

2. Буженица Г. Вынесут ли металлурги бремя долгов? // Рынок ценных бумаг, № 5-6, 2009 г., С.19-22.

3. Новости рынка металлов 10.02.2009 г. // URL: http://www.metaltorg.ru/news/market_show.php?id=10037785&date=1234244400

4. Билибина Е. Металл подвел «Инпром» // Электронная версия газеты «Ведомости», № 57 (2327), 01.04.2009 URL: <http://www.vedomosti.ru/newspaper/article.shtml?2009/04/01/188939>

5. Литвинов А., Биянова Н., Герасимова А., Мокроусова И. Малые не сдаются. // Аналитический деловой еженедельник «SmartMoney» № 15(153) 27.04.2009. С.12-15.

6. Кризис — это война. Петр Авен, президент Альфа-банка. // Электронная версия газеты «Ведомости», № 58 (2328), 02.04.2009

URL: <http://www.vedomosti.ru/newspaper/article.shtml?2009/04/02/189141>

7. Руднев М., Берязева М. Прокуроры вернут зарплату. № 74 (2344) 24.04.2009, Электронная версия газеты «Ведомости» <http://www.vedomosti.ru/newspaper/article.shtml?2009/04/24/192871>

8. Домодоран Асват. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов / Пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. — 1342 с.

УДК 669

Перспективные пути технического прогресса в электросталеплавильном производстве

© 2009 г. А. Я. Стомахин, Г.Н. Еланский, Д. Г. Еланский*

На протяжении последних предкризисных лет электросталеплавильное производство развивалось опережающими темпами. Как видно из данных, приведенных в таблице (составленной по данным ОАО «Черметинформация»), в России в 2007 г. общее производство стали увеличилось по сравнению с 2006 г. на 2,2%, а объем производства электростали — на 18,6% (на 3 млн т.). Основной вклад в такое увеличение производства электростали внесли: Магнитогорский, Оскольский, Челябинский комбинаты и «Северсталь» [1].

Такая же тенденция видна и по результатам первого полугодия 2008 г. Производство электростали за этот период (по сравнению с аналогичным периодом 2007 г.) увеличилось на 12%, а конвертерной стали — только на 4,5% [2].

Из наблюдаемой конкуренции двух ведущих сталеплавильных процессов не следует делать вывод о том, что один процесс лучше, а другой — хуже. В чем-то лучше один, в чем-то — другой. Иногда говорят: «Электроплавка — это производство низкокачественного металла, с повышенным содержанием меди и других неудаляемых примесей. А, вот, конвертер да-

ет понастоящему чистую сталь!». Не так давно, кстати, когда в электропечах плавил лишь относительно небольшое количество специальных сталей (мало-производительным двухшлаковым процессом), низкокачественными считали, наоборот, конвертерную и мартеновскую сталь. Такие оценки — не для специалистов!

Проблема неудаляемых примесей — это проблема не агрегата, а шихты, точнее, загрязненного такими примесями металлолома. Электропечи могут работать на более чистой по неудаляемым примесям шихте — с повышенной долей металлизированных окатышей, брикетов или чугуна (желательно жидкого). Наглядный пример — опыт применения металлизированных окатышей на Оскольском электрометаллургическом комбинате. На строящихся заводах планируется этот опыт расширять.

Достигнутый прирост объема электросталеплавильного производства обусловлен не только сооружением новых печей и цехов, но и значительным повышением их технического уровня, обеспечившим улучшение технико-экономических показателей. К числу технических достижений можно отнести, например, разработку и широкое распространение стеновых фурм-горелок. Изготовители называют их по-разному, но суть в основном одна — возможность работы не только в режиме газо-кислородной горелки, но и в режиме кислородной фурмы с удлиненной струей (в 3 раза длиннее обычной — до 1,5 метров). Это обеспечивается формированием струи в «пламенном кон-

* А.Я. Стомахин — д.т.н., профессор кафедры «Металлургия стали и ферросплавов» МИСиС.

Г.Н. Еланский — д.т.н., профессор МГВМИ.

Д.Г. Еланский — к.т.н., доцент кафедры «Металлургия стали и ферросплавов» МИСиС.

Объем и доля производства стали в России различными методами в 2007 – 2008 гг.

