

УДК 669.184

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОТСЕЧКИ КОНЕЧНОГО ШЛАКА ДЛЯ КОНВЕРТЕРА С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОРПУСОМ

Еронько С.П.¹, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механическое оборудование заводов
черной металлургии» (ersp@meta.ua)

Горбатюк С.М.², д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Инжиниринг технологического оборудования»

Ошовская Е.В.¹, к.т.н., доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии»

Стародубцев Б.И.¹, аспирант кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии»

¹ Донецкий национальный технический университет
(83001, Украина, Донецк, ул. Артема, 58)

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Рассмотрены требования, которым должен удовлетворять сталеплавильный агрегат для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов с высоким содержанием вредных примесей и обоснована целесообразность использования для него в качестве прототипа кислородного конвертера с вращающимся корпусом. С целью повышения эффективности работы такого конвертера предложено снабдить его системой газодинамической отсечки конечного технологического шлака, функционирующей в автоматическом режиме во время слива стали в разливочный ковш. Предлагаемая система конструктивно представляет собой сдвоенный рычажный механизм, обеспечивающий во время перелива металла в ковш через край горловины кислородного конвертера удержание на постоянном удалении от нее газораспределительной камеры с щелевыми соплами, из которых под избыточным давлением истекают плоские струи газа, направленные под заданным углом атаки к поверхности шлакового расплава, покрывающего сливаемую сталь. Благодаря динамическому воздействию этих струй на слой жидкого шлака, он оттесняется от края горловины наклоненного корпуса конвертера в направлении его донной части, т. е. удерживается в ванне плавильного агрегата. Синхронное движение структурных элементов рычажного механизма с торцевой частью горловины конвертера достигается путем силового взаимодействия упоров, жестко закрепленных на опорном кольце плавильного агрегата, с поворотными коромыслами, кинетически связанными с газораспределительной камерой. При этом включение в работу газодинамической системы отсечки шлака и ее остановка происходят автоматически посредством механической связи. После окончания выпуска стали шлак сливают в чашу, поворачивая корпус конвертера в обратную сторону от сталеразливочного ковша. Результаты экспериментальной проверки функционирования предложенной системы газодинамической отсечки конвертерного шлака, выполненной на действующей ее модели, подтвердили правильность принятых технических решений. Применение на практике данной разработки позволит в значительной мере снизить материальные потери, связанные с попаданием в разливочный ковш большого количества агрессивного конвертерного шлака (угар раскислителей и лигатур, интенсивный износ огнеупорной футеровки и возможность рефосфорации металла).

Ключевые слова: некачественная шихта, кислородный конвертер, агрессивный шлак, выпуск стали, газодинамическая отсечка шлака.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-11-863-869

Переработка некачественного амортизационного лома и металлосодержащих отходов с повышенным содержанием вредных примесей является на сегодняшний день актуальной задачей [1 – 3]. Для ее успешного решения необходимы специальные плавильные агрегаты, позволяющие при реализации технологического процесса осуществлять комплекс операций, обеспечивающих интенсивное перемешивание жидкой ванны, регулируемую подачу в нее порошкообразных реагентов, а также отсечку конечного шлака во время выпуска металла в разливочный ковш [4]. В различной мере перечисленным требованиям отвечает кислородный конвертер с корпусом, вращающимся относительно своей продольной оси, составляющей с горизонтальной плоскостью угол 20 – 25°. Благодаря своим конструктивным особенностям, данный сталеплавильный агрегат дает возможность перерабатывать шихту с долей металли-

ческого лома до 50 % и без ограничений относительно ее химического состава. Это обусловлено высокой интенсивностью протекающих в ванне конвертера тепло-массообменных процессов, достигаемой за счет механического перемешивания и применения требуемого количества реагентов, предварительно загружаемых в кусковом виде, а также подаваемых в порошкообразном состоянии в струе кислорода через наклонную фурму на зеркало расплава по ходу ведения плавки [5 – 7].

Вместе с этим, при оценке перспектив применения данного агрегата в составе мини-металлургического предприятия [8 – 12], ориентированного на получение продукции из металлосодержащих отходов, были установлены проблемы, требующие первоочередного решения для реализации такой технологии переработки низкокачественного сырья [13]. Одной из них является невозможность активного влияния на количество

конечного технологического шлака, попадающего в разливочный ковш во время выпуска стали. Из-за отсутствия у конвертера с вращающимся корпусом ставлевыпускного канала и слива по этой причине металла через его горловину, ни один из известных способов удержания в нем конечного шлака (с помощью шиберного затвора [14], пробок с газоподающим соплом [15], а также отсечных элементов поплавкового типа [16]) не может быть использован при выпуске стали из конвертера в разливочный ковш.

