

ЗАЙНУЛЛИН ЛИК АНВАРОВИЧ, ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ» (ОАО «ВНИИМТ»)

ЕПИШИН АРТЕМ ЮРЬЕВИЧ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЛАБОРАТОРИИ ГРАНУЛЯЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ» (ОАО «ВНИИМТ»)

КАРЕЛИН ВЛАДИСЛАВ ГЕОРГИЕВИЧ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ВЕДУЩИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЛАБОРАТОРИИ ГРАНУЛЯЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ» (ОАО «ВНИИМТ»)

АРТОВ ДМИТРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ, СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЛАБОРАТОРИИ ГРАНУЛЯЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ» (ОАО «ВНИИМТ»)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЧУГУНА

В ОАО «ВНИИМТ» в последние годы разработан и опробован в лабораторных условиях новый способ прямого получения металла путем восстановления твердым восстановителем в электродуговой печи постоянного тока мелкозернистого материала, включая измельченную руду, концентрат, железосодержащие шламы и т.п. Данная технология позволяет получить чугун с содержанием углерода 3-4 % в жидкотекучем состоянии, который может быть сгранулирован, отлит в чушки или переработан в сталь в агрегате ковши-печь из жидкого состояния с минимальными удельными выходами газа и шлака.

Высокие удельные энергетические затраты были и остаются главными недостатками доменного производства. Около 80 % от общих затрат энергии потребляет доменная печь совместно с коксохимическим, агломерационным и энергетическим производствами [1]. Процесс восстановления ведется при низкой энергонапряженности, иными словами относительно малом количестве энергии, выделяющейся в единице объема рабочего пространства доменной печи – 0,4-1 МВт/м³. В настоящее время энергоемкость доменно-конвертерного способа производства стали на уровне заготовки в промышленно развитых странах составляет 20-25 ГДж/т [2]. Не стоит забывать и о том, что доменное производство требует использования рудного сырья достаточно высокого качества. А более глубокое обогащение сырьевых материалов и необходимость окускования концентрата приводит к повышению энергозатрат и росту потерь железа с хвостами. Поэтому актуальной задачей ученых металлургов является поиск альтернативных технологий получения железа с максимальным извлечением из минерального сырья, причем без использования дорогостоящего кокса, природного газа и наименьшим давлением на экологию. Необходимы технологии их замены на дешевые и менее дефицитные восстановители как, например, энергетический уголь с максимальным извлечением железа из руды и минимальным загрязнением атмосферы.

Во ВНИИМТ в последние годы разработан и опробован в лабораторных условиях новый способ прямого получения металла путем восстановления твердым восстановителем в электродуговой печи постоянного тока мелкозернистого материала, включая измельченную руду, концентрат, железосодержащие шламы и т.п. [3].

Данная технология позволяет получить чугун с содержанием углерода 3-4 % в жидкотекучем состоянии, который может быть сгранулирован, отлит в чушки или

переработан в сталь в агрегате ковш-печь из жидкого состояния с минимальными удельными выходами газа и шлака.

Печь состоит из корпуса с подовым электродом и подвижного сводового графитированного электрода с центральным каналом, в который непрерывно подается сыпучее исходное сырье с тем или иным содержанием восстанавливаемого металла. Угольно-железородная шихта готовится практически без флюсов, что позволяет значительно сократить количество шлаков и затрат электроэнергии на получение металла с одновременным его расплавлением. Затраты угля составляют 15-20 % в зависимости от содержания восстанавливаемого металла в шихте.

На рисунке 1 показано устройство для реализации восстановительного процесса в дуге с одновременным расплавлением восстановленного металла.

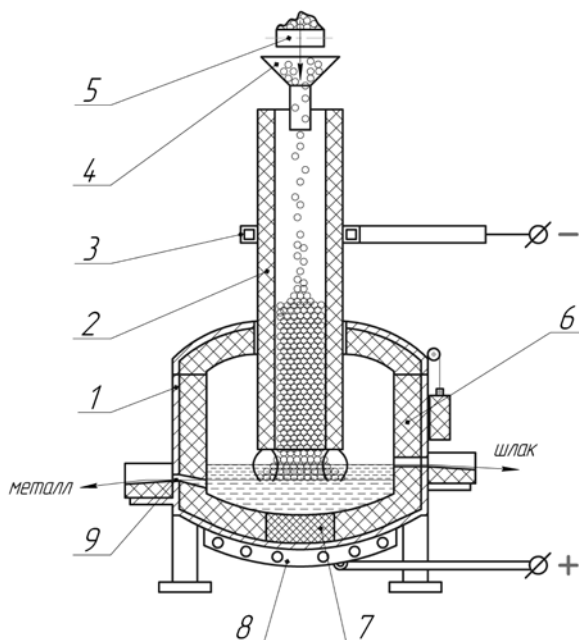


Рис. №1. Электродуговая печь постоянного тока с полым электродом:

1 – корпус печи, 2 – полый трубчатый электрод, 3 – держатель, 4 – загрузочная воронка, 5 – дозирующий питатель, 6 – летка шлаковая (окно), 7 – донный электрод, 8 – холодильник, 9 – летка чугунная