	Общее производство 2007/2008 г	в электропечах 2007/2008 г	в конвертерах 2007/2008 г	в мартеновских печах 2007/2008 г
объем, млн т	72,4/38,2	19,3/10,7	41,2/21,9	11,9/5,6
доля в %	100/100	26,7/28,0	56,9/57,2	16,4/14,8

верте». Втягивание в кислородную струю из окружающего пространства высоконагретого газа с малой плотностью разрушает струю не так быстро, как втягивание газа из обычной атмосферы печи¹). Фурменный режим успешно используют не только для прожигания отверстий в шихте, но и для вспенивания шлака (с подачей углерода специальным инжектором), а также для продувки (обезуглероживания) ванны.

На проектируемых большегрузных печах устанавливают до 8 таких фурм-горелок и до 5 инжекторов углерода. По данным [3] на 300 тонной печи с таким оборудованием (выпуск 250 т.) планируется производство 2,4 млн т. стали в год (320 т/час). Мощность трансформатора – 300 МВА, длительность плавки от выпуска до выпуска – 47 мин., под током – 36 мин., расход электроэнергии – 340 ÷ 390 кВтч/т, кислорода – 40 ÷ 45 м³/т.

Среди многих других важных технических решений, применяемых на современных печах, следует отметить вспенивание шлаков для уменьшения тепловых потерь и агрессивного воздействия дуг на футеровку, а также для защиты ванны металла от поглощения азота.

На многих печах успешно применяют донную продувку металла аргоном для перемешивания. Альтернативой такому перемешиванию является только использование печей постоянного тока, обладающих рядом других преимуществ по сравнению с печами переменного тока, обусловленных высокой стабильностью дуг и упрощением конструкции печи при использовании одного графитированного электрода. Следует отметить, что за рубежом после некоторого снижения интереса к печам постоянного тока в последние годы снова наблюдается рост интереса к ним. На самой крупной в мире 420 тонной электропечи, которая должна быть введена в 2009 г. на заводе компании Tokyo Steel в Японии, выбор сделан в пользу постоянного тока [4].

В целом, проделанная в России в последние годы большая работа по сооружению и освоению новых мощностей обеспечила существенный прогресс в повышении технического уровня производства.

¹ Следует отметить, что идея удлинения сверхзвуковой струи за счет окружения ее пламенем («жесткий ламинарный факел») была высказана впервые и исследована советскими учеными Г.Т. Цыганковым, С.И. Авериним и И.Д. Семикиным (А.С. 231695, СССР, приоритет от 01.10.1965 г.). Однако довести ее до практического использования им не удалось.

Однако, показатели работы отечественного оборудования часто отстают от уровня лучших зарубежных образцов. Для дальнейшего улучшения технико-экономических показателей электроплавки необходимо обратить особое

внимание на организацию производства: на логистику, на уменьшение простоев, на качество работы персонала, на его обучение и мотивацию.

Остаются и нерешенные пока технические проблемы, на которые специалистам необходимо обратить особое внимание. Среди этих проблем нужно указать в первую очередь на следующие:

- большой угар металла при активном использовании кислорода (до 10 – 15%) и связанное с ним интенсивное образование пыли (бурого дыма);
- недостаточная эффективность дожигания в печи отходящего газа путем вдувания в печь струи кислорода;
- значительные потери тепла через водоохлаждаемые своды и стены печей, особенно в малотоннажных печах с относительно высокой удельной поверхностью.

Для уменьшения угара и пылеобразования перспективным направлением является снижение прямого воздействия кислорода на еще не расплавленный металлолом.

Существующая практика дожигания отходящего газа нуждается в коренном изменении. Она настолько нерациональна, что на заводах полностью потеряли к ней интерес. В самом деле, во-первых, струя всасывает в себя и дожигает очень малую долю отходящего газа; во-вторых, газ очень плохо излучает, гораздо хуже твердого тела – огнеупора; в-третьих, направление струи на шихту для передачи тепла приводит к окислению металла и к обратному восстановлению при этом CO₂ до CO.

Один из способов совершенствования процесса дожигания (с применением вихревых инжекторов кислородно-воздушной смеси) был разработан в Московском институте стали и сплавов и успешно опробован на ДСП-100 Новолипецкого меткомбината [5]. К сожалению, в связи с ликвидацией цеха работа была прекращена.

Что касается уменьшения тепловых потерь через водоохлаждаемые элементы печи, перспективны, по-видимому, различные комбинированные конструкции. Это могут быть, например, своды, в которых часть поверхности выполняется из огнеупорных материалов, а участки, наиболее подверженные износу, остаются водоохлаждаемыми. Да и эти участки можно, видимо, защитить огнеупорами, хотя бы на часть кампании печи.