В связи с этим, в рамках действующего соглашения о научно-техническом сотрудничестве специалистами кафедр «Механическое оборудование заводов черной металлургии» ДонНТУ и «Инжиниринг технологического оборудования» НИТУ «МИСиС» выполнен комплекс исследований, связанных с созданием эффективной системы отсечки конечного шлака, предназначенный для перспективного образца мини-конвертера. В результате совместно проведенных работ предложена новая система (рис. 1), обеспечивающая реализацию в автоматическом режиме технологической операции по удержанию конечного шлака в плавильном агрегате с вращающимся корпусом. Она содержит два жестко взаимосвязанных между собой коромысла 11 и 21, закрепленных с возможностью поворота на горизонтальном валу 13, установленном в подшипниковых опорах 12, 20 на плитовине 18. При этом коромысла снабжены направляющими С-образного сечения 8, 22 с установленными в них роликами 5, закрепленными с возможностью вращения на торцевых частях цилиндрической газораспределительной камеры 9, имеющей щелевые отверстия 10 и жестко связанной с верхним концом газоподающей трубы 24. Нижний конец трубы закреплен в шарнирной опоре 1 и посредством трубопровода 23 соединен с запорным краном 19, кинематически связанным с горизонтальным валом 13 коромысел, на задних концах которых имеются контргрузы 14, 16, опирающиеся своей нижней частью на пружинные демпферы 15, 17. На передних концах направляющих С-образного сечения 8, 22 закреплены рычаги 3, 7. Конструкция узла крепления этих рычагов к направляющим С-образного сечения обеспечивает их жесткую связь при силовом воздействии на рычаги сверху и возможность относительно поворота на осях 2, 6 при воздействии на них снизу.

Данная система газодинамической отсечки шлака установлена на металлоконструкции перед кислородным мини-конвертером (рис. 1, 2) симметрично вертикальной плоскости, в которой лежит продольная ось его корпуса, выполненного глуходонным с горловиной в виде усеченного конуса. Корпус размещен с зазором в опорном кольце 11 на центрирующих роликах 10 и благодаря двум приводам, стационарно установленным со стороны опорных цапф, имеет возможность поворота на 360° в вертикальной плоскости, а также вращения относительно своей продольной оси симметрии. На опорном кольце по обеим сторонам горловины жестко закреплены два упора 8.

Кислородный мини-конвертер снабжен также системой вдувания порошкообразных реагентов в струе кислорода через водоохлаждаемую фурму 6, установленную на подвижную тележку 4 и имеющую механизм качания 5. Дозированную подачу мелкодисперсных материалов в тракт фурмы обеспечивает устройство, включающее вертикальный шнек 3, размещенный в нижней части бункера 2 и приводимый во вращение мотор-редуктором 1.

Во время ведения плавки (рис. 2) корпус мини-конвертера, вращаемый приводом относительно продольной оси, наклонен к горизонтальной плоскости,

