

Нами разработан образец (прототип) СВЧ машины, работающие в режиме «бегущей волны».

Такие СВЧ печи имеют наибольший КПД из всех печей, служащих для нагрева материала.

Наше оборудование не имеет недостатков, свойственных СВЧ оборудованию резонаторного типа или туннельных СВЧ печей.

Недостатки вышеперечисленного оборудования тщательно скрываются производителями и выясняются только в процессе эксплуатации.

Таковыми существенными недостатками является малая надёжность источников СВЧ энергии и малый КПД оборудования, который сводит на нет все преимущества СВЧ обработки.

Наше оборудование имеет главное преимущество - алгоритм управления, который позволяет работать оборудованию в автоматическом режиме и максимально передаёт энергию от источника СВЧ энергии к материалу, обеспечивая максимально достижимый КПД для технологического процесса.

Возможности оборудования, такие как производительность, потребление электрической энергии определяются типом применяемого источника СВЧ энергии (генератора) и характеристиками самого обрабатываемого материала.

На сегодня в мире в серийно выпускаются генераторы на 915 МГц и на 500 МГц.

Частота 2,4 ГГц не рассматривается в виду невозможности достичь приемлемых результатов по производительности обработки минерального сырья и все попытки применения таких СВЧ машин упираются в проблемы особенности оборудования, которое должно работать на такой частоте (например, малый диаметр проходного отверстия для транспортёра, что резко снижает производительность оборудования, малая глубина проникновения волны в материал может свести на нет всё преимущество СВЧ нагрева, а применение нескольких магнетронов на одну камеру могут привести к проблеме частого выхода магнетронов при непрерывной работе и т.д.).

Конечно, при выборе оборудования необходимо руководствоваться, прежде всего, производительностью и энергозатратами.

Можно в качестве примера рассмотреть оборудование:

Технология CoalTek (США) и нашего оборудования для обработки минерального сырья.

Технология CoalTek (США)- работа на частоте 915 МГц, при производительности в 40т /час по входному сырью, работают примерно 50 генераторов СВЧ на 75 кВт, стоимость такого комплекса по нашим сведениям 128 000 000 долларов США.

Работает оборудование в так называемом «туннельном» режиме на единый конвейер.

Самой главной проблемой является неожиданный выход генераторов из строя, что приводит к остановке всего конвейера или вся партия не выходя «некондиционна».

Материал, подаваемый на обработку необходимо подготовить, провести так называемую нормализацию сырья по входным параметрам для успешной работы СВЧ участка.

Та же производительность нашего оборудования в режиме «бегущей волны» при работе на частоте в 500 МГц имеет на порядок меньшую площадь, весь материал распределён на 6 СВЧ машин (5 в работе+1 горячий резерв) и при кажущейся усложнённой транспортировке материала получают наилучшие выходные характеристики сырья.

При этом сырьё требует минимальной подготовки (исключить попадание металлических предметов).

Стоимость оборудования как минимум меньше в 5 раз.

Так же следует отметить важность применения СВЧ машины для высокотемпературных процессов.

Важность такой машины доказывают научные работы по обработке руды, рудных материалов, при извлечении драгоценных и цветных металлов.

Например, для извлечения золота из сульфидной руды с большим содержанием арсенопирита в традиционной технологии обрабатывают руду при температуре выше 750 градусов Цельсия.

Такая температура не только опасна для персонала и окружающей среды (выделение токсичных газов), но и не позволяет полностью извлечь необходимый продукт (например, золото) из руды так как при такой температуре «запекается» верхний слой продукта и химические реагенты не могут взаимодействовать со всем продуктом (происходит не достаточное «вскрытие» руды).

При микроволновой обработке кристалл разрушается и деформируется полностью уже при температуре на поверхности слоя продукта менее 400 градусов Цельсия, что позволяет химическим реагентам полностью взаимодействовать с полезным продуктом.

Таким образом, увеличивается выход готовой продукции, и снижаются экологические риски.

Другой пример: имеются отходы металлургического комбината.

Только прямое товарное железо составляет около 60 % отхода (а всего отхода такого типа 65000 тонн).

Простой регулируемый микроволновый нагрев сырья до 250°C позволяет провести восстановительные процессы и «отход» превратить в товар высокого спроса.

