



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Инженерно-педагогическое  
образование в XXI веке**

**МАТЕРИАЛЫ**

**VIII Республиканской научно-практической  
конференции молодых ученых  
и студентов БНТУ**

17–18 мая 2012 года

**Часть 1**

**Минск  
БНТУ  
2012**

## Инженерно-педагогическое образование в XXI веке

### МАТЕРИАЛЫ

VIII Республиканской научно-практической  
конференции молодых ученых и студентов БНТУ

(68-й студенческой научно-технической конференции БНТУ)

17–18 мая 2012 года

В 3 частях

Часть 1

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 62:378 (063)

ББК 75.58я432

И63

Редакционная коллегия:

*С.А. Иващенко* (гл. редактор), *А.А. Дробыш* (зам. гл. редактора),

*И.А. Иванов, В.А. Клименко, Е.Е. Петюшик, И.И. Лобач,*

*А.А. Соловянчик, В.А. Федорцев*

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *И.А. Иванов;*

д-р социол. наук, профессор *В.А. Клименко;*

канд. психол. наук, доцент *И.И. Лобач;*

канд. техн. наук, доцент *А.А. Дробыш*

В сборнике содержатся материалы VIII Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов БНТУ «Инженерно-педагогическое образование в XXI веке» по направлениям: современные образовательные технологии и методики преподавания в общеобразовательной, средней специальной, средней технической и высшей школе, совершенствование системы инженерно-педагогического образования, психология, новые материалы и перспективные технологии обработки материалов.

**ISBN 978-985-525-923-8 (Ч. 1)** © Белорусский национальный

**ISBN 978-985-525-926-9** технический университет, 2012

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА НА ЗЕРКАЛЬНУЮ ЛИСТОВУЮ НЕРЖАВЕЮЩУЮ СТАЛЬ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Вегера И.И.*

Нанесение декоративно-защитных покрытий с помощью вакуумных ионно-плазменных (вакуумно-дугового и магнетронного) методов напыления находит широкое распространение благодаря экологической чистоте производства и высокому качеству получаемых декоративно-защитных плёнок.

В настоящее время существует потребность в защитно-декоративных покрытиях на основе нитрида титана и цветных металлов (золота), в частности для изготовления куполов храмов. Нитрид титановое покрытие обладает рядом уникальных свойств, в частности, цвет покрытия может быть близок к цвету золота, максимуму спектра солнечного света и чувствительности глаза человека. Также нитрид титановые покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью и не растрескиваются при механической обработке листовой нержавеющей стали фальцовкой, прокаткой, загибом.

Однако высокими удельными характеристиками обладают нитрид титановые покрытия, полученные при строгом соблюдении технологии их нанесения, так в покрытии не должна присутствовать капельная фаза, покрытие должно формироваться в достаточно равновесных условиях, т.е. при определенной температуре в процессе осаждения и определенном диапазоне ускоряющего потенциала. Также важным элементом технологии является эффективность активации технологического газа, в данном случае, химически не активного азота. Следовательно, разрабатываемая технология и оборудование должны обеспечивать опти-

мальный режим синтеза и формирования покрытий с высокими физико-химическими свойствами.

Следующим важным фактором разработки технологии является возможность нанесения в одном технологическом цикле на нитрид титановое покрытие толщиной 2 мкм ультратонкого слоя золота толщиной порядка нанометра. Такое сочетание прочности нитрид титанового покрытия и долговечности золота при близкой цветовой гамме, открывает перспективу замены сусального золота при покрытии куполов позолотой. Экономия золота составляет более 1000 раз, в сумме с более высоким сроком службы ионно-плазменного «твердого золота» по сравнению с сусальным золотом, экономия драгметалла может увеличиться дополнительно во много раз.

Технологии и оборудование по нанесению покрытий на основе нитрида титана с высокой износостойкостью отработаны в достаточно высокой степени, при этом используются аксиальные электродуговые испарители с управлением плазменным потоком посредством магнитного поля. Однако наиболее предпочтительно нанесение нитрид титановых покрытий на листовую зеркальную нержавеющую сталь с помощью планарных или линейных испарителей. Использование магнетронных источников для синтеза нитрид титановых пленок, нами оценивается как недостаточно эффективное с точки зрения получения высокой стойкости нитрид титановых покрытий при механической обработке, очевидно, сказывается влияние присутствия в разряде частиц-посредников аргона и недостаточно высокая плазмо-химическая активность технологического газа азота.

