

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 669.169

С.В. Бобровицкий, А.К. Тараканов, В.П. Иващенко, Ю.С. Паниотов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Введение

Процессы жидкофазного восстановления железа (ПЖВ), хотя и не вышли пока на стадию промышленного использования, имеют реальную перспективу заменить в будущем частично или полностью традиционную коксо–агло–доменную технологию, поскольку имеют перед ней неоспоримые преимущества. Эти процессы не требуют дефицитного коксующегося угля, природного газа и окускованного железорудного сырья и могут перерабатывать безо всяких ограничений любые техногенные отходы, хотя наиболее перспективным сырьём является железорудный концентрат. Кроме качественного чугуна, процессы жидкофазного восстановления дают возможность вырабатывать в значительном количестве электроэнергию, что главным образом и обеспечивает более низкую себестоимость выплавляемого чугуна по сравнению с чугуном доменным [1–3].

Многочисленные публикации по проблеме разработки и использования ПЖВ – это в основном статьи авторов различных вариантов данной технологии с описанием особенностей конкретных процессов и, главным образом, - их достоинств. Можно констатировать, что наиболее близки в настоящее время к промышленной реализации процессы Romelt, Ausiron, Hismelt [4-7].

Цель

Целью настоящей статьи является обоснование нового подхода к выбору оптимальной для конкретных условий технологии жидкофазного восстановления с использованием универсальной модели ПЖВ.

К настоящему времени практически все разумные варианты реализации процессов жидкофазного восстановления не только

предложены, но и испытаны в виде крупномасштабных полупромышленных установок. Анализ результатов испытаний различных процессов, опубликованных в литературе, наши собственные аналитические расчеты на основе балансов и математических моделей, а также выявленные количественные ограничения для каждого из процессов позволяют обосновать для любых конкретных условий оптимальную конструкцию агрегата ПЖВ и оптимальную технологическую схему процесса.

В качестве критерия оптимизации можно использовать удельное энергопотребление на выплавку чугуна, но поскольку ПЖВ обеспечивает выработку значительного количества электроэнергии, наиболее логичным и естественным показателем для решения оптимизационной задачи является себестоимость чугуна с ограничениями по объёму капиталовложений.

Содержание разработки

Выбор оптимального режима базируется на математической модели процесса жидкофазного восстановления. Разработанная в НМетАУ модель построена на материальном и тепловом балансах процесса. Поскольку главным в модели является расчёт требуемого расхода угля на выплавку единицы чугуна, ключевой элемент модели – это анализ тепловой работы агрегата ПЖВ. Для универсализации модели предусматривается возможность использования нагретого дутья и подачи угля как на поверхность шлака, так и в глубину шлаковой ванны в виде пылеугольного топлива совместно с окислителем. Кроме того, для обеспечения возможности практически полного дожигания в рабочем пространстве агрегата ПЖВ угля, подаваемого на поверхность шлака, в случае, если заданная степень дожигания превышает 70% (это предельно возможная степень дожигания топлива в однованных агрегатах типа Romelt и Ausiron) предусматривается переход на моделирование ПЖВ в двухванном агрегате. При этом первая по ходу шихты ванна предназначена для плавления и частичного восстановления железорудных материалов при полном дожигании отходящих газов, а вторая ванна, куда подаётся уголь, – для окончательного восстановления до железа за счёт углерода угля с частичным дожиганием выделяющихся газов. Возможность предварительного нагрева и сушки шихты не предусматривается, поскольку такой вариант, как показали наши

проработки и расчёты, является технически слишком сложным и экономически нецелесообразным.

Моделирование начинается с расчёта удельного расхода шихты по балансу железа, а также количества и состава первичного расплава. Затем рассчитывается зональный тепловой дефицит процесса, включая затраты теплоты на испарение и нагрев влаги шихты и топлива, на восстановление углеродом оксидов железа, на нагрев до заданных температур шлака и чугуна.

