

Выбор оптимального конструкционного материала для гидрометаллургии

T. Johnson, D. Kelley, J. Chen

Ashland Performance Materials

5200 Blazer Parkway

Dublin, Ohio 43017

USA



РЕФЕРАТ

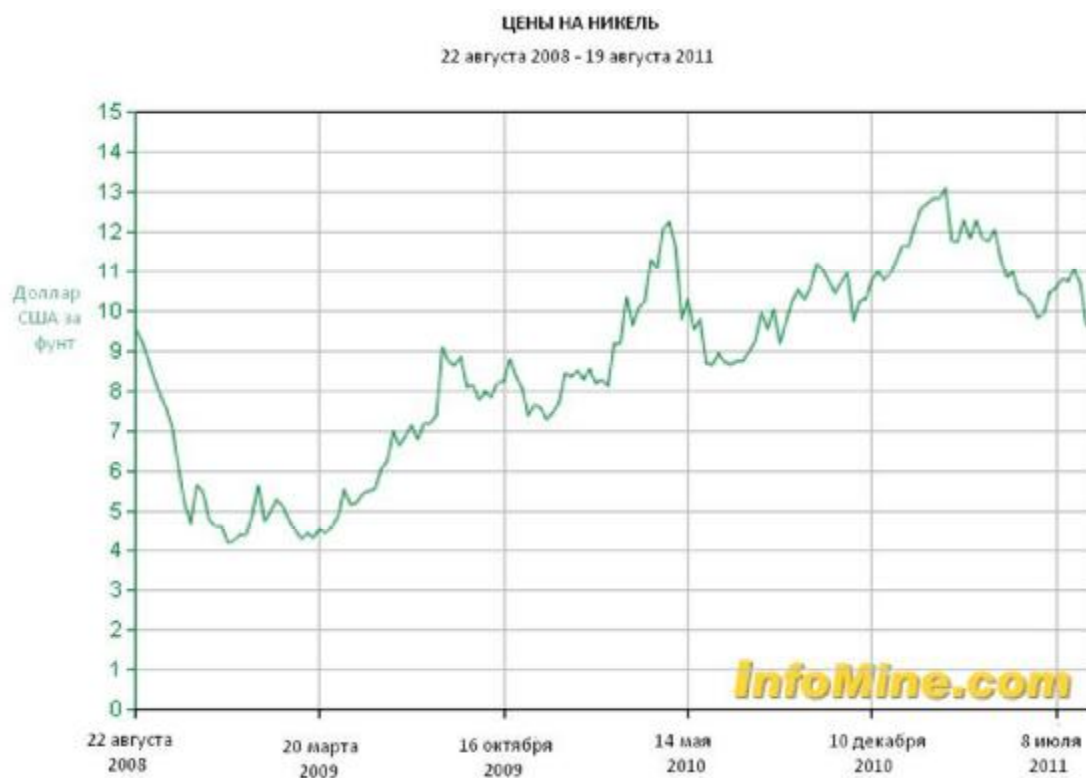
Процессы, происходящие в гидрометаллургии, зачастую чрезвычайно коррозионно опасны. Рабочие условия, связанные с извлечением металлов и их очисткой, требуют применения таких конструкционных материалов, которые выдерживали бы воздействие кислот и хлорангидридов при температурах до 90 °С. Емкости, скрубберы и трубопроводы при работе в таких агрессивных условиях могут очень быстро прийти в негодность, если их разработке и изготовлению не уделялось должного внимания. Перед инженерами-разработчиками часто ставится задача выбора конструкционных материалов, которые бы успешно работали в различных гидрометаллургических процессах, а особенно связанных с медью, цинком, никелем, кобальтом и ураном. В данной работе проводится оценка разнообразных материалов, имеющая своей целью определить наиболее экономически выгодное и механически надежное решение. Сравнительная информация по ценам и долговечности, представленная в данной работе, позволяет инженерам-разработчикам и технологам выбрать оптимальные материалы для реализации своих проектов.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении нескольких последних лет мы можем наблюдать возрастающую активность в области горнодобывающей промышленности. В частности нужно отметить металлы, для которых используется процесс кислой экстракции, например, медь, никель, кобальт и уран.