Из всего вышесказанного следует, что самым оптимальным вариантом нанесения защитно-декоративных покрытий на зеркальную листовую нержавеющую сталь является вариант линейного или планарного электродугового испарителя.

В настоящее время, проведены эксперименты по разработке линейного электродугового испарителя, оснащенного такими новыми устройствами, как импульсный ускоряющий потенциал

и сепаратор-активатор плазменного потока для достижения эффективного управления плазменным потоком и получения процесса синтеза нитрид титановых покрытий. Разработана технология, и оборудование для производства защитно-декоративных покрытий зеркальной нержавеющей стали с нитрид титановым слоем, покрытым ультратонкой позолотой. Прогнозируемая долговечность такого материала более 50 лет.

Годовая потребность в листовой нержавеющей стали с защитно-декоративным нитрид титановым покрытием по Республике Беларусь превышает 2000 кг. Указанный материал импортировался преимущественно из России. Создание в республике производственного участка по выпуску указанного материала, позволит произвести импортозамещение и нарастить экспорт за счет выпуска комбинированного покрытия из нитрида титана и золота – «твердого золота», что за рубежом пока не предлагается.

В ГНУ ФТИ НАН Беларуси более 25 лет проводятся исследования и разработки в области ионно-плазменной технологии. На данный момент имеется действующая вакуумная установка, позволяющая наносить нитрид титана на нержавеющую зеркальную листовую сталь размером 1,5×0,6 м, ведутся работы по проектированию вакуумной установки с габаритами рабочей камеры 2×1 м.

УДК 621.52

Азарчик П.Н.

## **РАСЧЕТ РАБОЧИХ КАМЕР ВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Вакуумная камера представляет собой основную часть вакуумной системы, которая должна обеспечить необходимые для проведения технологического процесса вакуумные условия в течение заданного времени. Форма вакуумных камер,

их размеры и конструкционные особенности определяются технологическим процессом. Основными конструкционными элементами камер являются: обечайки, крышки, днища, патрубki, фланцы. Наибольшее распространение в вакуумном оборудовании получили цилиндрические вакуумные камеры. Такая форма является наиболее совершенной с точки зрения прочности, простоты изготовления, минимального числа сварных и паяных швов и экономии материала. В зависимости от технологических требований они имеют вертикальную или горизонтальную компоновку.

Коробчатые вакуумные камеры менее удобны в изготовлении, более металлоемки и требуют дополнительных ребер жесткости, которые располагаются снаружи. Преимуществом данных камер является возможность более рационального расположения оборудования внутри камеры, что особенно важно для реализации различных технологических процессов (например, для линий прокатки различных металлов и сплавов в вакууме). Для более рационального использования рабочего пространства или при наличии специальных требований возможно применение вакуумных камер переменного сечения.

В МИСиС разработана методика процесса проектирования и компоновки вакуумных камер [2, 3].

Проектирование вакуумной камеры начинается с момента получения технического задания на проектирование, в котором содержатся условия и требования технологического процесса. Сначала осуществляют предварительный выбор формы кожуха вакуумной камеры, начиная с самых простых и распространенных форм. Следует заметить, что заданным условиям могут удовлетворять несколько типов кожухов. Критериями выбора могут служить: простота в изготовлении, удобство эксплуатации, особенности формы сопряженных камер (для многокамерной конструкции) и т.п. Результатом этого этапа проектирования становится определение конструктивных элементов кожуха и присоединительных фланцев. На втором этапе определяются

необходимые элементы в зависимости от рабочего давления в вакуумной камере или контролируемой атмосферы: фланцы от качных систем, контрольно-измерительной аппаратуры или напускной системы, а также вид уплотнений, применяемых в этих соединениях.

