

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫХ РЕАКТОРАХ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Савчин В.В., Хведчин И.В.

*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси,
v.sauchyn@gmail.com*

Шейнерт В.А.

Белорусский национальный технический университет

Достигнутые успехи в создании плазменной техники и разработке на ее основе новых технологических процессов, позволяют считать низкотемпературную плазму важным элементом новых промышленных технологий. Применение низкотемпературной плазмы в металлургии позволяет интенсифицировать восстановительный процесс за счет высоких теплоэнергетических параметров восстановительных газов, полученных в плазмотронах.

Существенное повышение температуры, при которой реализуется тот или иной технологический процесс приводит не только к интенсификации необходимых физико-химических превращений, но и к возможности создания новых материалов, уникальных по своим свойствам (чистоте, термической и химической стойкости, твердости и т.д.).

Такие процессы возможно реализовать с помощью нового направления физической химии и химической технологии – плазмохимии (ПХ), где осуществление химических реакций происходит в высокотемпературной среде плазмы или созданной при помощи плазмы. В результате, в среде за счет повышения температуры T значительно повышаются скорости химических реакций. Кроме того, в плазме из-за появления высокорекреационных частиц и излучения возникают физико-химические взаимодействия, которые могут приводить к образованию новых соединений, не образующихся в обычном (низкотемпературном) состоянии.

Плазменные процессы могут быть разделены на следующие группы:

- Процессы, в которых плазменная струя служит только источником тепла без введения вещества в плазменную струю.
- Процессы, в которых рабочее вещество входит в состав электродов и переходит в плазму в результате их эрозии (так называемые процессы с дугой высокой интенсивности).
- Процессы, связанные с введением в плазменную струю концентрированных веществ, не взаимодействующих с плазмообразующим газом.
- Процессы, в которых вводимое конденсированное вещество может взаимодействовать с плазмообразующим газом.
- Процессы, в которых плазмообразующее вещество находится при обычных условиях в газообразном состоянии.

Практический интерес для осуществления восстановительной плавки представляют процессы последней группы. В этом случае высоко нагретые восстановительные газы могут быть получены в плазмотроне путем конверсии или пиролиза углеводородов; нагрева водорода, полученного вне плазмотрона; нагрева продуктов газификации твердых топлив; нагрева отходящих газов металлургических агрегатов и химических производств.

Особенности плазменной струи позволяют получать в восстановительной плавке результаты, которые не могут быть достигнуты другими способами и, следовательно, делают применение плазмотронов весьма перспективным для высокотемпературных восстановительных процессов.

Температура газа в плазмотроне составляет 3000-5000 °С, но из-за интенсивных эндотермических реакций восстановления, она вблизи сопла плазмотрона быстро снижается до 1700-2000 °С. Эти температуры достаточны для прохождения восстановительных реакций и плавления металла.

Основным восстановителем в процессе является порошкообразный уголь, хотя может быть применен и мазут. Топливо окисляется в этом процессе кислородом оксидов железа.

Применение плазмотронов в агрегатах восстановительной плавки позволяют сформулировать основные требования к конструкции реакторов и способам осуществления процессов:

- Одностадийный непрерывный процесс получения жидкого металла из окисленного железорудного сырья без применения в шихте кокса должен осуществляться в агрегате, состоящем из шахты и металлоприемника, сообщенных между собой специальным переходным узлом. Шахта служит для нагрева, предварительного восстановления твердых железорудных материалов и их плавления. Металлоприемник – для довосстановления оксидов железа из расплава, поступающего из шахты, накопления металла и его рафинирования.
- Плазмотроны – генераторы тепла и газообразных восстановителей, – должны устанавливаться как в шахте, так и в металлоприемнике. В шахте – в нижней части для организации эффективного противотока шихты и газа, плавления предварительно восстановленных материалов. В металлоприемнике – для осуществления эффективных тепло массообменных процессов в барботажном режиме.
- С целью достижения высоких технико-экономических показателей и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду, целесообразно отходящий из агрегатов газ использовать как энергетическое топливо или окислитель для конверсии углеводородов в плазмотронах.

Плазменный переплав по сравнению с другими способами получения чистых металлов и сплавов обладает рядом технологических преимуществ. Это, прежде всего, возможность широкого регулирования состава и давления газовой атмосферы над расплавом, скоростей плавления заготовок и кристаллизации слитка, выбора различных рафинирующих флюсов. В зависимости от состава газовой смеси при плазменном переплаве могут проходить либо процессы рафинирования, либо легирования. Например, переплав в восстановительной атмосфере позволяет эффективно удалять кислород, а в атмосфере азота или углеводородов проводить легирования расплава азотом, углеродом или водородом.