Самый крупный рудник по добыче никеля стоимостью 4,76 млрд. долларов США, расположенный в Амбатови, на африканском острове Мадагаскар, скоро будет введен в эксплуатацию. Когда рудник выйдет на полную мощность, он будет производить 60 000 тыс. тонн в год никеля и 5600 тыс. тонн в год кобальта. На пятки Амбатови наступает проект перерабатывающего завода Лонг Харбор в Ньюфаундленде, Канада, который использовать руду, полученную в месторождении Вейл Вейси Бэн в Лабрадоре. Ожидается, что после начала эксплуатации в 2013 году Вейси Бэн будет производить более 50 000 тыс. тонн никелевой руды в год. Следующий проект – Болео – будет реализован в Мексике, на полуострове Байа. Согласно прогнозам, после ввода в эксплуатацию в 2013 году проект Болео, в который вложено 858 млн. долларов США, будет производить 60 000 тыс. тонн меди в год, 3 100 тыс. тонн кобальта, 36 000 тыс. тонн цинка и 100 000 – 250 000 тыс. тонн карбоната марганца в год.

На протяжении многих десятилетий для изготовления коррозионностойкого оборудования, предназначенного для переработки минерального сырья, использовались сплавы с высоким содержанием никеля или сталь с резиновой футеровкой. Эти материалы показали приемлемую стойкость к воздействию большинства коррозионных сред. К сожалению, сплавы с высоким содержанием никеля чрезвычайно дороги. Сталь с резиновой футеровкой хотя и более доступна по цене, но требует постоянного контроля в процессе использования, что ведет к возрастанию затрат. Стеклопластик также нашел широкое применение в процессах обработки минерального сырья для изготовления емкостей и трубопроводов, работающих с агрессивными средами. Сегодня все больше и больше инженеров и технологов обращаются к стеклопластику, как для изготовления нового, так и для замены старого оборудования, используемого для очистки и обработки разнообразных металлических руд. Не смотря на то, что цены на коррозионностойкие металлические сплавы несколько снизились за последние годы, сейчас они снова начинают возрастать. Так как мировая экономика постепенно укрепляется, а развивающиеся страны наращивают темпы создания своей инфраструктуры, мы можем наблюдать восстановление цен на металлы – это в большей степени характерно для меди, никеля и нержавеющей стали. Графики, представленные ниже, были любезно предоставлены интернет-порталом Informine.com.



В течение нескольких последних лет расширилось применение неметаллических конструкционных материалов, используемые в процессах извлечения и очистки металлов, что обусловлено рядом факторов, среди которых следует отметить специфичность изменений цен на металлы и, зачастую, недоступность некоторых металлов. Одним из неметаллических

конструкционных материалов, наиболее часто используемых для извлечения и очистки металлов, является стеклопластик. Эти процессы зачастую требуют применения конструкционных материалов стойких к воздействию кислот и высоких концентраций солей хлорангидридов. Как следует из данных, приведенных в Таблице 1, стеклопластик на основе эпоксивинилэфирной смолы имеет такую же химическую стойкость к кислотам и более высокую стойкость к хлорангидридам, чем сплав С-276, и превосходит нержавеющую сталь 2205 по обоим показателям.

Таблица 1. Сравнение химической стойкости эпоксивинилэфирной смолы и металла

Материал	Серная кислота	Соляная кислота	Соли хлорангидрида
Стеклопластик на основе эпоксивинилэфирной смолы	100 °С до 30%	80 °С до 15%	100 °С все концентрации
Нержавеющая сталь 2205	30 °С до 30%	60 °С до 1%	65 °С до 2000‰ при низком pH
Сплав С-276	100 °С до 30%	80 °С до 15%	65 °С до 50 000‰ при низком pH

Другие неметаллические конструкционные материалы, например, сталь с органическим покрытием или сталь с резиновой футеровкой дешевле, чем стеклопластик. Однако, стеклопластик требует гораздо меньше затрат на обслуживание (требуется гораздо меньше ремонтов). В зависимости от среды, срок службы стеклопластикового изделия может достигать 20 и более лет.

Более того, оборудование, изготовленное на основе стеклопластика, дешевле, чем оборудование из материалов, указанных в Таблице 1, и стоимость его год от года практически не изменяется. Следует обратить особое внимание на то, что цены на стеклопластик, указанные выше, являются ценами на изделие «под ключ», и включают в себя стоимость установки изделия, в то время как цены на металл – это цены только на сырье.

