Применение стеклопластика в системах газоочистки

на заводах по производству серной кислоты

G. Bruce Garrett

John Recar

MECS Inc.

Don Kelley

Ashland Performance Materials

РЕФЕРАТ

Стеклопластик – это конструкционный материал, который предпочтительнее всего использовать при изготовлении оборудования, предназначенного для увлажнения, мокрой очистки, охлаждения и удаления аэрозоля в системах газоочистки как на металлургических заводах, так и на заводах по обогащению отработанной серной кислоты, где используется технология пенной мокрой очистки с обратным потоком в скруббере MECS Dyna Wave®. Благодаря развитию технологий использования стеклопластика как конструкционного материала за последние двадцать лет, оборудование с футеровкой из свинца и кирпича ушло в прошлое, что особенно характерно для систем газоочистки на заводах по производству серной кислоты. В условиях современной экономики использование стеклопластика особенно выгодно по сравнению с дорогостоящими металлическими сплавами. В этой статье будет обсуждаться как процесс газоочистки, так и разработка и производство стеклопластикового оборудования, подходящего для использования в агрессивной среде.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения высококачественной серной кислоты особенно важен источник чистого газа, содержащего диоксид серы и достаточное количество кислорода для превращения его в триоксид серы. Заводы по производству серной кислоты обычно делят на две основные категории, в зависимости от сырья, которое на них используется:

- Сжигание серы (горячий газ)
- Металлургические / заводы по регенерации отработанной кислоты (холодный газ)

Заводы, на которых для производства чистого диоксида используется элементарная сера, не требуют наличия систем газоочистки. Диоксид серы окисляется и адсорбируется потоком кислоты. На металлургических заводах диоксид серы получается как побочный продукт в плавильной печи, где перерабатываются сульфиды железа, цинка, свинца, никеля, молибдена и других металлов. Газы, отходящие от плавильной печи, очень сильно загрязнены пылью, аэрозолем кислот, дымом, летучими металлами и другими газами. Газ, получающийся в результате разложения отработанной кислоты, содержит несгоревший углерод, неразложившийся триоксид серы, неорганические загрязнители и избыток воды. Если эти загрязнения не удалить, они будут снижать качество готового продукта, забивать брызгоуловители, осаждаться на катализаторе и ускорять коррозию оборудования.

Процесс очистки газа включает в себя следующие четыре основных шага:

1. Охлаждение
2. Конденсация
3. Очистка от частиц
4. Сбор аэрозоля

На первом этапе необходимо охладить поток горячего газа с помощью адиабатического увлажнения до температуры, подходящей для работы со стеклопластиковым оборудованием. В случае, если рабочей средой является слабая серная кислота, максимальная температура, при которой можно использовать эпоксивинилэфирную смолу, составляет 100°C. В дополнение к охлаждению газа на данном этапе, скруббер Dyna Wave® позволяет также удалять пыль и твердые частицы из газовой фазы. Второй этап заключается в дальнейшем охлаждении газового потока и конденсации воды, что позволяет поддерживать водный баланс завода постоянным и получать крепкую кислоту. На третьем этапе из газового потока удаляются частицы размером от 10 до 1 микрона. На четвертом этапе удаляются субмикронные частицы и аэрозоли, такие как брызги кислоты или сконденсированные пары металлов.

Обычно система газоочистки работает с грязным газовым потоком с входными температурами, находящимися в диапазоне от 316°C до 427°C. Оборудование будет работать со слабой серной кислотой в концентрациях от 1% до 25% по весу, температуры от 38°C до 82°C.

Среда теплой слабой серной кислоты создает жесткие условия работы для стандартных конструкционных материалов. Тридцать лет назад для изготовления оборудования, предназначенного для работы с крайне агрессивной слабой серной кислотой, выбирали сталь со свинцовой футеровкой с кислотостойким или углеродистым кирпичом для защиты от высокотемпературных газов в переходных зонах. Однако, создание конструкции со свинцовой футеровкой требует больших затрат как по времени, так и по труду. Использование этих материалов приводило, в лучшем случае, к частым остановкам завода и постоянному текущему ремонту с целью поддержки работоспособности оборудования. Высокие затраты, повышенные требования к текущим ремонтам и опасность для здоровья – все эти факторы вызвали замену стальных емкостей на стеклопластиковые. За последние двадцать лет именно стеклопластик стал предпочтительным конструкционным материалом. Переориентация на стеклопластик получила мощный толчок в момент введения стандарта ASME RTP-1 в 1980-е гг. и появления технологии мокрой очистки Dyna Wave® как решения для систем газоочистки на заводах по производству кислот.

