

Испытания на износостойкость при сухом трении проводили на триботехническом комплексе ТК-1 в соответствии с ГОСТ 23.216–84.

Испытаниям на износостойкость были подвергнуты образцы из стали 110Г13Л в базовом исполнении (клеймо 0) и после модифицирования в различных режимах (клейма 1, 2, 3 и 4).

Условия испытаний: усилие сжатия образца с контртелом — 2,5 кг (24,5 Н); скорость вращения контртела — 8–9 об/с; охлаждение образца и контртела воздушное принудительное. Контртело — вращающийся ролик, изготовленный из сплава ВК-6, диам. 22 мм и толщиной 1,5 мм. Независимый параметр — глубина износа образца 1000 мкм, оценка износостойкости по величине пути трения. Результаты исследования приведены ниже:

Условный номер технологии модифицирования	Глубина износа, мм	Путь трения, мм
0	1000	8000
1	1000	8143
2	1000	6715
3	1000	8670
4	1000	6845

Как видно из приведенных данных, образцы из сталей, модифицированных по вариантам 2 и 4, имеют практически одинаковый уровень износостойкости, который ниже базового примерно на 15 %. Образец, модифицированный по варианту 1, незначительно превосходит по износостойкости базовый вариант. Наилучшую износостой-

кость имеет образец, модифицированный по варианту 3, для которого отмечено превышение базового уровня на 8 %.

Таким образом, на основании проведенных исследований микроструктуры, параметров сопротивления разрушению и износостойкости, предпочтительным можно считать вариант модифицирования 3.

Однако полная картина зависимости износостойкости стали 110Г13Л от структуры может быть получена только в случае воспроизводства условий реальной эксплуатации, т. е. ударных нагрузок, провоцирующих возникновение наклепа. Подобное возможно в условиях промышленной эксплуатации отливок из наномодифицированной стали 110Г13Л. С этой целью были отлиты зубья для экскаватора, которые эксплуатировались в реальных условиях ГОКа. При этом получено увеличение долговечности в 2–4 раза в зависимости от расположения зубьев на ковше экскаватора. Полученные результаты могут лечь в основу рекомендаций внедрения технологии отливки деталей из стали 110Г13Л (наномодифицированной) и переходу на широкое промышленное применение отливок в горнорудной промышленности

Металлографические исследования проводены под руководством директора Института качественных сталей ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д-ра техн. наук, профессора Г.А. Филиппова и канд. техн. наук, ведущего научного сотрудника О.В. Ливановой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубцов В. А., Лунёв В. В. Модифицирование стали для отливок и слитков. — Челябинск–Запорожье. 2009. С. 153.
2. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологий. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006. С. 34, 35.

УДК 669.184

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРОБЛЕМАТИКА СОЗДАНИЯ МИНИ-АГРЕГАТА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ШИХТЫ И МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

С. П. ЕРОНЬКО, д-р техн. наук, ersp@meta.ua; Н. А. КЛИМОВИЧ
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»)

Заметное увеличение доли амортизационного лома с повышенным содержанием нежелательных примесей, получаемого при утилизации ав-

томобилей и бытовой техники, а также насущная необходимость в переработке накопившихся отходов, включающих черные и цветные металлы

и наносящих вред природной среде, явились мотивацией для начала исследований по созданию плавильных агрегатов, обеспечивающих получение различных товаров из побочных металлургических продуктов и переработку некачественной шихты с повышенным содержанием вредных включений. Благодаря этому можно не только экономить энергетические и сырьевые ресурсы, но и снизить отрицательное влияние на экологию образовавшихся свалок и отвалов.

Для координации деятельности в данной области в свое время были основаны Европейская ассоциация по шлаку и Институт промышленной циркуляции вторичного сырья, по данным которых суммарный объем утилизации шлака уже превысил 93 %, а переработка вторичного сырья во многих развитых странах дает возможность ежегодно получать полезные товары на сумму, превышающую 70 млрд долл. [1, 2].

