

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ

УДК 669.18:[621.311.1+658]

© Буторина І.В.¹, Харлашин П.С.², Хавалиць Ю.В.³

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ НА МЕТАЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ

В конце 20 века мировая экономика столкнулась с проблемой резкого сокращения природных ресурсов, что не могло не беспокоить представителей бизнеса. С другой стороны загрязнение окружающей среды отходами производства не только создало проблемы для проживания населения в промышленных регионах, но и привело к глобальным климатическим изменениям, что не могло не беспокоить широкие круги общественности. В документах по устойчивому развитию отмечается, что модернизация производства и внедрение новых чистых технологий, с одной стороны, могут существенно поднять качество продукции и сократить издержки на ее производство, а с другой стороны – обеспечить сокращение отходов, загрязняющих окружающую среду. Сокращая удельный расход сырья и энергоресурсов на производство продукции, можно сберечь природные ресурсы, сократить выбросы и сбросы вредных веществ в окружающую среду и уменьшить накопление твердых отходов на свалках. Средства, сэкономленные на ресурсах, можно направлять на создание природоохранных объектов, без которых не может обойтись сегодня ни одна, даже самая совершенная, безотходная технология.

Ключевые слова: энергоемкость, устойчивое развитие, сталь, конкурентоспособность, ресурсосберегающие технологии.

Буторина І.В., Харлашин П.С., Хавалиць Ю.В. Зниження витрат енергоресурсів при виробництві сталі на металургійних підприємствах України як спосіб підвищення конкурентоспроможності продукції. В кінці 20 століття світова економіка зіткнулася з проблемою різкого скорочення природних ресурсів, що не могло не стурбувати представників бізнесу. З іншого боку забруднення навколишнього середовища відходами виробництва не тільки створило проблеми для проживання населення у промислових регіонах, але і привело до глобальних кліматичних змін, що не могло не стурбувати широкі кола громадськості. У документах з питань стійкого розвитку зазначається, що модернізація виробництва та впровадження нових чистих технологій, з одного боку, можуть істотно підвищити якість продукції та скоротити витрати на її виробництво, а з іншого боку – забезпечити скорочення відходів, що забруднюють навколишнє середовище. Скорочуючи питомі витрати сировини та енергоресурсів на виробництво продукції, можна зберегти природні ресурси, скоротити викиди і скиди шкідливих речовин у навколишнє середовище та зменшити накопичення твердих відходів на звалищах. Кошти, зекономлені на ресурсах, можна направляти на створення природоохоронних об'єктів, без яких не може обійтися сьогодні жодна, навіть найдосконаліша, безвідходна технологія.

Ключові слова: енергоємність, стійкий розвиток, сталь, конкурентоспроможність, ресурсозберігаючі технології.

¹ д-р техн. наук, професор, Санкт-Петербурзький державний політехнічний університет, г. Санкт-Петербург, Росія

² д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, azov@online.ua

³ асистент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

I.V. Butorina, P.S. Kharlashin, Y.V. Havalic. Lowering the cost of energy in steel production at the metallurgical enterprises of Ukraine as a way to increase competitiveness. At the end of the 20th century, the world economy faced the problem of the drastic reduction of natural resources, business representatives could not help being worried with the fact. On the other hand environmental pollution not only created problems for people living in industrial areas, but also resulted in global climate change, the world community could not being disturbed with it. The documents on sustainable development noted that the production modernization and the introduction of new clean technologies on the one hand, can significantly improve the quality and reduce the costs of production, and on the other hand, reduce the waste polluting the environment. Reducing the specific consumption of raw materials and energy for production, it is possible to conserve natural resources, reduce emissions and discharges of harmful substances into the environment and to reduce the accumulation of solid waste in dumps. The money saved on resources can be directed to the establishment of protected objects, for even the most sophisticated, non-waste technology can't do without them nowadays. Steel production is one of the most important indicators of sustainable development of metallurgical industry. Over the past 40 years, all leading steel companies in the world are engaged in reconstruction of steel production. At the metallurgical enterprises of Ukraine such a large-scale reconstruction has not started yet.

