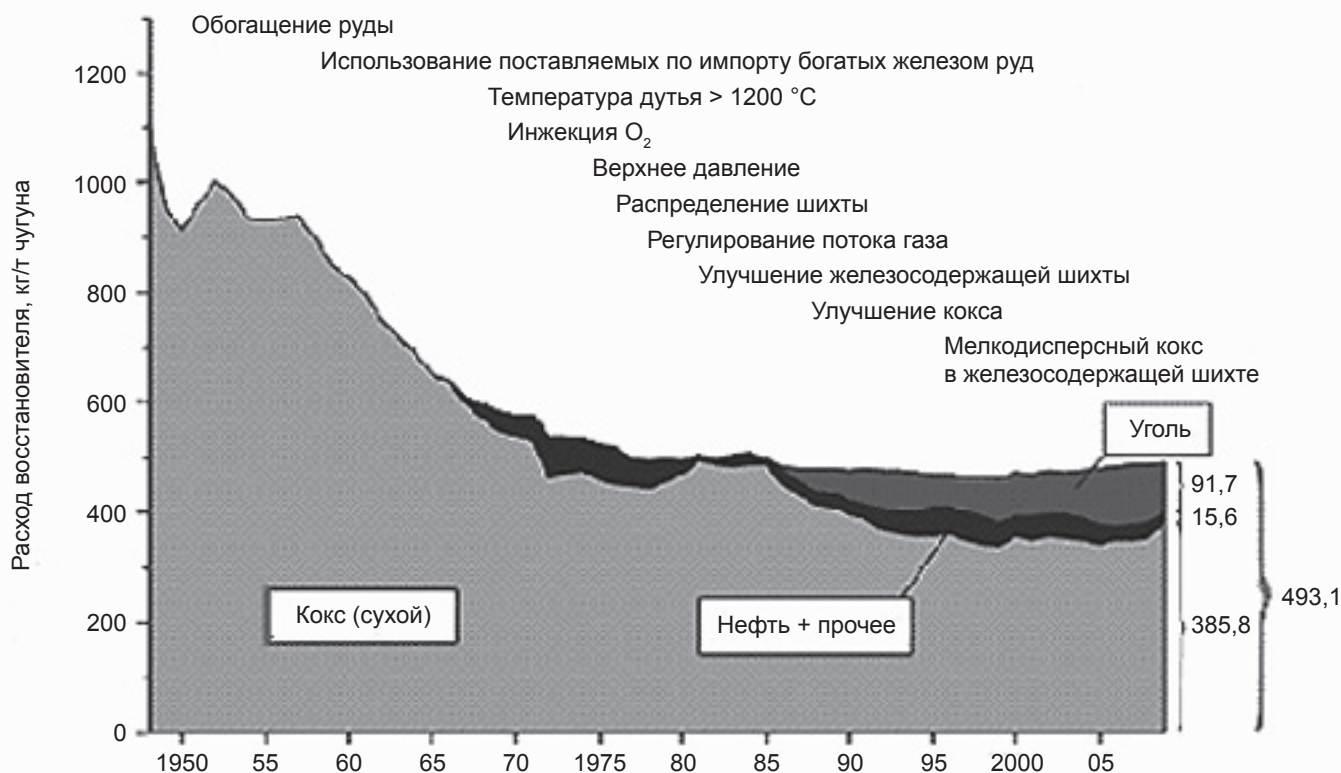


Рис. 1. Изменение расхода восстановителей в доменных печах Германии за период 1950-2010 гг. [3, 9]

опыта работы доменных печей на пылевидном топливе определены требования, предъявляемые к основным шихтовым материалам доменной плавки. Наиболее широко освещены в печати требования к восстановителям доменного процесса – коксу и ПУТ.

При этом следует отметить, что в доменном процессе кокс является не только восстановителем железорудного сырья, но и компонентом, обеспечивающим газопроницаемость шихты по всей высоте печи. В нижних горизонтах доменной печи (в зоне размягчения и плавления железорудных материалов) кокс является единственным твёрдофазным компонентом, воспринимающим давление вышележащего столба шихтовых материалов и формирующим требуемую газопроницаемость шихты.

Поэтому замещение кокса в доменной плавке другими восстановителями не может рассматриваться только с энергетических позиций, а требует комплексного анализа технологического режима процесса. При использовании пылеугольного топлива качество кокса должно быть достаточно высоким, чтобы противостоять механическим, термическим и химическим воздействиям [8].

Украинский кокс не соответствует мировым стандартам по химическому составу (он имеет более высокое содержание серы – 1,3-1,5 %), техническим характеристикам (зольность – 10-12 %), а также прочностным свойствам, которые оцениваются показателями холодной прочности  $M_{40}$ ,  $M_{25}$  и истираемости  $M_{10}$  (ТУ У 23.1-00190443-070-2002 на кокс доменный). В мировой практике в качестве основных показателей качества все чаще используют определяемые по методу фирмы «Ниппон Стил» реакционную способность (CRI) и термомеханическую

прочность (CSR – выход фракции более 10 мм после барабанных испытаний кокса, подвергнутого высокотемпературной обработке в атмосфере диоксида углерода  $CO_2$ ).

По европейским стандартам высококачественный доменный кокс должен иметь следующие показатели [8-11]: технические свойства, % (зола – 9-11, сера – 0,5-0,7, щелочи – 0,2-0,3, летучие вещества – 0,4-1,0, влажность – 1-5); высокую прочность в холодном состоянии  $M_{40} > 80$  % при  $M_{10} < 7,0$  %; низкую реакционную способность  $CRI < 25-30$  %; высокую прочность в горячем состоянии  $CSR > 60-70$  %.

Согласно исследованиям УХИНа, качество украинского кокса, получаемого из обычного сырья, при оценке по методу «Ниппон Стил», почти в два раза ниже качества кокса зарубежных фирм Германии, Австрии, а также России (табл. 2).

Параметры CSR и CRI, которые в международной торговле коксом являются приоритетными, в настоящее время отечественными стандартами не оговариваются. Отдельными поставщиками, например, Ясиновским КХЗ (кокс, который находится на уровне требований европейских производителей за счёт использования отечественных и российских малосернистых углей) они используются как дополнительный аргумент более высокого качества и цены продукции.