Преимущества использования стеклопластика в качестве конструкционного материала включают в себя сниженные требования по текущим ремонтам, возможность изготовления и ремонта «по месту», коррозионную стойкость и невысокую стоимость. Использование дорогих металлических сплавов сейчас ограничивается изготовлением входных цилиндров для горячего газа с сухой/влажной поверхностью и резервуаров для охлаждения слабой кислоты. MECS за последние 23 года разработали более 70 систем газоочистки для металлургических заводов и заводов по обогащению отработанной кислоты, использующих стеклопластиковые конструкции и технологию мокрой очистки Dyna Wave®. Первые системы газоочистки, которые были установлены в поздние 1980-м – ранние 1990-м гг., и по сей день продолжают успешно работать, не требуя масштабных ремонтов.

ПРОЦЕСС

На рисунках 1 и 2 показаны схемы типичных систем газоочистки для металлургического завода и для завода по обогащению отработанной кислоты, соответсвенно. Поток грязного газа входит в верхнюю часть первого скруббера Dyna Wave® через входной цилиндр, там газ охлаждается и очищается с помощью противоточного распыления слабой кислоты из большого распылительного сопла. После столкновения жидкости и газа в цилиндре, они продолжают двигаться одновременно по скрубберу к емкости, где газ и жидкость разделяются под воздействием силы тяжести, и захваченная жидкость удаляется из газа с помощью шевронного брызгоуловителя.

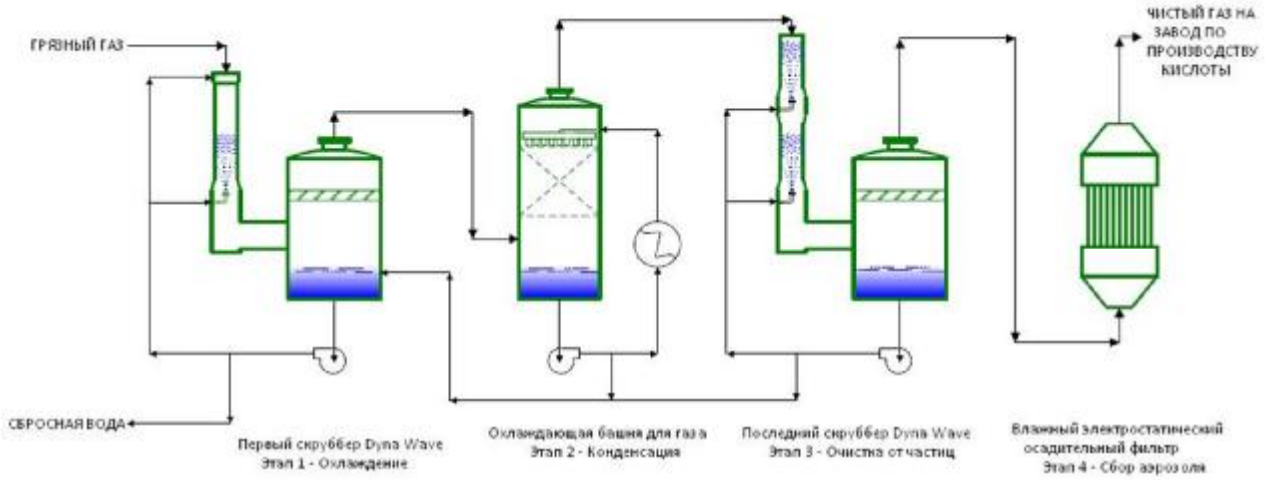


Рисунок 1. Типичная схема системы газоочистки для металлургического кислотного завода

