

ТОПЛИВОКИСЛОРОДНЫЙ ПЛАВИЛЬНЫЙ АГРЕГАТ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ, ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИИ И ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Ю.А. Гудим, А.А. Голубев, И.Ю. Зинуров

Бурное развитие металлургического производства в конце двадцатого и начале двадцать первого века сопровождалось столь же значительным ростом потребления энергии, увеличением выброса парниковых газов в атмосферу, а также увеличением количества твердых отходов (шлаков, пылей, шламов), нуждающихся в утилизации или депонировании.

Радикальное решение экологических проблем, вызванных ростом промышленного, в том числе и металлургического, производства требует создания новых плавильных агрегатов и, соответственно, новых технологий для этих агрегатов, использования альтернативных источников энергии или более эффективного использования традиционных источников энергии. Утилизация (переработка) твердых промышленных и коммунальных отходов должна осуществляться по безотходной схеме: переработка отходов без получения новых отходов, даже в небольшом количестве.

ООО Промышленная компания «Технология металлов» совместно с ЗАО «НПО «Гидропресс» и НТ ЗАО «АКОНТ» разработан многоцелевой топливокислородный плавильный агрегат непрерывного действия «МАГМА», предназначенный для использования в металлургии и безотходной переработки твердых промышленных и коммунальных отходов. Агрегат состоит из следующих основных частей:

- плавильная камера, имеющая корпус, охлаждаемый жидкометаллическим теплоносителем (натрием);

- система вторичного охлаждения металлического теплоносителя;

- система подогрева шихты теплом отходящих газов;

- котел-утилизатор, утилизирующий физическое и химическое тепло отходящих из плавильной камеры газов и вырабатывающий пар для производства электроэнергии в паротурбогенераторе (в отдельных случаях);

- газоочистные сооружения.

В типовом агрегате «МАГМА» плавильная камера отапливается мощными топливокислородными горелками, возможны варианты отопления камеры мазутокислородными горелками или каменным углем. Камера снабжена системами загрузки шихтовых материалов, выпуска металла и шлака, улавливания отходящих газов. Зона металлической ванны футерована огнеупорными материалами. Охлаждение кожуха жидкометаллическим

теплоносителем существенно повышает стойкость огнеупорной футеровки ванны, что позволяет агрегату работать длительное время в непрерывном режиме. В шлаковой зоне и зоне свободного пространства камеры огнеупорная футеровка отсутствует, ее заменяет шлаковый гарнисаж, образующийся на внутренней поверхности корпуса в результате интенсивного отвода тепла жидкометаллическим теплоносителем. Для выпуска жидкого металла из агрегата плавильная камера имеет летку, снабженную обогреваемым сифонным желобом. Для выпуска шлака имеется шлаковая летка с запорным устройством. Пыль, уловленная газоочистными сооружениями агрегата, вдвигается в шлаковый расплав специальными инжекторами, расположенными в стенках плавильной камеры, в токе газа, подогретого в теплообменнике системы вторичного охлаждения жидкометаллического теплоносителя. Тепловая мощность типового агрегата до 100МВт. Технические характеристики агрегата приведены в табл. 1.

Применяемая система утилизации тепла отходящих газов позволяет иметь суммарный тепловой КПД агрегата более 90 %. Электрическая энергия, получаемая в результате утилизации тепла отходящих из плавильной камеры газов, полностью обеспечивает производство кислорода для агрегата и работу технологического оборудования участка. Максимальная температура шлакового расплава в агрегате 1600-1650 °С, температура металлического расплава 1500-1580 °С.