Показатель горячей прочности значительно влияет на технологию доменной плавки и качество чугуна (температура чугуна и содержание в нём углерода увеличиваются с ростом данного показателя). Увеличение CSR от 52 до 64 снижает количество коксовой мелочи в фурменных очагах (25-100 см от стенки печи) и тотермане (слое кокса под зоной плавления). Он определяет проницаемость коксового тотермана для газа и жидких

## Характеристика сырьевой базы коксования Украины и других стран, её влияние на свойства кокса [3, 10, 11]

Страна	Технический анализ, %			Химический состав золы, %									CSR, %	CRI, %
	A <sup>d</sup>	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>dat</sup>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Прочие		
Украина, шахты*:														
Красноармейская	8,3	1,47	32,6	46,60	22,80	16,30	4,10	2,60	1,70	1,20	2,60	2,1	30-40	38-50
Западная	9,0	0,76	29,0	54,99	29,97	4,03	1,79	1,57	3,00	0,84	1,64	1,6	60,9	28,8
Германия**	6,9	0,95	24,67	48,8	28,6	9,0	2,5	1,7	3,3	1,1	1,6	3,4	60-65	24-25
Австралия***	9,2	0,42	26,50	58,1	31,4	4,3	1,8	0,5	1,2		0,6	2,1	>70	<20
Россия****	9,0	0,47	38,5	49,7	22,2	11,3	5,4	2,3	1,8	0,7	1,97	4,63	55-58	30-34

\* среднее значение; \*\* фирма «Rurkohle AG»; \*\*\*фирма «BHP Steel»; \*\*\*\*ОАО «Алтайкокс»

продуктов плавки. Опыт показывает, что использование кокса с CSR более 58 % позволяет увеличить расход ПУТ и получить физически более горячий чугуна.

Известно, что наиболее прочной является фракция кокса с размером частиц 40-80 мм, наименее прочной – более 80 мм. Поэтому за рубежом на большинстве европейских заводов значительное внимание уделяют гранулометрическому составу кокса, ограничивая в нём содержание фракции более 40 (15-25 %) и менее 10 (1-3 %) мм. Последнее не противоречит тенденции использования в доменном производстве коксового орешка, который загружают с рудной частью по особому режиму отдельно от основного кокса.

Доля коксов большинства европейских заводов имеет высокие показатели горячей прочности, которые составляют 60-65 %, достигая 73 % на фирме Cogus в Скенторпе (Англия). В Германии используют кокс с показателем горячей прочности более 70 %. Реакционная способность европейских коксов, как правило, составляет менее 25 %. Типичные для Европы величины CRI – 22-30 %.

На большинстве украинских коксохимических заводах такой кокс не производится. Из-за отсутствия достаточного количества коксующихся углей реакционная способность кокса составляет 35-40 %. В период перехода «Донецстали» на высокий расход ПУТ (более 120 кг/т чугуна) на Макеевском и Ясиновском коксохиме было основано производство кокса класса «Премиум» с использованием качественных углей марки КО шахты «Красноармейская-Западная» [12].

Вместе с тем, согласно расчётам ведущих специалистов, устойчивая работа доменных печей с расходом ПУТ более 150 кг/т чугуна в условиях Украины возможна при использовании низкосернистого кокса (содержание серы менее 1 %) с показателем горячей прочности – CSR более 58 % и реакционной способностью CRI – менее 29 % [5].

Что касается сырьевой базы коксования, то в Украине, несмотря на огромные запасы угольной продукции (33,8 млрд т, в том числе около 4 млрд т пригодных для приготовления ПУТ), их качество и марочный состав не позволяют получить в достаточном количестве качественный кокс.

По данным УХИН в настоящее время только 2 млн т кокса соответствуют требованиям технологии ПУТ. Ра-

боты по повышению качества кокса ведутся постоянно. Рассматривают улучшение технологии (в том числе внепечную обработку кокса в специальных камерах), а также импорт коксующихся углей других стран [13].

Нет достаточных запасов низкосернистой продукции для изготовления собственных ПУТ [12-16]. Для приготовления ПУТ рекомендуют угли и их концентраты крупностью до 50-80 мм следующего состава, %: зола – 10-12, сера – 1,5-2,0, влажность – до 10-12. Разработчики технологии ПУТ в Украине считают, что сокращение расхода кокса позволит увеличить объём добычи углей указанных марок.

Однако по информации УХИН в соответствии с этими требованиями для приготовления ПУТ пригодны угли следующих марок: Т, А и Г (при соблюдении дополнительных мер безопасности в процессе подготовки и использования). Согласно их оценке ресурсы малосернистых углей, пригодных для вдувания, весьма ограничены и в пересчёте на 10 % зольности составляют по маркам: Г – 800, Т – 60 тыс. т/год [13].

В настоящее время в Украину ежегодно ввозится около 10 млн т коксующихся и энергетических углей. Для перехода на технологию ПУТ потребуется увеличить импорт почти в 1,5 раза. Вместе с тем следует учитывать, что одним из важнейших критериев, предъявляемых к пылеугольному топливу, является возможность его транспортирования и складирования на предприятиях.

Так например, в условиях ПАО «АМК» освоено производство ПУТ из смеси донецких углей марки Т и российских – марки Г (с содержанием серы менее 0,5 %). Доля газового угля в пылеугольном топливе увеличена с 11 до 44 %. Уменьшено долевое участие антрацита и тощих углей. Газовый уголь по сравнению с ними обеспечивает больший выход фурменного газа. Одновременно с этим повысили долю российских углей для коксования. Это позволило увеличить CSR с 46 до 51 %, а CRI наоборот снизить с 40 до 34 %. Однако, несмотря на это, расход кокса на первом этапе освоения технологии ПУТ (140 кг/т чугуна) был достаточно велик и составил 504 кг/т чугуна [14].

О недостаточном качестве применяемых на ПАО «АМК» восстановителей – кокса и ПУТ, свидетельствует неполное сгорание угля в печи и, соответственно,



высокое содержание его в колошниковой пыли и шламе газоочисток (10-14 % С).

По мнению генерального директора ПХО «Металлургпром» В. С. Харахулаха для освоения данной технологии на металлургических предприятиях Украины к 2015 г. необходимо более 8 млн т низкосернистых, низкотемпературных углей марок К, Г, Ж. Такого объёма углей в Украине нет. Без импорта углей необходимого качества не обойтись. Наиболее вероятным импортёром может стать Россия. Однако учитывая сложившиеся непростые отношения между нашими странами следует уже сейчас искать других более надёжных поставщиков этого сырья.

*Влияние технологии ПУТ на технологические показатели процесса.* В Украине на протяжении последних 50-ти лет с целью сокращения расхода кокса использовали природный газ. Конструкция доменных печей и технология процесса (особенно режим загрузки кокса и железорудной части) были адаптированы к этому восстановителю. С переходом на пылеугольное топливо возникла необходимость корректирования отработанной технологии.

В литературе неоднократно обсуждалась сравнительная эффективность применения в доменном процессе пылеугольного топлива и природного газа. В работах С. Л. Ярошевского и сотрудников неоднократно отмечалась более высокая эффективность замены кокса ПУТ. Известно, что количество тепла на единицу восстановительного газа от горения угля почти в 9 раз больше, чем от горения метана  $CO_4$ . Поэтому эффективность природного газа при замене кокса должна быть в 2-3 раза ниже, чем у ПУТ.