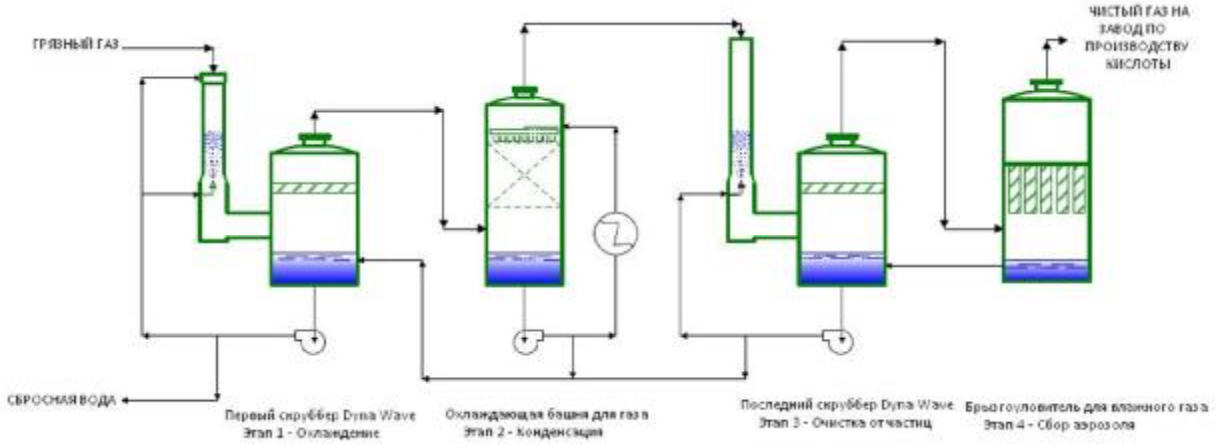


Рисунок 2. Типичная схема системы газоочистки для завода по обогащению отработанной кислоты

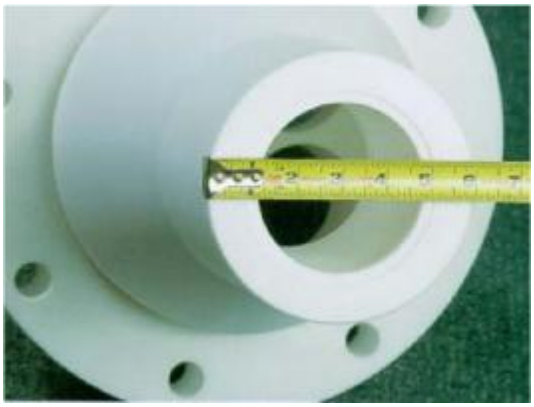


Рисунок 3. Типичное сопло обратного потока Dyna Wave®

Отдельный поток слабой кислоты направляется на чашеобразный слив, расположенный в верхней части входного цилиндра. Слабая кислота собирается в кольцеобразной области и перетекает на внутреннюю поверхность цилиндра, создавая стекающую пленку или жидкую завесу на стенках цилиндра, которая защищает от высокотемпературного газа. Входной цилиндр первого скруббера и чашеобразный слив для дополнительной защиты обычно изготавливаются из сплава Hastelloy G-30. Слабая кислота

циркулирует от основания емкости скруббера до распылительного сопла обратного потока и чашеобразного слива с помощью центробежного насоса с резиновой или стеклопластиковой футеровкой.



Рисунок 4. Стеклопластиковый чашеобразный слив и создание защитной жидкой завесы на внутренней поверхности входного цилиндра первого скруббера Dyna Wave®

Обрабатываемый газ из первого скруббера Dyna Wave® отправляется в охлаждающую башню, и проходит вверх через слой случайных пластиковых уплотнений. Газ встречается с холодной слабой кислотой, стекающей вниз через уплотненные секции, тем самым температура газа снижается. Когда газ охлаждается, водяной пар из него конденсируется, брызги и частицы дыма растут, что увеличивает эффективность их захвата. Газ выходит из верхней части охлаждающей башни и попадает в последний скруббер. Слабая кислота собирается в основании охлаждающей башни и циркулирует по тарелкам и контуру теплообменника для охлаждения, затем возвращается на верхнюю часть уплотненной секции с помощью центробежного насоса с резиновой или стеклопластиковой футеровкой.

Газ, пришедший из охлаждающей башни, поступает во входной цилиндр последнего скруббера Dyna Wave®, где очищается с помощью противоточного распыления слабой кислоты из большого распылительного сопла. Это может происходит за один или два этапа в зависимости от количества загрязнителей во входящем газовом потоке. Газ и жидкая смесь перетекают из цилиндра скруббера в емкость скруббера, где жидкость отделяется от газа и собирается в основании емкости. Шевронный сепаратор затем удаляет захваченную жидкость из выходящего газа.