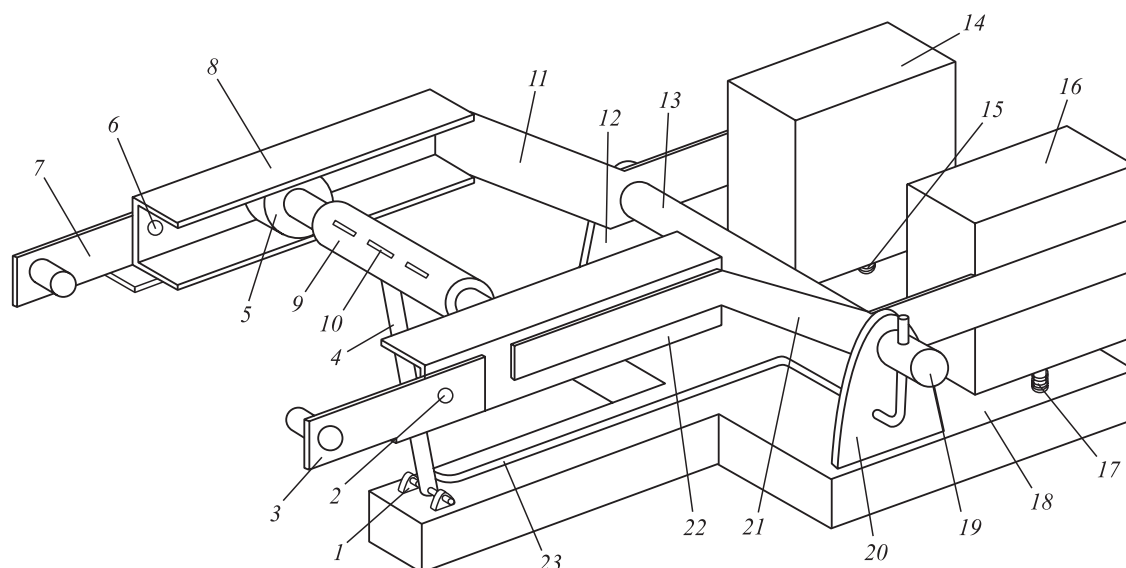


Рис. 1. Общий вид системы газодинамической отсечки шлака

Fig. 1. General view of the slag gas-dynamic cut-off system

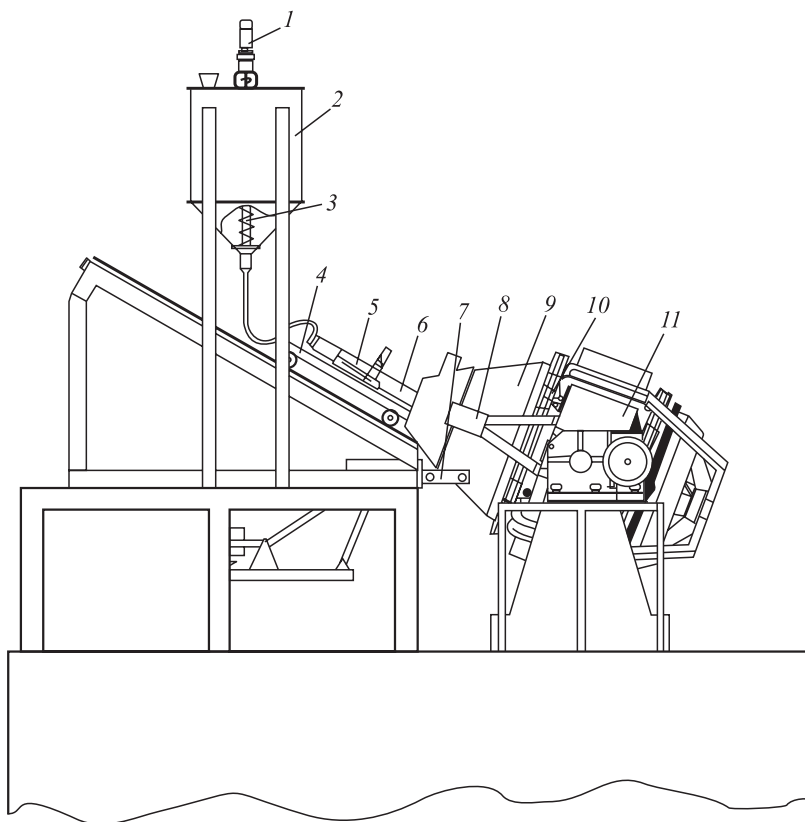


Рис. 2. Относительное положение структурных механизмов конвертера во время ведения плавки

Fig. 2. Relative position of the converter's structural mechanisms during melting

а закрепленные на его опорном кольце 11 упоры 8 находятся на заданном удалении над рычагами 7, связанными с С-образными направляющими системы газодинамической отсечки шлака. Благодаря вращению корпуса с заданной частотой, обеспечивается достаточно интенсивное механическое перемешивание предварительно загруженных в него твердой и жидкой частей шихты. При этом через фурму, заведенную через горловину конвертера в его полость и совершающую качательное движение в установленном секторе, в струе кислорода вдувают мелкодисперсные реагенты, образующие химические соединения с неметаллическими примесями, которые поглощаются наведенным шлаком.

По завершении плавки стали прекращают подачу реагентов в ванну конвертера (рис. 3), каретку 4 с фурмой 6 переводят в верхнее (исходное) положение и останавливают привод механизма вращения корпуса конвертера. После подачи с помощью сталевозной тележки 13 разливочного ковша 14 осуществляют в него выпуск металла, для чего корпус кислородного конвертера плавно поворачивают в вертикальной плоскости на цапфах в подшипниковых опорах. В момент подхода зеркала расплава к устью горловины 9 упоры 8, неподвижно закрепленные на опорном кольце 11, входят в зацепление сверху с рычагами 7 системы газодинамической отсечки шлака. Связанные с ними (см. рис. 1)