Разработанный плавильный агрегат является многоцелевым. Возможны следующие варианты его эффективного применения:

- бескоксовое производство чугуна;

- непрерывное расплавление лома черных металлов с частичным рафинированием расплава в плавильной камере и последующим переделом полученного полупродукта в сталь в установке ковш-печь;

- непрерывное плавление металлизированного сырья для получения стали;

- переработка окисленных сталеплавильных шлаков на портландцементный клинкер с извлечением железа из шлака;

- переработка шлаков производства высоколегированных сталей и сплавов с получением высоколегированного металла и цементного клинкера;

- безотходная переработка окисленных железоникелевых руд;

- переработка сульфидных руд цветных металлов (Cu, Ni) на штейн автогенным процессом;

Таблица 1

Технические характеристики агрегата «МАГМА»

1	Тепловая мощность, МВт	до 100
2	Топливо	природный газ
3	Окислитель	технический кислород (95 % O ₂)
4	Температура металла в жидкой ванне, °С	1350–1550
5	Температура шлакового расплава, °С	1400–1650
6	Температура газовой фазы в свободном пространстве (над шлаковым расплавом), °С	1800–1900
7	Габариты плавильной камеры: наружный диаметр, м длина, м	4 9
8	Материал корпуса камеры	котельная легированная сталь
9	Охлаждение корпуса	жидкометаллический теплоноситель
10	Футеровка металлической ванны	периклазовый кирпич
11	Футеровка шлаковой зоны	гарнисаж шлаковый

- переработка кислых шлаков цветной металлургии на шлакокаменное литье с извлечением остатков цветного металла;

- переработка красных шламов глиноземного производства с получением сплава железа и цементного клинкера;

- получение стекла;

- безотходная экологически чистая переработка твердых коммунальных отходов;

- эффективная безотходная переработка высокозольных углей с получением энергии, шлакового литья и высококачественного щебня.

Ниже кратко описаны разработанные и опробованные в лабораторных и промышленных условиях технологические схемы описанных вариантов применения нового агрегата в черной металлургии.

/. Бескоксовое производство чугуна

Значительные капитальные и эксплуатационные затраты на подготовку железорудного сырья (обогащение и окускование руды) и производство кокса не позволяют во многих случаях организовать эффективное доменное производство чугуна в небольшом количестве (до 1млн т в год).

Организация производства чугуна методом жидкофазного восстановления не требует таких же больших затрат на подготовку железорудного сырья. Возможность промышленного осуществления такого процесса показана в [1].

При сравнительно небольших капитальных затратах агрегат «МАГМА» может быть использован для эффективного бескоксового производства небольших объемов чугуна из неокускованной железной руды непрерывным процессом (рис. 1).

Шихта (железная руда, известняк), перед загрузкой в агрегат, предварительно подогревается отходящими из плавильной камеры агрегата газами во вращающемся цилиндрическом подогревателе до температуры 900-1000 °С. При таких температурах протекает процесс частичной декарбо-

низации известняка с образованием извести и частичного восстановления оксидов железа.

Нагретая в подогревателе шихта загружается на поверхность шлакового расплава, плавление шихты и восстановление оксидов железа протекают в жидкой ванне.

Уголь, необходимый для восстановления оксидов железа и корректировки содержания углерода в чугуне, загружается в плавильную камеру на поверхность рудноизвесткового расплава и дополнительно вдвигается инжекторами.

Инжекторы расположены в стенах плавильной камеры, на уровне верхней границы шлакорудного расплава.

Уловленная газоочисткой пыль возвращается инжекторами в плавильную камеру, в шлаковый расплав.

Тепло, необходимое для плавления шихты, нагрева расплава, протекания эндотермических реакций восстановления оксидов металлов и компенсации тепловых потерь агрегата, вводится в рабочее пространство плавильной камеры газокислородными горелками.

Чугун и шлак периодически сливаются из агрегата.

Химический состав шлака близок к составу доменного шлака.

Производительность типового агрегата «МАГМА» по чугуну составляет 200-250 тыс. т в год и зависит от состава используемой железной руды.

Удельный расход энергоносителей на производство 1 т чугуна:

- природный газ 110-115 нм³;
- энергетический уголь 250-320 кг;
- кислород 220-230 нм³.

Технико-экономические показатели предлагаемого процесса превосходят показатели отечественного процесса РОМЕЛТ [1] и австралийского процесса Hismelt.

