

УДК 669.184

*д.т.н. Еронько С. П.,
к.т.н. Ошовская Е. В.,
Стародубцев Б. И.,
Цыхмистро Е. С.*

(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, ersp@meta.ua)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МИНИ-КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Представлены конструктивные особенности кислородного мини-конвертера, предназначенного для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов. От известных аналогов предлагаемый плавильный агрегат отличается новой кинематической схемой привода механизма вращения корпуса, модернизированным механизмом качания фурмы для вдувания порошкообразной извести в струе кислорода и наличием системы газодинамической отсечки конечного технологического шлака. Конвертер позволяет получать сталь требуемого качества из шихты с повышенным содержанием вредных примесей.

***Ключевые слова:** металлосодержащие отходы, кислородный конвертер, плавление, вдувание порошков, отсечка шлака.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Вопросам переработки отходов, содержащих черные и цветные металлы, за рубежом в настоящее время уделяют пристальное внимание. Для координации деятельности в данной области ранее были основаны Европейская ассоциация по шлаку и Институт промышленной циркуляции вторичного сырья, по данным которых переработка вторичного сырья во многих развитых странах позволила ежегодно получать полезную продукцию на сумму, превышающую 70 млрд. долларов [1, 2].

Постановка задачи.

Реализация прогрессивных технологий утилизации и переработки промышленных и бытовых отходов, в состав которых входят черные и цветные металлы, требует наличия специальных плавильных агрегатов, функционирующих в структуре мини- и микроразоводов, в наибольшей мере соответствующих конъюнктурным требованиям ведущих экономик [3].

Изложение материала и его результаты.

На кафедре механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета в 2010 году начаты исследования по разра-

ботке мини-плавильного агрегата, принцип действия которого обеспечивает интенсификацию тепло- и массообменных процессов, происходящих в ванне расплава и позволяющих выводить из него в шлак вредные примеси за счет улучшения условий протекания химических реакций с вдуваемыми порошкообразными и загружаемыми в кусковом виде реагентами. В качестве прототипа при создании эффективного агрегата использован Калдо-конвертер (рис. 1), промышленное применение которого на металлургических заводах Западной Европы в 50-х годах минувшего века подтвердило возможность получения в нем качественной стали при увеличенном расходе (до 50 %) металлического лома и переработке высокофосфористого чугуна любого состава. Высокой степени дефосфорации в Калдо-процессе достигали благодаря ускоренному шлакообразованию за счет интенсификации перемешивания ванны путем вращения корпуса конвертера с частотой 30 мин⁻¹ относительно его продольной оси симметрии, составляющей с горизонтальной плоскостью угол 16–20°, и одновременной подачи в струе кислорода измельченной извести через фурму, введенную в полость агрегата и совершающую колебательное движение.