Keywords: energy, sustainable development, steel competitiveness, resource-saving technologies.

Постановка проблеми. В конце 20 века мировая экономика столкнулась с проблемой резкого сокращения природных ресурсов, что не могло не обеспокоить представителей бизнеса. В условиях динамичного роста промышленности в странах Азии (основных потребителей украинской стали), а также принятой Россией стратегии импортозамещения на отечественном рынке металла и введения западными странами жестких квот на ввоз стального проката ставятся под сомнение перспективы сохранения в Украине существующих объемов продаж металла на внешнем рынке. Это свидетельствует о необходимости принятия срочных мер по повышению конкурентоспособности украинской стали и расширению внутреннего рынка.

Анализ последних исследований и публикаций. Приоритет политики в промышленности Украины в целом и ее горно-металлургического комплекса в частности сегодня должен состоять в существенном уменьшении энергоемкости производства. Реализация энергосберегающего направления развития металлургии сегодня рассматривается как актуальнейший путь решения проблемы энергозависимости нашего государства. Для сохранения нынешней значимости ГМК в экономике страны нет альтернативы энергосберегающей модели его развития. Пути снижения энергоемкости металлургических процессов на предприятиях Украины рассмотрены в работах [1, 2]. В работах [3, 4] рассмотрено энергетическое сырье металлургического производства и энергоемкость металлургических процессов. Проблемой сокращения энергопотребления с целью повышения конкурентоспособности стали занимаются ведущие ученые Буторина И.В., Харлашин П.С., Сущенко А.В., Волошин В.С. и др.

Цель статьи. Рассмотреть и предложить варианты снижения энергозатрат в металлургическом производстве и показать, что экологические проблемы производства стали можно решить путем внедрения программ энерго- и ресурсосбережения.

Изложение основного материала. Известно, что экономика Украины имеет низкий уровень самообеспечения энергетическими ресурсами при реальной перспективе резкого повышения цен на энергоносители. Сегодня наша страна занимает первое место в мире среди промышленно развитых государств по затратам энергии на единицу производимого валового продукта. Очевидно, что такого, как у нас, расточительного расходования энергетических и материальных ресурсов не выдержит экономика ни одной страны.

Украина – энергодефицитное государство. Собственными ресурсами оно обеспечивает свои энергопотребности всего на 53%. Энергоемкость валового внутреннего продукта Украины в три-пять раз выше, чем развитых государств Западной Европы. Потенциал энергосбережения составляет 45% нынешнего объема потребления энергоресурсов. Наибольшими потребителями топливно-энергетических ресурсов в ГМК являются металлургические (около 75%) и коксохи-

мические (порядка 18%) предприятия. На выплавку чугуна в доменных печах используется треть из потребляемых металлургией объемов природного газа, в среднем 100 кубометров на тонну чугуна, а в целом по отрасли – более 3 млрд. кубометров. В мартеновских печах на выплавку тонны стали расходуется около 95 кубометров природного газа, в конвертерах – до восьми кубометров. В электросталеплавильных агрегатах природный газ практически не используется.

Даже эта информация убедительно показывает, на что должны быть направлены первоочередные усилия по снижению энергозатратности производства стали. Конечно же, проблему энергосбережения в металлургии Украины необходимо решать на каждом переделе металлургического цикла, в каждом производстве, на каждом агрегате. Но поскольку нельзя объять необъятное, а денег никогда не бывает много, в рассматриваемой проблеме необходимо, прежде всего, определить приоритеты. Остановимся на этом вопросе более детально.