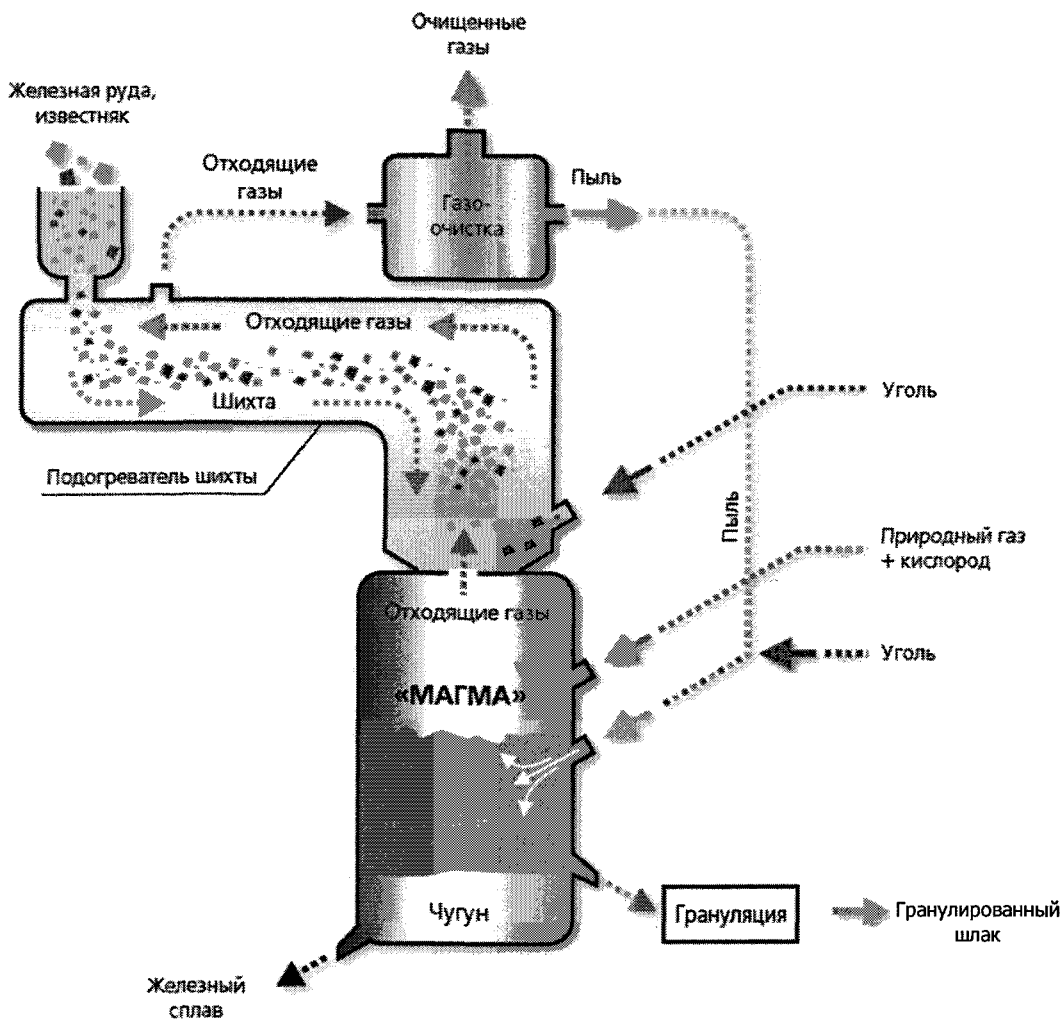


Рис. 1. Схема бескоксового производства чугуна из неокислованной железной руды

2. Непрерывное расплавление лома черных металлов

Плавление загружаемого лома и шлакообразующих материалов осуществляется в жидкой ванне расплавленного металла, наводимой в начале цикла запуска агрегата. Для рафинирования металлического расплава от фосфора и частично от серы наводится окисленный основной шлак, который периодически обновляется. Кратность шлака 0,05-0,06. Необходимое для плавления и нагрева металла тепло вводится в рабочее пространство топливокислородными горелками, а также путем окисления угля, загружаемого в ванну, газообразным кислородом, который вводится в расплав специальными фурмами. Избыточный углерод окисляется газообразным кислородом. Температура шлакового расплава 1600-1650 °С, температура металла 1500-1580 °С. Получаемый металлический полупродукт периодически сливается из плавильной камеры в ковш, передаваемый после наполнения на нагревательный стенд установки ковш-печь. Отработанный шлак периодически сливается из плавильной камеры в шлаковую чашу. В дальнейшем он может быть использован

для производства портландцементного клинкера. Тепло отходящих из камеры газов используется для производства электроэнергии.