На третьем этапе выбираются элементы, которые предназначены для ввода в вакуумную камеру объекта технологического процесса и его последующего вывода, в результате чего выявляется наличие фланцевых соединений с дополнительными камерами и крышками.

Затем определяются соединения с устройствами, участвующими непосредственно в технологическом процессе (нагрузочные устройства, передачи вращения, устройства для напыления и т.п.).

На пятом этапе конструируется система охлаждения камеры (внутреннего или наружного типа).

Обычно вакуумные камеры воспринимают внешнюю распределенную нагрузку, как правило, равную атмосферному давлению, т.е.  $10^5$  Па. Исходя из этого, стенки вакуумных камер можно делать сравнительно тонкими. Однако для вакуумных камер с металлическими уплотнителями не допускаются деформации мест соединения во избежание появления течей.

При конструировании камер предпочтение отдают осесимметричным конструкциям, поверхности которых образованы телами вращения. Это относится и к присоединительным патрубкам, и к разборным фланцевым соединениям. Из требований, связанных с назначением установки, а также конструктивных соображений камеры по форме могут быть цилиндрическими, коническими, коробчатыми, сферическими или эллиптическими.

Рассмотрим расчет коробчатых обечаек. Расчет таких обечаек с достаточной для практики точностью рекомендуется производить по упрощенной методике, рассматривая каждую из четырех прямоугольных плоских стенок, из которых образуется обечайка,



как пластину (гладкую или укрепленную ребрами), равномерно нагруженную избыточным давлением.

Последовательность конструирования и расчета прямоугольной плоской стенки в этом случае следующая [4]:

- устанавливается возможность укрепления стенок ребрами и в случае наличия такой возможности выбирается из конструктивных соображений схема расположения укрепляющих ребер и расстояние между ними;

- расчетом определяется толщина гладкой прямоугольной плоской стенки (при отсутствии ребер) или ее элемента, ограниченного ребрами;

- расчетом определяется предварительный момент сопротивления укрепляющего ребра исходя из условия восприятия одними ребрами (без учета наличия плоской стенки) половины всей нагрузки на плоскую стенку;

- по определенному расчетом моменту сопротивления ребра выбирается его поперечное сечение;

- определяется момент сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью стенки, приходящейся на одно ребро;

- проверяется максимальное изгибающее напряжение в ребрах, которое должно быть в пределах  $(1 \div 1,1)\sigma$ .

В случае невыполнения последнего условия, размеры укрепляющих ребер необходимо соответственно изменить или пересмотреть схему расположения ребер и расстояние между ними, произведя расчет заново.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, И.А. Проектирование вакуумных камер технологических установок / И.А. Иванов, Н.Ю. Гутько // Материалы 9 Международной НТК «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 13-15 апреля 2011 г.) / редкол.: Б.М. Хрусталев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2011. – Т. 4. – С. 172.

2. Кожитов, Л.В. Технологическое вакуумное оборудование. Вакуумные системы технологического оборудования / Л.В. Кожитов. – М.: Издательство МГИУ, 2010.

3. Лащинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970.

4. Вакуумная техника. Справочник / под. ред. Е.П. Фролова. – М.: Машиностроение, 1984.

УДК 621

Балыдко Д.Н., Шатило А.А.

## **ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЕВ НА КРУПНОПОРИСТОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Азаров С.М.*

Задачей работы является создание многослойного фильтрующего элемента с селективным (мембранным) слоем из оксида металла. Проблема, которая возникает при решении данной задачи – это качественное соединение порошков оксидов металла с алюмосиликатной подложкой в сочетании с равномерным распределением пор в мембранном слое.

В ходе поиска решения, при анализе подобных задач, нами были найдены следующие аналоги:

1. Способ получения фильтрующего материала путем формирования на пористой металлической подложке селективного слоя толщиной не более 10 мкм со средним диаметром пор не более 0,2 мкм путем нанесения на подложку суспензии из порошка материала селективного слоя со средним размером частиц не более 0,5 мкм, сушки, прикатки слоя под давлением и спекания, в котором в качестве материала селективного слоя используют порошок с частицами сферической формы из группы оксидов, нитридов, боридов или их смесей, металлов,

сплавов или их смесей. Селективный слой может быть нанесен такими методами, как погружение, полив, распыление или осаждение в электростатическом поле.