Удельный расход угля на выплавку чугуна вычисляется по балансу теплоты с учётом дополнительного расхода углерода угля на восстановление оксидов железа и науглероживание чугуна, а также возможного уноса угольной пыли с дымовыми газами. Баланс теплоты учитывает теплосодержание нагретого дутья, унос теплоты отходящими газами и, естественно, потери теплоты на охлаждение агрегата. На каждом этапе горения рассчитываются состав образующихся газов и химическая теплота продуктов неполного горения. Суммарное теплосодержание отходящего дыма (физическое + химическое) используется в дальнейшем для расчёта количества вырабатываемой электроэнергии. КПД электрогенерирующего комплекса принимается, исходя из расчёта возможности использования парогазового цикла в связи с составом отходящего газа.

Результаты решения задачи выбора оптимальных параметров процесса жидкофазного восстановления железа зависят главным образом от накладываемых ограничений и соотношения цен на различные энергоносители, что видно из приведенных рисунков.

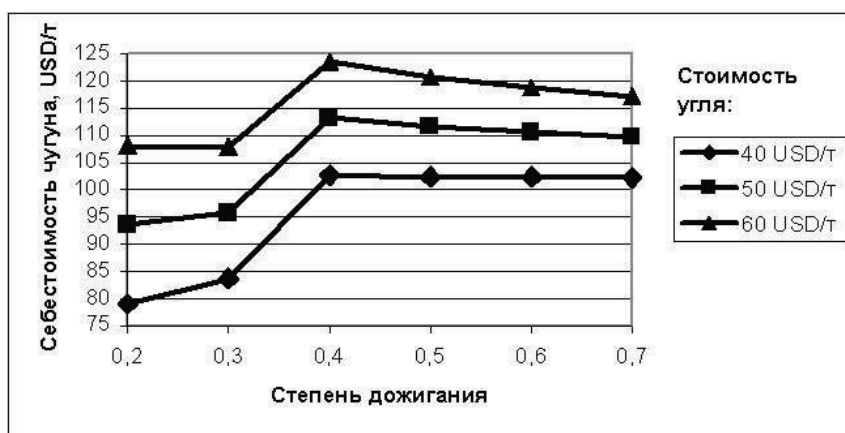


Рисунок 1 - Зависимость себестоимости чугуна от степени дожига газа в рабочем пространстве агрегата ПЖВ при разных ценах на уголь

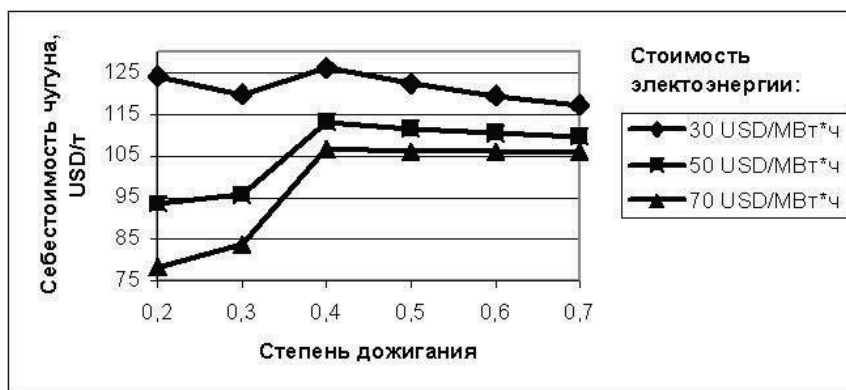


Рисунок 2 - Зависимость себестоимости чугуна от степени дожига газа в рабочем пространстве агрегата ПЖВ при разных ценах на электроэнергию

На рисунках 1–6 показаны для примера результаты расчёта себестоимости чугуна, выплавляемого по технологии, близкой к технологиям Romelt и Ausiron, при использовании железорудного концентрата, концентрата тощих углей, разделяемого на фракции и частично вдуваемого в шлак, а также нагретого дутья. Варьирование значений отдельных параметров осуществлялось здесь при поддержании на постоянном базовом уровне значений других параметров, в частности: степени дожига газа в рабочем пространстве печи 0,5; температуры дутья 1000 °С; содержания кислорода в дутье 21%. Диапазон изменения расхода угля для всех просчитанных вариантов составил от 740 кг/т чугуна до 1100 кг/т чугуна.

