

## РОЗДІЛ «МЕТАЛУРГІЯ. ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО»

УДК 669.184

КУЛИК А.Д., к.т.н., доцент  
КАЩЕЕВ М.А., к.т.н., доцент  
ПОХВАЛИТЪЙ А.А., ассистент

Днепродзержинский государственный технический университет

### О ТЕХНИЧЕСКОМ ОСНАЩЕНИИ ДВУХ КОНКУРИРУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАЗРЕВШИХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ КОНВЕРТЕРНОГО ПЕРЕДЕЛА (В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ)

**Введение.** Ранее [1, 2] была обоснована необходимость увеличения рафинировочного потенциала конвертерной технологии путем освоения двухшлаковой (второй шлак – белый, неокисленный) технологии. Выдвинуты следующие положения:

- последние десятилетия характеризуются повышенными темпами роста СП передела (рис.1), обусловленными высоким СПРОСОМ на стальную продукцию; в 80-ые годы конвертер и дуговая сталеплавильная печь (ДСП) преобразованы [3] в агрегаты для производства полупродукта; при этом конвертер продолжал оставаться агрегатом с одношлаковой технологией, а технология в ДСП постепенно трансформировалась из двухшлакового в одношлаковый процесс [2];
- на смену эпохе СПРОСА пришла эпоха ЦЕНЫ на сталь [4];

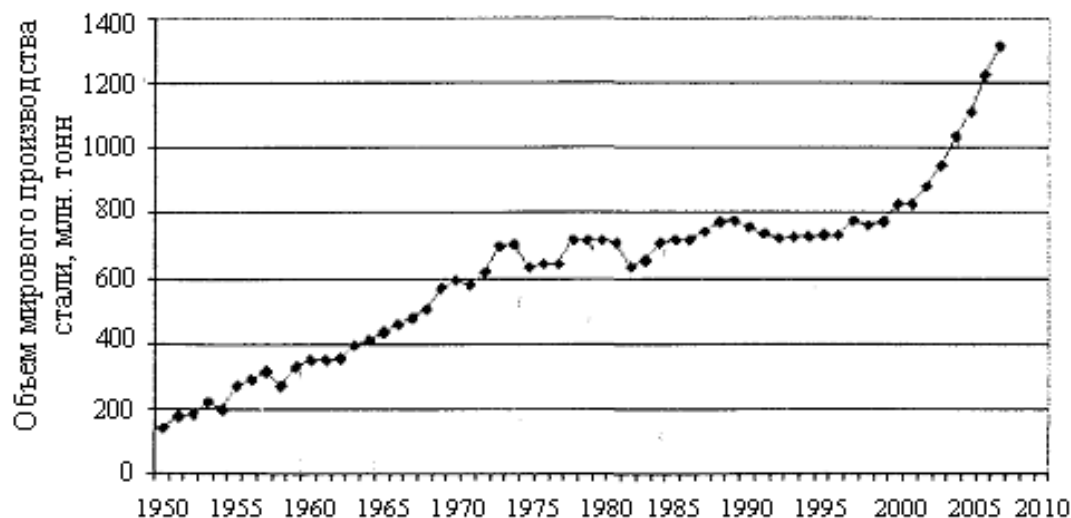


Рисунок 1– Увеличение мирового производства стали согласно [5]

- конвертерный агрегат продолжает оставаться ЛИДЕРОМ по простоте устройства и по быстрдействию протекающих в нем процессов, но его потенциал особенно для агрегатов большой единичной мощности еще не исчерпан;
- несмотря на меньшие объемы производства, электродуговой переплав (ЭДП) укрепил свое лидерство не только более широким сортаментом (практически весь спектр легированных сталей, что было всегда его прерогативой) и многими качественными показателям готовой продукции, но и по уровню производительности [6, 7, 8];
- становится все более актуальной проблема увеличения рафинировочного потенциала конвертерного передела: ввиду дальнейшего понижения качества стального лома оказалось, что применение чистого чугуна не гарантирует получение чистой стали [2].

**Постановка задачі.** Цель работы – акцентировать внимание специалистов на возникшем различии в оснащенности конвертерной и электродуговой технологий, на обострении проблемы конкурентоспособности конвертерной технологии.

**1. О темпах роста и роли ведущих технологий.** Из рис.1 следует, что в последние 8-10 лет (в 2010 году произведено 1,4 млрд. т стали, в 2011 – 1,53) темпы роста мирового производства стали оказались в 3,4 раза более высокими [5], чем в предыдущие годы. Этот факт таит в себе не столько позитивные, сколько негативные последствия для конвертерной технологии: 1) ввиду сохраняющегося лидерства и доминирования в ее структуре рядового сортамента мир продолжает насыщаться стальной продукцией умеренного качества (небольшой плюс в этом негативе – умеренное содержание в ней цветных примесей благодаря высокой доле чугуна); 2) общий рост производства стали увеличивает нагрузку на окружающую среду, особенно за счет выбросов CO<sub>2</sub>, ведущая роль в накоплении которых принадлежит опять же конвертерному процессу; 3) еще один минус – повышенные энергозатраты (в странах СНГ до 840 кг у.т./т, на Западе и в США – на 20-30% меньше).