коромысла 11, 21 поворачиваются с валом 13 в подшипниковых опорах 12, 22, преодолевая силу тяжести контргрузов 14, 16. При повороте вала 13 автоматически происходит открытие кинематически связанного с ним запорного крана 19. От него по трубопроводу 23 под избыточным давлением в полость цилиндрической распределительной камеры 9 поступает газ (азот или воздух), истекающий с большой скоростью через щелевые отверстия 10, образуя плоские газовые струи, направленные под определенным углом к зеркалу расплава. Под действием динамического напора этих струй происходит оттеснение от устья горловины в полость конвертера слоя шлака, плавающего на поверхности жидкого металла, который сливается в разливочный ковш. Во время дальнейшего поворота корпуса конвертера для полного слива металла вместе с коромыслами осуществляют поворот направляющие С-образного сечения 2, 22. В результате цилиндрическая газораспределительная камера 9, посредством подающей трубы 4 связанная с шарнирной опорой 1, перемещается относительно направляющих на установленных роликах 5, закрепленных с возможностью вращения на ее торцевых поверхностях. При этом автоматически обеспечивается заданное (практически неизменное) удаление щелевых отверстий 10 газораспределительной камеры от зеркала металла в зоне устья горловины, что позволяет за счет газодинамического воздействия надежно

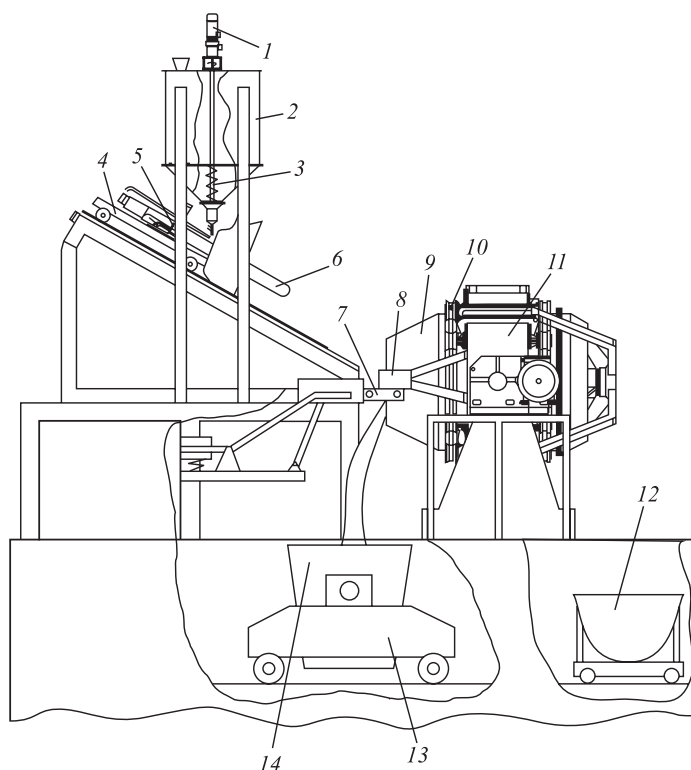


Рис. 3. Относительное положение структурных механизмов конвертера во время выпуска стали с обеспечением газодинамической отсечки конечного шлака

Fig. 3. Relative position of the converter's structural mechanisms during the steel tapping with gas-dynamic cut-off of final slag

удерживать шлак в полости конвертера, не допуская его попадания в ковш.

После окончания выпуска металла корпус конвертера поворачивают в обратном направлении для слива шлака в приемную чашу 12, установленную под ним с противоположной стороны от сталевоза с разливочным ковшом. При обратном повороте сталеразливочного агрегата коромысла 11, 21 и горизонтальный вал 13 под действием контргрузов 14, 16 поворачиваются в исходное положение, в котором происходит их остановка относительно плитовины 18 (без ударов, благодаря пружинным демпферам 15, 17). Также автоматически отключается подача газа за счет закрытия канала запорного крана 19, связанного с валом 13.

В случае полного поворота корпуса кислородного конвертера в сторону слива шлака рычаги 3, 7 под силовым воздействием упоров 8 снизу поворачиваются на осях 2, 6 относительно направляющих С-образного сечения 2, 22 и не препятствуют дальнейшему движению корпуса агрегата. В момент размыкания упоров 8 с рычагами 3, 7, последние под действием собственной силы тяжести поворачиваются на осях 2, 6 в обратном направлении и занимают исходное положение.