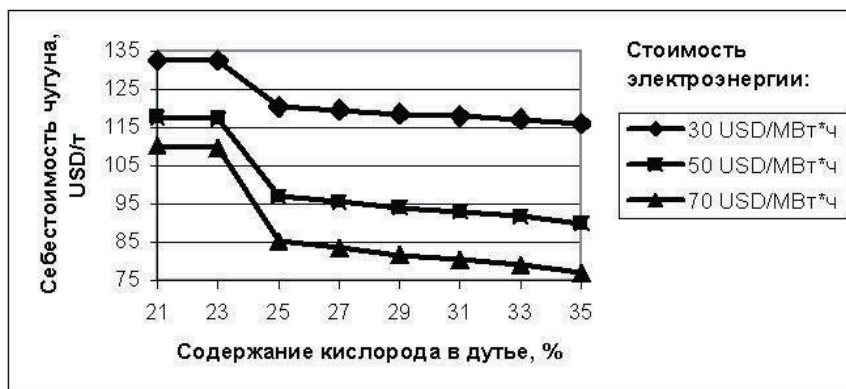


Рисунок 3 - Зависимость себестоимости чугуна от содержания кислорода в дутье при разных ценах на электроэнергию

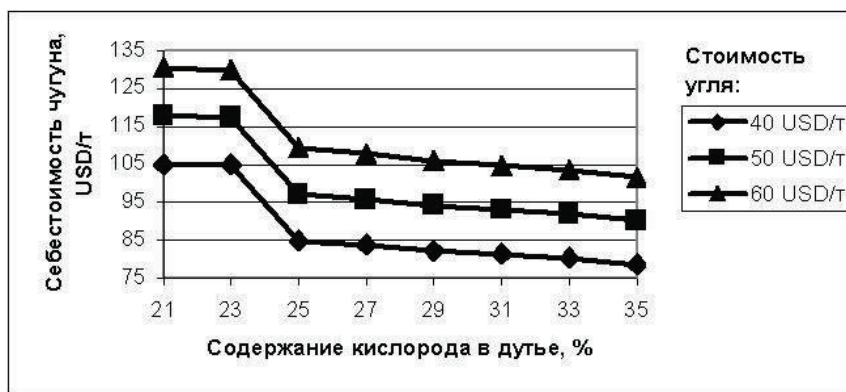


Рисунок 4 - Зависимость себестоимости чугуна от содержания кислорода в дутье при разных ценах на уголь

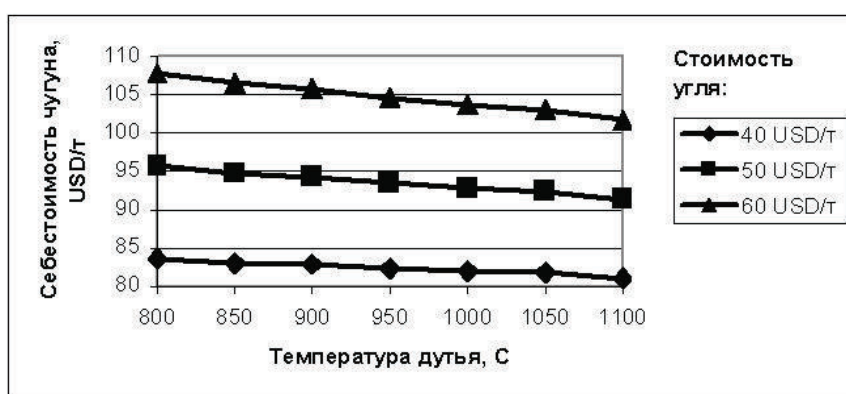


Рисунок 5 - Зависимость себестоимости чугуна от температуры дутья при разных ценах на уголь

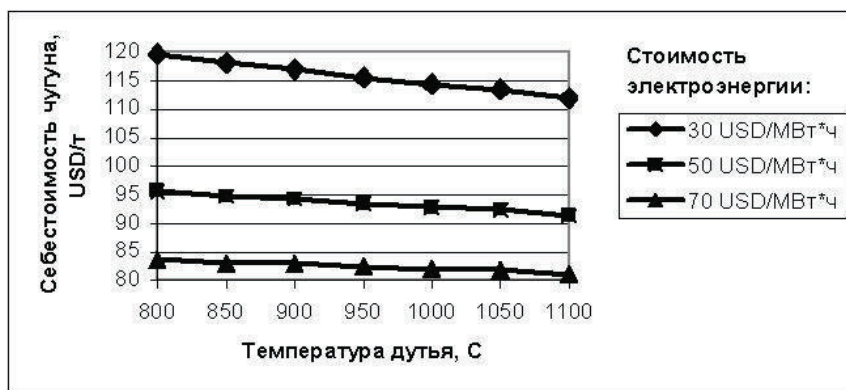


Рисунок 6 - Зависимость себестоимости чугуна от температуры дутья при разных ценах на электроэнергию