Можно сказать, что в последние годы совершенствование технического уровня электросталеплавленного производства происходило экстенсивно

– путем увеличения доли современных печей и доли известных прогрессивных решений в проектируемых новых агрегатах. Не отвергая этот путь, в новых условиях, когда перестают действовать такие факторы, как низкая стоимость ресурсов и низкая оплата труда, для сохранения и укрепления конкурентоспособности производства необходимо всё-таки больше внимания уделять интенсивному – ускоренному техническому прогрессу, основанному на использовании радикальных, в первую очередь, отечественных инноваций. Некоторые из таких возможных инноваций это – процесс получения жидкого чугуна для заливки в электропечи мини-заводов, эффективный процесс дожигания отходящего газа. Многие другие пути можно будет найти, если бизнес или госпредприятия будут реально заинтересованы в повышении конкурентоспособности производства.

Из зарубежных достижений, заслуживающих первоочередного внимания и реализации в отечественном электрометаллургическом производстве, следует назвать процесс «Констил» [6]¹ Процесс известен уже давно – первая установка была введена в действие в 1989 г., первым публикациям – более 10 лет. Однако в России процесс «Констил» длительное время считали почему-то просто еще одним способом предварительного нагрева лома. В действительности же главное в другом. Прежде всего это процесс с постоянной работой дуг на жидкий металл, находящийся под слоем вспененного шлака, без обычного периода расплавления металлолома. Он чем-то похож на процесс расплавления непрерывно загружаемых металлизированных окатышей в жидкой ванне, приспособленной для обычного лома. Ванной служит расплав, оставляемый в печи после выпуска очередной плавки – около 30% вместимости печи (не менее). Возможность использования обычного лома у многих и сейчас вызывает недоверие, но авторы настаивают на этом, ссылаясь на богатый опыт использования процесса, в частности, в Китае.

Что касается подогрева лома, то это – естественное необходимое условие загрузки его в жидкий металл. Проблема решена оригинально. Загрузка производится конвейером через окно в боковой стенке печи. Автоматическое управление скоростью движения лома основано на измерении веса ДСП в режиме «он-лайн». Температура отходящих газов регулируется так, чтобы не переохладить их и не подогревать снова (как в шахтных дуговых печах) под закалку продуктов разложения диоксинов и фуранов.

На сегодняшний день установленная мощность мировой выплавки жидкой стали с использованием технологии «Констил» составляет около 30 млн. тонн в год, включая предприятия, находящиеся на стадии проектирования и пуска, а за всю историю существования технологии печи «Констил» произвели более 80 млн. т. жидкой стали. Наиболее быстрыми темпа-

ми технология распространялась в Китае, где на сегодня в эксплуатации находится уже 10 установок «Констил».

Производительность одной печи «Констил» планируется довести в ближайшем будущем до 360 т/час. Печь постоянного тока с такой производительностью сооружается в новом сталеплавильном цехе компании «Tokyo Steel», строящемся в Японии. Печь будет иметь вместимость 420 т, номинальную массу металла на выпуске 300 т. Система будет введена в эксплуатацию к середине 2009 г.

В России первая 120 тонная установка «Констил» заказана для Ашинского металлургического завода. Это первая система «Констил», которая будет установлена в Восточной Европе.

Успехи и перспективы дальнейшего распространения процесса «Констил» обусловлены серьезными его преимуществами, важнейшим из которых являются следующие:

1. Высокая стабильность дуг при горении их на жидкий металл.
 2. Нагрев металлолома до средних температур 300-400 °С с обеспечением температуры отходящих газов на уровне 900°С, достаточной для их последующей закалки.
 3. Возможность рафинирования расплава в течение почти всей продолжительности плавки (важно при рафинировании чугуна).
 4. Отсутствие потерь времени и энергии во время завалки.
 5. Возможность варьирования массой плавки (важно для литейных цехов).
- В результате использования этих преимуществ достигаются:
- уменьшение шума,
 - уменьшение вредных воздействий на электроcеть и, следовательно, облегчение проблем с подключением печей к сети,
 - уменьшение угара,
 - уменьшение энергетических затрат и, следовательно, возможность снижения на треть мощности трансформаторов,
 - использование в шихте практически любого количества чугуна.

На ряде отечественных заводов, имеющих доменные печи, в 2007 г. в шихте электропечей использовали от 24 до 28 % жидкого чугуна. При этом в противоположность использованию окатышей или брикетов добивались не только уменьшения загрязненности стали примесями цветных металлов, но и экономии электроэнергии и/или увеличения производительности. Эти две альтернативные возможности не стоит забывать при анализе полученных результатов. Преимущества жидкого чугуна – не только в дополнительном тепле. В отличие от продуктов твердофазного восстановления он не вносит в шихту пустую породу, а это (вместе с необходимой дополнительной известью) – 12% дополнительного шлака даже при использовании самых лучших железорудных концентратов.