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 микрозаводов, в наибольшей мере соответствующих конъюнктурным требованиям ведущих экономик [3]. В настоящее время в Японии, Германии и Китае уже разработаны и успешно эксплуатируются подобные агрегаты. Например, консорциумом, возглавляемым фирмой ThyssenKrupp Steel, сконструирована кислородная вагранка, позволившая выплавлять из отходов 15 т/ч передельного чугуна [1].

На экспериментальном заводе ООО «Энергокапитал», г. Макеевка Донецкой области, внедрена приобретенная в Китае технология, предполагающая переработку в мини-доменной печи объемом 128 м³ окатышей из угольного и металлургического шламов в качественный чугун. При этом получаемые попутные продукты — гранулированный шлак и доменный газ — в дальнейшем используют соответственно в качестве строительного материала и топлива в установках, генерирующих электроэнергию [4].

Ангольская металлургическая компания Companhia Siderúrgica do Cuchi (CSC) анонсировала ввод в 2016 г. в эксплуатацию первой очереди завода по выпуску передельного чугуна производительностью 96 тыс. т/год с доменной печью объемом 119 м³, в которой для восстановления железной руды предусмотрено использование древесного угля [5].

Положительный опыт применения мини-вагранок и мини-доменных печей для получения передельного и товарного чугуна из побочных продуктов металлургического производства свидетельствует о целесообразности поиска вариантов использования мини-агрегатов, позволяющих выплавлять сталь при использовании в качестве твердой части шихты амортизационного лома и отходов с повышенным содержанием вредных примесей.

Успешное решение поставленной задачи предполагает разработку технологического агрегата, отвечающего комплексу требований: обеспечение интенсивного перемешивания ванны, возможность регулируемой подачи в расплав порошкообразных реагентов, предотвращение попадания конечного шлака в приемную емкость во время выпуска плавки. Следует отметить, что опыт промышленного применения подобных агрегатов был получен в Западной Европе еще в 50-х годах минувшего века. Речь идет о Калдо-процессе, в котором высокую степень дефосфорации достигали ускоренным шлакообразованием 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 град., и одновременной подачи в струе кислорода измельченной извести через фурму, введенную в полость агрегата и совершающую колебательное движение. Всего в мире было пущено в строй около двух десятков Калдо-конвертеров вместимостью 30–60 т с общей годовой производительностью 5 млн т стали. К достоинствам выплавки стали в Калдо-конвертере следует отнести: возможность дожигания монооксида углерода, повышение расхода лома до 40–50 % и переработку чугунов любого состава, а также получение стали с низким содержанием вредных примесей [6]. Вместе с тем данный процесс не получил широкого распространения по целому ряду причин. Из-за размещения привода механизма вращения на корпусе самого сталеплавильного агрегата (рис. 1) 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.