Среди плазменных процессов в металлургии особое место занимают процессы получения и формообразования дисперсных материалов. Это направление охватывает получение порошков (в том числе ультрадисперсных) плазмохимическим образом (восстановление, синтез), испарением и пере конденсацией, диспергированием расплавов, а также процессов формообразования, сфероидации и плакирования. Последний процесс представляет большие возможности для создания композитных материалов. Наиболее освоенными являются процессы получения высокодисперсных порошков металлов и их соединений: карбидов, нитридов, карбонитридов, боридов, силицидов при струйно-плазменном восстановлении оксидного и галоидного сырья. Освоены процессы производства высокодисперсных порошков W, Wo, Ta, Nb, карбидов Ta, Nb, Ti, Si, B, W, V, Zr, Hf, нитридов Ti, Si, Nb, Ta, B, V, карбонитридов, боридов, силицидов и других

соединений при восстановлении оксидов, хлоридов, фторидов и других солей этих элементов при контакте с водородом, природным газом, аммиаком, азотом при использовании дуговых генераторов низкотемпературной плазмы.

К основным перспективным легирующим элементам, значительно повышающим механические и эксплуатационные свойства сплавов при концентрациях порядка нескольких десятых и сотых долей процента относятся ванадий, никель, молибден и медь, а также марганец, хром и титан. Причем, если марганец, хром и титан широко используются в практике литейных цехов для улучшения структуры и свойств сплавов, то легирование ванадием, никелем и особенно молибденом для машиностроительных отливок весьма ограничено.

Использование вторичных материалов, полупродуктов и отходов смежных производств может значительно удешевить этот процесс. Например, использование полупродукта производства никеля-ферроникеля, содержащего 4-6 % никеля, позволяет не только увеличить производство экономнолегированных чугунов в станкостроении и автомобильной промышленности, но и снизить стоимость легирования, исключить потери сопутствующих элементов, в том числе хрома, кремния и железа.

Технология легирования через шлаковую фазу позволяет использовать при плавке оксиды цветных металлов, содержащиеся в отходах и полупродуктах смежных производств.

Сокращение стадий передела при использовании полупродуктов также позволяет уменьшить сквозные потери ценных легирующих элементов и за счет снижения трудозатрат и энергии на переработку повысить эффективность легирования чугунов.

Значительным по количеству возможном ресурсном источнике ванадия, которым является уголь, нефть и продукты их сжигания. В 1 т богатой ванадием нефти содержится до 300 г данного элемента, а также 30 г никеля в виде оксидов. Подсчитано, что при годовой добыче тюменской нефти в ней содержится 4,2 тыс. т ванадия и 600 т никеля, что практически соизмеримо с количеством добытого из руды ванадия. При сжигании мазута на стенках котлов ТЭЦ образуется слой золы, концентрация оксидов ванадия в которой достигает 5-45 % и оксидов никеля 1-10 %.

Значительное количество цветных металлов используется в химической, нефтехимической и других аналогических производствах для изготовления катализаторов. Промышленные катализаторы представляют собой многокомпонентные системы, в состав большинства которых входят оксиды цветных металлов.

Срок службы катализаторов зависит от многих факторов и колеблется от нескольких месяцев до 5 лет. Часть из них, особенно никелевых перерабатываются на металлургических предприятиях, однако извлечение цветных металлов не велико, причем сопутствующие ценные легирующие элементы, например, Со, W, Мо часто не извлекаются. Так, например, из отработанных катализаторов типа ГО117 и АКМ, извлечение молибдена составляет от 16 до 50 %, никеля до 50 %, кобальт не извлекается. Из катализаторов марки НВС-А, содержащих 42% W и 26% Ni в оксидах и сульфидах извлечено всего 3% W и 12,8% Ni, т.е. соответственно 7 и 50 об. %.

Разработана экспериментальная плазменная печь-реактор для плавления и модификации металлов и неметаллических материалов, которая позволяет тестировать процессы плавления и модификации расплавов. В качестве источника нагрева применен плазмотрон постоянного тока, косвенного действия с возможностью регулировки мощности от 20 до 80 кВт. Производительность печи от 10 до 50 кг/час. Установка состоит из:

1. Электродуговой плазмотрон

2. Плазменный реактор
3. Дозатор порошкообразных материалов
4. Устройство высоковольтной стабилизации дуги
5. Система силового электроснабжения
6. Система газоснабжения
7. Система водоснабжения
8. Пульт управления
9. Системы сигнализации и блокировок

Конструкция плазменной печи-реактора обеспечивает возможность реализации различных вариантов проведения процесса получения легированных сплавов.

I вариант – плазменная продувка расплава с целью удаления вредных примесей (жидкофазный старт).

II вариант – плазменная продувка шлаковой фазы с введением легирующих элементов и интенсификации химических реакций и процессов тепло- и массообмена в верхнем слое расплава (жидкофазный старт).

III вариант – восстановление металла в твердой фазе и выпуск жидкого металла в металлоприемник.

IV вариант – регулировка реакции слоя шлак–металл с увеличенной поверхностью реагирования и введением легирующих элементов.

V вариант – ввод порошкообразного сырья через плазменную форкамеру.



Рисунок – Выпуск расплава из экспериментальной плазменной печи-реактора