Вместе с тем следует отметить, что природный газ по сравнению с ПУТ менее требователен к качеству железорудного сырья и кокса. Страны, имеющие собственные запасы природного газа, не спешат перейти на технологию ПУТ. К тому же эта технология требует от доменщиков более высоких температур дутья и повышенного давления газа на колошнике. Этим мероприятиям в Украине уделяется недостаточное внимание. По данным ПХО «Металлургпром» средняя температура дутья в настоящее время составляет 1037 °С, давление – 1,2 атм.

В США и Канаде доменные печи работают с расходом ПГ 170-180 м<sup>3</sup>/т чугуна. На ряде фирм эта величина достигает 200 м<sup>3</sup>/т чугуна и считается нормальной. Общий расход восстановителей составляет 432-440 кг/т чугуна, в том числе расход кокса – 320-358 кг/т чугуна. В России в начале 2000-го года расход природного газа составлял 93 м<sup>3</sup>/т чугуна, а расход кокса – 420 кг/т чугуна. Общий расход восстановителей (485 кг/т чугуна) соответствовал лучшим показателям европейских фирм. Это еще раз подтверждает, что, несмотря на различные режимы ведения доменного процесса, удельный расход восстановителей в различных странах и фирмах величина довольно постоянная, что свидетельствует о высоком уровне технологии доменного процесса.

Практика показала, что эффективность ПУТ-технологии достигается при расходе ПУТ более 120 кг/т чугуна при одновременном использовании качественных компонентов железорудной шихты и кок-

са. В настоящее время на большинстве зарубежных предприятий расход пылеугольного топлива составляет 180-260 кг/т чугуна. Максимальный расход ПУТ был достигнут на печах НКК в Фукуяме (Япония) и составил 266 кг/т чугуна. Печь работала преимущественно на агломерате с добавкой окатышей (15 %) и железной руды (10 %) [6, 15].

С повышением расхода ПУТ и, соответственно, уменьшением расхода кокса, всё очевиднее становятся нарушения оптимального технологического режима доменных печей, вызванные снижением температуры в очаге горения и ухудшением газодинамического режима.

Вдувание углеводородов изменяет тепловой баланс в нижних горизонтах печи. В результате горения топлива (ПГ или ПУТ) с температурой менее 90 °С образуются восстановительные газы с более низким теплосодержанием, чем при сгорании кокса нагретого до температуры 1500 °С. При этом ПУТ вызывает меньшее снижение теоретической температуры горения кокса, чем природный газ и мазут.

Практика показывает, что для поддержания необходимой степени восстановления шихты при работе с высоким расходом ПУТ необходимо правильно распределить газовый поток. При повышении рудной нагрузки на кокс в 2 раза (от 2,5-3,0 до 5-6 т/т кокса) следует ожидать более высокий выход шлака и горнового газа. Поэтому по мере повышения расхода ПУТ и снижения расхода кокса необходимо использовать компенсирующие мероприятия, обеспечивающие одновременное сохранение газодинамики печи [1-6].

За рубежом эти задачи решают за счёт: повышения давления газа на колошнике более 2 атм.; повышения температуры (более 1200 °С) и влажности (до 25 г/м<sup>3</sup>) дутья; обогащения его кислородом, с целью повышения теоретической температуры горения не ниже 2050 °С (верхний предел определяют по уровню температуры колошникового газа – не менее 110 °С); обогащения железорудной части (содержание железа в железорудной части 61-65 %), в том числе за счёт повышения доли окатышей в шихте; использования качественного кокса.

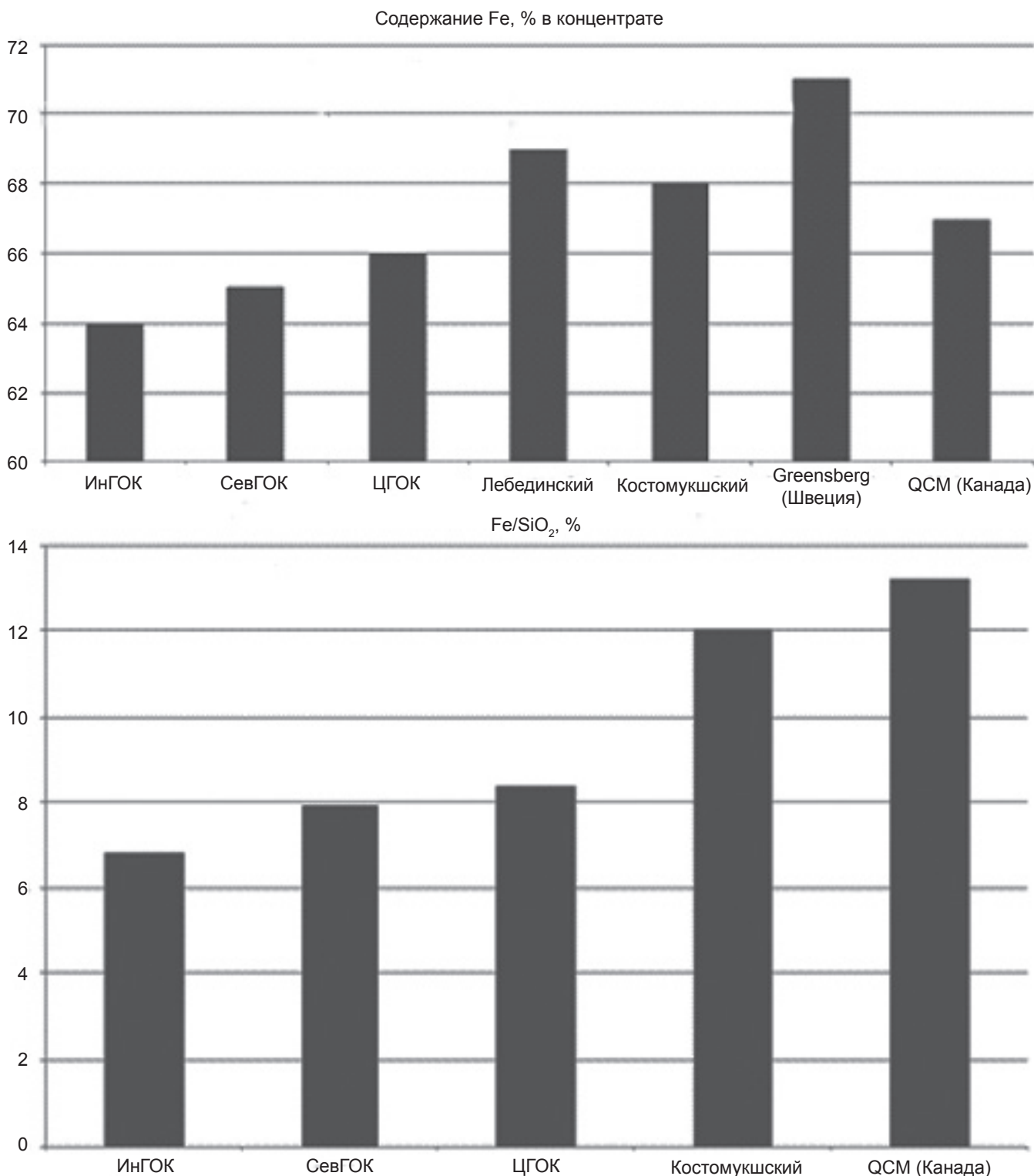
Считают, что итоговыми показателями компенсации являются повышение температуры горения кокса, снижение выхода шлака и горновых газов.