Рисунок 5. Охлаждающая башня для газа и последний скруббер Dyna Wave® на заводе по регенерации отработанной кислоты в процессе монтажа

После последнего скруббера Dyna Wave® газ проходит дальнейшую обработку, его очищают от аэрозольных загрязнителей. На металлургическом кислотном заводе для удаления оставшихся субмикронных брызг кислоты и конденсированных паров металлов/дымов, не захваченных в скрубберах Dyna Wave®, используется влажный электростатический осадительный фильтр. Такие фильтры изготавливаются из стеклопластика с многочисленными параллельными собирающими трубками, содержащими разряжающие электроды для ионизации обрабатываемого газа. Электрический заряд распределен по частицам, образующим суспензию. Эти частицы притягиваются к собирающим трубкам посредством электростатического поля и под действием силы тяжести собираются на дне емкости. На заводах по регенерации кислоты, где используется отработанная кислота от процесса алкилирования, устанавливаются брызгоуловители для влажного газа. Они собирают субмикронные брызги кислоты, которые не были захвачены скрубберами Dyna Wave®. Кислотный туман удаляется путем столкновения брызг кислоты со стеклопластиковыми элементами, посредством прилипания или диффузии. Брызгоуловители влажного газа от MECS HE – это высокопроизводительные устройства. Обычно эти элементы изготавливаются из стеклопластиковых проволочных каркасов, что обеспечивает коррозионную стойкость в условиях работы в среде влажного газа. Дренажная система от элементов брызгоуловителя влажного газа идет к днищу последнего скруббера Dyna Wave®. Элементы для влажного газа располагаются в верхней секции последнего скруббера Dyna Wave® или в отдельной стеклопластиковой емкости. Использование брызгоуловителей влажного газа не рекомендовано на металлургических кислотных заводах, так как газ, используемых на них, обычно сильно загрязнен твердыми частицами, металлическими дымами/парами, а такие загрязнители быстро забивают элементы оборудования.



Рисунок 6. Емкости двойного брызгоуловителя влажного газа на заводе по регенарции отработанной кислоты в процессе монтажа

По технологией пенной мокрой очистки Dyna Wave® очищающая жидкость впрыскивается противотоком к потоку газа для стабилизации моментов жидкости и газа, таким образом создается пенная зона.



Рисунок 7. Жидкий компонент виден в момент образования пенной зоны с верхней части входного цилиндра первого Dyna Wave®

Пенная зона – это область высокой турбулентности, с постоянным перемешиванием и высокой скоростью обновления жидкой поверхности, с интенсивным переносом массы и энергии. Газовый момент заставляет жидкость распределяться радиально по направлению к стенкам и образовывать стоячую волну или пенную зону в той точке, где балансируются моменты жидкости и газа. Турбулентные пленки жидкости поглощают частицы или газообразные загрязнения, обеспечивая, в то же время, контакт между жидкостью и газом, необходимый для массо- и теплопереноса. Волна поднимается или опускается в цилиндре в зависимости от относительных моментов жидкости или газа. Благодаря использованию больших открытых инжекторов в отходящих газах отсутствуют тонкие частицы жидкости, возникшие в результате распыления. Создание больших капель делает процесс разделения жидкости и газа легким, предотвращая загрязнение отходящих газов жидкостям и другими примесями.

Коррозионная стойкость стеклопластика делает его идеальным конструкционным материалом для емкостей, труб, газопроводов и насосов, используемых в системах газоочистки на заводах по производству серной кислоты. Чертеж приведен на рисунке 8.