Для проверки правильности технических решений, принятых при создании новой системы газодинамической отсечки конечного шлака, использовали методы компьютерного [17–19] и физического моделирования, позволяющие устранить возможные конструк-

тивные недоработки еще в стадии ее проектирования. На основе выполненной 3D модели 10-т конвертера изготовили в масштабе 1:10 действующую модель, на которой симулировали работу его механизмов при реализации всех технологических операций, включая удержание конечного шлака во время выпуска металла в сталеразливочный ковш и последующий слив шлакового расплава в приемную чашу (рис. 4). С учетом имеющегося опыта [20], в ходе эксперимента жидкую сталь моделировали чистой водой, так как их кинематические вязкости одинаковы и равны $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ соответственно при 1550° и 20°C . Для имитации шлака с вязкостью $(10 - 33) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при 1595°C использовали минеральное масло с вязкостью $35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и плотностью 870 кг/м^3 при 20°C .

Сжатый воздух в цилиндрическую газораспределительную камеру подавали компрессором через ресивер, сглаживающий пульсации давления в сети. Давление воздуха на входе в камеру контролировали манометром, а расход фиксировали с помощью ротаметра.

Опыты на модели мини-конвертера проводили в следующей последовательности. Предварительно в полость модели плавильного агрегата поочередно заливали воду и минеральное масло, соотношение объемов которых устанавливали с учетом того, что в условиях реального сталеплавильного процесса к моменту его завершения массовая доля шлакового расплава может составлять 8–10 % массовой доли жидкой стали, а их

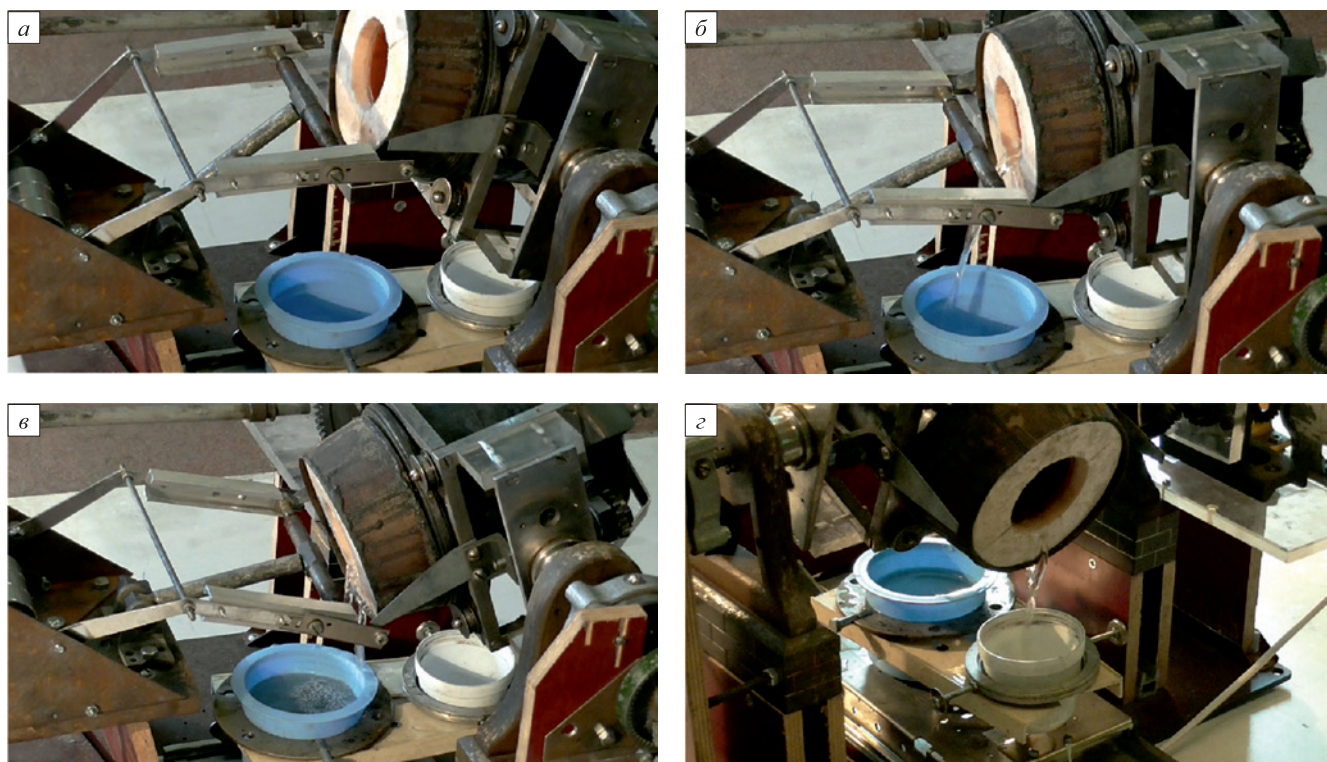


Рис. 4. Относительное положение элементов модели системы отсечки шлака и корпуса модели конвертера при имитации процесса выпуска плавки

Fig. 4. Relative position of the model elements of the slag cut-off system and shell of converter model at simulation of melting process

плотности соответственно равны 3,5 и 7 т/м³, т. е. перед началом выпуска плавки из 10-т конвертера в нем находится в жидком состоянии порядка 1,3 м³ металла и 0,25 м³ шлака. Поэтому в модели мини-конвертера при симуляции выпуска металла в ковш было 1,3 л воды и 0,25 л минерального масла.