При наличии столь существенных минусов позиции конвертерной технологии были ослаблены в последние десятилетия появлением сверхмощных ДСП с длительностью плавки до 35 ... 45 мин [7, 8], т.е. в дополнение ко всему потеряно лидерство по одному из важнейших показателей – производительности.

В связи с этим выполнили анализ технического уровня двух технологий и рассмотрели возможные пути повышения конкурентоспособности конвертерного производства.

**2. Сравнение уровней технической оснащенности технологий.** Достижения двух технологий и их оснащенность приведены в табл.1.

Отличия процессов начинаются с показателей, характеризующих возможности технологий по переработке исходной шихты (п.п. 3-5 в табл.1). Несмотря на многочисленные попытки интенсифицировать ЭДП увеличением доли жидкого чугуна до 60...70%, оптимальное значение этого параметра оказалось на уровне 20...40% [7, 9].

Анализ показателей по п.п. 2, 7 и 8 позволяет констатировать, что:

– **по длительности технологического цикла ЛИДЕРОМ продолжает оставаться конвертерная технология:** «продувка ванны кислородом» в 12-20 мин. составляет менее 30-50% от общей длительности плавки против почти 90% в условиях ДСП;

Таблица 1 –Уровень показателей и техническая оснащенность технологий

| Показатели   | Конвертерные технологии   | Электродуговой передел  |
|--|---|---|
| 1  | 2   | 3   |
| 1. Вместимость / производительность, тонн/млн.т (в работе 1-2 агрегата)  | 50 ... 400 /1,5 ... 3,0   | 100 ... 420/ 1,5 ... 3,0  |
| 2. Длительность плавки, мин:<br>– в том числе технологических циклов<br>(% от общей длительности)  | 35 ... 45<br><br>12 – 20 (35 – 50 %)  | 35 ... 45 [7, 8]<br><br>30 – 40 (85 – 90 %)                               |
| 3. Реальная доля лома, %   | 20 ... 30   | 70 ... 100  |
| 4. Реальная доля чугуна, %   | 70 ... 100  | 20 ... 40   |
| 5. Продукты прямого восстановления, %  | 20 ... 30   | 70 ... 100  |
| 6. Энергетическая активность   | а) агрегат-теплогенератор;<br>б) удельные энергозатраты<br>840 кг у.т./т [6]    | – агрегат-теплообменник;<br>– удельные энергозатраты<br>710 кг у.т./т [6] |
| 7. Условия для рафинирования:<br>а) объем рабочего пространства для образования ГШМЭ *)<br>б) эффективный удельный объем (э.у.о.), м <sup>3</sup> /т | а) до 90 % от общего объема;<br><br>б) 0,70 ... 1,20 ≈ 1,00 м <sup>3</sup> /т.– | а) менее 50 % общего объема;<br>б) ≈ 0,28 м <sup>3</sup> /т               |

Продолжение таблицы 1

| 1  | 2   | 3  |
|--|---|--|
| 8. Уровень технической оснащенности, оцениваемый по количеству устройств (шт.), обеспечивающих функционирование агрегатов: | – кислородных фурм – 1<br>– прибор для отсечки шлака – 1<br>– контрольно-измерительные фурмы(ф/зонд) – 1;<br>– торкрет и шлакообразующие фурмы – 1; | – электроды 1 – 3<br>– кислородных фурм 6 – 8;<br>– углеродных фурм 2 – 4;<br>– измерит. фурмы 1 – 2;<br>– торкрет и шлакообразующие фурмы 1 – 2;<br>– видеосистемы контроля рабочего пространства – 1 |
| а) вводимых сверху   | <b>Всего верхних устройств – 4</b>  | <b>Всего устройств 12–20;</b>  |
| б) вводимых снизу  | – донные фурмы 10 – 20;<br>Всего донных устройств 10 – 20   | – донных фурм 3 – 6;<br>– анкерное устр. для выпуска металла+защита – 1<br><b>Всего донных устр-в 3 – 7</b>  |
| <b>Общее количество устройств</b>  | <b>10 – 24</b>  | <b>15 – 27</b>   |

\*) ГШМЭ – газшлакометаллическая эмульсия

– по уровню энергетической и технической оснащенности, особенно верхнего строения агрегата, **ЛИДЕРОМ** является электродуговой переплав: общее количество технологических автоматически управляемых устройств в верхнем строении печи достигает 12-20 штук, что в 2-3 раза больше, чем в верхнем строении конвертера;