В корпус печи 1 при первоначальном запуске загружают некоторое количество коксика для исключения разгара нижнего электрода 7. Опусканием электрода 2 специальным механизмом (не показан) зажигается дуга и разогревается зона восстановления. При необходимости через шлаковое окно (летку) 6 подбрасывают и наводят жидкий шлак или жидкий металл из лома. После появления жидкого расплава - так называемого «болота» начинают подавать через полость электрода 2 подготовленную смесь руды/концентрата и восстановителя (шихты) через воронку 4 и дозирующий питатель 5. При попадании подготовленной шихты в зону высоких температур электрической дуги оксиды термическим способом восстанавливаются углеродом твердого восстановителя внутри полого электрода и, одновременно оплаваясь, металл, проходя через слой шлака, отстаивается на подине печи. При достижении уровня металла до уровня летки 9, металл начинает вытекать и разливается либо в чушки, либо гранулируется. Возможен вариант переработки чугуна в сталь в агрегате ковш-печь в жидком состоянии. Шлак также поддерживается на определенном уровне за счет слива избытка через окно-летку 6 с условием обеспечения горения дуги. Длительная работоспособность печи обеспечивается охлаждением нижнего электрода и подины охладителем 8.

Температура восстановления в зоне образования электрической дуги, куда целенаправленно подается загружаемая шихта, составляет от 2 000 до 5 000 °С и более. Как известно, при таких высоких температурах восстановление металлов из оксидов резко интенсифицируется. В металлургии в настоящее время для процесса восстановления используется существенно низкие температуры 700-1 300 °С, как в доменных (шахтных), так и в других известных процессах, включая электрические рудно-термические. В частности, в рудно-термических печах, несмотря на применение электроэнергии, восстановительный процесс идет при температуре плавления шлака и расплава металла с большим количеством восстановителя, что является основной причиной низкой интенсивности процесса восстановления, а, следовательно, низкой эффективности использования электрической энергии. Более того, температура расплава в зоне восстановления значительно понижается локально по причине интенсивного расходования тепла на реакции восстановления.

Процесс восстановления в электрической дуге – практически в плазме, по этой причине имеет существенные преимущества перед всеми известными металлургическими способами получения металла путем углетермохимического восстановления. Такие же локальные понижения температуры в зоне восстановления в электрической дуге с 5000 °С до 2000-3000 °С не приводят к замедлению процесса восстановления как в руднотермических печах.

Экспериментальные работы ОАО «ВНИИМТ» по восстановлению различных типов сырья новым способом показали, что процесс восстановления любого сырья осуществляется высоко интенсивно. Из литературных данных известно, что при температурах более 1600 °С при восстановлении железа переход из сырья V, Cr, и Ti в металл значительно увеличивается, что способствует получению природно легированного металла.

Печь работает на шихте с подогревом (до 400 °С) в нижней части трубчатого электрода, с подмешиванием угля в железорудное сырье (шламы, замасленная окалина, руда, концентрат и др.). Готовыми продуктами проплавки шихты с содержанием железа 65-70 % являются: жидкий чугун массой 650-700 кг, шлак в пределах 100-150 кг на тонну чугуна в зависимости от содержания железа в исходном сырье и отходящие газы в пределах 200-250 кг с учетом углерода угля. Расчеты теплового баланса показывают, что новая технология прямого получения жидкого чугуна в процессе электродугового восстановления твердым восстановителем (углем) без использования дорогостоящего и дефицитного кокса, природного газа, нагретого воздуха, кислорода и флюсов позволяет получить жидкий чугун при удельных затратах тепла 1333 кВт·ч/т.

В то же время из литературных источников известно, что усредненный удельный расход тепла при металлзации руд в шахтных печах, включая доменную печь и печь «Мидрекс», составляет около 3035 кВт·ч/т, а степень использования тепла газов от 27,4 до 47 %. С учетом этих коэффициентов использования тепловой энергии реальная потребность в тепле в шахтных печах составит от 832 до 1426 кВт·ч/т, что вполне адекватно коррелируется с удельными затратами тепла по новой технологии ОАО «ВНИИМТ» электродугового восстановления и плавления. Если учесть, что продуктом шахтных и других типов металлизационных печей являются металлизованные окатыши, из которых еще необходимо получить расплавленный металл доменным или электродуговым способом на ДСП, а по технологии ОАО «ВНИИМТ» получается жидкий металл за одну стадию без операции окомкования концентрата, то преимущества нового способа прямого получения металла ВНИИМТ являются неоспоримыми.

Помимо указанного основного достоинства новой технологии ВНИИМТ можно отметить следующие достаточно существенные преимущества:

1. Технология позволяет перерабатывать железорудное сырье с содержанием железа в руде от 35 % без специальных дополнительных операций: как окомкование, кроме измельчения до минус 5 мм и подсушки до 1-2 % влажности. При этом выход

чугуна составит около 350 кг, газов около 100-150 кг и шлака около 500-550 кг на тонну сырья.