Разработанная в нашей стране теория полной и комплексной компенсации, прежде всего, предусматривает мероприятия, направленные на повышение температуры горения кокса, увеличение температуры дутья и концентрации в нём кислорода. Значительную роль уделяют повышению содержания железа в железорудной части и снижению выхода шлака [15]. Последнее в условиях металлургических комбинатов, переходящих на технологию ПУТ, вызывает самое большое сомнение.

*Требования, предъявляемые к железорудному сырью.* При анализе коксоберегающих технологий, внедрённых в чёрной металлургии Германии, обращают на себя внимание технические решения, предшествующие технологии ПУТ и направленные на повышение металлургических свойств сырьевых материалов – железорудного сырья и шлакообразующих.

Повышение металлургических свойств железорудной части (ЖРЧ) доменной шихты, по мнению ведущих специалистов, является одним из наиболее эффективных мероприятий, позволяющим улучшить технико-экономические показатели работы доменных печей. Вместе с тем, как показывает анализ литературных источников, содержание железа в ЖРЧ шихты украинских производителей значительно меньше, чем в странах Западной Европы, и составляет 53-59 % по сравнению с 61-62, соответственно [17] (рис. 2).

Известно, что содержание железа в железорудной части может быть повышено за счёт использования окатышей и металлопродукции на основе вторичного сырья. Зарубежная практика работы доменных печей на окатышах, содержащих 67-69 % железа, по мнению авторов работы [18] свидетельствует о более высокой степени использования теплового и восстановительного потенциала колошникового газа. Последнее является предпосылкой снижения расхода кокса (350-410 кг/т чугуна), а также



**Рис. 2.** Оценка рейтинга качества концентрата железорудных предприятий Украины и мира (по данным А. Плотникова [20])

уменьшения выхода шлака (143-220 кг/т) и выноса колошниковой пыли.

В Европе многие доменные печи работают на окатышах (Швеция, Финляндия, Италия, Германия). В зависимости от качества железорудного сырья доля окатышей в шихте зарубежных стран колеблется в широких пределах от 5 (Posco, Корея) до 53 % (Corus, Нидерланды). Содержание железа в окатышах достигает 68 % [4, 18, 19]. В табл. 3 представлены данные о составе окатышей различных фирм.

В Швеции на ДП № 3 фирмы SSAB Tunnpilat с рабочим объемом 2540 м<sup>3</sup> в качестве основного сырья используют офлюсованные окатыши в количестве 1347 кг/т чугуна. Для повышения эффективности технологии применяют обогащенное кислородом дутьё с температурой 1113 °С и давлением на колошнике 2,06 ати. Расход восстановителей составляет около 440 кг/т чугуна, в том числе 300 – кокса и 140 – ПУТ. В результате низкого расхода шлакообразующих выход шлака снижен до уровня 159 кг/т чугуна, а содержание в нём MgO достигает 17,9 %.

В Голландии (Хуговенс) доменные печи с рабочим объемом 3790 м<sup>3</sup> работают на смешанной шихте (686 кг окатышей, около 800 – агломерата и 55 – железной руды), при среднем содержании железа ЖРЧ 61,6 %. При расходе 212 кг ПУТ расход кокса составляет 314 кг/т чугуна. Для интенсификации окислительно-восстановительных процессов температуру дутья повышают до 1260 °С и содержание в нём кислорода до 28,5 %. Степень использования восстановительного потенциала газа – 47,5 %.

На окатышах работают многие доменные печи США. Расход кокса на этих печах составляет 310-320, ПУТ – 147 кг/т чугуна. Выход шлака колеблется в пределах 120-200 кг/т чугуна [18].

Для отечественных предприятий, внедряющих технологию ПУТ, рекомендуют полностью исключить из технологического цикла природный газ, а в качестве компенсирующих мероприятий в шихте доменных печей использовать до 300 кг/т чугуна окатышей (желательно Лебединского ГОКа) и металлодобавки в количестве 50-100 кг/т чугуна. Работа на окатышах СевГОКа в условиях «Донецкстали» позволило предприятию увеличить расход ПУТ с 60 до 140 кг/т чугуна с полной заменой природного газа. Доля окатышей в шихте доменных печей «Донецкстали» в настоящее время составляет 1569 кг, ПАО «АМК» – 342, МК «За-

порожстали» – 46,3, ПАО «ММК им. Ильича» – 154,8 кг/т чугуна.

В Украине основным сырьевым материалом доменной плавки является агломерат. По данным ПХО «Металлургпром» в 2005 г. расход агломерата на предприятиях отрасли составил в среднем 1487, при колебаниях параметра 776 – ПрАО «Донецксталь», 1902 – на ПАО «ММК им. Ильича» кг/т чугуна. В шихте использовали также окатыши и железную руду в количестве 267 и 26 кг/т соответственно.

В 2010 г. средний расход агломерата на предприятиях отрасли снизился и составил 1307, а расход окатышей увеличился до 402 кг/т чугуна. Полностью перешёл на выплавку чугуна из окатышей «Донецксталь», увеличился расход окатышей в шихте доменных печей предприятий Метинвеста «МК Азовсталь» и ЕМЗ (1100 и 904 кг/т соответственно), а также «ДМЗ им. Петровского» (730 кг/т). Повышение расхода окатышей в шихте этих предприятий связано с недостаточным объёмом собственного агломерата и необходимостью увеличения железа в ЖРЧ доменных печей.

В Китае, Японии и странах Западной Европы (за исключением Швеции и Финляндии), доменные печи которых работают по технологии ПУТ в качестве основного компонента шихты, используют агломерат высокого качества.

Современные требования к качеству агломерата достаточно известны. Среди них: максимальное содержание железа при относительно небольших колебаниях этой величины (59,00±0,25 %); высокая прочность и низкое содержание вредных примесей. Содержание фракций менее 5 мм в отгружаемом агломерате – не более 10 %, крупность отгружаемой продукции – 8-35 мм (85 %), истираемость (выход фракций 0-6,5 мм) – не более 4 %, содержание щелочей – не более 0,15 % (табл. 4).