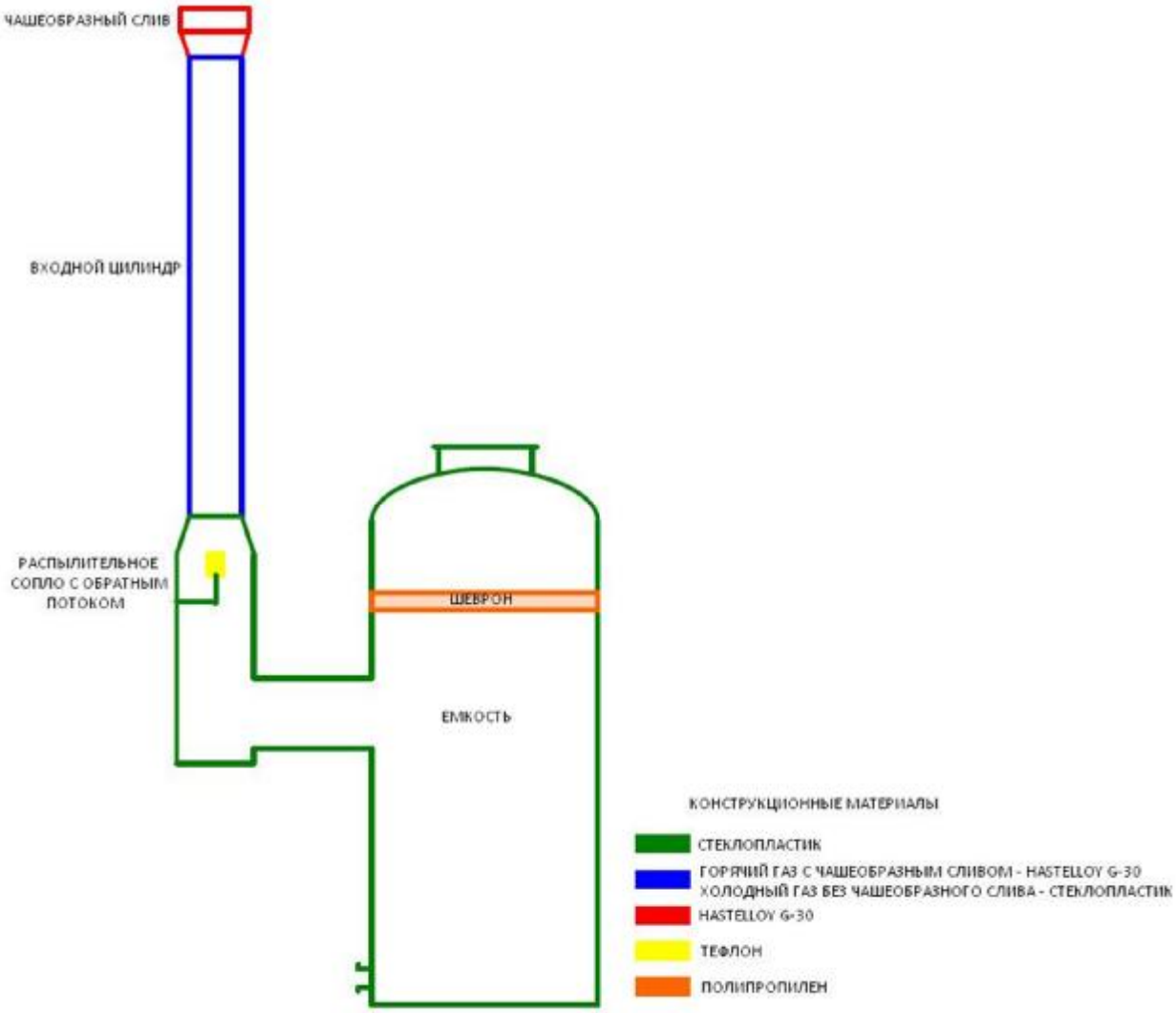


Рисунок 8. Типичные компоненты скруббера Dyna Wave® и конструкционные материалы

СТЕКЛОПЛАСТИК

Стеклопластик состоит из волокон, которые связаны между собой с помощью термореактивной смолы, образуя, таким образом, композитную структуру, которая может быть использована в производстве лодок, ванн и душевых кабин. При условии работы в агрессивной химической среде необходимо сочетать структурные слои стеклопластика с коррозионностойким барьером, причем необходимо уделить особое внимание разработке структуры этого барьера. Ниже приведено описание структуры коррозионностойкого стеклопластика, а также процесса, по которому он изготавливается.

Стандартная структура коррозионно стойкого ламината приведена на рисунке 9. Слева направо, мы видим, что коррозионно стойкий барьер состоит из вуали, за которой следуют по крайней мере два слоя рубленого мата. Цель коррозионно стойкого барьера – создать богатый смолой слой стекла, который будет защищать структурные слои от воздействия агрессивной химической среды. Слой вуали содержит порядка 90% смолы и непосредственно контактирует с химической средой. Рубленый мат является поддержкой для вуали и содержит порядка 73% смолы. Общая толщина коррозионно стойкого барьера составляет обычно 2,5 мм, однако, коррозионно стойкий барьер может быть и толще в случае работы в более агрессивной среде.