2. Технология позволяет получать жидкий чугун из любого железорудного сырья, обогащенного или необогащенного, включая отходы (цветные шлаки).

3. Для запуска технологии необходимо помещение, электроэнергия, печь дуговая с устройством загрузки сыпучего материала, вода для охлаждения печи, уголь в объеме 15-20 %, система отвода и очистки газов в объеме газов диссоциации при восстановлении оксидов железа (примерно 15-20 %). Других энергоносителей (газ, воздух, кислород и т.п.), а также дополнительного оборудования не требуется.

4. Технология обладает высокой экологичностью (выбросы газов до 10 раз ниже, чем в доменном процессе), компактностью, мобильностью, низкой трудозатратностью. Сравним электродуговой процесс ОАО «ВНИИМТ» с доменным процессом. Известно, что доменная печь выделяет огромное количество доменного газа. В настоящее время для интенсификации доменного процесса и сокращения расхода кокса существует много различных мероприятий, влияющих и на свойства доменного газа: повышение давления, температуры и влажности доменного дутья, обогащение дутья кислородом, вдувание в горн природного газа, мазута и т.п. В результате совокупного действия этих факторов, в составе доменного газа повышается содержание водорода с одновременным уменьшением CO, вследствие чего теплота сгорания его изменяется мало, и составляет около 3500-4000 кДж/м³, а выход доменного газа снижается с 3800-4000 до 2000-2500 м³/т чугуна. Печь ВНИИМТ в процессе восстановительной плавки использует в основном тепло выделяемое электрической дугой, сторонних газов в рабочее пространство не подается. Поэтому при выплавке одной тонны чугуна по стехиометрическому соотношению количество выделяющихся газов от процесса составит 300-400 м³/т чугуна.

5. Технология в тандеме с системой «ковш-печь» позволяет получать сталь непосредственно из жидкого чугуна путем непрерывной продувки кислородом с небольшой интенсивностью.

6. Технология может обеспечить высококачественным сырьем мини-металлургические заводы, взамен лома.

7. Технология ОАО «ВНИИМТ» позволяет получать многие ферросплавы, в лабораторных условиях опробованы процессы получения ферроникеля, феррохрома, ферромарганца, выплавки железа из красных шламов, из шлака режского никелевого завода.

8. При восстановлении окисленных никелевых руд (например, Серовского месторождения) возможно получать ферроникель с содержанием никеля до 25 %. При плавке окисленных никелевых руд с содержанием никеля 1,5 % и железа 5,5 % получается сплав с соотношением никель/железо = $1,5/5,5 = 0,27$, то есть 27 % никеля. Выход сплава из сырой руды составит всего 70 кг на тонну руды, но благодаря высокой стоимости никеля (включая ферроникель ФН-25) затраты на электроэнергию (по предварительным расчетам) составят не более 30-40 % от выручки.

9. Еще одним преимуществом технологии электродугового получения чугуна ОАО «ВНИИМТ» является возможность 100 % использования содержащегося железа в добытой из земли руды. Известно, что сегодня доменные печи, как правило, работают на обогащенном и окомкованном сырье. При обогащении некоторых руд с хвостами теряется безвозвратно до 25 % железа. Следовательно, до годного продукта доходит только около 75 % добытого железа. При использовании новой технологии ОАО «ВНИИМТ» - электродугового получения чугуна из руды, без предварительного обогащения, в дело идет все 100 % железа, добытого из недр. Расчеты показывают, что даже при непроизводственных затратах электроэнергии на плавление балласта, добавочное увеличение выхода металла на 25 %, с лихвой перекрывает эти расходы. Из чего следует, что достаточно богатые руды выгоднее перерабатывать без обогащения по новой

технологии ОАО «ВНИИМТ», так как обогащение с получением концентрата неминуемо приводит к потере металлов с хвостами до 25 %.

А также следует еще раз отметить, что экологические преимущества новой технологии получения металлов электродуговым способом ОАО «ВНИИМТ» уже сегодня позволяют в 10 раз снизить выбросы CO₂ (парниковых газов) в атмосферу и решать вопросы более эффективного использования богатства недр земли.

Список литературы

1. Shparber L.Ya. *Metallurgiya zheleza i chuguna* [Iron and cast iron metallurgy]. Tula: ASSOD, 1996, 768 p.
2. Lyakishev N.P. Some problems of the modern steelmaking process. *Stal'* [Steel]. 1996, no. 9, pp. 1-6.
3. Zaynullin L.A., Epishin A.Yu., Artov D.A., Karelin V.G., Spirin N.A. High-temperature carbothermic reduction of sideritic ores in electric arc. *Metallurg* [Metallurgist]. 2016, no. 11, pp. 31-34.

Контактная информация

Данная статья была опубликована в сборник статей IX международного конгресса доменщиков: «Металлургия чугуна. Перспективы развития до 2025 года», проходившего 25-27 сентября 2018 года в г. Нижний Тагил.

Если вас заинтересовала информация, приведенная в данной статье, свяжитесь с нами по следующим координатам:

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»)

620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Email: aup@vniimt.ru

www.vniimt.ru