Однако, попытка применить традиционные печи (туннельные, «кипящего» слоя и т.д.) не привели к ожидаемому результату, так как не могут обеспечить необходимый температурный режим по всему объёму материала (особенность «косвенного» нагрева).

И только применение СВЧ нагрева способно дать максимальный экономический эффект.

И таких примеров достаточно много.

На сегодня мы имеем опыт в проектировании и изготовлении микроволновых установок непрерывного действия для следующего применения:

- 1. Обработка пульп, паст, влажных нерастворимых материалов. Начальная влажность 20-50%(весовых), конечная влажность - менее 0,1%.**
- 2. Сушка влажных солей и мелкодисперсных материалов (без кристаллизации). Начальная влажность 8-15%. Конечная менее 0,2%.**
3. Сушка зерна, подсолнечника, бобовых культур и корнеплодов.
- 4. Упарка растворов и кристаллизация солей редкоземельных элементов (в том числе и радиоактивных) в непрерывном режиме.**
- 5. Разделение смывных и сбросных вод, химических растворов и смесей на составляющие реагенты на аппаратах с промышленной частотой и СВЧ аппаратах в непрерывном режиме.**
6. Переконденсация гексофторида урана из контейнеров хранения в транспортные технологические контейнеры.
7. Ректификация, получение чистых и особо чистых реагентов и веществ в непрерывном режиме.
8. Вакуумная микроволновая сушка овощей и фруктов в непрерывном режиме.
- 9. Дегазация металлических порошков, их сфероидизация.**
10. Активация дрожжей в брикетах и растворах.
11. Пастеризация и стерилизация пива, молока, соков и т.д. без консервантов в непрерывном режиме.
12. Получение кристаллического хлорида неодима из насыщенных растворов в непрерывном режиме.
13. Сушка пиломатериалов в непрерывном режиме.
14. Получение моющих средств (порошки, брикеты) из жиров растительного происхождения.
15. Активация воды.
16. Получение мясокостной и рыбокостной муки.
17. Установка для обработки больших количеств мяса, птицы и других продуктов.
18. Установка для быстрого определения некоторых теплофизических и диэлектрических свойств различных веществ и продуктов.

19. Установка для высокотемпературной обработки рудных пород для нужд обогатительного комплекса при получении цветных, драгоценных, редкоземельных и других материалов, металлов (золото, серебро, медь, обработка железной руды и т.д.).

20. Микронизация зерновых культур и получения из них высококачественного корма в непрерывном режиме.

Мы проектируем, изготавливаем, вводим в эксплуатацию и осуществляем сервисное обслуживание микроволновых машин непрерывного действия.

Нами изготавливаются микроволновые аппараты непрерывного действия, которые имеют лучшие характеристики из всех имеющихся подобных устройств:

1. Микроволновая камера работает в режиме «бегущей волны».
2. КПД установки не менее 75%.
3. Полностью автоматическая регулировка режимом работы всей установки (регулирование мощности генератора, регулирование загрузочных механизмов и т.д.)
4. Абсолютный метод (колориметрический) измерения микроволновых характеристик всей установки даёт возможность автоматически реагировать на изменение свойств материала в процессе микроволновой обработки в непрерывном режиме.
5. Применяемые генераторы от 25 кВт и выше, при частоте 460 МГц или 915 МГц дают возможность достигать хорошей производительности.
6. Непрерывный ввод и вывод обрабатываемого материала в микроволновую камеру при работе генератора.
7. Не нарушается технический регламент при применении установки в производстве.
8. Микроконтроллерное управление позволяет быстро реагировать на изменения в работе без участия персонала, с записью в архив всех событий.

Существующее положение и принципиальная новизна новой технологии

Одной из самых сложных и долгое время нерешаемых задач в цветной и редкоземельной металлургии является получение чистых, особо чистых металлов и легированных сплавов, полупроводников для элементов техники связи, радиолокации, радиотехники, цифровой техники, военной и космической техники и др.

На существующем промышленном термическом оборудовании невозможно получить высокое качество и достаточное количество кондиционных материалов из-за очень сложного состава природных химических соединений в РК и РФ, а разведанные запасы мировых месторождений истощаются, и их обладание представляет стратегический интерес.