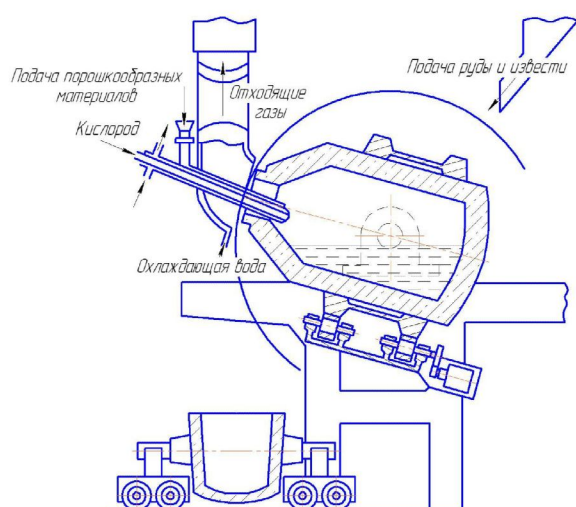


Рисунок 1 Схема конструкции конвертера для реализации Калдо-процесса

Однако из-за размещения привода механизма вращения на корпусе самого агрегата возникли значительные трудности при выполнении ремонтных работ: увеличилась общая масса подвижной системы, что потребовало применения более мощного привода механизма наклона конвертера. Кроме того, осталась нерешенной проблема отсечки конечного технологического шлака во время выпуска стали в разливочный ковш, а также отмечался повышенный расход огнеупоров на футеровку, подвергавшуюся интенсивному износу. По этим причинам Калдо-конвертеры не получили широкого внедрения и от них отказались [4]. Вместе с тем попытки устранения отмеченных недостатков продолжались, и в технической литературе имеется информация о новых конструктивных решениях, принимавшихся с целью совершенствования конвертера с двумя осями вращения. В частности, был заявлен конвертер (рис. 2), у которого вращение корпуса относительно продольной оси обеспечивает стационарно расположенный под рабочей площадкой привод, содержащий четыре двигателя и редуктор, подключаемый с помощью универсального шпинделя к корпусу плавильного агрегата после загрузки шихты и установки его под заданным углом к горизонту. По завершении плавки

привод необходимо с помощью дополнительного цилиндра отсоединить от агрегата для осуществления его наклона в сторону выпуска стали в разливочный ковш. При такой компоновочной схеме привода механизма вращения конвертера его эксплуатация по-прежнему оставалась достаточно сложной. Кроме того, у данного конвертера отсутствует возможность осуществления вращения его корпуса в положениях, не совпадающих с рабочим. Необходимость такого вращения возникает при проведении различных вспомогательных операций (нанесение гарнисажа на футеровку, ее разрушения и удаления из металлического корпуса во время холодного ремонта).

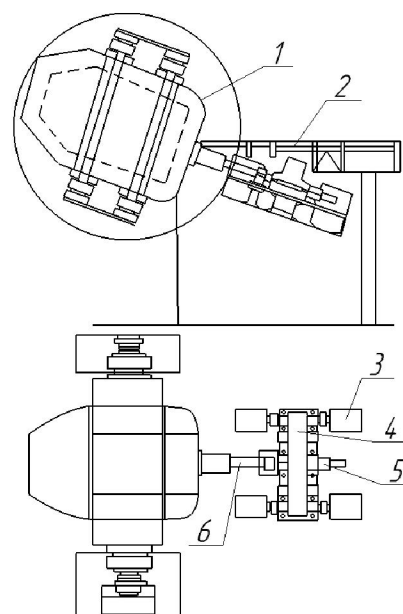


Рисунок 2 Конструкция кислородного конвертера со стационарно размещенным приводом механизма вращения его корпуса относительно продольной оси

При разработке усовершенствованного сталеплавильного агрегата (рис. 3) была поставлена задача создания новой кинематической схемы механизма вращения его корпуса относительно продольной оси, а также оборудования газодинамической системой отсечки конечного технологического шлака в процессе выпуска металла через горловину. В конвертере применен

классический вариант стационарного одно-стороннего привода механизма поворота корпуса, включающего электродвигатель 12, быстроходный 13 и тихоходный 11 редукторы. Связь вала тихоходного редуктора с приводной цапфой осуществляется посредством зубчатой муфты 10, обеспечивающей передачу больших крутящих моментов и компенсацию перекосов соединяемых хвостовиков.

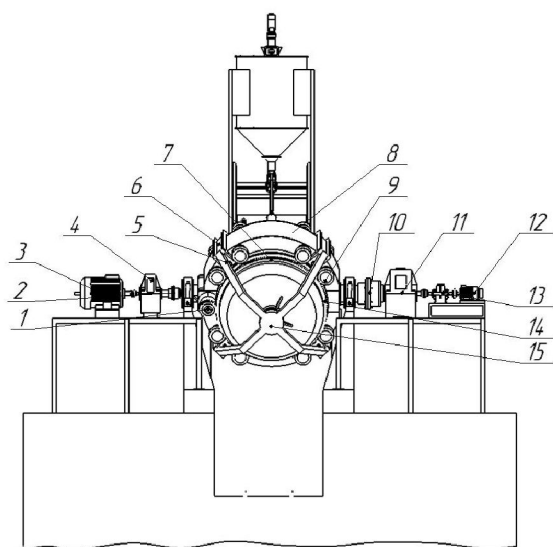


Рисунок 3 Схема компоновки механизмов наклона и поворота 10-тонного кислородного конвертера конструкции ДонГТУ