При такой схеме работы часовая производительность типового агрегата по проплавляемому лому достигает 60-65 тонн.

Возможна работа плавильного агрегата с внепечным подогревом лома отходящими газами. В таком случае над плавильной камерой устанавливается герметичный шахтный подогреватель лома, оборудованный удерживающими и дозирующими устройствами и фурмами для дожигания монооксида углерода отходящих газов. При этом производительность агрегата может быть увеличена до 80 т/ч, соответственно, уменьшается расход энергии на плавление, но для получения кислорода приходится использовать энергию, полученную извне.

Использование разработанного плавильного агрегата для непрерывного плавления лома и получения полупродукта позволяет значительно снизить суммарный расход первичной энергии по сравнению с традиционно применяемыми дуговыми сталеплавильными печами за счет более рацио-

нального использования первичного топлива. Аналогичные данные приведены в [2]. Следует отметить, что схема, описанная в [2], в отличие от предлагаемой нами, не позволяет производить рафинирование расплавленного металла от фосфора и серы.

Предложенная технологическая схема передела лома имеет и ряд других технико-экономических преимуществ по сравнению с традиционной комбинацией дуговая сталеплавильная печь - агрегат ковш-печь.

Прежде всего, это увеличение выхода годного жидкого металла при плавании. Если традиционная плавка лома в дуговой печи с использованием средств интенсификации плавления обеспечивает выход годного порядка 91-92 %, то предлагаемый вариант технологии может обеспечить выход годного при плавлении порядка 94-96 %. Увеличение выхода годного достигается за счет:

- меньшего окисления железа при плавлении в жидкой ванне (погружение куска лома в расплав);

- меньшего развития процесса окисления железа в присутствии углерода угля;

- меньших потерь железа в виде корольков слитого из плавильной камеры шлака вследствие меньшего количества используемого шлака и применения оригинальной сифонной схемы слива шлака;

- возвращения железосодержащей пыли, уловленной в газоочистке, в камеру путем вдувания пыли инжекторами в шлаковый расплав;

- исключения операции скачивания шлака из разливочного ковша после его наполнения металлом, сливаемым из плавильного агрегата через летку, предотвращающую попадание плавильного шлака в ковш.

Кроме того, предлагаемая схема не требует приобретения сверхмощной дуговой печи, сооружения мощных электрических подстанций, строительства мощной линии электропередач и т.д.

3. Непрерывное плавление металлургического сырья для производства стали

Металлизированное сырье (железо прямого восстановления), получаемое восстановлением железа из глубокообогащенных руд при температуре ниже температуры плавления железа, как шихтовый материал имеет ряд специфических особенностей, вызывающих необходимость существенной корректировки технологии плавки стали.

При общем содержании железа более 90% содержание пустой породы в металлургическом сырье (главным образом кремнезема) составляет 5-8 %, что приводит к заметному увеличению количества и снижению основности печного шлака при работе на такой шихте.

Высокое содержание оксидов железа (более 2 %) требует увеличивать расход углеродсодержащих материалов на плавку. Эффективная техно-

логия переработки металлургического сырья до настоящего времени применяется лишь в сверхмощных дуговых сталеплавильных печах [3].

Плавильный агрегат «МАГМА» позволяет более эффективно получать из металлургического сырья жидкий металлический полупродукт для последующего производства стали требуемого состава в агрегате ковш-печь. Технологическая схема такого процесса кратко описана ниже.