На существующем промышленном термическом оборудовании из таких концентратов получить высококондиционные материалы невозможно и с помощью известных применяемых методов его произвести пока не удаётся, несмотря на многочисленные попытки из-за несовершенства передачи энергии и её распределения в сечении слоя и по длине слоя транспортируемого продукта и непостоянства состава и свойств смеси материалов, входящих в концентрат.

Принципиальная новизна технологии, предложенной авторами проекта в том, что эффективней применить СВЧ обработку после получения концентрата, который получается, когда большинство веществ и соединений, в котором они находятся, пребывают в первобытном природном состоянии, в состоянии, близком к состоянию диэлектриков, в которые электромагнитные волны проникают на большую глубину и разогревают их, выделяясь в них в виде тепловой энергии пропорционально их «испорченности»-величине коэффициента диэлектрических потерь, равному произведению эффективной диэлектрической проницаемости на

тангенс угла потерь при упругом взаимодействии, между энергией радиоволны, проникающей в вещество, с зарядами молекул, атомов, заряженных групп атомов, таких, как гидроксильные, диссоциативные, диссипативные и другие, например, техногенного происхождения.

Все эти взаимодействия проявляются в ускорении их движения, повышении внутренней энергии вещества, в которое проникает энергия, в стремительном нагреве вещества в объёме своего проникновения и пропорционально концентрации веществ, у которых самые большие коэффициенты потерь, вызывает их интенсивный нагрев, возгонку, сублимацию, полиморфные превращения, ведущие к разрушению частиц, вызывая их энергичное удаление, отделение от основной массы потока концентрата, которые стоит уловить, сконденсировать, накопить и использовать, как товар, содержащий ценный ингредиент для получения монометалла с высокой степенью содержания в нём ценнейшего металла на существующем стандартном оборудовании или модернизированном по мере надобности.

При этом происходит и обогащение всех компонентов, оставшихся в потоке на величину доли примесного элемента, только что удалённого и выделенного.

Так, поочередно, последовательно можно отделить все примесные фракции в очень хорошей степени очистки от первого до последнего и получить максимально обогащённые компоненты основных цветных металлов, содержание примесей в которых может сократится в десятки, сотни и более раз.

Разделённые таким естественным образом концентраты полиметаллических руд и, возможно, техногенного сырья (к сожалению, сильно испорченного восстановительными плавками) обогатит государство получением кондиционных редких, редкоземельных и других металлов, получение которых связано с колоссальными трудностями, особенно из концентратов полиметаллических руд, распространённых в РК и РФ и др., и действительно ценные концентраты с богатым их содержанием могут быть достойно проданы, а не рассеяны в атмосфере, в воде, в почве и в обитателях окружающей среды.

Несколько примеров для иллюстрации

Пример № 1

Авторы проекта выполнили договорную работу (НИР) по возможности получения безводного мелкодисперсного порошка оксида бериллия из технического гидроксида бериллия в СВЧ печи за один проход в режиме непрерывного действия со степенью содержания бериллия, близким к 36% (весовым).

На предприятии этот процесс производили последовательно в двух печах накаливания.

В первой при температуре + 300° С получали безводный гидроксид: во второй при температуре + 630° С получали порошок оксида бериллия с неустойчивой и неполной степенью разложения гидроксида бериллия: кроме того, в конечный порошок неполноценного оксида попадали окислы металлов материала трубы - транспортёра.

Кроме того, специалисты - учёные считали, что этот процесс выполнить невозможно.

Вот в такой обстановке начиналась та работа, которую инициировал первый руководитель предприятия, уважаемый нами человек.

Однако тигля из жаропрочного и радиопрозрачного материала с нужным нам объёмом и размерами мы не могли найти.

В России такие тигли производили для гидрометаллургических производств, однако они были неудовлетворительного качества, потому что материал, из которого они были изготовлены, в интенсивных полях СВЧ излучения разогревался и не давал возможности разогреть продукт в тигле, т.е. не обладал радиопрозрачностью и СВЧ излучение гасилось в нём, а нагрев гидроксида происходил как в металлической кружке.

Нарушалась вся идеология эксперимента.

Мы предлагали нашим заказчикам вариант изготовления тиглей из фторопласта, но они категорически отвергли этот вариант, будучи убеждёнными, что разложение гидроксида в оксид

происходит при температуре + 630°C, а фторопласт заметно размягчается при температуре + 260° С, а при более высокой температуре возможно его разложение с образованием токсичных газов.