Корпус конвертера выполнен глухондным, сварной конструкции. Его фиксация относительно опорного кольца 8 осуществлена шестнадцатью центрирующими роликами 9, имеющими две реборды. Ролики разбиты на две группы и попарно на осях установлены на нижней и верхней торцевых поверхностях опорного кольца. На наружной цилиндрической поверхности кольца жестко закреплены усиленные ребрами жесткости четыре накладки 6, нижние части которых посредством шарниров связаны с изогнутыми профильными балками 5, удерживающими подшипниковую опору 15 цапфы днища конвертера. Данная опора является центрирующей и воспринимает одновременно радиальную и осевую нагрузку, поэтому она включает два

подшипника, один из них радиальный, а другой упорный. Наружную цилиндрическую поверхность корпуса конвертера охватывают два бандажа 7, которыми он опирается на ролики 9 и благодаря их ребордам фиксируется в осевом направлении относительно опорного кольца. Непосредственно под нижним бандажом на корпусе конвертера размещен зубчатый венец 14, находящийся в зацеплении с шестерней 1. Вращение этой шестерни обеспечивается стационарно размещенным на рабочей площадке приводом, в состав которого входит электродвигатель 3, редуктор 4 и соединительная муфта 2.

Механизм вращения корпуса конвертера (рис. 4) включает конический вал-шестерню 3, посредством муфты связанной с редуктором привода и установленной в подшипниковых опорах внутри цилиндрического канала, выполненного в теле цапфы 2.

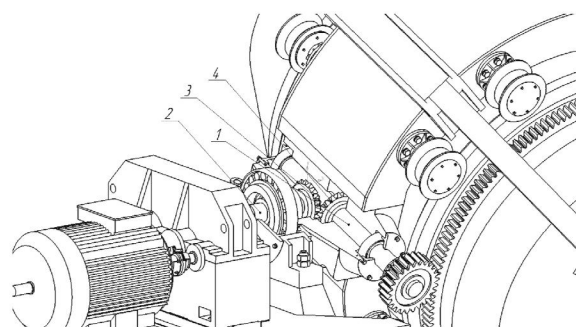


Рисунок 4 Предложенная конструкция механизма вращения корпуса кислородного конвертера

Пустотелая цапфа изготовлена за одно целое с крышкой, соединенной с обоймой, в полости которой на подшипниках качения размещен вал 1 с посаженным на него коническим зубчатым колесом 4, находящимся в зацеплении с валом-шестерней 3. На заднем конце вала закреплена прямозубая шестерня, зацепляющаяся с зубчатым венцом корпуса конвертера. Обойма закреплена между разъемными частями опорного кольца. Такое конструктивное исполнение механизма вращения корпуса

конвертера позволило разместить его привод на раме, установленной на металлоконструкции возле соответствующей цапфы опорного кольца сталеплавильного агрегата. Во время поворота корпуса конвертера относительно оси цапф коническое зубчатое колесо 4 обкатывается по шестерне 3, благодаря чему обеспечивается одновременное независимое функционирование обоих механизмов, т. е. при изменении угла наклона сталеплавильного агрегата относительно горизонтальной плоскости его вращение можно не останавливать, что упрощает управление работой всей системы в целом. Кроме того, стационарно размещенный на рабочей площадке привод механизма вращения значительно легче обслуживать и ремонтировать, а также упрощается подвод к нему электропитания [5, 6].

При разработке системы подачи порошкообразной извести в полость мини-конвертера в струе кислорода через водоохлаждаемую фурму были учтены достоинства и недостатки известных дозирующих устройств, предполагающих использование жестких горизонтальных и вертикальных шнеков, а также пневматических насосов. Предложенная система содержит механизм перемещения фурмы и устройство дозированной подачи мелкодисперсного материала (рис. 5). Механизм перемещения фурмы включает каретку 12, снабженную двумя парами ходовых роликов 13, установленными на наклонные рельсы 14 (угол наклона 30°). Перемещение фурменной каретки осуществляется винтовым приводом, состоящим из ходового винта 6, вращаемого в подшипниковых опорах мотором-редуктором 5. Гайка винтовой передачи размещена в специальном корпусе, который прикреплен к нижней части каретки с возможностью самостоятельного центрирования относительно винта. Фурма 16 верхней своей частью закреплена на поворотной опоре 10 и с помощью кривошипного механизма 11 может совершать качательное движение относительно карет-

ки в пределах продолговатого отверстия колпака 15, жестко связанного с кареткой и снабженного патрубком для подсоединения газоотводящего тракта.