Большинство из этих требований разработаны более 50-ти лет назад и рассчитаны на качество ископаемого сырья бывшего СССР. За истекший период произошли изменения не только в политической жизни Украины, но и объёмах добычи и качестве железорудного сырья, добываемого из её недр.

Украина, обладая значительными запасами железной руды (30 млрд т подтвержденных запасов на период 2007 г. или 14,5 % мировых запасов), вместе с тем ощущает трудности её переработки в качественный продукт. В результате интенсивной выработки

Таблица 3

**Химический состав окатышей различных фирм, % [19, 21]**

Производитель	Fe <sub>общ</sub>	B, ед	SiO <sub>2</sub>	Содержание фракций до 5 мм	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +K <sub>2</sub> O
СевГОК (Украина)	59,6-62,4	0,34-0,58	7,9-9,1	2,8-5,3	1,0-1,5 (MgO)
ЦГОК (Украина)	60,2	0,8	7,0-9,0	5,9	–
ПолГОК (Украина)	60,4	0,01	12,0	2,3	–
ЛебГОК (Россия)	64,5-65,9	0,16	4,8-6,8	2,9-3,1	–
Основные (ЛКАВ)	67,0	–	2,0	н/д	0,09
Офлюсованные (ЛКАВ)	66,3	0,84	1,94	н/д	0,02
Офлюсованные (Испания)	65,9	1,07	2,37	н/д	0,022
Кислые (Испания)	65,2	0,15	5,1	н/д	0,048
Швеция	66,5	1,2	2,3	2,5	н/д

## Современные требования доменной плавки к металлургическим характеристикам агломерата [22]

Показатель	Требования	Производимый агломерат
<i>В холодном состоянии</i>		
Содержание железа, %	более 59,0	53,8-55,7
Коэффициент прочности (+5 мм), % (ГОСТ 15137-77, ДСТУ ISO 3271:2005)	не менее 80,0	61,2-67,8
Коэффициент истираемости (0-0,5 мм), % (ГОСТ 1537-77, ДСТУ 3200-95, ДСТУ ISO 3271:2005)	не более 4,0	8,3-5,6
Содержание мелочи (0-5 мм) в отгружаемой продукции, % (ДСТУ 3210-95)	не более 4,0	9,2-23,6
Крупность отгружаемой продукции, 5 классов (ДСТУ 3210-95)	не менее 85 % 8-35 мм	90-95 % 5-120 мм
<i>В процессе восстановительно-тепловой обработки</i>		
Показатель прочности (+5 мм), % (ГОСТ 19575-74, ДСТУ 3202-95, ДСТУ ISO 13930:2006)	не менее 50,0	27,3-35,8
Показатели истираемости (0-0,5 мм), % (ГОСТ 19575-74, ДСТУ 3202-95, ДСТУ ISO 13930:2006)	не более 5,0	13,4-8,7
Усадка слоя при восстановлении, % (ГОСТ 21707-76, ДСТУ 3205-95)	не более 20,0	15-21
Перепад давления газа-восстановителя в слое, Па (ГОСТ 21707-76, ДСТУ 3205-95)	не более 150	95-180
Фактическая степень восстановления, % (ДСТУ 3204-95, ДСТУ ISO 7215:2008)	не менее 90,0	82,3-84,1
Восстановимость при степени восстановления до 40 %, %/мин (ДСТУ 3204-95, ДСТУ ISO 4695:2008)	не менее 0,5	0,41-0,43
Температуры начала и конца размягчения, °С (ДСТУ 3817-98)	не ниже 1050 и 1150	980-1160
Температурный интервал размягчения, °С (ДСТУ 3817-98)	не более 100	110-180
<i>Стабильность химического состава</i>		
Допустимые колебания содержания железа, ± %	0,25	1,1-1,5
Допустимые колебания закиси железа, ± %	1,00	1,3-2,1
Допустимые колебания основности, ±	0,05	0,08-0,014

богатых руд, значительная часть которых в течение многих лет экспортировалась за рубеж (15-18 млн т при объемах выработки 60-70 млн т в год) массовая доля железа в сырье существенно снизилась (на 20-25 %), а доля труднообогащаемых руд возросла до 40 % от общего объема, поступающего на агломерацию. Кроме того, железные руды (магнетит месторождения железистых кварцитов), добываемые в Украине, содержат значительное количество примесей магния, алюминия, титана, марганца и др.

Разрабатываемые месторождения, пригодные для обеспечения сложившейся технологии доменного производства, не соответствуют требованиям современных технологий, в том числе технологии ПУТ. Кроме того, в Украине наметился дефицит железорудного сырья в пределах 5-7 млн т/год, а также наметилась тенденция снижения содержания железа в концентратах (62-64 %) [20].

В настоящее время зарубежные фирмы работают на качественных импортных рудах открытых месторождений Бразилии, Австралии и Индии, содержание

железа в которых (58-62 %) почти в два раза превышает содержание железа в рудах украинских (35-36%) и российских месторождений. Поэтому даже самое глубокое обогащение украинской руды не позволяет нашим концентратам конкурировать (по цене и качеству в пересчете на 1 т железа) с продукцией этих стран.

На рис. 2 представлен рейтинг (сравнительная ценность) концентратов железодобывающих предприятий Украины и мира. В качестве критерия оценки рассмотрены общее содержание железа в концентрате и отношение  $Fe/SiO_2$  (характеризует кислотность).

Анализ показывает, что по содержанию железа концентраты ведущих украинских предприятий (ИнГок, ЮГок, СевГок) значительно уступают продукции зарубежных фирм. В настоящее время на мировых рынках наиболее востребована железорудная продукция, которая содержит 67-68 % железа при содержании кремнезема 4-5 %. Наиболее качественную продукцию выпускает Швеция. Их концентраты также содержат минимальное содержание серы – менее 0,1 % и фосфора – менее 0,03 %.



Так, например, содержание железа в агломерационных рудах, поставляемых в Роттердам, составляет 64-70 % и менее 1 % кремнезёма. Наши руды после обогащения содержат 52-56 % железа и 12-14 % кремнезёма. Использование богатых руд позволяет иностранным компаниям получать агломерат более высокого качества с содержанием железа 58-60 % даже при использовании в качестве шихты вторичного сырья и колошниковой пыли (32-94 кг/т агломерата) [21].

В работе [22] проанализировано соответствие качества отечественного агломерата к требованиям доменной плавки. Показано, что почти по всем показателям химического состава и качества (в холодном и горячем состоянии) он не соответствует мировым стандартам (табл. 4).