Непрерывное плавление загружаемых в плавильную камеру нагретых металлургического сырья и известняка осуществляется в предварительно наплавленной жидкой шлакометаллической ванне. Конструкция плавильной камеры позволяет производить плавление загружаемой шихты со скоростью большей, чем в дуговых печах, не опасаясь выбросов металла вследствие интенсивного кипения ванны. При использовании сырья с низким содержанием фосфора возможна работа на полуокислых шлаках с меньшей кратностью шлака (до 0,05). При необходимости дефосфорации расплава используются основные шлаки, соответственно увеличивается кратность шлака (до 0,12-0,13). Углерод, необходимый для частичного восстановления оксидов железа, шихты и некоторого науглероживания металла, вводится в расплав сверху в виде энергетического угля.

Тепло (физическое и химическое) выходящих из камеры газов утилизируется в установке подогрева шихтовых материалов, возможно использование этого тепла при металлургической железорудных материалов. Пыль, уловленная в газоочистке, вдувается инжекторами в шлаковый расплав, находящийся в камере.

Накопившийся на подине печи металл периодически сливается через металлическую летку в сталеразливочный ковш и направляется в установку ковш-печь, для получения стали.

Отработанный шлак сливается из плавильной камеры через шлаковую летку. Из полуокислого шлака производится высококачественный шлаковый щебень, основной шлак может быть использован для получения плавящего цементного клинкера.

Технико-экономические преимущества описанной схемы передела металлургического сырья по сравнению с плавкой полупродукта в дуговой печи и рафинированием его в агрегате ковш-печь аналогичны описанным выше для случая непрерывного расплавления лома в агрегате «МАГМА».

4. Переработка окисленных сталеплавильных шлаков

До последнего времени электросталеплавильные шлаки и пыли складировались и практически не использовались, несмотря на высокое содержание в них оксидов железа и корольков металлического железа (табл. 2). Аналогичная картина наблюдается и со шлаками других сталеплавильных процессов.

Составы отвальных электросталеплавильных шлаков и пылей

Материал	Содержание, %					
	CaO	SiO ₂	MgO	ΣFeO	Fe, корольки	Al ₂ O ₃
Окисленный электросталеплавильный шлак	35–50	10–20	3–5	20–30	5–10	2–3
Шлак из агрегата ковш-печь	56–60	15–20	5–8	0,5–1	1–3	5–10
Пыль из фильтров	20–30	10–15	2–5	40–55	–	2–3

В последнее время получили распространение различные способы извлечения из отвальных сталеплавильных шлаков металлического железа, включающие дробление, размол и магнитную сепарацию измельченного шлака. Такими способами обычно удается извлечь не более 30–40 % железа (металлического и оксидного), содержащегося в шлаке. Для остатков шлака пока не предложено эффективных вариантов использования.

Более выгодным вариантом переработки сталеплавильных шлаков и пылей является их пирометаллургическая переработка, включающая расплавление шлаков, восстановление оксидов железа, осаждение капелек металла из шлака, корректировку состава шлака с целью его эффективного использования в дальнейшем. Однако пирометаллургические способы переработки отвальных сталеплавильных шлаков практически не применяются из-за отсутствия высокопроизводительного, экономичного шлакоплавильного агрегата. Предпринимались попытки создания такого агрегата и технологии переработки шлаков в нем. В России - это разработка и опробование процесса ROMELT [1]. Из-за низкой экономичности, низкой температуры шлакового и металлического расплава, невысокой стойкости водоохлаждаемых кессонов стен и свода печи, трудности регулирования хода процесса он не нашел применения в промышленных масштабах. В Европе - разработка и опробование процесса ZEWA, также пока не нашедшего применения из-за малой производительности и низкой стойкости футеровки агрегата [4].

Применительно к описанному выше новому плавильному агрегату Промышленной компанией «Технология металлов» разработана и опробована технология пирометаллургической переработки сталеплавильного шлака и пыли, включающая расплавление и нагрев шлака, восстановление большей части содержащихся в нем оксидов железа, осаждение капелек металла с получением жидких железоуглеродистого сплава и портландцементного клинкера. В табл. 3 приведены составы отвальных сталеплавильных шлаков, портландцементного клинкера, получаемого по традиционной схеме в обжиговых печах из первичного природного сырья, и портландцементного клинкера, полученного при восстановлении оксидов железа, расплавленного шлака с небольшим количеством добавок, корректирующих состав получаемого плавного клинкера.