Фундаментальным элементом экономики Украины является металлургия, доля которой в национальном валовом продукте составляет почти 30%. Однако при этом горно-металлургический комплекс (ГМК) является и наибольшим потребителем энергетических ресурсов. Именно поэтому проблемы и направления развития металлургии, с чем неразрывно связано будущее машиностроения, энергетики, строительной индустрии и других отраслей промышленности, волнуют украинское общество и являются предметом острой полемики. Так как же должна развиваться металлургия Украины в условиях дефицита и непрерывного повышения стоимости энергоносителей?

Украина до 2014 г. входила в десятку крупнейших производителей и экспортеров черного металла. Конечно, можно подойти к описанию нынешнего положения дел в металлургии лишь формально. Согласно госстатистике, за семь месяцев 2014 г. украинские предприятия зафиксировали падение объемов производства стали и готового проката по сравнению с аналогичным прошлогодним периодом на 7% (до 18 млн. т и 15,7 млн. т соответственно) [5]. Динамика с начала года даже несколько выровнялась: выплавка стали за шесть месяцев была ниже на 12%.

Однако сухие цифры не передают напряжения, нарастающего в металлургии Донбасса и смежных отраслях – среди рабочих, поставщиков сырья и материалов, покупателей продукции. Высокая доля экспорта металла ставит украинские предприятия в жесткую зависимость от динамики развития мирового рынка, его требований к качеству и способу производства продукции. Это ведет к дестабилизации не только металлургических предприятий, но и для всей экономики страны. В условиях динамичного роста промышленности в странах Азии (основных потребителей украинской стали), а также принятой Россией стратегии импортозамещения на отечественном рынке металла и введения западными странами жестких квот на ввоз стального проката ставятся под сомнение перспективы сохранения в Украине существующих объемов продаж металла на внешнем рынке. Это свидетельствует о необходимости принятия срочных мер по повышению конкурентоспособности украинской стали и расширению внутреннего рынка.

Один из способов снизить себестоимость стали и повысить ее конкурентоспособность – снижение ее энергоемкости. Перерасход энергии, особенно электрической, в сталеплавильном производстве велик. Расчеты показывают, что 75% энергии в конвертерном производстве Украины затрачивается на работу дымососов, причем величина этих затрат в 3-5 раз выше необходимых. Причины такого положения состоит, прежде всего, в непрерывной работе эксгаустеров, установленных на основном газоходе от установок внепечной обработки стали. В современных цехах эксгаустера работают только в период продувки конвертера или ковша. Кроме того, основная часть украинских конвертеров работает с системой дожигания отходящих газов и последующей очистки дыма в двух ступенях скрубберов Вентури.

Качество сырья, используемого в металлургическом процессе, не только определяет выход годного продукта, но и оказывает *прямое воздействие на энергоемкость процесса* и вынос вредных веществ.

Среди характеристик сырья, оказывающих влияние на выход годной стали, главной является содержание железа в железорудном концентрате. В таблице приведены расчетные значения экологических показателей производства конвертерной стали по циклу 4-а [4] для различных видов железного концентрата при содержании лома в плавке 18%.

Приведенные в таблице данные показывают, что по мере снижения содержания железа в концентрате ухудшаются все показатели производства. В настоящее время большинство укра-

инских металлургических предприятий работает на небогатых железом кислых рудах. Использование таких руд, помимо уменьшения выхода годного чугуна за счет большого количества кремнезема, увеличивает расход флюсов, образование шлака и выброс пыли на всех этапах металлургического передела. Ухудшает ситуацию использование высокосернистого угля и кокса.