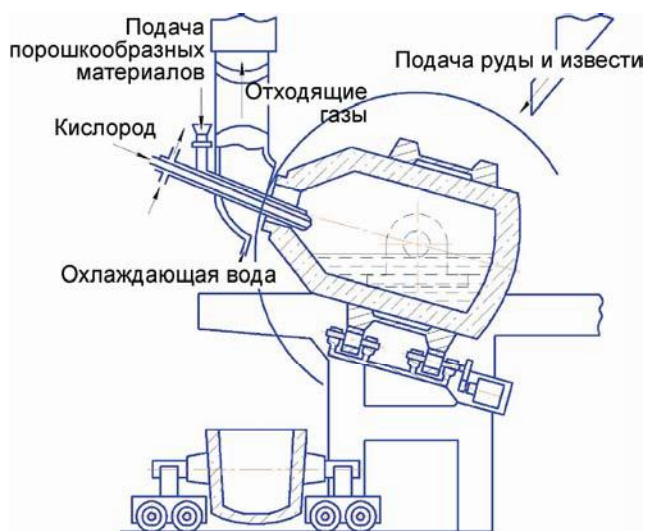


Рис. 1. Схема конструкции конвертера для реализации Калдо-процесса

С целью устранения отмеченных недостатков ранее неоднократно предпринимались попытки внесения изменений в конструктивную схему классического варианта кислородного конвертера, реализующего Калдо-процесс. Например, был заявлен конвертер, 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 гидравлического цилиндра отсоединить от агрегата для осуществления его наклона в сторону выпуска стали в разливочный ковш [7]. При такой компоновочной схеме привода механизма вращения конвертера его эксплуатация по-прежнему оставалась достаточно сложной. Существенным недостатком приведенной конструкции конвертера является отсутствие возможности осуществлять вращение его корпуса в положениях, не совпадающих с рабочим. Необходимость такого вращения корпуса плавильного агрегата возникает при проведении различных вспомогательных операций (нанесение гарнисажа на футеровку, ее разрушение и удаление из металлического корпуса во время холодного ремонта), т. е. при эксплуатации и обслуживании данного конвертера выполнение ремонтных операций значительно затрудняется.

Неприемлемыми для использования на кислородном конвертере с двумя осями вращения оказались известные системы отсечки конечного

шлака, предусматривающие активное воздействие на шлаковый расплав тем или иным способом в сталевыпускном канале, которого у данного плавильного агрегата нет, поскольку металл из него во время выпуска переливают в ковш через край горловины.

Таким образом, при создании мини-плавильного агрегата для переработки некачественной шихты прототипом может служить Калдо-конвертер, в конструктивную схему которого необходимо внести существенные изменения и дополнения, направленные на устранение выявленных ранее у него недостатков.

Сотрудниками кафедры механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) на основании результатов исследований, выполненных с использованием компьютерного и физического моделирования, была предложена и запатентована система 10-т конвертера, в конструкцию которого заложены новые технические решения, позволяющие повысить перспективы его промышленного применения [8, 9].

В конвертере (рис. 2) применен классический вариант стационарного одностороннего 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. Корпус конвертера выполнен глухонным, сварной конструкции. Его фиксация относительно опорного кольца 8 осуществлена 16 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 банджа 7, которыми он опирается на ролики 9 и благодаря их ребордам фиксируется в осевом направлении относительно опорного кольца. Непосредст-

венно 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.

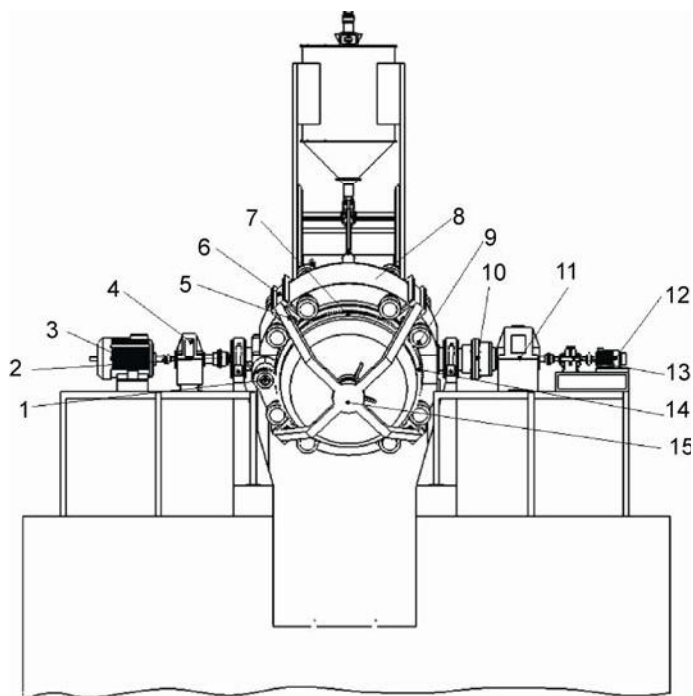


Рис. 2. Схема компоновки механизмов наклона и поворота 10-т кислородного конвертера конструкции ДонНТУ

Усовершенствованный механизм вращения корпуса конвертера (рис. 3) включает конический вал-шестерню 3, посредством муфты связанный с редуктором привода и установленный в подшипниковых опорах внутри цилиндрического канала, выполненного в теле цапфы 2. Пустотелая цапфа изготовлена как 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. Обойма закреплена между разъемными частями опорного кольца. На заднем конце вала установлена прямозубая шестерня, зацепляющаяся с зубчатым венцом корпуса конвертера. 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 независи-

мое 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.