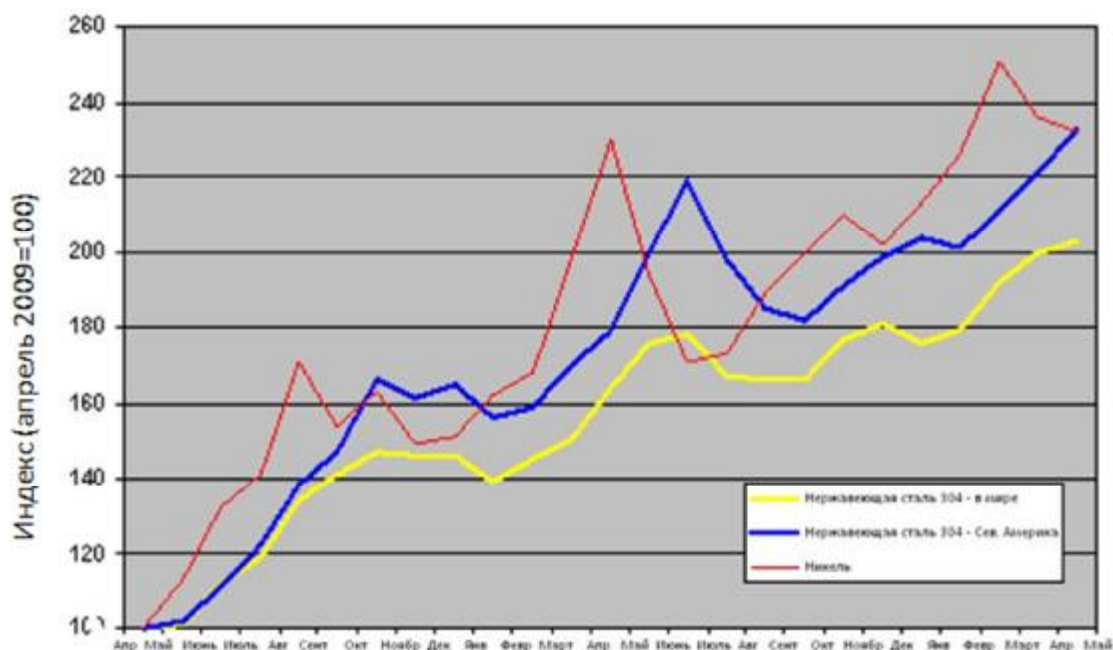
Таблица 2. Сравнение цен на конструкционные материалы за период с 2006 по 2009 гг.

Конструкционный материал	Цена*	Соотношение цен
Стеклопластик заводского производства	540 долларов США за 1 кв. метр	1,0
Стеклопластик, изготовленный «на месте»	750 долларов США за 1 кв. метр	1,4
Лист нержавеющей стали 2205 толщиной 3/8 дюйма	2400 долларов США за 1 кв. метр	4,4
Плакированная углеродистая сталь С-276	3550 долларов США за 1 кв. метр	6,6

*цена получена на основании опроса, проведенного Ashland North America

Цены на нержавеющую сталь продолжают проявлять тенденцию к росту в соответствии с ростом цен на никель. Так как мировая экономика постепенно укрепляется, а развивающиеся страны наращивают темпы создания своей инфраструктуры, есть все основания ожидать, что цены на основные металлы (особенно медь, никель, а также нержавеющую сталь) продолжат расти (Рисунок 1). Более того, доступность нержавеющей стали и сплавов с высоким содержанием никеля снижается, а время поставки значительно возрастает.

Рисунок 1. Изменение цен на нержавеющую сталь и никель в период с апреля 2009 по настоящее время



Источник: International Monetary Fund; MEPS Ltd

Из следующих разделов данной работы Вы узнаете, как создается коррозионностойкий стеклопластик и где он может использоваться взамен металлов и стали с резиновой футеровкой.

КОНСТРУКЦИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА

Обычно стеклопластик состоит из стеклянных волокон, которые связаны друг с другом при помощи термореактивной смолы, образуя при этом композитную структуру. Наиболее часто коррозионностойкий стеклопластик используется для создания емкостей, труб и скрубберов. В случае работы с агрессивной средой следует защищать силовой стеклопластиковый ламинат от возможной химической атаки путем создания коррозионностойкого барьера. При разработке структуры коррозионностойкого барьера принимаются во внимание следующие факторы – состав химической среды, концентрации веществ, а также температуры, при которых работает оборудование.