Таблица

Зависимость экологических показателей производства жидкой стали от вида железорудного сырья

Показатель	Вид концентрата			
	Керченский	НКГОК	ЮГОК	Лебединский
Содержание железа, %	48,6	61,5	64,5	66,3
Энергозатраты, ГДж/т	27,3	22,27	22,07	21,68
Водопотребление, кг/т	30,2	29,93	29,92	29,9
Выбросы пыли, кг/т	8,38	7,15	7,13	7,05
Выбросы CO, кг/т	26,33	26,16	26,15	26,14
Выбросы NO _x	1,77	1,5	1,46	1,42
Выбросы SO ₂	3,26	0,798	0,775	0,759
Количество отходов, кг/т	866,3	550	546	522

Лучшие показатели обеспечивает использование концентрата Южного горно-обогатительного комбината, худшие – использование железорудного концентрата, приготовленного из руд Керченского месторождения (в настоящее время Керченское железорудное месторождение законсервировано). Так, например, замена железного концентрата НГОК концентратом керченского месторождения повысит энергоемкость стали на 18 %, а выход твердых отходов на 36,5 %. При этом выбросы пыли увеличатся на 14 %, а выбросы оксида серы на 75 %. Замена концентрата НГОК на богатый железом концентрат, например, Лебединского месторождения, улучшит большинство экологических показателей как минимум на 2,6 % [1].

Содержащаяся в металлургической шихте сера, оказывает влияние не только на качество стали, но и практически на все экологические показатели ее производства. Исследование движения серы в жизненном цикле стали показало, что при спекании низкосернистого агломерационного сырья, целесообразно выжигать серу на агломерационной ленте, не прибегая к системе очистки газов от оксида серы, так как в этом случае санитарные нормы на содержание этого вещества в приземном слое атмосферы не будут нарушаться. При использовании в качестве агломерационного топлива высокосернистых углей Донецкого каменноугольного бассейна, необходимо либо связывать серу флюсами агломерате, либо улавливать оксид серы из газов, любым их известных способов. Наиболее эффективным из них в настоящее время считается мокросухая абсорбция SO₂ в высоконапорном скруббере.

При спекании концентратов керченского месторождения, отличающихся большим содержанием серы, при любом виде аглоплыва без проведения мероприятий по подавлению выбросов серы не обойтись. Кроме того, спекание пылеватых керченских руд приведет к повышенному пылевывосу.

Расчеты показывают, что при любом виде железной руды использование высокосернистого кокса в доменном процессе не даст возможности достигнуть западноевропейских стандартов в первую очередь по энергоемкости производства, как чугуна, так и стали. Причем, чем выше будет содержание кремнезема в рудном концентрате, тем больше будет отклонение от западноевропейских норм на способ производства металлургической продукции.

Таким образом, одной из главных объективных причин плохих показателей металлургического производства (высокие энергозатраты) в Украине является использование отечествен-

ного металлургического сырья. При таком сырье внедрением всего комплекса мер по совершенствованию производства всех этапов жизненного цикла стали можно добиться существенного улучшения экологических показателей, но достичь европейского уровня на их величину по всем показателям не представляется возможным.

Российские металлургические предприятия, работающие на низкосернистых углях северных и сибирских месторождений, а также на отечественных рудах смогут достичь западных экологических стандартов, внедряя энерго-ресурсосберегающие технологии и эффективные способы очистки выбросов и стоков.

Также снижения энергоемкости можно добиться за счет использования вторичных энергоресурсов металлургического производства – газообразных отходов коксового, доменного и конвертерного производства. Состав этих газов зависит от сырья и технологии основного производства. Самой высокой теплотворной способностью из технологических газов отличается коксовый газ, самой низкой – доменный.

Горючие газовые отходы металлургического производства, по мере их образования собираются в газгольдеры, а потом используются в качестве газообразного топлива, как в основном производстве, так и в энергетическом хозяйстве комбината. В странах ЕС сбора и утилизации подлежат все горючие отходы металлургического производства. На Украине собирается и утилизируется только коксовый и доменный газ. Конвертерный газ либо дожигаются в горловине конвертера, либо сжигаются на свече.

Анализ затрат энергоресурсов при проведении конвертерной плавки показывает, что перерасход энергии при производстве конвертерной стали на Украине происходит за счет большого потребления электроэнергии, которая в основном расходуется на обеспечение работы газодувных устройств. Основными причинами такого положения является многократное увеличение объема дымового газа вследствие дожигания СО в горловине конвертера, больших подсосов воздуха в дымовой тракт и из-за несбалансированной работы газодувных устройств, большого расхода воды в системе мокрой очистки газов.