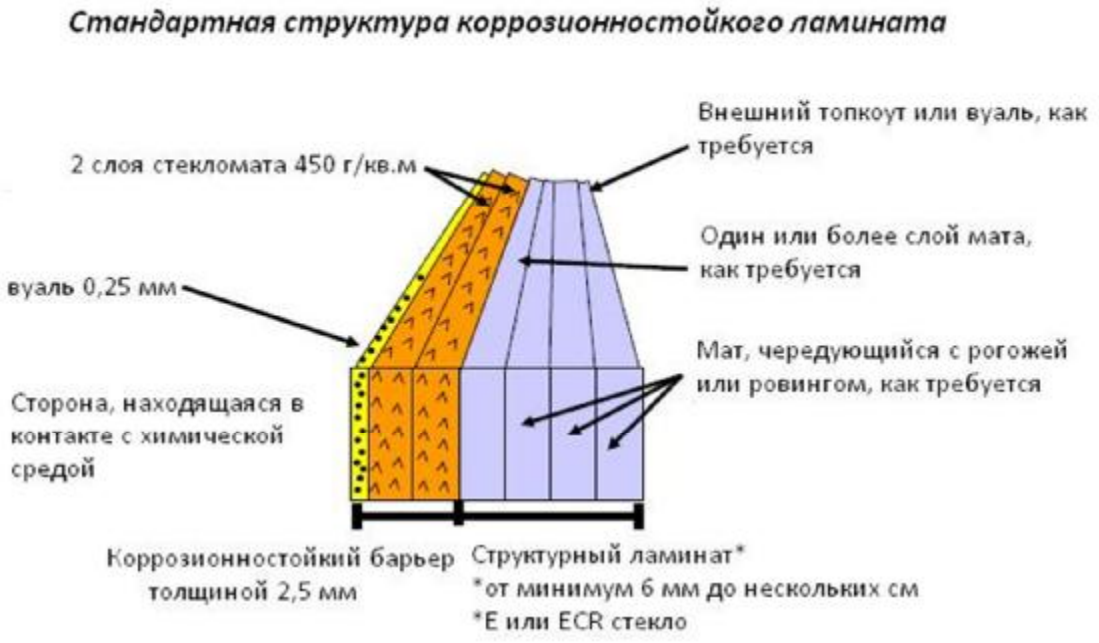


Рисунок 9. Структура коррозионностойкого ламината

Структурные слои, которые показаны в правой части рисунка, придают стеклопластику прочность и жесткость. В зависимости от метода производства структурные слои могут состоять их комбинации различных типов стекла, которые выбираются в зависимости от желаемых свойств. Чем выше содержание стекла, тем прочнее и жестче стеклопластик. Свойства структурного ламината обеспечиваются путем тщательного выбора как типа стекломатериала, так и способа производства. Структурные слои могут состоять из тяжелых слоев тканого стекла, называемого стеклорогожей, чередующихся со слоями рубленого мата. Или он может состоять из спирально намотанного стеклянного ровинга вперемешку с рубленым ровингом, что позволяет создать прочный структурный ламинат с высоким содержанием стекла. Другие типы структуры состоят из скрученного ровинга со слоями однонаправленной стеклоткани в продольном направлении.

ВЫБОР СМОЛЫ

Выбор смолы – это самый важный шаг, который Вам следует сделать, если Вы хотите изготовить стеклопластик, который будет успешно работать в данной химической среде. Не все смолы пригодны к использованию с химически агрессивными средами, поэтому необходимо тщательно выбрать смолу, основываясь на трех важных моментах:

1) Идентификация присутствующих в рабочей среде химических веществ
2) Концентрация каждого химического вещества
3) Рабочая температура, при которой данные химические вещества обрабатываются

Существует широкое разнообразие составов термореактивных смол, что оказывает огромное влияние на химическую стойкость стеклопластика. Коррозионностойкий стеклопластик, изготовленный на основе эпоксивинилэфирной смолы, имеет великолепную химическую стойкость к кислотам, основаниям, солям и многим типам растворителей. Помимо этого, стеклопластик на основе эпоксивинилэфирной смолы имеет необычайно высокую прочность и стойкость к образованию трещин при механическом воздействии или циклическом воздействии температур.

В процессах газоочистки MECS обычно использует стеклопластиковое оборудование, изготовленное на основе эпоксивинилэфирной смолы Derakane® 411-350 или эпоксиноволачной смолы Derakane 470. Выбор смолы зависит от температуры и концентрации серной кислоты. Стеклопластиковое оборудование, изготовленное на основе смолы Derakane 470-300, обычно используется при более высоких концентрациях и/или температурах кислоты. Например, стеклопластик, изготовленный на основе смолы Derakane 411-350, подходит к использованию с 75% серной кислотой при максимальной температуре, не превышающей 37 °C, в то время как Derakane 470-300 можно использовать при температуре до 82 °C.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Самый старый и общий способ изготовления стеклопластика называется ручным формованием или контактным формованием, схема приведена на рисунке 10. В процессе ручного формования поверхность формы смачивается катализированной смолой с помощью кисти или валика. Затем на поверхность формы укладывается стеклянная вуаль и рубленый мат. Их необходимо прикатать с помощью валика, чтобы удалить пузырьки воздуха. После завершения формирования коррозионностойкого барьера процесс нанесения смолы и стекла и прикатки повторяется с использованием чередующихся слоев рубленого мата и стеклорогожи до того момента, когда будет достигнута желаемая толщина. Нужно дать смоле отвердеть в течение 24 часов перед тем, как стеклопластиковое изделие будет снято с формы. Ручное формование используется для производства обшивки резервуаров, днищ, крышек, люков, сопел, труб и многих других химически стойкий изделий. Ручное формование также используется для присоединения стеклопластиковый частей, это так называемое «вторичным соединением». Примером может служить присоединение днища емкости к обшивке этой емкости.