Для осуществления перелива жидкости из модели плавильного агрегата, ее корпус с помощью электро-механического привода поворачивали в вертикальной плоскости (рис. 4, а). Во время поворота корпуса в описанной выше последовательности происходило автоматическое включение в работу модели системы газодинамической отсечки шлака (рис. 4, б). При этом в ее газораспределительную камеру под давлением 0,11 МПа с расходом 12 л/мин поступал воздух, истекавший из щелевых сопел, в результате чего возникали плоские воздушные струи, удерживавшие в полости модели агрегата минеральное масло во время слива воды в модель ковша (рис. 4, в). После завершения перелива воды осуществляли поворот корпуса модели конвертера в обратном направлении для слива из него минерального масла в модель шлаковой чаши (рис. 4, г). Затем с помощью мерной емкости измеряли объем имитатора шлака, оказавшегося в модели шлаковой чаши, и сопоставляли его с объемом масла, который заливали в модель конвертера перед началом опыта, в результате чего устанавливали обеспечиваемую степень отсечки имитатора шлака. Статистичес-

кий анализ результатов серии проведенных опытов (см. таблицу) позволяет сделать вывод о том, что в условиях модельных исследований предложенная система обеспечила отсечку 85 – 92 % имитатора шлака. При этом ее функционирование происходило в автоматическом режиме.

Информацию, полученную в результате экспериментальных исследований, использовали при подготовке рабочего проекта 10-т кислородного конвертера.

Выводы. Применение предлагаемого плавильного агрегата позволит реализовать высокоэффективную технологию переработки шихтовых материалов и металлосодержащих отходов практически любого химического состава, что обусловлено возможностью интенсификации тепло-массообменных процессов, протекающих в ванне конвертера и способствующих выделению из металла большого количества вредных примесей в шлак, удерживаемый за счет газодинамического воздействия на него в полости агрегата во время выпуска плавки. Благодаря этому исключаются повышенный износ футеровки разливочного ковша и значительный угар вводимых в него дорогостоящих раскислителей и легирующих добавок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорошенко Н.В., Бараненко В.В. Образование и использование лома черных металлов в мировом металлургическом производстве // Электрометаллургия. 2001. № 7. С. 27 – 36.

**Распределение объемов имитаторов стали и шлакового расплава при моделировании
выпуска плавки с применением отсечки шлака**

Volumes distribution of steel and slag melt imitators during simulation of melt tapping with slag cut-off application

Номер опыта	Модель конвертера перед сливом жидкостей, см ³		Модель ковша после слива воды, см ³		Модель шлаковой чаши после слива масла, см ³		Степень отсечки имитатора шлака, %
	вода	масло	вода	масло	вода	масло	
1	1300	250	1280	20	20	230	92
2			1275	38	25	212	85
3			1279	32	21	218	87
4			1276	30	24	220	88
5			1279	25	21	225	90
6			1277	35	23	215	86
7			1275	35	25	215	86
8			1278	27	22	223	89
9			1276	37	24	213	85
10			1275	33	25	217	87