При сжигании конвертерного газа на свече имеет место двойная потеря энергии и двойная нагрузка на окружающую среду. Так при работе конвертера в режиме полного и частично дожигания безвозвратно теряется энергии 0,79 МДж/т стали, а недожог СО на свече составляет 5 кг/т. Потеря этого количества газа приводит к необходимости сжигания дополнительных количеств природного газа в целом по предприятию и к дополнительным выбросам вредных веществ в окружающую среду. В странах ЕС системой утилизации конвертерного газа оснащаются практически все печи тоннажем более 115 т. В конвертерном производстве Японии (рис. 1), повышая энергетическую ценность конвертерного газа, коэффициент подсоса воздуха в горловину конвертера уменьшили от 0,11 до 0,03, в результате чего теплота сгорания газа возросла с 8,36 до 11 МДж / м³ [1].

С целью сокращения энерго- и водопотребления в конвертерном производстве на ряде западных сталелитейных предприятий перешли на сухой способ очистки газа. Охлаждение газов осуществляется в котлах – утилизаторах и двух форсуночных скрубберах, работающих в режиме испарительного охлаждения. Основным аппаратом для очистки газа является электрофильтр. Скруббер, установленный перед электрофильтром, снижает температуру до допустимых для электрофильтра значений и осуществляет предварительную очистку газа от пыли. После электрофильтра установлена свеча, на которой дожигается конвертерный газ в аварийных ситуациях и отводятся дымовые газы в период частичного дожигания СО в начале и в конце продувки. Конвертерные газы периода продувки с большим содержанием СО подаются на доочистку и доохлаждение во второй испарительный скруббер, а затем закачиваются в газгольдер. Частичное дожигание первых и последних порций конвертерного газа, содержащего малое количество СО, осуществляется для промывки газового тракта инертным дымовым газом, с целью обеспечения взрывобезопасности газового тракта. Эта операция увеличивает объем конвертерных газов не более чем на 20 %. Испарительный режим работы скрубберов дает возможность сократить расход воды на орошение более чем в два раза. Зависимость расхода воды на орошение скруббера от коэффициента испарения воды приведена на рисунке 2. Согласно приведенному графику теоретический расход воды на орошение скрубберов, работающих в режиме испарения, равен 25 л/ т жидкой стали. За счет испарения такого количества воды объем конвертерных газов увеличивается на 31 м³.