Видно, что состав получаемого плавного клинкера практически не отличается от традиционного состава портландцементного клинкера, полученного спеканием первичных природных материалов.

На рис. 2 приведена упрощенная технологическая схема предлагаемого процесса.

Опытные данные и расчеты показывают, что при переработке по такой схеме одной тонны электросталеплавильного шлака может быть получено до 250 кг железоуглеродистого сплава и 700–800 кг плавного портландцементного клинкера. Получаемый клинкер предполагается подвергать сухой грануляции, а металл использовать как шихту для

Таблица 3

Составы отвального сталеплавильного шлака, клинкера и типичного портландцемента марки 500

Вид сырья	Содержание, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFeO	CaO	MgO	MnO	Fe, корольки	SO ₃
Отвальный сталеплавильный шлак	15–19	1,5–3	18–25	50–52	1,5–2,5	4–7	6,1–10	–
Переплавленный и частично восстановленный шлак	18,5–23,5	1,85–3,7	4,5–5,2	61,7–63	1,85–3,1	2,5–4	–	–
Клинкер портландцемента	17–25	3–8	4–6	60–67	2,5–5	Нет сведений	–	–
Цемент марки 500	21,55	5,5	4,72	65,9	1,5	Нет сведений	–	1,9

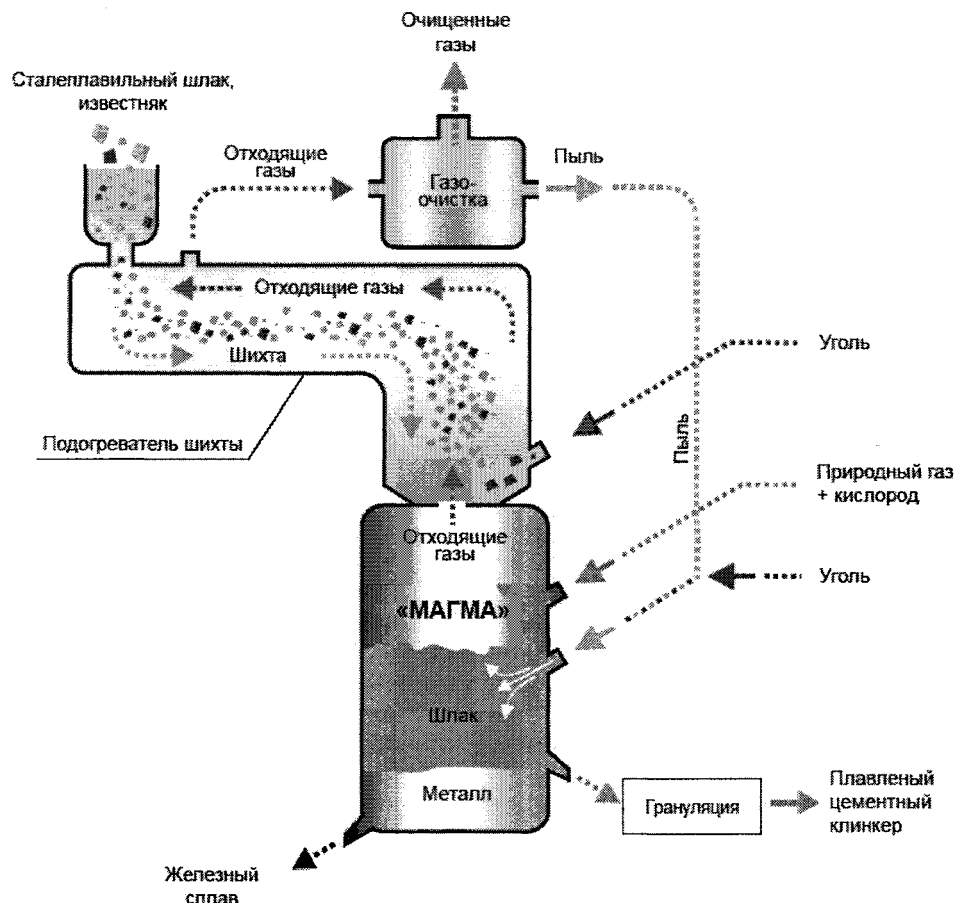


Рис. 2. Технологическая схема получения цементного клинкера из сталеплавильных шлаков