Пришлось идти к директору по безопасности производства, заручаться технологическими данными о фторопласте, предусмотреть усиление мер при возникновении опасных температур, добиться разрешения изготовить из своих запасов материала нужных размеров тигель из фторопластовых сортаментов, провести эксперименты на нейтральном материале и совершить пять полноценных опытов, создавая остановы, возобновления, контроль температуры материала и благодаря изучению всех возможных и невозможных ситуаций мы добились проведения испытаний по полной программе, внезапных отключений, возобновлений работы при самых разных степенях разложения гидроксида и добились 99,7% содержания металла в оксиде к нашей законной радости и изумлению наших недоверчивых заказчиков, рядом с которыми мы проводили эти опыты, у которых уже был напечатан Отчёт о невозможности планируемых нами достижений.

В результате мы получили следующие результаты:

- проведён по утверждённой и согласованной Программе и Методике испытаний процесс сушки технического гидроксида бериллия с исходной влажностью $25\pm 10\%$;
- произведён диэлектрический разогрев обезвоженного гидроксида бериллия до температуры + 210°C (начала разложения гидроксида бериллия и стабильное поддержание этого процесса на всех степенях содержания металла в оксиде (от 18,6% до 35,7%), при температуре + 210°C вместо + 630° С в процессах раздельной сушки и прокалики на существующих печах;
- удельные затраты энергии на получение порошков из оксида бериллия, по крайней мере в 4,5 раза меньше, чем при существующей технологии;
- данные аналитических исследований у нас отсутствуют, но они явно в нашу пользу, так как фторопласт практически не загрязняет конечный продукт, который достигнув такой степени разложения просто остывает, так как исчезает причина для диэлектрического нагрева: исчезает поглотитель энергии, исчезает вода, а больше греться в СВЧ полях в данном случае нечему;
- были оформлены данные исследований, расчёты о возможности проведения новой технологии на новом технологическом оборудовании с последовательным осуществлением всех трёх этапов (сушки, диэлектрического нагрева и прокалики) в одной печи СВЧ мощности $170\div 180\text{кВт}$, с производительностью в 1,5 раза превышающей потребности производства по производительности в год при температуре + 210°C во фторопластовой трубе за один проход гарантированного высокого (предельного) качества.

Но мы даже не знаем причин, на основании которых работа прекращена.

Однако, у нас есть основания гордиться результатами проведённой работы, находками новых неведомых нам эффектов ведения процессов при низких температурах с получением кондиционного материала высокого качества.

Именно эта работа и её результаты подвигли нас на разработку новой технологии разделения концентратов из минерального и техногенного сырья путём диэлектрических разогревов и извлечения примесных соединений, содержащих редкие, редкоземельные, цветные и драгметаллы, их конденсацию, накопление, а восстановление пока производить по существующей технологии с получением металлов высокого качества и с наименьшими загрязнениями среды обитания.

Пример № 2.

Один из авторов проекта был в составе большой делегации специалистов Ульбинского Metallургического завода РК на Иртышском химико-metallургическом заводе (ИХМЗ), где

демонстрировали работу высокочастотных установок, разработанных в Ленинградском НИИ им. академика Вологодина в некоторых технологиях получения очень редких и редкоземельных элементов, производство которых составляет несколько сот кг/год(!).

Мы присутствовали при рождении промышленного производства некоторых элементов.

Запомнились празедиум, кучка которого ~ 400 кг. скромно лежала в углу одного помещения, прикрытого куском плёнки, неодим, церий и некоторые другие.

Вот такие реликты. Бросилось в глаза, что природные химические соединения переводят в хлориды, то есть в растворимую в воде форму, которую в печах накаливания очень трудно высушить.

Так гидрохлорид неодима, имеющий состояние жидкости, сначала обезвоживали в специальных чанах с двойной стенкой, нагреваемой глухим паром при температуре ~ + 160°C, затем охлаждали и он превращался в «твёрдое» состояние, подобно гудрону.

Его дробили клиньями и кувалдой, а потом измельчённый сушили в электрошкафах несколько суток при температуре ~ + 300÷320°C и часть его окислялась до состояния гидрооксихлорида неодима, который при электролизе выпадал в осадок и его накапливали в отвалах, так как извлекать неодим из гидрооксихлорида не могли.