Рисунок 10. Типичный процесс ручного формования

Процесс, подобный ручному формованию, называется напылением. Схема процесса приведена на рисунке 11. Вместо того, чтобы накладывать рубленый мат вручную, используется распылительный пистолет с чоппером. Этот пистолет напыляет смолу и стекло одновременно, образуя рубленый мат. Это может быть использовано как в коррозионностойком барьере так и в чередующихся слоях мата и рогожи, которые образуют структурный ламинат.



Рисунок 11. Типичный процесс напыления

В процессе филаментной намотки, показанной на рисунке 12, структурные слои создаются намоткой стеклянной ровинга на отвержденный коррозионностойкий барьер, который был предварительно нанесен ручным способом или напылением. Преимущество филаментной намотки заключается в том, что структурные слои, имеющие высокое содержание стекла, более прочные, чем структурные слои, получающиеся в результате ручного формования. Более прочным слоям не нужно быть такими толстыми, как при ручном формовании, таким образом есть возможность снизить расходы.

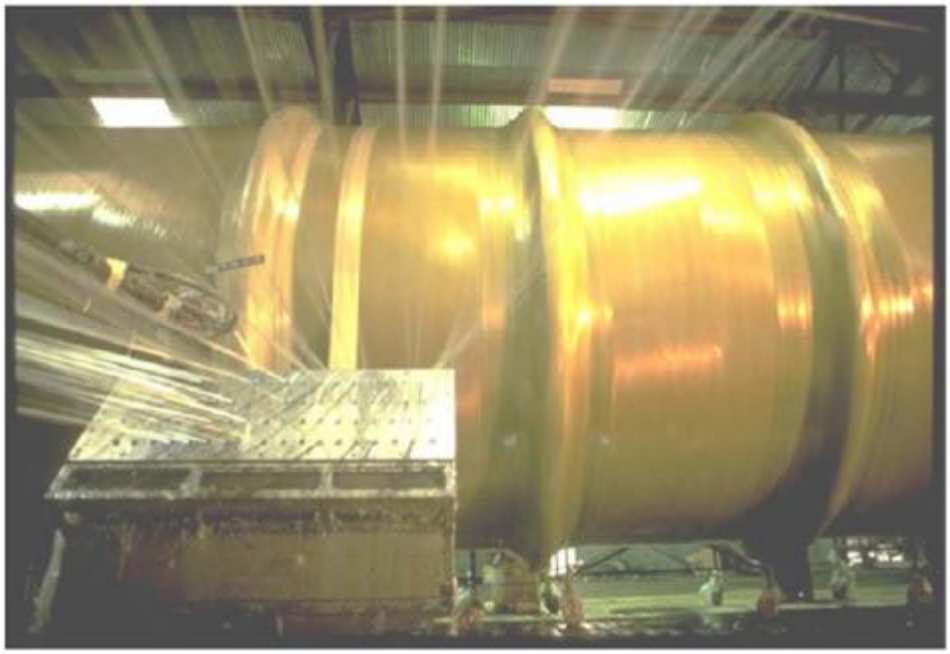


Рисунок 12. Горизонтальная филаментная намотка в цеху

В процессе вертикальной филаментной намотки, показанной на рисунке 13, используется скрученный ровинг в сочетании с однонаправленной стеклотканью в продольном направлении. Этот способ был использован для изготовления стеклопластиковых сосудов диаметром до 36 метров. Обычно диаметр сосудов, изготавливаемых в цеху, ограничен 5 метрами в диаметре.



Рисунок 13. Вертикальная намотка вне цеха

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Стеклопластик используется для производства емкостей, труб, скрубберов, насосов, вентиялторов и так далее. Примеры использования стеклопластика приведены ниже, начиная с рисунка 14.