¹ В переводе допущена ошибка: слова «горячий металл» следует понимать как «жидкий чугун».

Долю жидкого чугуна в шихте электроплавки можно существенно увеличить. Так описанный выше «Констил-процесс» — позволяет использовать по опыту китайских металлургов практически любое количество чугуна. Это достигается за счет того, что расплавление твердой шихты проводится в металлической ванне под слоем вспененного шлака. Удаление углерода, вносимого чугуном, производится при этом в течение почти всего времени плавки, а не ограничивается коротким периодом продувки металла перед выпуском.

Важной задачей является эффективное решение проблемы обеспечения электроплавки жидким чугуном на заводах, не имеющих доменных печей. Особенно важно это для мини-заводов, создаваемых часто в регионах, не имеющих развитого металлофонда и, соответственно, — больших запасов металлолома.

Некоторые доменщики говорят о возможности использования на мини-заводах мини-домен. Интересное (с точки зрения экологии) предложение было выдвинуто в свое время в Бразилии — мини-домны на древесном угле, получаемом из древесины выращенных на специальных плантациях быстрорастущих эвкалиптов. Джунгли при этом не уничтожаются. Возобновляемые эвкалипты, как и джунгли, поглощают углекислый газ и продуцируют кислород. К сожалению, какие либо сообщения о реализации этой идеи и, вообще, об эффективном применении мини-домен в последние годы авторам не встречались. Ведь, быстрорастущие виды деревьев можно было бы найти и в России.

Для решения проблемы обеспечения мини-заводов жидким чугуном необходимо освоение новых процессов — бездоменного получения чугуна. В нашей стране имеются для этого уникальные условия. Есть отечественная разработка — процесс одностадийного получения чугуна — Ромелт [7], работоспособность которого доказана многолетней работой опытного агрегата на НовOLIпецком металлургическом комбинате. Нашлись специалисты, которые разработали этот уникальный, новый процесс и опробовали его в самых различных режимах на глазах у металлургов всего мира, специально приезжавших на опытную установку в Липецк.

Попытки промышленной реализации процесса (нашими специалистами) предпринимались, к сожалению, только за рубежом. Довести их до создания установки до сих пор не удалось. В Индии — по коммерческим причинам (хотя все технические вопросы были разрешены). В Мьянме работа идет, но очень медленно. А отечественные инвесторы ждут, результатов из Мьянмы, не понимая, что липецкого опыта вполне достаточно для того, чтобы продолжить дело реализации процесса в России. Когда фирма VAI начала продвижение своего процесса «Корекс» — конкурента «Ромелта», сведений о нем было не больше. Однако процесс, благодаря мощи и активности VAI, пошел, несмотря на его существенные недостатки по сравнению с «Ромелтом». Он значительно

сложнее (как все двухстадийные процессы), и требует, в отличие от «Ромелта», использования кокса.

Почему у нас нет таких фирм, как VAI, которые могли бы, наряду с поставкой традиционного оборудования, браться за продвижение и радикально новых проектов? Ведь все, что теперь стало традиционным, появлялось именно из таких инициатив!

В первую очередь подобных фирм практически нет потому, что они не востребованы отечественным бизнесом. В наших условиях (как в советские времена, так и сейчас) выгоднее построить завод на базе вчерашних, но хорошо отработанных зарубежных решений, чем брать на себя риск, связанный с инновациями. Ведь конкуренцию на рынке удастся выигрывать и без инноваций, за счет других факторов.

По данным [8] в последние годы затраты на производство стали в России были в 1,4 ÷ 1,6 ниже, чем в странах ЕС, США и Японии. И это, несмотря на более низкую производительность труда (по крупнейшим предприятиям — в 1,2 раза ниже, чем в ЕС, в 1,8 раз ниже, чем в США), несмотря на более высокую материалоемкость и энергоемкость продукции. Достигается за счет более низкой оплаты труда (в 4 ÷ 5 раз ниже, чем в ЕС, в 6 ÷ 7 раз ниже, чем в США), за счет более низких амортизационных отчислений (2,2% вместо 7 % в ЕС и США), и за счет более низкой стоимости материалов и энергетических ресурсов (по металлолому — в 1,3 раза).