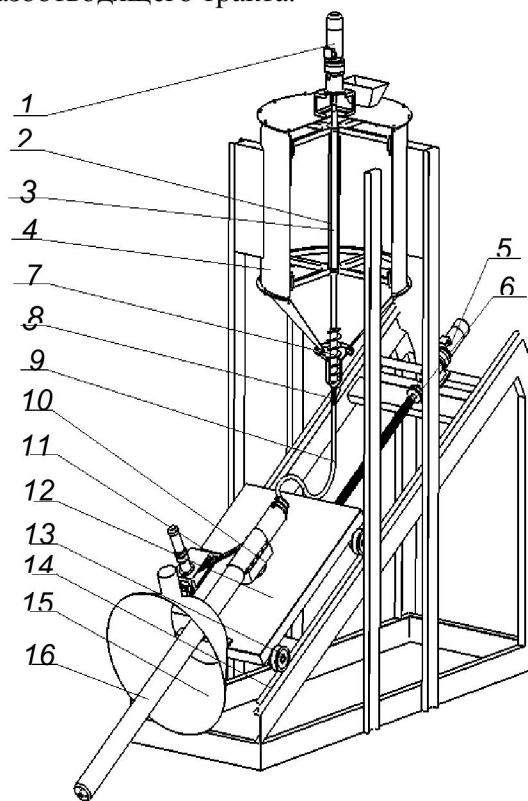


Рисунок 5 Система подачи порошкообразной извести в ванну конвертера

В состав устройства дозирования порошкообразной извести входит герметичный бункер 4, закрепленный на четырех колоннах над наклонными рельсами и снабженный размещенным внутри питателем. Этот питатель состоит из мотор-редуктора 1, связанного с вертикальным пустотелым валом 2, установленным в подшипниковых опорах в полости защитной трубы 3 и несущим на хвостовике шнек 7. Нижняя часть шнека, снабженная соплом, размещена в смесительной камере 8, соединенной посредством гибкого трубопровода 9 со штуцером кислородной фурмы 16. При подаче газообразного кислорода в полость вертикального вала, вращаемого мотор-редуктором с постоянной заданной угловой скоростью, связанный с ним шнек выдает в смесительную камеру расчетное количество порошкообразной извести,

где ее частицы захватываются кислородной струей, истекающей из сопла, и по трубопроводу уносятся в тракт фурмы, смешиваясь с основным количеством окислителя, вдуваемого в ванну конвертера [5].

С целью предотвращения попадания в разливочный ковш конечного технологического шлака, вызывающего повышенный угар раскислителей и легирующих, предлагаемый мини-конвертер снабжен устройством газодинамической отсечки шлакового расплава, схематично показанным на рисунке 6.