Недостатком известного способа является то, что при использовании крупнопористой подложки, например, фильтровальной сетки, войлока или нетканого материала, суспензия с частицами субмикронного размера заполнит весь объем материала подложки и селективного слоя получено не будет.

2. Технология кристаллизации аморфных металлических (серебряных) суспензий позволяет получить микрофильтрационные мембраны (0,2-0,5 мкм, пористость – 60%). После кристаллизации и формования изделия пористую структуру создают выжиганием или растворением аморфной части в плавиковой кислоте.

3. Пористую основу выполняют из оксидной керамики ( $Al_2O_3$ ) по обычной технологии, а селективный слой – из графита или окиси графита. Разделительный слой более гидрофилен, чем чисто керамический, в то же время мембрана имеет механическую прочность керамики.

4. Пористая основа выполнена из корунда, а разделительный слой – из волокнистого карбида кремния. Такая структура селективного слоя (хаотически расположенные иголки карбида кремния) имеет заметно большую пористость и, соответственно, проницаемость, механическая же прочность сохраняется.

5. В последние годы возникли новые мембранные продукты, которые фактически являются композитными и выполнены из металла и керамики. Задача разработчиков была в использовании полезных свойств этих материалов и в максимально возможном исключении недостатков. Структура мембран следующая: на пористых металлических основах (нержавеющая сталь, другие металлы) размещен тонкий керамический слой (оксидная керамика, даже нитридная, что практически невозможно для обычных керамических мембран). Особенностью новых мембран является пластичность

(деформируемость) керамического слоя. В основе этого явления лежит известное свойство пластичности нанокерамических материалов. Это связано с иным механизмом деформации материалов, имеющих нанокристаллическую сверхмелкодисперсную структуру.

Таким образом, в приведенных выше способах получения композиционной мембраны представляется перспективным использовать в качестве основы спеченные порошки металлов, а затем непосредственно на полученную основу наносить селективный слой из оксидов металлов либо оксидной керамики с применением или без применения подслоя.

Нами изготовлены экспериментальные образцы с нанесенным слоем из порошков оксида вольфрама на алюмосиликатную подложку с размером пор 10-15 мкм. Полученный мембранный слой характеризуется толщиной 100-150 мкм, имеет размер пор 1-3 мкм и пористость 25-40 %.

Выводы. Исходя из приведенных результатов, разработанные технологические приемы изготовления композиционных пористых материалов на основе алюмосиликатной керамики и оксидов вольфрама можно рассматривать как базовые для создания мембранных фильтроэлементов.

УДК 621.762.4

Бунто С.В.

## **ВАКУУМНЫЕ УСТАНОВКИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МАГНЕТРОННОГО ТИПА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

В настоящее время наиболее перспективными методами нанесения покрытий являются вакуумно-плазменные методы. Это обусловлено их экологической безопасностью, высокой чистотой технологических процессов и качеством продукции. Также известно, что в ионизированном или возбужденном состоянии атомы

и молекулы легче взаимодействуют друг с другом, делая процесс нанесения покрытий более эффективным.

Магнетронные распылительные системы (МРС) широко используются в технологиях нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами. Действие МРС основано на распылении поверхности катода-мишени ускоренными ионами, образующимися в плазме аномально тлеющего разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях, и формировании потоков атомов материала мишени в направлении поверхности, на которую осаждается покрытие.

Основными элементами МРС (рисунок 1) являются катод-мишень, анод и магнитная система. При подаче постоянного напряжения между электродами МРС инициируется аномальный тлеющий разряд. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности позволяет локализовать плазму разряда в прикатодном пространстве, что позволило получить значительно большую плотность ионного тока при меньших рабочих давлениях, и, соответственно, обеспечить высокие скорости распыления. Электроны, образующиеся в результате вторичной ионно-электронной эмиссии, захватываются магнитным полем и движутся по замкнутым траекториям у поверхности мишени. Они оказываются в ловушке, создаваемой с одной стороны магнитным полем, удерживающим электроны у поверхности катода, а с другой стороны – тормозящим электрическим полем, отталкивающим их.