– **объем пространства для формирования ГШМЭ в условиях ДСП** значительно меньше, чем в конвертере, несмотря на то, что общий удельный объем по данным [7] достаточно велик:  $280 : 220 = 1,27 \text{ м}^3/\text{т}$ . Он диктуется во многом расстоянием от торца фурм до зеркала металла – не более 500 мм для 220-т печи с внутренним диаметром 8,7 м. Его **удельный эффективный объем** составляет  $V_{\text{у.э.о.}} \approx (V_{\text{Me}} + 0,500 \cdot S_{\text{зерк}}) / G = 0,28 \text{ м}^3/\text{т}$ , что почти в 4 раза меньше, чем для конвертера. Соответственно ниже рафинировочный потенциал дугового переплава, обязательным для этой технологии есть применение установок П-К, вакууматора, что не всегда является необходимым для первого.

**Результаты работы.** Сложившаяся ситуация в конвертировании: существенные недостатки и снижение уровня конкурентоспособности является достаточным поводом для продолжения поиска новых путей и приемов его совершенствования. Очевидно, что речь должна идти не только о **ДООСНАЩЕНИИ** конвертера новыми техническими средствами (это направление на наш взгляд еще не исчерпано), но и об **ОСВОЕНИИ** еще не раскрытых способов ведения плавки, а также о дальнейшей модернизации уже используемых элементов верхнего и нижнего строения конвертера (широко известны разработки в этом направлении Чернятевича А.Г. и других ведущих специалистов).

Акцентируем внимание (не претендуя на полноту и учитывая дискуссионный характер статьи) на следующих направлениях развития конвертерного передела:

**1. Освоение двухшлаковой условно названной «черно-белой»** (ч/б, с заменой окисленного шлака на неокисленный) технологии ведения плавки в связи с появлением резерва времени в эпоху пониженного спроса на сталь. Она обеспечит получение в конвертере предварительно раскисленного металла с содержанием  $[S] \leq 0,015-0,020\%$ . Это предложение упомянуто еще в конце 90-х в Трудах 4-го Конгресса сталеплавателей (г. Москва, 1997г.) и снова обосновано нами с других позиций в работах [1, 2].

В пользу этого предложения говорят данные о росте средней длительности плавки в современных цехах:

– в связи с проблемами синхронизации работы конвертера и МНЛЗ простой конвертера с металлом достигают 10-40 мин;

– из-за недостатка заказов коэффициент использования основного оборудования снижается до уровня 0,6-0,7 против проектного 0,8-0,9.

**2. Назревшим является вопрос расширения функций выпускного канала,** точнее оценки рафинировочного потенциала динамичного процесса выпуска металла из конвертера: он длится 5-10 мин, что составляет 30-60% от длительности главной операции – продувки ванны кислородом. Металлическая струя падает в ковш с высоты 5-10 м, производя одновременно негативный (разрушение футеровки) и позитивный (перемешивание металла) эффекты. Возможна ли модернизация этого звена технологии с целью минимизации негативного влияния и усиления позитивного? Было предложено изменить конструкцию выпускного канала и технологию выпуска таким образом, чтобы сформировать в его полости менее жесткий аргонометаллический ПОТОК. Холодное моделирование подтвердило эту гипотезу [10, 11]. Новое состояние струи обеспечивает более «мягкий» удар в днище ковша (это понятно априори) и создает термодинамические условия для протекания в ней важных процессов – дегазации и углеродного раскисления уже на стадии выпуска металла из агрегата.

Данная проблема не единственная для межагрегатного пространства (МАП) между леткой и днищем ковша. Архиважной является защита струи и сопряженные с ней проблемы.

**3. Широко применяемая для контроля состояния металла фурма-зонд в настоящее время не соответствует требованиям времени:**

- невозможен непрерывный контроль температуры и др. показателей, что практиковалось в подовых агрегатах и ныне применяется в ДСП [8];
- имеет место высокая стоимость одного замера.

Назрело время создания и применения (вместо фурмы-зонда) многофункционального (технологического и измерительного) доводочного фурменного комплекса (МФД-фурмы) для выполнения операций доводки (с обработкой газами) и непрерывного контроля состояния металла. Замена позволит повысить эффективность конвертирования при прежнем уровне оснащенности.

#### **Выводы.**

1. Конвертерная технология продолжает оставаться самым быстротечным рафинировочным переделом, при этом доля технологических операций в общем цикле плавки составляет 30-50% против почти 90% в условиях ДСП. Оба обстоятельства (быстротечность и резервы в развитии технологии: возможность получения содержания серы на выпуске  $\leq 0,015-0,020\%$ ; применение МФД-фурмы; модернизация выпускного канала и др.) необходимо использовать для сохранения ее высокой конкурентоспособности в новых условиях (в эпоху пониженного спроса на стальную продукцию).