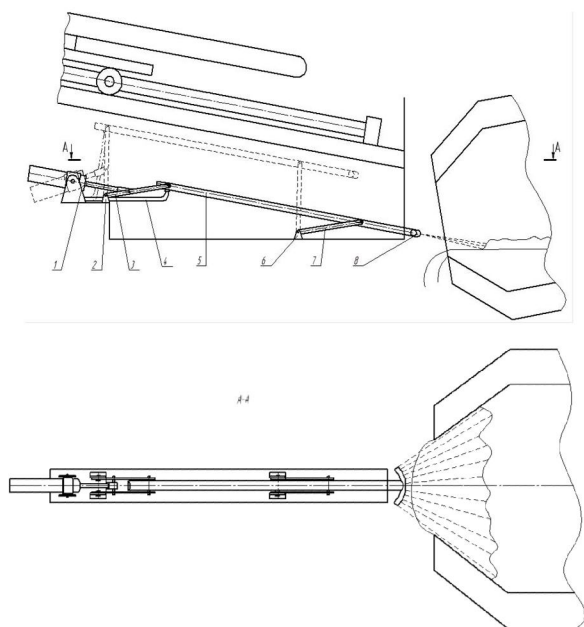


Рисунок 6 Устройство газодинамической отсечки конечного технологического шлака

Оно включает пустотелую цилиндрическую штангу 5, несущую на переднем конце дугообразную распределительную камеру 8, в стенке которой по наружному периметру выполнены щелевые сопла. Штанга посредством осей подвижно связана с двумя парами поворотных стоек 3 и 7, шарнирно закрепленных в установленных на разных уровнях опорах 2 и 6. К задней части штанги подсоединен гибкий газоподводящий рукав 4, а для поворота задней пары поворотных стоек 3 служит силовой пневмоцилиндр 1. Размеры стоек 3, 7 и расстояние

между их опорами 2, 6 приняты из условия образования ими в совокупности со штангой 5 параллелограммного механизма, благодаря чему она имеет возможность плоскопараллельного перемещения в вертикальной плоскости и сохраняет при этом постоянство угла наклона к горизонтальной плоскости, что в конечном счете обеспечивает неизменность заданного угла атаки плоских газовых струй, истекающих из щелевых сопел распределительной камеры 8, относительно зеркала металла, сливаемого через край горловины конвертера в приемную емкость (сталеразливочный ковш). При оптимальном угле атаки газовых струй достигается эффективное удержание в полости конвертера шлакового расплава за счет его отсечения от горловины агрегата под действием динамического напора потоков газа.

Оценку правильности технических решений, принятых при разработке усовершенствованной конструкции 10-тонного мини-конвертера, выполнили с использованием изготовленной в масштабе 1:10 его действующей модели, фотография которой приведена на рисунке 7.

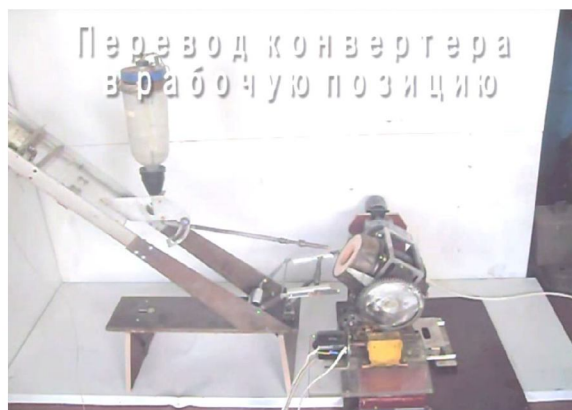


Рисунок 7 Действующая модель мини-конвертера

Модель позволяла симулировать работу всех механизмов мини-конвертера, обеспечивающих выполнение необходимого комплекса технологических операций в следующей последовательности. Вначале корпус модели сталеплавильного агрегата ус-

танавливали в вертикальное положение и в его полость последовательно загружали требуемое количество кусковых материалов, имитировавших известь, руду и флюсы, после чего его поворачивали в горизонтальное положение и осуществляли завалку металлического лома, а также заливку жидкости, моделирующей расплавленный чугуна. По окончании загрузки шихтовых материалов корпус модели конвертера переводили в положение продувки (угол наклона продольной оси корпуса агрегата к горизонтальной плоскости составлял 15–20°). Для осуществления продувки тележку с фурмой переводили в рабочее положение и с помощью соответствующего механизма сообщали последней колебательное движение, во время которого в ванну конвертера в струе воздуха вдували порошкообразную известь. Сразу же после начала продувки запускали привод механизма вращения корпуса модели конвертера, что обеспечивало резкое повышение интенсивности перемешивания жидкого и твердых компонентов шихты в ванне агрегата. С целью оценки возможности регулирования процесса выплавки стали в мини-конвертере моделировали выполнение отдельно или в комплексе таких технологических приемов, как изменение скорости вращения корпуса агрегата, положения кислородной фурмы и частоты ее колебаний. После выведения фурмы из полости конвертера, последовательно поворачивая его корпус в соответствующем направлении, имитировали также выпуск стали в разливочный ковш с обеспечением отсечки конечного шлака, который затем сливали в чашу [6].