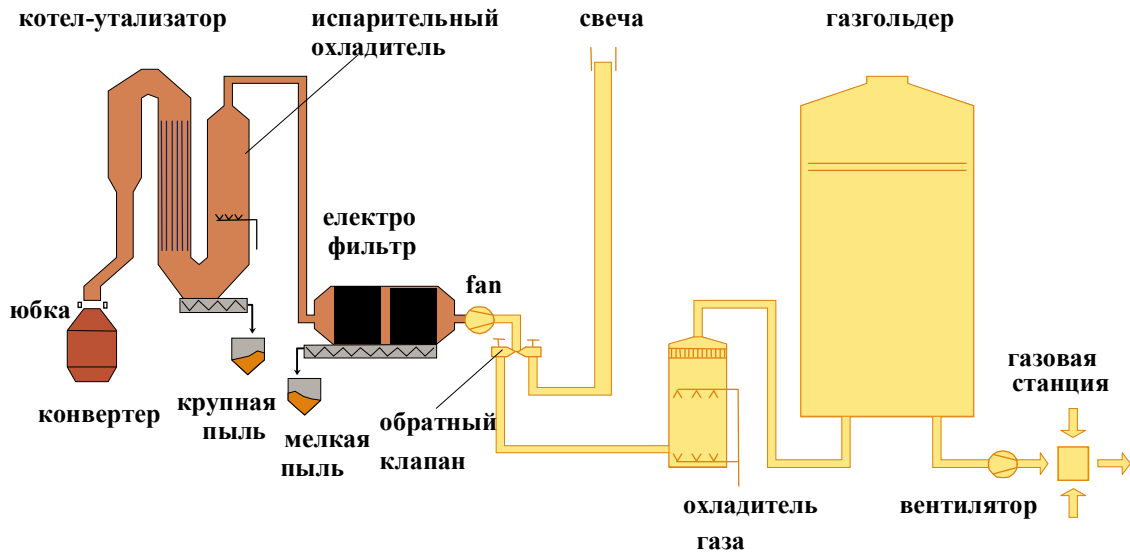


Рис. 1 – Схема газового тракта за конвертерами на Thyssen Krupp Stahl AG

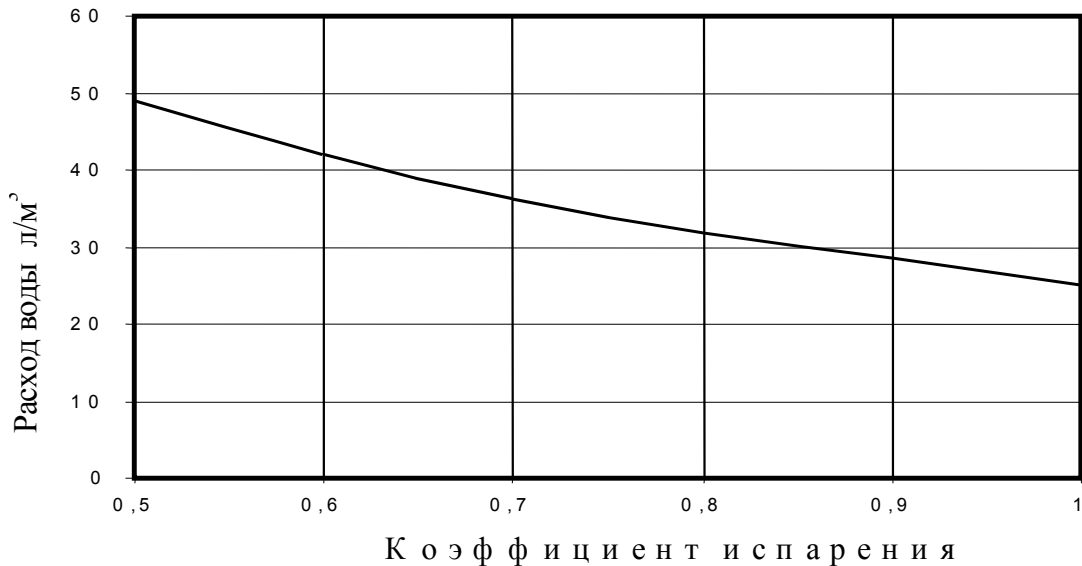


Рис. 2 – Зависимость расхода воды в скруббере от коэффициента испарения

С учетом газов образующихся во время частичного дожигания, объем отходящих конвертерных газов должен составить 140 м^3 .

При работе конвертеров в режиме дожигания CO количество дымовых газов увеличивается в 2,76 раза и, при теоретическом выходе газа $92 \text{ м}^3/\text{т}$, должно быть равно $248 \text{ м}^3/\text{т}$. При использовании для очистки дымовых газов двух ступеней скрубберов Вентури теоретический расход воды на их орошение при коэффициенте испарения 0,5 будет равен 137 л, что приведет к увеличению объема дымовых газов на 85 м^3 . В результате суммарный объем отходящих газов составит $333,7 \text{ м}^3/\text{т}$. В реальных условиях наблюдается значительно большее увеличение объемов конвертерных газов. Так, например, согласно инвентаризационным ведомостям по выбросам на одном из меткомбинатов г. Мариуполя удельный объем отходящих газов за газоочисткой конвертера составляет $1224 \text{ м}^3/\text{т}$ стали. Следовательно, неполное дожигание CO является главной причиной столь большой разницы между теоретическим образованием конвертерного газа и реальными его объемами. Проблема заключается в больших подсосах воздуха в конвертерный газ за счет несбалансированной работы эксгаустеров и газового тракта. Выбор мощностей эксгаустеров при проектировании действующих на Украине конвертерных цехов производился на максимальную мощность работы цеха и непрерывную работу эксгаустеров.