#### *Конструкции устройств*

Существует большое число разнообразных конструкций магнетронных устройств, отличающихся способом создания магнитного поля (в некоторых случаях его конфигурацией), конструкцией катодного узла и геометрией мишени.

Разработаны три базовые конструкции магнетронных устройств:

- цилиндрическая;
- планарная;
- с кольцевым конусообразным катодом.

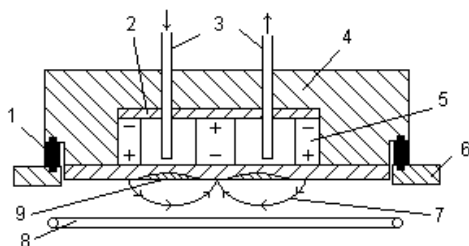


Рисунок 1 – Схема магнетронной системы ионного распыления с плоским катодом:

1 – изолятор; 2 – магнитопровод; 3 – система водоохлаждения; 4 – корпус катодного узла; 5 – постоянный магнит; 6 – стенка вакуумной камеры; 7 – силовые линии магнитного поля; 8 – кольцевой водоохлаждаемый анод; 9 – зона эрозии распыляемого катода

*Вакуумные установки нанесения покрытий магнетронного типа позволяют:*

- Получать покрытия практически из любых металлов, сплавов, полупроводников и диэлектриков без нарушения исходного соотношения компонентов распыляемой мишени;
- Наносить покрытия с широким интервалом скоростей напыления: 0,1-100 мкм/ч;
- Получать многокомпонентные и многослойные покрытия, отличающиеся высоким качеством и однородностью;
- Наносить покрытия в среде химически активных газов ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  и др.) и получать соединения на основе оксидов, нитридов, карбидов, сульфидов металлов и др. соединений, в т.ч. и тех, которые невозможно получить методами обычного термического испарения;
- Производить обработку изделий с целью их ионной очистки и активации перед нанесением покрытий в одном техническом цикле с нанесением покрытий;
- Наносить тонкопленочные проводящие, изолирующие покрытия на электронные компоненты; просветляющие, отражающие, защитные.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин. – М.: Радио и связь, 1982.
2. Берлин, Е. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок / Е. Берлин [и др.]. – М.: Техносфера, 2007.
3. Жуков, В.В. Распыление мишени магнетронного диода в присутствии внешнего ионного пучка / В.В. Жуков // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76. – вып. 4.

УДК 621.52

Вишневский В.Ч.

### **УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Технологические параметры процесса нанесения покрытий определяются способностью испарителя поддерживать испаряемое вещество при определенной температуре длительное время. Для большей части материалов, применяемых в практике вакуумной металлизации для получения покрытий, рабочие температуры составляют 1300..2500 К при давлении паров испаряемого вещества порядка 1,33 Па.

Отличительной особенностью электродуговых испарительных систем состоит в том, что помимо паров металла возникают ионизированные частицы. Эти частицы поддаются управлению электромагнитными или электростатическими полями и легко вступают в реакции с другими элементами. Последнее позволяет получить широкий спектр химических соединений при низких температурах поверхности упрочняемого изделия.

Применительно к проблемам вакуумной металлизации можно выделить некоторые характерные особенности электрической

дуги, определяющие процесс формирования покрытий. Электрический дуговой разряд в вакууме происходит в парах металла. На катоде формируются микроскопические участки – катодные пятна с высокими плотностью энергии и температурой. В пределах катодных пятен локализуются все заряженные частицы катодной области разряда.

В состав продуктов эрозии катода в зоне пятна входят капли расплавленного металла, ионы и пары металла. Размер капель и их концентрация в общем, потоке частиц, поступающих подложку, определяются свойствами материала катода и плотностью тока дуги разряда

Давление паров металла в области катодного пятна достигает 105 Па, поэтому в зоне пятна не происходит взаимодействия с напускаемым газом. Взаимодействие реализуется в следующих областях: на катоде в зонах, остающихся после перемещения катодного пятна; непосредственно на поверхности подложки, где происходит реакция свеженапыленного слоя с газом; в разрядном промежутке при условии его достаточной протяженности. Скорость перемещения катодного пятна в значительной степени зависит от состава и давления напускаемого газа. Эти параметры определяют скорость испарения и состав формируемого покрытия.