По основным показателям качества отечественный агломерат также уступает агломерату российских предприятий. Вместе с тем, качество агломерата, по мнению отечественных и зарубежных учёных, является наиболее перспективным направлением повышения эффективности технологии ПУТ.

В Украине о качестве агломерата, как правило, судят по химическому составу и его прочности в холодном состоянии – выходу фракций менее 5 мм. При этом недостаточное внимание уделяют стабильности этих свойств. Согласно анализу содержание железа в агломерате ПАО «ММК им. Ильича», в зависимости от качества поставляемой шихты и объёмов рециклинга вторичного сырья, составляет 51-54 %. Химический состав агломерата и основных ингредиентов аглошихты этого предприятия представлен в табл. 5. Там же приведён химический состав агломерата некоторых фирм Западной Европы.

Недостаточная эффективность внедрения пылеугольного топлива на украинских предприятиях объясняется не только более низким содержанием железа в агломерате, но и его меньшей механической прочностью. За рубежом в результате применения 3-4-х кратного грохочения содержание мелких фракций в агломерате снижено до 1-5 %. Содержание мелочи в скиповом агломерате отечественных предприятий значительно больше и составляет – 14-21 %.

Следует отметить, что качество агломерата зависит не только от эффективности отсева мелких

фракций перед загрузкой в доменную печь, но и от его прочности при рабочих температурах. Этот показатель во многом зависит от фракционного и химического состава компонентов спекаемой шихты.

Недостаточную прочность агломерата связывают с его основностью. Известно, что наименьшей прочностью обладает агломерат с основностью – 1,3-1,4. По данным А. Н. Рамма резкое снижение прочности агломерата наблюдается в диапазоне его основности – 0,8-1,3.

Повысить горячую прочность агломерата можно за счёт увеличения его основности более 1,6 ед. Этим приёмом широко пользуются за рубежом. В Швеции высокое качество агломерата (содержание Fe более 58 %, фракцией менее 5 мм – не более 3-5 %) обеспечивают за счёт использования присадок извести и оливинов.

В Китае используют офлюсованный агломерат с содержанием железа 56-59 % и основностью 1,70-2,55, который имеет более высокие показатели холодной прочности – 72-76,5 %. Доля фракции менее 5 мм в таком агломерате составляет 3,3-4,1 по сравнению с 14-21 % в агломерате отечественных предприятий с основностью – 1,2-1,4. Считают, что повышению основности отечественного агломерата препятствует не только отсутствие инвестиций, но и высокое содержание серы в шихте. По данным И. М. Мищенко увеличение основности в 2 раза от 1,25 до 2,38 приведёт к повышению серы в агломерате почти в 3 раза – от 0,055 до 0,159 % [23].

Горячая прочность агломерата, рассматриваемая за рубежом как важнейшая характеристика его качества, на отечественных аглофабриках, как правило, не определяется. Поэтому расход кокса и выход доменного шлака в Европе при прочих равных условиях значительно меньше, чем на украинских предприятиях.

Разрушение агломерата происходит в результате изменения его химического состава и структуры (химическое разрушение) в процессе восстановительной плавки и под действием столба шихты (механическое разрушение). Повышают термическую прочность агломерата снижением и стабилизацией на низком уровне содержания в нём кремнезёма и закиси железа. В Украине из-за недостаточного качества железорудного сырья и кокса их потери в виде колошниковой

Таблица 5

**Химический состав агломерата и основных компонентов аглошихты ПАО «ММК им. Ильича» (2005-2011 гг.)**

Материал	Fe <sub>общ</sub>	FeO	CaO (B)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P
<i>Украина (ПАО «ММК им. Ильича»)</i>							
<i>Агломерат</i>	51,5-53,77	12,6-14,4	(1,2-1,24)	9,8-11,1	0,82-1,02	0,100-0,112	0,026-0,032
<i>Состав аглошихты:</i>							
концентрат	65,31-68,08	27,77-30,75	0,35-0,61	4,97-9,53	0,20-0,48	0,086-0,21	0,015-0,024
аглоруда	49,35-57,77	0,50-2,70	0,30-0,57	16,12-26,33	0,20-0,66	0,01-0,73	0,016-0,057
колошниковая пыль	38,20-44,67	6,93-7,60	9,95-11,33	8,84-8,93	1,50-1,87	0,14-0,46	0,029-0,064
окалина	66,23-79,11	48,94-59,8	0,50-2,00	0,95-1,36	0,28-0,80	0,03-0,036	0,015-0,029
шламы	34,6-42,9	7,1-10,3	8,9-11,9	8,1-19,8	1,16-2,12	0,34-0,61	0,023-0,050
<i>Испания [21]</i>							
<i>Агломерат</i>	56-57	4,2-5,3	(1,6-1,9)	5,4-5,8	1,2-1,5	–	–
<i>Голландия [21]</i>							
<i>Агломерат</i>	58-59	9-10	(1,9-2,0)	4,6-4,8	1,4	–	–

пыли и шламов в 5-10 раз превышают аналогичные потери в Европейских странах, Японии и Китае.

Одной из причин недостаточного качества отечественного агломерата следует признать необходимость использования в агломерационной шихте вторичных железосодержащих материалов собственного производства. Перестало действовать правило создания на аглофабриках технологического запаса железорудного сырья. Дефицит сырья вынуждает все чаще использовать собственные отходы производства, расход которых постоянно растёт и в отдельные периоды достигает 400-450 кг/т агломерата. Проблема утилизации отходов стоит наиболее остро на предприятиях, осваивающих технологию ПУТ, так как они расположены в зонах активного земледелия, на территориях мегаполисов и бассейне Азовского моря.

Последнее не всегда принимается во внимание разработчиками программы перевода доменного процесса на технологию ПУТ. Многие специалисты считают, что недостаточное качество железорудных материалов не является препятствием для реализации первого этапа пылеугольной технологии с расходом ПУТ 120-135 кг/т.

Так например, расчёты, выполненные ДонНТУ для условий ДП № 5 ПАО «ММК им. Ильича», показывают, что на первом этапе освоения технологии ПУТ (снижение расхода кокса на 54 кг/т чугуна, в отсутствие расхода природного газа) она может быть обеспечена применением агломерата с содержанием железа около 56 % и основностью  $B = 1,26$ , а также использованием в шихте до 200 кг/т окатышей СевГОКа [24].

Таким образом, к качеству железорудной шихты предъявляются жёсткие требования, которые на отечественных предприятиях не всегда могут выполняться, в том числе в результате необходимости утилизации собственных отходов производства. К тому же агломерация вторичных материалов препятствует достижению стабильной работы доменных печей по технологии ПУТ, так как вносит в шихту значительное количество серы и щелочей (до 5-10 кг/т чугуна).

*Особенности шлакового режима доменной плавки в условиях Украины.* О металлургической ценности железорудного сырья, как правило, судят по содержанию железа в железорудной части шихты (ЖРЧ) и выходу шлака.