Схема стандартного коррозионностойкого ламината приведена на Рисунке 2. Слева направо, на рисунке показан коррозионностойкий барьер, состоящий из вуали, за которой следуют по крайней мере два слоя рубленого мата. Коррозионностойкий барьер предназначен для создания насыщенного смолой слоя, защищающего структурные слои от агрессивного химического воздействия. Слои вуали, содержащие примерно 90% смолы, находятся в непосредственном контакте с химической средой. Слои рубленого мата поддерживают слой вуали и содержат около 75% смолы. Общая толщина коррозионностойкого барьера обычно составляет 2,5 мм, но при работе с чрезвычайно агрессивными средами коррозионностойкий

барьер должен быть толще. Эту информацию можно получить у поставщиков смолы, к ним также следует обратиться за рекомендациями по созданию коррозионностойкого барьера.

Рисунок 2. Конструкция типичного коррозионностойкого стеклопластика



Структурные слои, показанные с правой стороны диаграммы, придают стеклопластику прочность и жесткость. В зависимости от метода производства структурные слои могут состоять из комбинации различных типов стекла, которые используются для получения желаемых свойств. Чем выше содержание стекла, тем более прочный и жесткий стеклопластик может быть получен. Свойства структурных слоев определяются на основании тщательного выбора типа стеклоармирующего материала и метода производства. Структурные слои могут состоять из тяжелых слоев тканого стекла, называемого стеклорогожей, чередующимися 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 огромное разнообразие составов термореактивных смол, что в значительной степени влияет на химическую стойкость стеклопластика. Коррозионностойкий стеклопластик, изготовленный на основе эпоксивинилэфрной смолы, обладает великолепной химической стойкостью к кислотам, основаниям, солям и многим типам растворителей. Стеклопластик на

основе эпоксивинилэфира характеризуется необычайно высокой жесткостью и прочностью к растрескиванию под воздействием внешних механических условий или циклически изменяющейся температуры.

Для создания оборудования, используемого в большинстве процессов извлечения металлов из руды, инженеринговые компании предпочитают использовать стеклопластик на основе бисфенол-А эпоксивинилэфирной смолы или новолачной эпоксивинилэфирной смолы. Выбор смолы определяется рабочей температурой и концентрацией кислоты, используемой в процессе экстракции. Стеклопластик на основе новолачной эпоксивинилэфирной смолы обычно рекомендуется к использованию в условиях повышенных температур и / или концентраций, а также для применения в среде растворителей. К примеру, стеклопластик на основе бисфенол А эпоксивинилэфирной смолы подходит для работы с 75% серной кислотой при максимальной температуре 38 °С, в то время как новолачная эпоксивинилэфирная смола может успешно работать при температурах до 82 °С.

Поэтому, приступая к выбору смолы, следует обязательно изучить руководство по выбору смолы, предоставляемому квалифицированным производителем, либо же напрямую связаться с поставщиком для получения всех необходимых рекомендаций. В том случае, если Вы не обнаружили данную химическую среду в руководстве по выбору смол, Вам следует сразу же связаться с поставщиками.

ОГРАНИЧЕНИЯ ПО РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДАВЛЕНИЮ

Ограничения по рабочей температуре обычно обуславливаются химической природой и концентрацией. В случае эпоксивинилэфирных смол ограничения для большинства жидкостей составляют 100 °С, причем не важно, какова их концентрация. Работа с газами возможна при температурах до 177 °С. Ограничения по давлению для емкостей – 1,03 бар, для труб – 10,3 бар. Работа при более высоких давлениях требует специальных стандартов и методов производства.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ОЧИСТКА МЕТАЛЛОВ

В процессах извлечения и очистки металлов стеклопластик обычно используется для изготовления труб, емкостей, поглотительных башен, трубопроводов, емкостей для экстракции растворителем, а также для электрохимических ячеек. На Рисунке 3 показан типичный стеклопластиковый трубопровод, работающий с абразивно и коррозионно опасной пульпой.

Рисунок 3. Абразивно стойкая труба для работы с коррозионно опасной пульпой



Абразивно стойкая труба обычно изготавливается из эпоксивинилэфирной смолы, содержащей от 20 до 30% оксида алюминия или карбида кремния в коррозионнстойкой футеровке. На основании обширного многолетнего опыта можно заключить, что трубы из абразивно стойкого стеклопластика служат дольше и требуют гораздо меньше текущих ремонтов, чем сталь с резиновой футеровкой. Стеклопластиковый трубопровод, работающий с 16% отработанной серной кислотой при 35 °С и при 90 °С, показан на Рисунке 4.