Конструктивно метод электродугового испарения наиболее прост; для его практической реализации используют стандартные сварочные выпрямители или генераторы. Это определяет значительные преимущества метода по сравнению с прямоканальными и электронно-лучевыми.

Один из наиболее серьезных недостатков метода – наличие капельной фазы в потоке частиц, поступающих на поверхность изделий – как правило, отрицательно влияет на электрофизические и оптические свойства пленок и ограничивает применение метода в радиоэлектронной и электротехнической промышленности.

С начала 80 годов в СССР был налажен серийный выпуск оборудования на базе схемы «Пуск» и на базе схемы «Булат» –



установки типа «Булат-3Т», «Юнион», ВУ-1 и установки типа ННВ. Схема «Булат-3» также используется в установке фирмы Multi-Arc Vacuum Systems Inc, купившей в СССР лицензию на производство такого оборудования. На сегодняшний день широкое распространение получила установка ННВ-6.6. Для нанесения ионно-плазменным методом защитных, износостойких и декоративных покрытий из различных материалов (Ti, Zr, Cr, Mn, Al, Mo, W, их оксиды, нитриды и карбиды, сплавы и композиции) на детали и инструмент, в том числе режущий. Для получения плазмы металлов в данной установке используются электродуговые испарители с холодным катодом с последующей переработкой плазменной струи в скрещенных электрическом и магнитном полях или электродуговые ускорители (совмещающие эти два процесса).

Разработки и исследования в сфере конструирования вакуумных систем и узлов нуждаются в новых инновационных технологиях, и развитие этого направления несет в себе потенциальную пользу для развития многих сфер промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бамберг, Е.А. Определение некоторых параметров индукционного безэлектродного разряда / Е.А. Бамберг, С.В. Дресвин // ЖТФ. – 1963. – Т. 33. – № 1.
2. Дандес, П. Низкочастотная индукционная плазма / П. Дандес // Физика и химия обраб. материалов. – 1975. – № 2.
3. Дашкевич, И.П. Применение ВЧ-разрядов в качестве источника излучения для спектрального анализа / И.П. Дашкевич, Г.С. Эйклинг // Завод. лаб. – 1973. – Т. 3. – № 4.
4. Дресвин, С.В. ВЧ- и СВЧ-плазматроны / С.В. Дресвин. – Н.: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 514 с.
5. Герасименко, А.А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений: справочник / А.А. Герасименко. – Машиностроение, 1987.

6. Корохов, О.А. Мегаваттный ВЧ-плазмотрон с пористой разрядной камерой / О.А. Корохов, Л.А. Кузьмин. – Н.: Наука, 1989. – 144 с.

7. Костржицкий, А.И. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Костржицкий [и др.]. – Машиностроение, 1991.

8. Цветков, Ю.В. Низкотемпературная плазма в восстановительных процессах / Ю.В. Цветков, С.А. Панфилов. – М.: Наука, 1980. – 360 с.

УДК 646.24

Гордейко С.А.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАКУЛАТУРЫ СБОРНОЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТАРОУПАКОВОЧНЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Черная Н.В.*

Упаковка занимает особое положение в жизни современного общества. Тара из бумаги и картона является наиболее экологически чистым современным видом упаковки и занимает во всем мире ведущее положение среди всех видов упаковки. Производство бумаги и картона из вторичных волокон растёт быстрыми темпами, примерно в 2 раза быстрее, чем производство бумаги из целлюлозы.

В связи с этим были изучены бумагообразующие свойства различных марок макулатуры сборной в зависимости от ее поставщиков.

Цель работы – разработка практических рекомендаций по применению вторичного волокнистого сырья для получения тароупаковочных видов бумаги и картона.