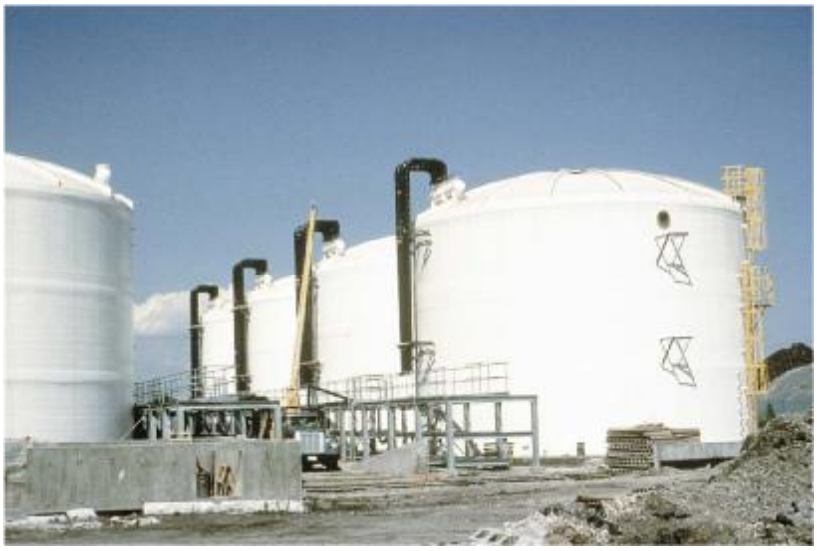


Рисунок 14. Большие емкости для хранения горячей воды, изготовленные намоткой вне цеха



Рисунок 15. Воздуходувка и осевой вентилятор



Рисунок 16. Большой скруббер для топочного газа на электростанции



Рисунок 17. Трубы и футеровка дымохода для топочного газа



Рисунок 18. Стеклопластиковые охлаждающие башни

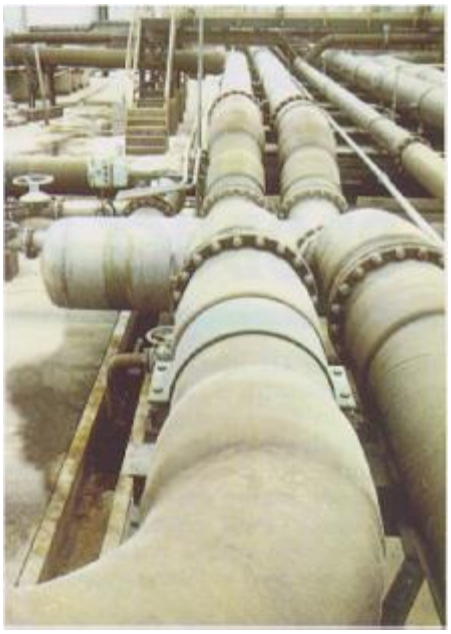


Рисунок 19. Абразивно стойкие трубы для транспортировки пульпы фосфатного удобрения

ОГРАНИЧЕНИЯ ПО РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДАВЛЕНИЮ

Ограничения по рабочей температуре определяются типом химического вещества и его концентрацией. Смотрите Руководство по использованию химически стойких смол Derakane на www.derakane.com. Большинство жидкостей имеют ограничение 98 °C вне зависимости от концентрации химической среды. Газы могут обрабатываться при температурах до 176 °C. Ограничения по давлению для емкостей 1 тех. атм. и 10 тех. атм. для труб. Более высокие давления требуют особых стандартов и способов производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рабочие условия в системе газоочистки на заводе по производству серной кислоты требуют, чтобы конструкционный материал выдерживал концентрацию серной кислоты от 1 до 25% по весу при температуре до 82 °C. Эти требования не совместимы с большинством металлических конструкционных материалов. Только дорогостоящие металлические сплавы обеспечивают необходимую коррозионную стойкость. Использование стеклопластика в качестве конструкционного материала для изготовления систем газоочистки в сочетании с системой мокрой очистки MECS Dyna Wave® предлагает самое лучшее решение для эффективной очистки обрабатываемого газа даже при условии работы с крайне коррозионной рабочей средой. Стеклопластик имеет особое преимущество перед металлическими сплавами и конструкциями со свинцовой футеровкой, которые использовались раньше, предлагая низкую стоимость установки оборудования, меньшее количество текущих ремонтов и долгий срок службы, что было доказано более чем двадцатью годами практического опыта.

© Copyright Ashland
® Registered trademark, Ashland
™ Trademark, Ashland