2. Современный электродуговой передел, эксплуатируемый как переплавной процесс, достиг уровня производительности конвертерного передела благодаря высокой степени энерго- и технической вооруженности, чем значительно укрепил свое лидерство. Однако резервы для дальнейшего его роста практически исчерпаны, а проведение рафинировочных операций возможно только в сочетании с установками внепечной обработки. Высокоэффективная работа этого передела возможна только в условиях высокого и стабильного спроса на стальную продукцию.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Об альтернативном направлении развития конвертерной технологии / А.Д.Кулик, В.В.Несвет, В.П.Полетаев, А.А.Похвалитый // Экологическая безопасность: проблемы и пути решения: 6-ая Междунар. науч.-практ. конф., 6-10 сент. 2010 г., г. Алушта, АР Крым: сб. трудов. – Харьков, 2010. – С.241-245.
2. Наиболее «короткий» и экономичный путь к МНЛЗ обеспечит новая конвертерная технология / А.Д.Кулик, В.В.Несвет, Л.М.Учитель [и др.] // 50 лет непрерывной разливки стали в Украине: междунар. науч.-техн. конф., 4-5 ноября 2010 г.: сб. научн. тр. [под редакцией проф., д.т.н. Дюдкина Д.А., проф., д.т.н. Смирнова А.Н.]. – Донецк: ДонНТУ, 2010. – С.491-499.

3. McManus G. A new role for ladle metallurgy: high tonnage output / G. McManus // "Iron Age". – 1982. – № 16 (225). (РЖ 12В 629, 1982).
4. Афонин С.З. Современное состояние и перспективы мирового рынка стали / С.З.Афонин // Metallurg. – 2010. – №3. – С.5-9.
5. Большаков В.И. Новые технологии - основа развития металлургии / В.И.Большаков // МиГРП. – 2008. – №3. – С.1-3.
6. Тарди П. Перспективы современных сталеплавильных процессов с учетом обеспеченности шихтовыми материалами / П.Тарди, Д.Кароли // Черные металлы. – 2004. – №10. – С.14-21.
7. Готтарди Р. Электродуговая печь сверхвысокой химической мощности производительностью 320 т/ч / Р.Готтарди, С.Миани, А.Патрика, Б.Энгин // Черные металлы. – 2009. – №1. – С.22-26.
8. Сафонов В.М. Современный уровень и будущее электросталеплавильного производства / В.М.Сафонов, А.Н.Смирнов // Сталь. – 2009. – №1. – С.47-51.
9. Особенности работы дуговых сталеплавильных печей с применением жидкого чугуна / Ю.А. Ивин, А.Б. Великий, И.В. Саранчук и др. // Сталь. – 2008. – №7. – С.49-50.
10. Повышение эффективности технологии выпуска металла из конвертера. Сообщение 1. Модель взаимодействия струи с газом в полости летки / А.П.Огурцов, А.Д.Кулик, М.А.Кашеев, А.А.Похвалитый // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета (технические науки). – 2013. – №3(23). – С.21-26.
11. Повышение эффективности технологии выпуска металла из конвертера. Сообщение 1. Результаты моделирования процесса / А.П.Огурцов, А.Д.Кулик, М.А.Кашеев, А.А.Похвалитый // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета (технические науки). – 2013. – №3(23). – С.26-30.

Поступила в редколлегию 17.09.2013.

УДК 669.184.125

СИГАРЕВ Е.Н., д.т.н., профессор  
НЕДБАЙЛО Н.Н., соискатель  
БОРЩЕВСКИЙ Р.В., студент

Днепропетровский государственный технический университет

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАРНИСАЖНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ОШЛАКОВАНИЯ ФУТЕРОВКИ

**Введение.** В настоящее время на 250-т конвертерах кислородно-конвертерного цеха ПАО «ДМКД» в качестве основной применяется технология верхней продувки ванны по режимам с частичным и полным дожиганием отходящих газов с расходом кислорода 750-1000 м<sup>3</sup>/мин и 550-650 м<sup>3</sup>/мин соответственно через 5-ти сопловую фурму. При этом используемые дутьевой и шлаковый режимы ведения плавки предусматривают наведение шлака с повышенным содержанием MgO, пригодного для последующего нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера. Противоречивыми требованиями в этом случае являются одновременное обеспечение заданных значений температуры и содержания углерода, серы и фосфора в металлическом полупродукте перед выпуском в сталеразливочный ковш.

По окончании плавки, после выпуска металла в сталеразливочный ковш, подготовленный конечный шлак раздувается струями азота, истекающими из сопел верхней