выплавки стали. Экономически целесообразно в качестве конечной продукции иметь на предприятии готовый портландцемент, размалывая гранулированный клинкер вместе с гипсом или гипсовым камнем. Суммарные затраты энергии на производстве 1 тонны портландцемента из сталеплавильного шлака на 5-10 % ниже, чем при работе по схеме со спеканием природных материалов. Вместе со шлаком возможна переработка сталеплавильной пыли из газоочистки.

При размещении участка пиromеталлургической переработки сталеплавильных шлаков близко от сталеплавильного цеха возможна схема работы с заливкой жидкого шлака в плавильную камеру. В таком случае энергетические затраты значительно снижаются (на 20-25 %), а производительность плавильного агрегата возрастает.

Предлагаемая нами схема выгодна как экономически, так и экологически: производство безотходное, полностью утилизируются побочные продукты производства стали, извлекается и возвращается в оборот значительное количество безвозвратно теряемого железа.

5. Переработка шлаков и шламов производства высоколегированных сталей и сплавов

Современное машиностроение потребляет большое количество высоколегированных сталей и

сплавов. Только мировое производство нержавеющей сталей составляет примерно 20 млн тонн. В процессе производства стали и проката из таких сталей образуется значительное количество шлаков, пыли и шламов с достаточно большим содержанием хрома и никеля, причем хром в них часто находится в виде соединений, содержащих сильный канцероген - шестивалентный хром [5]. В табл. 4 приведены типичные составы шлаков и пыли при выплавке нержавеющей хромоникелевых сталей типа 18-9, а также шламов, получаемых при травлении нержавеющей стали.

В промежуточных и конечных шлаках производства нержавеющей сталей содержится значительное количество мелких скрапш и корольков такой стали (до 2-2,5 % от массы выплавляемого металла). В большинстве случаев эти металлические включения извлечь из шлака не удастся.

Возможность осаждения высоколегированных корольков (капель) металла из отвального шлака производства нержавеющей сталей при расплавлении такого шлака на жидком легированном металле в дуговой сталеплавильной печи показана промышленными экспериментами, проведенными в 70-е годы XX века на Челябинском металлургическом комбинате [6]. Этими же экспериментами подтверждена возможность восстановления хрома и железа из оксидов отвального шлака.

Состав побочных продуктов производства нержавеющей стали типа 18-9

Вид материала	Содержание, %					
	Fe _n O _m	Cr ₂ O ₃	Ni _n O _m	SiO ₂	MgO	CaO
Шлаки выплавки нержавеющей стали	2–5	2–12	–	15–25	5–8	40–45
Пыль выплавки нержавеющей стали	30–45	8–10	10–20	10–15	2–4	10–15
Шламы при травлении нержавеющей листа	Остальное	7–9	6–10	–	–	–

В 2002 году на заводе Vitkovice была опробована опытная установка для реализации процесса ZEWA с целью промышленной утилизации металлических и минеральных отходов производства стали [4]. Была показана возможность восстановления оксидов хрома и железа, а также осаждения королек металла из расплавленных в реакторе с электродуговым нагревом на слое жидкого металла отвалных сталеплавильных шлаков. Состав восстановленного шлака корректировался с целью получения из него материалов, пригодных для использования в производстве порландцемента. Процесс ZEWA периодический, реактор футерован огнеупорными материалами. Поэтому футеровка реактора подвергается химическому и механическому воздействию расплавленного шлака и быстро разрушается, что вызывает необходимость частых остановок агрегата ZEWA для ремонта футеровки. Кроме того, химическое взаимодействие расплавленного шлака с футеровкой затрудняет получение нужного состава клинкера.