Рисунок 4. Стеклопластиковый трубопровод для серной кислоты



Этот стеклопластиковый трубопровод, изготовленный с использованием эпоксивинилэфирной смолы, выдерживает такие рабочие условия, которые потребовали бы применения дорогого металлического сплава.

На Рисунке 5 изображена стеклопластиковая поглотительная башня для диоксида серы, установленная на заводе по очистке меди.

Рисунок 5. Поглотительная башня для диоксида серы



Стеклопластиковая поглотительная башня, установленная в 1994 году, заменила стальную башню со свинцовой и керамической футеровкой. Она работает при 60 °С и восстанавливает 50-60% серной кислоты из медеплавильной печи.

Стеклопластиковые смесители и отстойники, используемые при извлечении урана растворителем, показаны на Рисунке 6.

Рисунок 6. Смесители и отстойники, используемые в процессе извлечения растворителем



Емкости используются для восстановления урана из щелока от выщелачивания серной кислоты. Щелок обрабатывается раствором амина и керосина, который отделяет уран в виде раствора сульфата аммония.

На Рисунке 7 показана система сбора кислого газа, изготовленная с использованием новолачной эпоксивинилэфирной смолы.

Рисунок 7. Система сбора кислого газа



Система, установленная на медном заводе, работает при температурах 165-170 °С. В данном случае стеклопластик заменил собой сталь со свинцовой футеровкой. Следует отметить, что стеклопластик лучше выдерживает воздействие очень горячего газа, чем жидкости. К тому же ламинат на основе новолачной эпоксивинилэфирной смолы может работать при гораздо более высоких температурах, чем ламинат, изготовленный из бисфенол А эпоксивинилэфирной смолы.

Стеклопластиковые емкости, изображенные на Рисунке 8, были установлены в 1988 году на заводе по извлечению урана.

Рисунок 8. Емкости для хранения реагентов



В настоящее время емкости используются для хранения реагентов от экстракции, мокрой очистки, отгонки, смешивания и осаждения.

На Рисунке 9 показаны электрохимические ячейки, изготовленные из смеси смолы и песка, часто называемой полимербетоном. Для дополнительной защиты от коррозии ячейки имеют внутреннюю стеклопластиковую футеровку.

Рисунок 9. Электрохимические ячейки для восстановления меди



Система паровой экстракции изготовлена из цельного стеклопластика. Электрохимические ячейки для восстановления меди обычно содержат раствор 20% сульфата меди и 20% серной кислоты, и работают при температуре 65 °С. Диэлектрические и коррозионностойкие свойства стеклопластика делают его идеальным материалом для создания таких ячеек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рабочие условия процессов извлечения и очистки металлов требуют использования таких конструкционных материалов, которые выдерживали бы воздействие кислот и хлорангидридов при температурах, достигающих 90 °С. Эти условия не совместимы с большинством металлических конструкционных материалов. Только дорогие металлические сплавы обладают требуемой коррозионной стойкостью. Использование стеклопластика для изготовления систем газоочистки, электрохимических ячеек, емкостей для экстракции растворителем, кислото- и абразивно стойких трубопроводов и систем сбора пара - экономически весьма эффективное решение. Стеклопластик имеет непревзойденные преимущества перед металлическими сплавами, сталью со свинцовой или резиновой футеровкой благодаря низкой стоимости установки, сниженным затратам на обслуживание и долгому сроку службы, что доказано более чем 20-ю годами его успешного применения.

ЗАМЕЧАНИЕ

Информация, представленная в данном документе, предназначена только для ознакомления. Мы не даем никаких гарантий, прямо выраженных или подразумеваемых. Мы также хотим отметить, что данная статья предназначена для специалистов, имеющих опыт работы со стеклопластиком, которые должны понимать, что они несут полную ответственность за выбор материалов, процесс изготовления и установку оборудования. Не имея возможности контролировать перечисленные выше операции, Ashland Inc. не дает никаких гарантий по качеству готового продукта. НЕ ДАЕТСЯ НИКАКИХ ГАРАНТИЙ. ИСКЛЮЧАЮТСЯ ВСЕ ГАРАНТИИ ПО ПРИГОДНОСТИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В КОНКРЕТНЫХ СЛУЧАЯХ.

© Copyright Ashland

® Registered trademark, Ashland

™ Trademark, Ashland