Влияние на себестоимость чугуна вида железорудного сырья – не очень существенное в условиях Украины. Себестоимость выплавляемого чугуна при использовании почти бесплатных шламов оказывается даже несколько выше, чем при использовании железорудных концентратов, так как экономия на сырье значительно перекрывается стоимостью угля, расходуемого в большем количестве

из-за более высокого удельного выхода шлака и большей влажности шламов.

При существующем в настоящее время соотношении цен на уголь и электроэнергию снижение степени дожигания газа в рабочем пространстве агрегата от 0.4 до минимально допустимого и повышение концентрации кислорода в горячем дутье от 23 % до 25 % значительно понижают потенциальную себестоимость чугуна в связи с возможным при этом переходе с парового на парогазовый цикл производства электроэнергии.

При существенном снижении цены на вырабатываемую электроэнергию, что неизбежно, если её продавать электрораспределяющим компаниям, а не потреблять на собственные нужды, сокращая тем самым расход покупной электроэнергии, повышение концентрации кислорода в дутье и изменение степени дожигания газа слабо влияют на себестоимость чугуна.

Увеличение температуры дутья экономически выгодно при любых ситуациях. При этом снижение себестоимости чугуна больше при высокой цене на уголь (рис.5) и при низкой цене на вырабатываемую электроэнергию (рис.6).

Работа агрегатов жидкофазного восстановления может быть максимально эффективной рядом с доменными печами, так как в этом случае можно легко осуществить нагрев дутья за счёт доменного газа, что позволяет существенно уменьшить удельный расход угля и в значительной мере сократить расход технического кислорода.

Минимизировать капитальные затраты на создание промышленных агрегатов жидкофазного восстановления железа можно, если строить их на базе выводимых из эксплуатации неэффективных доменных печей с максимальным использованием их инфраструктуры: воздуходувок, воздухопроводов, газопроводов, воздухонагревателей, литейных дворов, газоочисток, шихтоподач, железнодорожных путей, а также электрогенерирующих мощностей ТЭЦ. Вполне возможно в конструкциях агрегата ПЖВ ограничиться использованием в основном существующего хорошо освоенного оборудования доменных печей и кислородных конвертеров.

Выводы

1. Модельные расчёты доказывают, что в условиях Украины выплавка чугуна в агрегатах жидкофазного восстановления – значительно выгоднее, чем в доменных печах.

2. Наиболее рациональным является освоение технологии жидкофазного восстановления железа в действующих доменных цехах при использовании доменного газа для нагрева дутья и практически всей инфраструктуры выводимых из эксплуатации доменных печей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роменец В.А. Новые перспективы производства металла: состояние и перспективы. // *Металлург.*–2001.–№11.–С.30–38.
2. Курунов И.Ф., Савчук Н.А. Состояние и перспективы безкоксовой металлургии железа. - М.: Черметинформация, 2002.–198с.
3. Тараканов А.К., Иващенко В.П. Тенденции и перспективы развития производства чугуна в Украине. // *Сталь.*–2002.–№8.–С.13–16.
4. Поведение угля в шлаковой ванне печи Ромелт / А.В.Баласанов, А.Б.Усачёв, В.Е.Лехерзак и др. // *Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.*– 1999.– №7.–С.12–17.
5. Роменец В.А. Процесс жидкофазного восстановления железа: разработка и реализация. // *Сталь.*–1990.–№8.–С.20–27.
6. Процесс Ромелт / Под ред. В.А. Роменца. - М.: МИСИС, Издательский дом “Руда и металлы”, 2005. - 400с.
7. Bates P., Coard A. HIs melt, the future in ironmaking technology. // *Proceedings of the 4-th European Coke and Ironmaking Congress. June 19–22, 2000. Paris, France. Vol.2.* - P. 597–602.

Получено 12.03.2008 г.