Образцы макулатуры (11 видов) переданы на кафедру ХПД БГТУ от концерна «Беллесбумпром». Из макулатурного сырья изготовили образцы бумаги (80 г/м<sup>2</sup>), для которых определяли

разрывную длину ( $Y_1$ ), влагопрочность ( $Y_2$ ), впитываемость при одностороннем смачивании ( $Y_3$ ), удлинение в сухом состоянии ( $Y_4$ ), и зольность ( $Y_5$ ).

В таблице 1 представлены основные показатели качества образцов бумаги, изготовленных из различных видов макулатуры.

Таблица 1 – Основные показатели качества изготовленных образцов бумаги из различных видов макулатуры

Марка макулатуры	Поставщик	$Y_1$ , м	$Y_2$ , %	$Y_3$ , г/м <sup>2</sup>	$Y_4$ , мм	$Y_5$ , %
1	2	3	4	5	6	7
МС-14	Латвия	2500	3,8	125	2,9	17,6
Смесь (МС-4А, МС-7Б, МС-5Б)	Речицкое РАЙПО	3590	1,4	156	4,3	3,1
МС-5Б	РФ, ООО «НТП», г. Новозыбков	2275	1,6	153	2,5	3,7
	РФ	2885	3,2	162	3,1	2,0
	РФ, г. Воронеж	5050	5,7	188	5,6	2,0
	РФ, г. Смоленск	3260	9,1	123	3,1	8,5
	РФ, ЗАО «Готэк», г. Железногорск	4600	2,6	194	5,4	2,9
	РФ, ООО «Эко-Логистик», г. Москва	4650	2,4	180	5,7	6,3
	РБ	3410	8,7	151	3,7	2,6
Смесь (МС-5Б, МС-7Б)	РБ, г. Гомель	1935	1,0	106	1,7	11,3
	ООО «Румб», г. Минск	2825	4,0	117	3,5	4,8
	РБ, г. Минск	4160	1,7	125	4,6	2,9
	Петриковское РАЙПО	5325	1,6	164	6,3	3,8
	РБ, г. Минск	2360	3,1	172	2,6	6,5
	КИСУП «Уником», г. Жлобин	3905	5,3	126	4,1	3,7

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
МС-6Б	РБ (поставка 1)	4745	5,3	115	4,9	6,9
	РБ (поставка 2)	3725	6,3	142	4,1	7,8
МС-7Б	Россия	545	2,8	90	0,5	8,7
	Россия (ЦВ)	605	2,0	169	0,9	14,5
	РБ, г. Барановичи	1165	4,1	176	1,5	18,2
	РБ давальческая	2940	3,8	171	3,7	8,1
	РБ (поставка 1)	3040	3,4	171	4,1	6,7
	РБ (поставка 2)	2785	6,6	140	3,1	12,5
Смесь (МС-7Б, МС-8В)	РФ	3015	6,9	147	3,2	9,7
	РБ	2175	5,2	163	2,2	25,8
МС-8В	РБ	2195	0,8	143	2,5	23,4
МС-9В	РБ	2315	4,7	168	2,6	11,3
	РБ, РУП«Химволокно»	2340	5,4	161	2,2	11,5
МС-11В	РФ	1640	6,5	120	1,5	5,9
МС-13В	РБ, г. Гомель	1375	4,5	145	1,6	3,0
	РБ (поставка 1)	1735	6,2	162	1,9	3,0
	РБ (поставка 2)	3985	4,7	118	4,3	9,0

Из таблицы видно, что макулатура, поступающая на бумажные и картонные предприятия концерна «Беллесбумпром», как видно из таблицы, отличается бумагообразующими свойствами.