Единый газовый тракт смонтирован за всеми конвертерами. Работа эксгаустеров непрерывная. Отсутствие системы автоматизированной регулировки и контроля за работой эксгаустеров приводит к большим подсосам воздуха. На западных предприятиях работа конвертерных дымососов строго регламентирована и регулируется автоматически. Пропорционально превышению объемов конвертерного газа растут и затраты энергии на его транспортировку и очистку. Увеличивает эти затраты использование скрубберов Вентури, имеющих суммарное гидравлическое сопротивление в 24 КПа, в то время как система сухой очистки газов создает гидравлическое сопротивление не более 1 КПа.

Другой положительной стороной сухого способа очистки конвертерных газов является рациональное использование их теплосодержания. При работе с полным дожиганием конвертерных газов, все внутреннее тепло используется для выработки пара в котлах-утилизаторах, который подается в заводской паропровод и в теплое время года не используется. При сжигании конвертерного газа на свече теряется вся химическая составляющая внутреннего теплосодержания. Сухая схема очистки конвертерного газа со сбором его в газгольдер позволяет использовать как физическое, так и химическое тепло.

Значительные затраты электроэнергии наблюдаются и на участках продувки стали аргоном. Здесь мощность эксгаустеров превышает необходимую в десятки раз. Проведение всех видов внепечной обработки стали в едином закрытом агрегате типа печь –ковш позволит ликвидировать участок аргонной продувки стали и одновременно затраты энергии на его эксплуатацию. Проведение всех видов внепечной обработки стали в едином агрегате даст возможность сократить энергоемкость внепечной обработки стали.

Расход природного газа в отечественных конвертерных цехах в 6 раз выше, чем на Западе. Половина этого газа идет на отопление стационарных миксеров и поддержание в рабочем состоянии котлов-утилизаторов во время простоя печного оборудования. Переход на мобильные миксеры, внедрение технологической дисциплины на производстве и автоматизация работы газохода позволит ликвидировать перерасход природного газа в конвертерных цехах. Значительная часть природного газа затрачивается на сушку ковшей. Процесс сушки и разогрева футеровки ковшей осуществляется без достаточной теплоизоляции стендов и регенерации теплоты отходящих газов, что приводит к большим тепловотерям, в результате чего коэффициент использования газа в этом процессе не превышает 10-20%.

Известен способ снижения энергоемкости сталеплавильного производства за счет нагрева лома отходящими дымовыми газами [1]. Использование этого способа в конвертерном производстве дает возможность увеличивать долю лома в конвертерной плавке. Нагрев лома предлагается осуществлять отходящими конвертерными газами в специальных ковшах. Согласно опытным и расчетным данным, температура нагрева лома за счет тепла отходящих дымовых газов может быть поднята до 400 °С. Согласно графику, приведенному на рисунке 3, при такой температуре максимальная доля лома в конвертерной шихте составит 32 %.