- Эверс Р., Шолль В., Виллкс Р. Рынок лома и снабжение ломом черной металлургии Германии // Черные металлы. 2003. № 9. С. 49 – 53.
- Робин Винер. Переработка вторичного сырья // Металлолом. 2011. № 2. С. 9.
- Амелинг Д. Новые разработки в производстве стали на европейских металлургических заводах с полным циклом // Черные металлы. 2001. № 5. С. 16 – 22.
- Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция металлов и экология. – Днепропетровск: РВА «Днепр - ВАЛ», 2006. – 454 с.
- Еронько С.П., Федяев Д.И., Афаунова О.В. и др. Мини-конвертер для переработки высокофосфористого чугуна // Металлургические процессы и оборудование. 2010. № 3. С. 40 – 46.
- Патент на полезную модель UA 71568. МПК С 21С 5/28. Кислородный конвертер // Бюл. изобретений. 2012. № 14.
- Юзов О.В. Седых А.М. Мировые тенденции развития мини-заводов // Электрометаллургия. 2000. № 10. С. 2 – 6.
- Смирнов А., Панфилова Т., Дорохова Л. Эффективные стратегии развития мини-металлургических заводов // Национальная металлургия. 2002. № 4. С. 44 – 48.
- Смирнов А.Н., Панфилова Т.С., Дорохова Л.В. Выбор стратегии развития металлургических мини-заводов // Сталь. 2002. № 8. С. 112 – 116.
- Сивак Б., Протасов А. Современное состояние и перспективы развития мини-заводов по производству сортового проката // Национальная металлургия. 2002. № 2. С. 38 – 43.
- Металлургические мини-заводы / А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов, Л.В. Дорохова и др. – Донецк: ООО «Норд-Пресс», 2005. – 469 с.
- Еронько С.П., Климович Н.А. Перспективы использования и проблематика создания мини-агрегата для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2016. № 5. С. 26 – 31.
- Греф У., Бергхофер А., Амслер Г. и др. Бесшлаковый выпуск плавки с помощью затвора выпускного отверстия ТАР 120 при производстве чистой стали // Сталь. 2005. № 7. С. 51 – 54.
- Энкер Б., Пастер А., Швельбергер Й. Новая стопорная система для шлака кислородно-конвертерного производства стали // Металлургическое производство и технологии металлургических процессов. 2002. № 5. С. 12 – 20.
- Howanski William S., Kalep T., Swift T. Optimizing B.O.F. Slag control through the application of refractory darts // AISTech Proceedings. 2006. No. 1. P. 601–609.
- Берлинер Э. Актуальность применения САПР в машиностроении // САПР и графика. 2000. № 9. С. 111 – 112.
- Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC / NASTPAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
- Листопад А.П., Демьяненко Ю.В., Севастьянов С.В. и др. Комплексное внедрение программных решений SolidWorks на ЗАО «НКМЗ» // САПР и графика. 2003. № 8. С. 12 – 14.
- Еронько С.П., Ошовская Е.В., Бедарев С.А. и др. Исследование на физической модели процесса взаимодействия отсечных элементов поплавокотного типа с потоками расплава в ванне конвертера // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2009. № 6. С. 39 – 45.

Поступила 21 марта 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. Vol. 60. No. 11, pp. 863–869.

**DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SYSTEM OF GAS-DYNAMIC CUT-OFF
OF SLAG FOR CONVERTER WITH ROTATING VESSEL SHELL**

**S.P. Eron'ko¹, S.M. Gorbatyuk², E.V. Oshovskaya¹,
B.I. Starodubtsev¹**

¹Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

²National University of Science and Technology "MISIS" (MISIS),
Moscow, Russia

Abstract. The steelmaking unit for the processing of poor-quality charge and metal-containing wastes with a high content of harmful impurities must satisfy to some requirements which are considered at the article. Also the expediency of using the oxygen converter with rotating vessel shell as a prototype is justified. To increase the efficiency of such converter, it is proposed to supply it with a sys-

tem of gas-dynamic slag cut-off at automatic mode during the steel tapping into the casting ladle. The proposed system is structurally a twin lever mechanism ensuring (during the metal overflow into the ladle through the edge of converter's mouth) holding at the constant distance from it the gas distribution chamber with slotted nozzles, from which flat gas jets run under excess pressure, directed at a given angle of attack to the surface of slag melt covering the teemed steel. Due to the dynamic impact of these jets on the layer of liquid slag, it is pushed away from the edge of the mouth of the inclined vessel shell towards its bottom, i.e. it is retained in the bath of melting unit. Synchronous movement of the structural elements of the lever mechanism with the end part of converter's mouth is achieved by force interaction of the stops rigidly fixed on the supporting ring of the melting unit with swivel arms kinetically connected with the gas distribution chamber. At the same time, activation of the gas-dynamic system of slag cut-off and its shutdown occur automatically by a mechanical connection. After the finishing of steel tapping the slag is poured into the bowl, turning the vessel shell in the opposite direction from the steel casting ladle. The results of experimental verification of the operation of the proposed converter slag gas-dynamic cut-off system performed on its model confirmed correctness of the accepted technical solutions. The practical application of this development will significantly reduce the material losses associated with the ingress of a large amount of aggressive converter slag into the casting ladle (deoxidizing and ligature burning, intensive wear of the refractory lining and the possibility of metal rephosphorization).