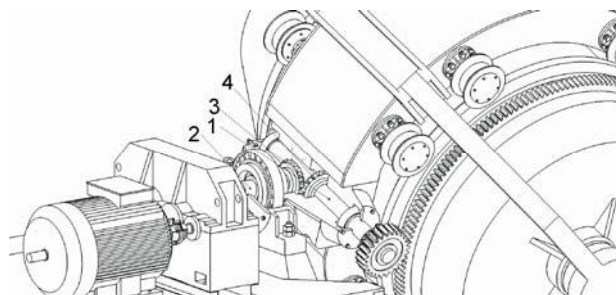


Рис. 3. Предложенная конструкция механизма вращения корпуса кислородного конвертера

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. 4). Механизм перемещения фурмы включает каретку 1, снабженную двумя парами ходовых роликов 2, установленными на наклонные рельсы 3 (угол наклона 30 град.). Перемещение фурменной каретки осуществляется винтовым приводом, состоящим из ходового винта 16, вращаемого в подшипниковых опорах мотором-редуктором 15. Гайка винтовой передачи размещена в специальном корпусе, который прикреплен к нижней части каретки с возможностью самостоятельного центрирования относительно винта. Фурма 5 верхней своей частью закреплена на поворотной опоре 7 и с помощью кривошипно-шатунного механизма 6 может совершать качательное движение относительно каретки в пределах продолговатого отверстия колпака 4, жестко связанного с кареткой и снабженного патрубком для подсоединения газоотводящего тракта.

В состав устройства дозирования порошкообразной извести входит герметичный бункер 11, закрепленный на четырех колоннах над наклон-

ными рельсами и снабженный размещенным внутри питателем. Этот питатель состоит из мотор-редуктора 14, связанного с вертикальным пустотелым валом 13, установленным в подшипниковых опорах в полости защитной трубы 12 и несущим на хвостовике шнек 10. Нижняя часть шнека, снабженная соплом, размещена в смесительной камере 9, соединенной посредством гибкого трубопровода 8 со штуцером кислородной фурмы 5.

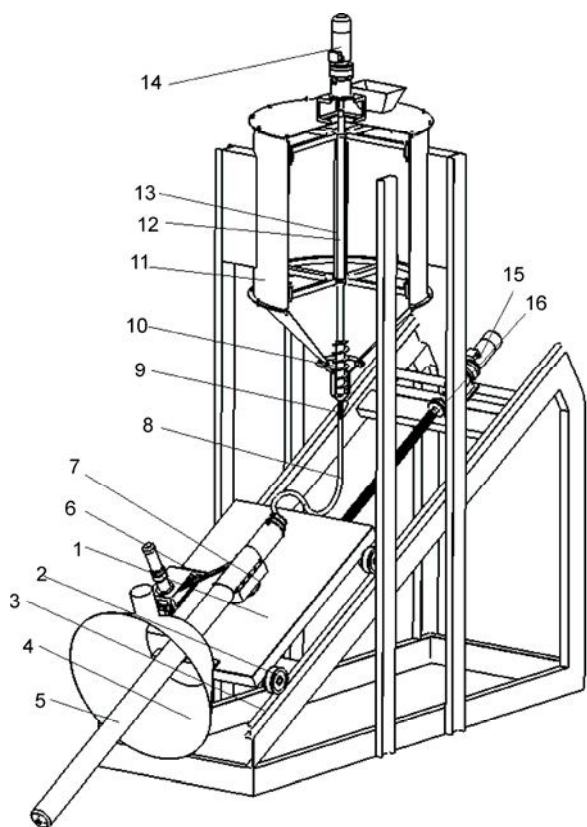


Рис. 4. Система подачи порошкообразной извести в ванну конвертера

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.