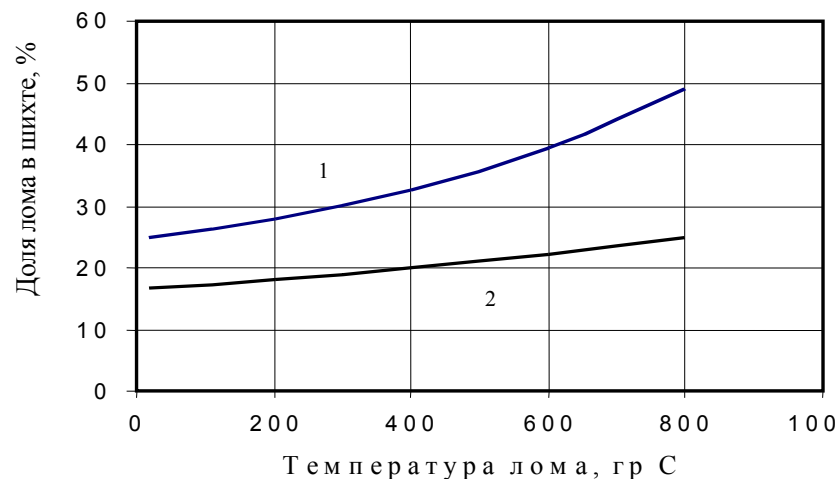


Рис. 3 – Зависимость допустимой доли лома в конвертерной шихте от температуры его нагрева: при 1 – чугунном ломе; 2 – стальном ломе

Однако, из-за сложности реализации этого метода в конвертерном производстве он применяется только в мартеновских и электроплавильных печах.

Выводы

1. Проанализированы причины повышенного энерго- и ресурсопотребления при производстве стали на металлургических предприятиях Украины.

2. Предложены пути и мероприятия для снижения затрат энергоресурсов при производстве металлопродукции на металлургических предприятиях Украины, что, в последствии, приведет к повышению ее конкурентоспособности на международном рынке.

3. Оптимизация металлургического производства путем внедрения всего комплекса указанных мероприятий позволит в большинстве случаев достичь, а иногда и превзойти общеевропейский уровень в удельных показателях производства металлургической продукции. Без замены сырья, прежде всего, не удастся обеспечить должный уровень энергоемкости производства, что повлечет за собой увеличение общей энергоемкости всего жизненного цикла стали и ее себестоимости.

Список использованных источников:

1. Буторина И.В. Экологические проблемы производства стали / И.В. Буторина, П.С. Харлашин. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 268 с.
2. Буторина И.В. Пути снижения энергоемкости металлургических процессов на предприятиях Украины / И.В. Буторина, П.С. Харлашин, А.В. Сущенко // Сталь. – 2003. – №7. – С. 97-101.
3. Буторина И.В. Основы устойчивого развития металлургического производства / И.В. Буторина. – Донецк: Каштан, 2005. – 332 с.
4. Харлашин П.С. Математическая модель жизненного цикла стали как фактор оптимизации металлургического производства с целью улучшения экологических показателей / П.С. Харлашин, И.В. Буторина, А.В. Бендич // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2012. – Вип. 24. – С. 25-37.
5. ЭСКО – портал об энергосбережении [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://escosys.narod.ru/2008_6/art175.htm.

Bibliography:

1. Butorina I.V. Environmental problems in steel production / I.V. Butorina, P.S. Kharlashin. – Donetsk: Nord-Press, 2008. – 268 p. (Rus.)
2. Butorina I.V. Ways to reduce energy consumption of metallurgical processes at the enterprises of Ukraine / I.V. Butorina, P.S.Kharlashin, A.V. Suschenko // Steel. – 2003. – №7. – P. 97-101. (Rus.)
3. Butorina I.V. Frameworkfor sustainable development of the metallurgical production / I.V. Butorina. – Donetsk: Kashtan, 2005. – 332 p. (Rus.)
4. Butorina I.V. A mathematical model of the life cycle of steel as a factor in optimizing steel production with the aim of improving environmental performance / I.V. Butorina, P.S. Kharlashin, A.V. Bendich // Reporter of the Priazovskyi state technical university: collection of scientific works / PSTU. – Mariupol, 2012. – Issue 24. – P. 25-37. (Rus.)
5. ESCO – portal about energy saving [Elektronniy resurs]: Access mode: http://escosys.narod.ru/2008_6/art175.htm.

Рецензент: В.А.Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 14.05.2015