Keywords: poor-quality charge, oxygen converter, aggressive slag, steel output, gas-dynamic slag cut-off.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-11-863-869

REFERENCES

1. Doroshenko N.V., Baranenko V.V. Formation and use of ferrous scrap in the world metallurgical industry. *Elektrometallurgiya*. 2001, no. 7, pp. 27–36. (In Russ.).
2. Evers R., Sholl' V., Villeks R. Scrap market and scrap supply of ferrous metallurgy in Germany. *Chernye metally*. 2003, no. 9, pp. 49–53. (In Russ.).
3. Robin Viner. Recycling of secondary raw materials. *Metallolom*. 2011, no. 2, p. 9. (In Russ.).
4. Ameling D. New achievements in steel production at the European metallurgical plants with a full cycle. *Chernye metally*. 2001, no. 5, pp. 16–22. (In Russ.).
5. Boichenko B.M., Okhotskii V.B., Kharlashin P.S. *Konverternoe proizvodstvo stali: teoriya, tekhnologiya, kachestvo stali, konstruktivnyy agregatov, retsirkulyatsiya metallov i ekologiya* [Converter steel production: theory, technology, steel quality, aggregate designs, metal recycling and ecology]. Dnepropetrovsk: RVA "Dnepro - VAL", 2006, 454 p. (In Russ.).
6. Eron'ko S.P., Fedyaev D.I., Afaunova O.V. etc. Mini converter for processing of high-phosphoric iron. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*. 2010, no. 3, pp. 40–46. (In Russ.).
7. *Kislородnyi konverter* [Oxygen converter]. Utility model patent UA no. 71568. MPK S 21S 5/28. *Byulleten' izobretenii*. 2012, no. 14. (In Russ.).
8. Yuzov O.V. Sedykh A.M. World tendencies of mini-plants development. *Elektrometallurgiya*. 2000, no. 10, pp. 2–6. (In Russ.).
9. Smirnov A., Panfilova T., Dorokhova L. Effective strategies for the development of metallurgical minimills. *Natsional'naya metallurgiya*. 2002, no. 4, pp. 44–48. (In Russ.).
10. Smirnov A.N., Panfilova T.S., Dorokhova L.V. Development of metallurgical minimills. *Steel in Translation*. 2002, vol. 32, no. 8, pp. 21–25.
11. Sivak B., Protasov A. Current state and prospects for the development of minimills for the production of long products. *Natsional'naya metallurgiya*. 2002, no. 2, pp. 38–43. (In Russ.).
12. Smirnov A.N., Safonov V.M., Dorokhova L.V. etc. *Metallurgicheskie mini-zavody* [Metallurgical minimills]. Donetsk: Nord-Press, 2005, 469 p. (In Russ.).
13. Eron'ko S.P., Klimovich N.A. Creating and using of mini-unit for processing of low-quality charge and metal-containing waste. *Chernaya metallurgiya: Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 2016, no. 5, pp. 26–31. (In Russ.).
14. Gref U., Bergkhofer A., Amsler G. etc. Slag-free tapping of melting using the outlet gate TAP 120 at pure steel production. *Stal'*. 2005, no. 7, pp. 51–54. (In Russ.).
15. Enker B., Paster A., Shvel'berger I. New stop system for slag of BOF production of steel. *Metallurgicheskoe proizvodstvo i tekhnologii metallurgicheskikh protsessov*. 2002, no. 5, pp. 12–20. (In Russ.).
16. Howanski William S., Kalep T., Swift T. Optimizing B.O.F. Slag control through the application of refractory darts. *AISTech Proceedings*. 2006, no. 1, pp. 601–609.
17. Berliner E. Relevance of CAD using in the engineering. *SAPR i grafika*. 2000, no. 9, pp. 111–112. (In Russ.).
18. Shimkovich D.G. *Raschet konstruktivnykh v MSC / NASTPAN for Windows* [Calculation of structures in MSC / NASTPAN for Windows]. Moscow: DMK Press, 2001, 448 p. (In Russ.).
19. Listopad A.P., Dem'yanenko Yu.V., Sevast'yanov S.V. etc. Integrated implementation of SolidWorks software solutions at CJSC "NKMZ". *SAPR i grafika*. 2003, no. 8, pp. 12–14. (In Russ.).
20. Eron'ko S.P., Oshovskaya E.V., Bedarev S.A. etc. Investigation of physical model of interaction process of float-type cut-off elements with melt flows in converter bath. *Chernaya metallurgiya: Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 2009, no. 6, pp. 39–45. (In Russ.).

Information about the authors:

S.P. Eron'ko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants" (ersp@meta.ua)

S.M. Gorbatyuk, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Engineering of Technological Equipment"

E.V. Oshovskaya, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants"

B.I. Starodubtsev, Postgraduate of the Chair "Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants"

Received March 21, 2017