Поэтому широкое использование процесса ZEWA в ближайшем будущем маловероятно, хотя цели, ради которых создавался процесс ZEWA, весьма привлекательны и не вызывают существенных возражений.

Предлагаемый нами агрегат непрерывного действия с охлаждением корпуса жидкометаллическим теплоносителем, имеющий слой шлакового гарнисажа в шлаковой зоне и свободном пространстве, в сравнении с другими плавильными агрегатами значительно выгоднее и удобнее использовать для утилизации отходов производства высоколегированных сталей и сплавов путем извлечения из них королек металла, восстановления оксидов металла и получения из расплавленного шлака порландцементного клинкера. Причины этого заключаются в следующем:

- агрегат длительное время работает непрерывно, производительность его выше, а эксплуатационные затраты при его работе ниже;

- разделение продуктов плавки - металла и клинкера осуществляется легче и лучше, что увеличивает извлечение металла и качество получаемого клинкера;

- выше суммарный тепловой КПД агрегата, соответственно, меньше удельный расход энергии при получении металла и клинкера;

- используется первичная энергия топлива, а не электроэнергия, что выгодно экологически и также снижает суммарные затраты энергии на осуществление процесса;

- так как в шлаковой зоне агрегата нет огнеупорной футеровки, состав получаемого порландцементного клинкера не искажается поступающими в него частицами разрушающейся футеровки.

Технологическая схема работы предлагаемого агрегата при переработке побочных продуктов производства нержавеющей и высоколегированных сталей выглядит следующим образом. В плавильной камере наплавляется некоторое количество железоуглеродистого расплава. На металлический расплав загружаются побочные продукты производства нержавеющей стали и необходимое количество угля. Для корректировки состава шлака, получаемого в процессе восстановления оксидов металла, добавляются необходимые шлакообразующие материалы. Нагрев и расплавление загружаемой шихты осуществляются благодаря работе топливокислородных горелок. Уловленная в газоочистке пыль вдувается инжекторами в шлаковый расплав. Накапливающийся в ванне металл, восстановленный из оксидов, а также расплавленные осевшие из шлака мелкие частицы скрапа периодически сливаются в сталеразливочный ковш, где при необходимости раскисляются. Шлак с помощью сифонного устройства непрерывно сливается из плавильной камеры и гранулируется.

Описываемая технологическая схема может применяться периодически в агрегате, постоянно перерабатывающем шлак, получаемый при выплавке углеродистых сталей.

ООО Промышленная компания «Технология металлов» также разработаны и опробованы технологические схемы работы предлагаемого плавильного агрегата для безотходной переработки окисленных железо-никелевых руд, получения штейна и сплавов цветных металлов из руд в цветной металлургии, для безотходной переработки кислых железистых шлаков цветной металлургии, использования «красных» шламов производства глинозема, эффективного безотходного сжигания высокозольных углей с целью получения электроэнергии, а также экологически чистой безотходной утилизации твердых коммунальных отходов. Рас-

четные технико-экономические показатели работы по этим схемам превышают аналогичные показатели работы по известным технологически схемам.

Литература

1. Процесс Ромелт / под ред. В.А. Роменца. — М.: МИСиС: Издат. дом «Руда и металлы», 2005. - 399 с.

2. Falkenreck, U. *New scrap-based steelmaking process predominantly using primary energy* / U. Falkenreck, W. Weischedel // *MPT International*. - 3/2007. -P. 52-55.

3. Поволоцкий, Д.Я. *Устройство и работа сверхмощных дуговых сталеплавильных печей* / Д.Я. Поволоцкий, Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров. - М: Изд-во «Металлургия», 1990. - 174 с.

4. ZEWA-Prozess gewinnt Metalle zurück // *Secunder-Rostoffe*. - 4/2006. -S. 106.

5. Поволоцкий, Д.Я. *Производство нержавеющей стали* /Д.Я. Поволоцкий, Ю.А. Гудим. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998. -235 с.

6. Поволоцкий, Д.Я. *Выплавка легированной стали в дуговых печах* / Д.Я. Поволоцкий, Ю.А. Гудим. - М.: Изд-во «Металлургия», 1987. - 136 с.