Зачем в таком случае заниматься техническим прогрессом? Зачем идти на риск даже кратковременной неудачи, брать на себя дополнительные хлопоты и затраты?

В результате вместо лидерства мы имеем «кладбище» изобретений. Борьба с этим только декларируется. Она ведется не с той стороны баррикады, прочно стоящей между наукой и производством. Надо сделать так, чтобы потребители были заинтересованы в инновациях, без которых невозможно было побеждать в конкурентной борьбе. Никакая активизация разработчиков ничего не даст, если потребители не будут заинтересованы в инновационных разработках.

Однако, появляется надежда! Времена, когда затраты на производство стали в России были существенно ниже, чем у конкурентов, кончаются.

По мнению авторов работы [8] (наших уважаемых экономистов и руководителей бизнеса: О.В. Юзова, А.М. Седых и С.З. Афонина): «В связи с подорожанием всех видов потребляемых и используемых ресурсов и недостаточным темпом повышения технического уровня уже в период до 2010 г., разница в уровне себестоимости и уровне рентабельности продукции между российскими и зарубежными компаниями может значительно уменьшиться». К этому следует добавить проблемы с экспортом, связанные с мощной экспансией Китая.

С незаслуженными конкурентными преимуществами придется прощаться. Нужно будет опираться на настоящий (радикальный) технический прогресс.

Возвращаясь к вопросу об оптимизации выбора шихты для электроплавки и к возможности использо-

вания для ее «освежения» первородных материалов, следует сказать, что этот вопрос надо решать на основе конкретного технико-экономического расчета: для конкретного завода, с конкретными поставщиками материалов, транспортными расходами, в конкретных ценовых условиях и т.д. Что касается использования жидкого чугуна, то его полезность в таких расчетах часто недооценивается, т. к. рассчитывают просто себестоимость различных наборов исходных материалов. А преимущества жидкого чугуна проявляются в значительной степени в ходе плавки. Он повышает производительность печи, снижает энергозатраты (благодаря вносимому теплу, отсутствию пустой породы, как в окатышах и брикетах, и еще благодаря улучшению условий работы дуг). Поэтому расчеты по оптимизации шихты надо доводить до получения стали: слитков или литых заготовок. Пример такого расчета приведен в работе [9].

Выводы

1. Развитие электросталеплавильного производства в России и в мире продолжается опережающими темпами. Прделанная в последние годы большая работа по сооружению и освоению новых мощностей обеспечила существенный прогресс в повышении технического уровня производства. Для дальнейшего улучшения технико-экономических показателей электроплавки необходимо обратить особое внимание на организацию производства: на логистику, на уменьшение простоев, на качество работы персонала, на его обучение и мотивацию.

2. Для сохранения и укрепления конкурентоспособности продукции в условиях, когда перестают действовать такие факторы, как низкая стоимость энергоресурсов и низкая оплата труда, необходим переход от экстенсивного развития – тиражирования и освоения передового зарубежного опыта к интенсивному – ускоренному техническому прогрессу,

основному на использовании радикальных, в первую очередь, отечественных инноваций.

3. Нерешенные проблемы, на которые специалистам необходимо обратить особое внимание:

- большой угар металла при активном использовании кислорода,
- недостаточная эффективность дожигания СО в отходящем газе
- значительные потери тепла через водоохлаждаемые своды и стены печей.

4. Инновационные разработки, которые можно рекомендовать к первоочередному освоению на отечественных заводах:

- процесс «Констил»,
- экономически эффективный процесс получения жидкого чугуна для заливки в электропечи перелдальных и мини-заводов.

Библиографический список:

1. Катунин В.В. // Черная металлургия. Бюл. Ин-та «Черметинформация», 2008, № 5, с. 29–25
2. «Информация руководителю», 2008, № 15, с. 11
3. MPT International, 2, 2008, p. 52
4. Danieli News, № 150, June 2007, Danieli Group
5. Стомахин А.Я., Лопатин О.П., Арутюнов В.А., и др.// «Сталь», № 2, 1999.
6. Аргента П., Корбелла М.// «Черные металлы», март, 2007.
7. Процесс Ромелт / под ред. В.А. Роменца – М.: •МИСИС•, Издательский дом «Руда и металлы», 2005, – 400 с.
8. Юзов О.В., Седых А.М., Афонин С.З. // Черная металлургия. Бюл. Ин-та «Черметинформация», 2008, № 4, с.29–36
9. Стомахин А.Я., Галкин В.И.// «Электрометаллургия» 2008, № 7, с. 34–37