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 рис. 5. Оно включает пустотелую ци-

линдрическую 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 опорах 2 и 6, установленных на разных уровнях. К задней части штанги подсоединен гибкий газопроводящий рукав 4, а для поворота задней пары поворотных стоек 3 служит силовой пневмоцилиндр 1. Размеры стоек 3 и 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 плоско-параллельного перемещения в вертикальной плоскости и сохранять 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 оттеснения от горловины агрегата под действием динамического напора потоков газа.

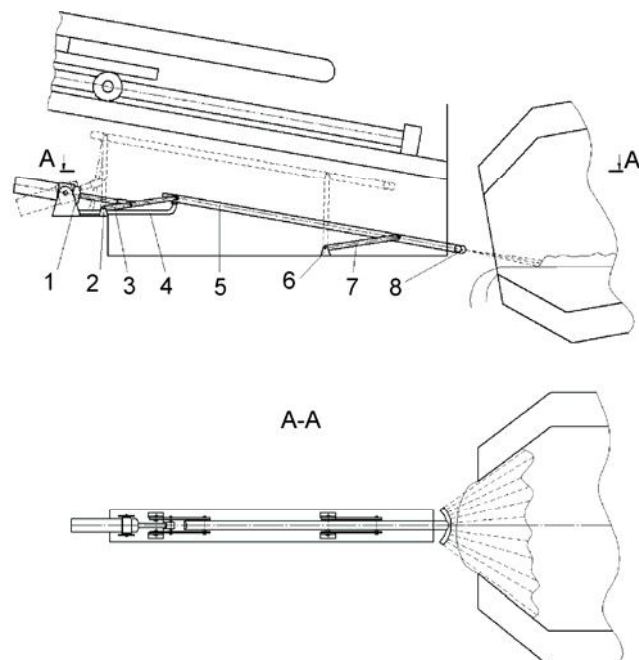


Рис. 5. Устройство газодинамической отсечки конечного технологического шлака

Для оценки правильности технических решений, принятых при разработке усовершенствованной конструкции мини-конвертера, изгото-

вили в масштабе 1:10 его действующую модель, фотография которой приведена на рис. 6. С ее использованием симулировали работу всех механизмов мини-конвертера, обеспечивающих выполнение необходимого комплекса технологических операций в следующей последовательности. Вначале корпус модели сталеплавильного агрегата устанавливали 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 чугун. По окончании загрузки шихтовых материалов корпус модели конвертера переводили в положение продувки (угол наклона продольной оси корпуса агрегата к горизонтальной плоскости составлял 15–20 град.). 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.



Рис. 6. Физическая модель усовершенствованного мини-конвертера

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амелинг Д. Новые разработки в производстве стали на европейских металлургических заводах с полным циклом // Черные металлы. 2001. № 5. С. 16–22.
2. Робин Винер. Переработка вторичного сырья // Металлолом. 2011. № 2. С. 9.
3. Металлургические мини-заводы / А. Н. Смирнов, В. М. Сафонов, Л. В. Дорохова и др. — Донецк: ООО “Норд-Пресс”. 2005. — 469 с.
4. <http://biz.liga.net/all/industriya/novosti/2507657-makeevski-zavod>.
5. Овчинников А. М. Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии за рубежом // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. 2016. № 2. С. 96–100.
6. Бойченко Б. М., Охотский В. Б., Харлашин П. С. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология. — Днепропетровск: РВА “Днепро-ВАЛ”. 2006. — 454 с.
7. А. с. 154293 СССР, МКИ С 21b. Конвертер с двумя осями вращения. Оpubл. 1963. Бюл. № 9.
8. Мини-конвертер для переработки высокофосфористого чугуна / С. П. Еронько, Д. И. Федяев, О. В. Афаунова и др. // Металлургические процессы и оборудование. 2010. № 3. С. 40–46.
9. Патент на полезную модель UA 71568, МПК С 21С 5/28. Кислородный конвертер. Оpubл. 2012. Бюл. № 14.