До одной четверти ценнейшего продукта уходило в отвалы.

Руководство ИХМЗ обратилось к руководству УМЗ.

Около полутора десятка различных соединений мы получили и подвергли их сушке в электромагнитных полях в технологических волноводах с наклонными вращающимися трубчатыми радиопрозрачными транспортёрами на своём опытном участке для испытаний новых технологических процессов.

Жидкий гидрохлорид неодима с помощью изобретённых нами насосов-дозаторов для перекачки пульп, паст, растворов непрерывно подавали в описанное устройство и на выходе из трубы обезвоженный хлорид неодима с содержанием, не превышающим 0,15% гидрооксихлорида потоком кристалликов, напоминающим кристаллы тростникового сахара, ссыпался в накопитель.

Накопленный хлорид неодима увозили на своё производство и растворяли в электролите, подвергали электролизу и получали чистейший неодим, который используется для получения мощных постоянных магнитов.

Руководство ИХМЗ заказало нам изготовить установку для СВЧ сушки хлорида неодима; мы её разработали, но финансирование пока отсутствует.

Пример №3.

Потенциальный партнёр авторов проекта АО «Казцинк» и он же потенциальный Заказчик, промышленной СВЧ установки, макет которой авторы разработали, в лице главного металлурга Ю.П. Шлемова сообщили авторам, что им никак не удаётся хорошо высушить, прокалить и удалить из свинцового концентрата элементарную серу с массовым содержанием 11÷12%.

При попытках сделать это у них куда-то теряется (исчезает) всё Au, Ag и попросили отделить примесные ингредиенты, но сохранить драгметаллы.

На прототипе СВЧ установке бегущей волны «Волна-К25» было проведено два опыта.

Результаты эксперимента.

За время эксперимента убыль массы в тигле составила 2 кг (масса загруженного материала составила 12кг). Причём в конденсате паров содержалось до 82% элементарной серы, анализ остальных ингредиентов наши партнёры не проводили, но связанная сера в нём была.

В остатке концентрата (в тигле) содержание элементарной серы оказалось всего лишь 0,027%, что металлургом очень понравилось, а мы поняли, что если мы сконструируем самоочищающийся

конденсатор, то можем отгонять и накапливать примесные ингредиенты (в нашем случае элементарную серу и другие) последовательно и отдельно, если будем точно знать кинетику поочерёдно проходящих процессов в разных секциях технологических волноводов.

Но чтобы не наделать новых непредвиденных ошибок, решили ограничиться всего лишь одной волноводной секцией и пропускать выбранное количество исходного продукта, настраивая её на отгонку лишь одной примесной фракции, а затем основное количество частично обогащённого продукта пропускать повторно, о кинетике которого мы заранее всё знаем.

Это в несколько раз позволит уменьшить стоимость и площадь занимаемого помещения, и увеличить площадь помещения под конденсаторы для максимально высокой степени конденсации каждого ингредиента и удобного доступа к ним и пользования ими при их заполнении и разгрузке и при применении стандартных тары, ёмкостей и трубчатых транспортных средств.

Возможно применение ленточных и трубчатых транспортёров накопленных фракций ингредиентов для складского или подземного хранения, или к месту их переработки.

В период выбора приоритетной темы авторы проекта обратились к своим знакомым специалистам «ВНИИцветмет» и потенциального партнёра и заказчика будущей промышленной СВЧ установки для разделения минерального и техногенного сырья на полезные ингредиенты – главного металлурга АО «Казцинк».

Они с любопытством выслушали авторов будущего проекта, а главный металлург высказал мысль, что было бы хорошо, если бы наше оборудование не меняло сложившейся технологии.

Мы его поняли без комментариев: было бы особенно хорошо, чтобы не сильно или совсем не нарушался сложившийся логический порядок, но только улучшался и вёл к ещё большему и порядку, и согласию, и смыслу.

По нашему мнению, мы нашли своему предложению его естественное место, то есть заполнить в сложившемся порядке свою естественную нишу.

Надеемся на понимание экспертов и заинтересованных лиц, и организаторов горно-металлургического комплекса, и ведущих учёных.

Только общими усилиями можно осуществить эту заманчивую идею, которая уже начинает жить.