Одним из показателей полной компенсации при переходе на режим ПУТ является сокращение выхода шлака. В зависимости от состава шихты и степени её металлизации выход шлака на ведущих европейских фирмах, работающих с расходом 180-230 кг/т чугуна ПУТ, составляет 240-300 кг/т чугуна.

В Китае при работе на офлюсованном агломерате выход доменного шлака составляет 280-320 кг/т чугуна. При этом следует отметить опыт работы доменных печей фирмы Cogus (Нидерланды), на которых при расходе ПУТ 227 и кокса 290 кг/т чугуна выход шлака составляет 200-230 кг/т чугуна. Горячая прочность кокса CSR на этом предприятии составляет более 60 %, а температура дутья – 1200-1250 °С при содержании в нём кислорода до 33 % [2, 4].

В США, Голландии и Швеции выход доменного шлака составляет 120-200 кг/т. В Швеции на доменной печи № 2 в Лулео с переходом на оливиновые окатыши выход шлака снижен до 120 кг/т чугуна.

В Украине наоборот в результате использования некачественного сырья при переходе на технологию ПУТ выход шлака увеличился. Бедный по содержанию основного компонента (железа) отечественный агломерат вносит в доменную шихту 120-150 кг/т чугуна шлакообразующих компонентов. Поэтому на украинских предприятиях выход шлака достаточно высок и составляет 480-502 кг/т чугуна. В России, железорудная база которой лучше, выход шлака несколько меньше – 300-360 кг/т чугуна. Выход доменного шлака в условиях «Северстали» (доменные печи работают с расходом природного газа 123 м<sup>3</sup>/т чугуна) минимальный по отрасли и составляет 286 кг/т чугуна.

Согласно расчётам И. Г. Товаровского в условиях ДП № 5 «Арселор Миттал» внедрение технологии ПУТ с расходом 250 кг/т чугуна позволит полностью исключить применение природного газа и снизить расход кокса до уровня 308 кг/т. Однако при этом выход шлака возрастёт с 416 до 445 кг/т чугуна [25].

Указанное повышение выхода шлака не учитывается в рекомендациях ДонНТУ по внедрению технологии ПУТ в условиях ПАО «ММК им. Ильича», имеющее такой же состав железорудной шихты.

При освоении технологии ПУТ в условиях ДП № 5 АМК, где доменные печи работают без использования природного газа на шихте, состоящей преимущественно из агломерата (с содержанием железа 50-54 %) с добавлением до 340 кг/т чугуна окатышей, с увеличением расхода ПУТ от 64 до 135 кг/т выход шлака увеличился с 416 до 547 кг/т чугуна. При этом фактический расход кокса повысился на 30 кг/т чугуна [14].

В период освоения технологии ПУТ на этом предприятии качество железорудной шихты постоянно ухудшалось из-за недостаточных запасов сырья и увеличения расхода шлама в аглошихте. Изменение состава агломерата по содержанию железа и его прочности сопровождалось нарушением хода доменной печи, а также нестабильностью теплового (чем хуже качество шихты, тем больше тепла и восстановителя требуется для подготовки её прихода в горн) и шлакового режимов. Поэтому количество углерода в колошниковой пыли и шламах газоочистки резко увеличилось до 12-16 %, а выход шлака достигал 500 кг/т чугуна.

Следует отметить, что переход на качественную шихту и восстановители в условиях «Донецкстали» при высоком расходе ПУТ сопровождалось повышением вязкости шлака и его накоплением в нижних горизонтах доменной печи. В этих условиях эффективным мероприятием стало использование промывочных материалов с повышенным содержанием закиси железа [5, 12].

## Выводы

Несоответствие качественных характеристик, применяемых на отечественных предприятиях, полного цикла железорудного сырья и кокса потребуют

от металлургов при использовании технологии ПУТ или перейти на импортные поставки этого сырья, или согласиться с более низкой эффективностью внедряемой технологии.

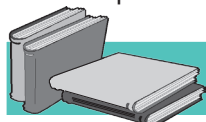
Эффективность применения технологии ПУТ на металлургических предприятиях, имеющих собственное агломерационное производство, будет снижаться, в том числе из-за необходимости утилизировать собственные отходы производства. Возникнут проблемы с повышением расхода ПУТ.

Значительно повысить долю окатышей в шихте доменных печей для предприятий полного цикла означает снизить производство собственного агломерата. Это ухудшит общие технико-экономические показатели их работы. В этом случае единственным пра-

вильным решением будет организация на территории предприятий производства окатышей или брикетов на базе отходов металлургического производства.

Наиболее логичным решением является брикетирование вторичных железосодержащих материалов с последующей металллизацией, а также изготовление железугольных брикетов, которые могут быть использованы в доменном или сталеплавильном производствах.

В доменном производстве можно рекомендовать использование железугольных брикетов на основе вторичных железосодержащих материалов в рудной части шихты совместно с коксовым орешком (для создания коксовой отдушины).



## ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт использования вдвухания ПУТ для оптимизации работы доменных печей / Б. Параманатан, Д. Плойд, Геердес и др. // *Сталь*. – 2005. – № 10. – С. 18-44.
2. Курунов И. Ф. Шихтовые материалы, кокс, эксплуатация и показатели работы доменной печи. (материалы по 4-ому Европейскому конгрессу по коксохимическому и аглодоменному производству) // *Сталь*. – 2001. – № 3. – С. 7-12.
3. Курунов И. Ф. Состояние и развитие доменного производства Китая, Японии, Северной Америки, Западной Европы и России // *Бюл. НТИ*. – 2010. – № 3. – С. 32-49.
4. Люнген Х. Б., Петерс М., Шмеле П. Производство чугуна : Путь перемен // *Чёрные металлы*. – 2011. – № 9. – С. 18-25.
5. Эффективность и перспективы замены природного газа пылеугольным топливом в доменных печах Украины / С. Л. Ярошевский, А. В. Емченко, В. Е. Попов и др. // *Металл и литьё Украины*. – 2010. – № 7. – С. 13-20.
6. Эффективность использования природных ресурсов в чёрной металлургии Германии / В. Бендер, П. Клим, Х. Б. Люнген и др. // *Чёрные металлы*. – 2009. – № 4. – С. 67-72.
7. Требования к качеству кокса для доменной печи с использованием ПУТ / А. В. Рыженков, А. И. Гордиенко, Е. Т. Ковалёв и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. – № 1 (11). – С. 16-22.
8. Харст К., Люнген Х. Б. Чёрная металлургия – какой путь выбрать? // *Чёрные металлы*. – 2000. – № 2. – С. 67-75.
9. Анализ сырьевой базы металлургического производства: Кокс доменный / Л. Ю. Назюта, Н. В. Косолап, А. В. Губанова // *Металл и литьё Украины*. – 2005. – № 11-12. – С. 3-9.
10. Ковалёв Е. Т. К вопросу о введении в технические условия показателей CRI и CSR // *Теория и практика производства чугуна*. – Кривой Рог, 2004. – С. 181-183.
11. Терещенко В. П. История освоения пылеугольной технологии на Донецком металлургическом заводе // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2006. – № 4 (6). – С. 19-24.
12. Васильев Ю. С., Дроздник И. Д. Сырьевая база для технологии вдвухания ПУТ // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. – № 1 (11). – С. 7-10.
13. Авдеев Р. В., Крячко Г. Ю. Опыт использования ПУТ в нестабильных сырьевых условиях доменной плавки // *Сталь*. – 2011. – № 3. – С. 4-8.
14. Ресурсы и эффективность полной и комплексной компенсации при использовании ПУТ / С. Л. Ярошевский, А. В. Емченко, В. Е. Попов и др. // *Бюл. НТИ*. – 2010. – № 7. – С. 40-49.
15. О ресурсах углей для приготовления пылеугольного топлива / С. Л. Ярошевский, Н. С. Хлопонин, В. П. Терещенко // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. – № 1 (11). – С. 32-38.
16. Влияние состава и качества железорудного сырья на технико-экономические показатели доменной плавки / В. П. Лялюк, В. А. Шеремет, Л. К. Тараканов и др. // 3-ый Международный конгресс по агло-кокс-доменному производству, Ялта. – 2010. – С. 79-92.
17. Бирючёв В. И., Ярошевский С. Л., Ноздрачёв В. А. Опыт работы доменных печей с высоким расходом окатышей в шихте // *Металл и литьё Украины*. – 1998. – № 5-6. – С. 6-12.
18. Журавлёв Ф. М., Севернюк А. В., Лялюк В. П. Подготовка шихтовых материалов к доменной плавке // V Международный конгресс доменщиков, Днепрпетровск – Кривой Рог, 1999. – С. 86-89.
19. Подолянец В. Проблемы и их решение / *Металл*. – 2005. – № 10. – С. 54-58.
20. Производство первичного металла в странах Западной Европы / А. И. Бабич, В. В. Кочура, А. Формосо, Л. Гарсиа // *Металл и литьё Украины*. – 1997. – № 5. – С. 32-37.
21. Основные направления совершенствования технологий и оборудования в производстве агломерата / А. Д. Учитель, В. П. Лялюк, Ф. М. Журавлёв и др. // *Бюл. НТИ*. – 2013. – № 8. – С. 7-17.
22. Мищенко И. М. Состояние и основные направления повышения технического уровня агломерационного процесса Украины // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2005. – № 1. – С. 23-26.
23. Расчёт и оценка эффективности технологии доменной плавки с применением ПУТ в условиях ПАО «ММК им. Ильича» / В. С. Бойко, С. А. Матвиенков, С. Л. Ярошевский и др. // *Металл и литьё Украины*. – 2012. – № 2-3. – С. 7-11.
24. Товаровский И. Г., Меркулов А. Е., Лялюк В. П. Анализ коксоберегающих режимов доменной плавки // *Металлургическая и горноурдная промышленность*. – 2013. – № 1. – С. 8-12.
25. Назюта Л. Ю. Эффективность использования в аглошихте предприятий Украины вторичных железосодержащих материалов // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 2007. – № 3. – С. 18-26.

## Анотація

Назюта Л. Ю.

### До питання про ефективність технології ПВП в умовах металургійних підприємств України

Розглянуто сировинна і паливна база доменного виробництва України. Показано, що в якості відновника заліза в сучасних доменних печах можуть бути використані тверді вуглецевмісні матеріали (кокс, вугілля), а також рідкі та газоподібні вуглеводні (природний газ і мазут). При цьому незалежно від виду відновників, які використовували, загальна їх витрата відносно постійна і складає 480-510, а мінімальна витрата коксу – 280-320 кг/т чавуну. Серед альтернативних коксу відновників найбільш ефективним є вдування в горн доменної печі пиловугільного палива (ПВП). За кордоном витрата ПВП становить 180-260 кг/т чавуну. Це забезпечується за рахунок використання якісної залізорудної сировини (агломерату та окатишів з вмістом заліза більше 58 % і  $\text{SiO}_2$  менше 5 %) і коксу (CSR > 60-70 %, CRI < 25-30 %), а також в результаті оптимізації технології доменної плавки (в тому числі за рахунок підвищення температури дуття і вмісту в ньому кисню). Показано, що через недостатню якість вихідної сировини ефективність технології ПВП в умовах металургійних підприємств України істотно менше. Особливу заклопотаність викликає необхідність рециклінгу вторинних залізовмісних матеріалів методом агломерації. Перехід доменного виробництва підприємств повного циклу на залізорудні окатиші не може розглядатися, як компенсуючий фактор, так як вони володіють власним агломераційним переділом. Найбільш логічним рішенням є брикетування вторинних матеріалів з організацією власного виробництва для подальшого використання в технологічному циклі.

## Ключові слова

доменне виробництво, кокс, відновники, пиловугільне паливо, колошниковий газ, газопроникність, рудне навантаження

## Summary

Naziuta L. Yu.

### About the efficiency of pulverized coal injection under conditions of iron and steel enterprises in Ukraine

The raw material and fuel sources for blast-furnace process in Ukraine were considered. It was shown that in the modern blast furnaces one can use as the conducting agent the solid coal-bearing materials (coke, coal) or liquid or gas hydrocarbons (natural gas and fuel oil). At that irrespective of the using kind of conducting agents their common consumption is relatively constant and is about 480-510 kg/t of cast iron and minimal coke consumption is about 280-320. The most efficient conducting agent between coke alternates is the pulverized coal that is injected into the blast furnace well. Abroad the consumption of pulverized coal is 180-260 kg/t of cast iron. It provides by using the high-quality iron ore raw materials (sinter and pellets with iron content more than 58 % and  $\text{SiO}_2$  less than 5 %) and coke (CSR > 60-70 %, CRI < 25-30 %), and by optimization of blast-furnace technology (including by increase the injection temperature and oxygen content). It is shown that the efficiency of pulverized coal injection under conditions of iron and steel enterprises is significantly less in Ukraine because of quality problem with raw material. The necessity of recycling the secondary iron raw materials by sintering is a source of special concern. The changeover of blast-furnace processes of integrated works onto iron-ore pellets cannot be the compensation because they have own sintering processing. The best solution is briquetting the secondary materials together with organizing the own produce for the further use in the work cycle.

## Keywords

blast-furnace processes, coke, conducting agents, pulverized coal, blast-furnace gas, gas permeability, ferric charge

Поступила 05.12.13