Библиографический список

1. Амелинг, Д. Новые разработки в производстве стали на европейских металлургических заводах с полным циклом [Текст] / Д. Амелинг // *Черные металлы*. — 2001. — № 5. — С. 16–22.
2. Винер, Р. Переработка вторичного сырья [Текст] / Р. Винер // *Металлолом*. — 2011. — № 2. — С. 9.
3. *Металлургические мини-заводы* [Текст] / А. Н. Смирнов, В. М. Сафонов, Л. В. Дорохова и др. — Донецк : ООО «Норд-Пресс», 2005. — 469 с.

Результаты физического моделирования, подтвердившие работоспособность предложенных кинематических схем всех механизмов усовершенствованного мини-конвертера, использованы при разработке методов расчета энергосиловых параметров его механизмов поворота и вращения. В настоящее время ведется подготовка конструкторской документации, необходимой для изготовления опытного образца усовершенствованного мини-плавильного агрегата, практический интерес к которому уже проявили организации, специализирующиеся на утилизации компьютерной техники и переработке отходов меди, образующихся при производстве электрического кабеля.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Применение предлагаемого кислородного конвертера позволит реализовать высокоэффективную технологию переработки некачественных шихтовых материалов практически любого химического состава, что обусловлено возможностью подачи в плавильный агрегат реагентов в кусковом и порошкообразном виде и интенсификации тепло-, массообменных процессов, протекающих в его ванне и способствующих выведению из металла большого количества вредных примесей в шлак, отсекаемый во время выпуска плавки. Благодаря этому исключаются повышенный износ футеровки разливочного ковша и значительный угар вводимых в него дорогостоящих раскислителей и легирующих добавок.

4. Бойченко, Б. М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология [Текст] / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин. — Днепропетровск : РВА «Днепро-ВАЛ», 2006. — 454 с.

5. Еронько, С. П. Мини-конвертер для переработки высокофосфористого чугуна [Текст] / С. П. Еронько, Д. И. Федяев, О. В. Афаунова и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. — 2010. — № 3. — С. 40–46.

6. Еронько, С. П. Перспективы использования и проблематика создания мини-агрегата для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов [Текст] / С. П. Еронько, Н. А. Климович // *Черная металлургия: бюл.* — ОАО «Черметинформация», 2016. — № 5. — С. 26–31.

© Еронько С. П.

© Ошовская Е. В.

© Стародубцев Б. И.

© Цыхмистро Е. С.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. ОПМ ДонНТУ Нечепавым В. Г.

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

д.т.н. Єронько С. П., к.т.н. Ошовська О. В., Стародубцев Б. І., Цихмістро О. С. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

УДОСКОНАЛЕННЯ МІНІ-КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ МЕТАЛ

Представлені конструктивні особливості кисневого міні-конвертера, який призначений для переробки неякісної шихти і відходів, що містять метал. Від відомих аналогів запропонований плавильний агрегат відрізняється новою кінематичною схемою привода механізму повертання корпусу, модернізованим механізмом хитання фурми для вдування порошкоподібного вапна у струмені кисню і наявністю системи газодинамічного відсікання кінцевого технологічного шлаку. Конвертер дозволяє отримувати сталь потрібної якості з шихти з підвищеним вмістом шкідливих домішок.

Ключові слова: відходи з металом, кисневий конвертер, плавлення, вдування порошків, відсікання шлаку.

Doctor of technical sciences Yeronko S. P., PhD Oshovskaya Ye. V., Starodubtsev B. I., Tsykhmistro Ye. S. (DonNTU, Donetsk, DNR)

IMPROVEMENT OF MINI CONVERTER FOR PROCESSING OF HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL METAL-CONTAINING WASTES

The design features of an oxygen mini-converter designed for the processing of poor-quality charge and metal-containing waste are presented. From the known analogs the proposed melting unit is distinguished by a new kinematic scheme for driving the mechanism of body rotation, a modernized tuyere rocking mechanism for injecting powder-like lime into the oxygen stream and the presence of a gas-dynamic cutoff system for the final processing slag. The converter makes it possible to produce steel of the required quality from the charge with an increased content of harmful impurities.

Key words: metal-containing waste, oxygen converter, melting, injection of powders, slag cutoff.