Сопоставительный анализ полученных данных свидетельствует о том, что для получения тароупаковочных видов бумаги и картона можно использовать такие марки макулатуры, как МС-6Б (РБ), МС-7Б (РБ, Петриковское РАЙПО) и МС-5Б (РФ г. Воронеж). Остальные марки макулатурного сырья можно использовать для других видов бумажной и картонной продукции.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВИНТОВОЙ ЧАСТИ РОТОРОВ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ САПР**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

В настоящее время в компрессоростроении весьма актуальными являются вопросы выбора геометрии и оптимального профилирования рабочих органов винтовых компрессорных машин, решение которых позволит сделать более экономичным процесс сжатия газа либо снизить себестоимость компрессорной установки. Ввиду сложности формы винтов существует необходимость создания универсальной методики исследования зацепления и оптимизации для винтов с любыми профилями зубьев с целью отыскания наиболее рациональных их профилей и отработки технологии изготовления винтов.

Применение графических методов моделирования процесса обкатки профиля в среде САД/САМ-систем в некоторых случаях позволит решить задачу быстрее и проще при соблюдении необходимой точности изготовления, чем аналитические методы. Метод основывается на графическом моделировании процесса обкатки одного профиля винта контуром заготовки и использовании булевых операций вычитания материала из этой заготовки во время ее движения, что приводит к получению другого сопряженного профиля винта. Такой подход оказывается независимым от алгоритма и формул описания профиля винтовой поверхности и может применяться для любого из профилей. Метод можно считать универсальным, так как он может использоваться практически везде, где необходимо определить геометрию одного сопряженного профиля по другому, уже известному.

На следующих рисунках представлены примеры профилей, получаемые после обкатки различных профилей:

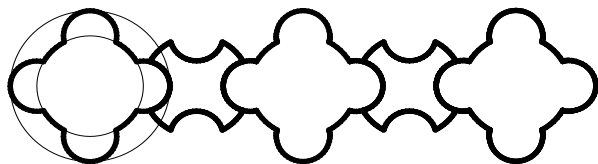


Рисунок 1 – Профили, полученные последовательной обкаткой симметрично-кругового профиля

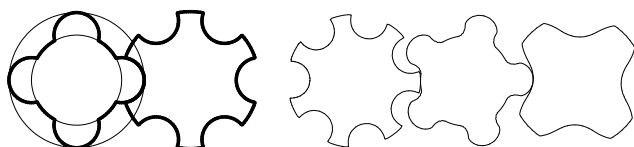


Рисунок 2 – Профили, полученные на базе симметрично-кругового профиля путем задания различных угловых скоростей

Исследование процесса обкатки дает возможность предположить его использование как метод для: *а)* нахождения второго сопряженного профиля по одному известному; *б)* проверки любого расчетного профиля на непрерывность линии зацепления; *в)* отыскания множества новых, с непрерывной линией зацепления профилей на базе любого заданного производящего контура; *г)* построения и проверки профиля инструмента для нарезки винтовых поверхностей, работающего по методам центроидного и бесцентроидного огибания или копирования; *д)* нахождения пространственных зацеплений для винтов с переменным профилем, шагом или которые лежат на валах с непараллельными осями, если предположить, что под термином обкатка можно понимать наложение любых пространственно-временных связей между подвижными деталями.

## **КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ ТОЧЕНИЕМ С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ИНСТРУМЕНТА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Данильчик С.С.*

Качество обработанной поверхности характеризуется макрогеометрией, шероховатостью и волнистостью, состоянием поверхностного слоя. Величина шероховатости при обычном точении зависит от режимных параметров обработки, геометрии режущего инструмента, материала инструмента и обрабатываемого материала, жесткости системы станок-приспособление-инструмент-заготовка.

В работе рассмотрено влияние режимных параметров резания на шероховатость при точении с наложением асимметричных колебаний инструмента. Обрабатывались образцы из стали 45. На рисунке 1 представлен график зависимости среднего арифметического значения шероховатости  $R_a$  образцов после точения при различных подачах от коэффициента асимметрии. Обработка производилась резцом, оснащенным неперетачиваемой быстросменной пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами в плане  $45^\circ$ , передним углом  $-15^\circ$  и задним углом  $15^\circ$ , углом наклона главной режущей кромки  $7^\circ$ . Точение проводилось без смазочно-охлаждающей жидкости на скорости резания 70 м/мин с глубиной 1,5 мм с минимально допустимыми амплитудами колебания резца.

Увеличение шероховатости с ростом подачи на оборот связано с увеличением шага движения резца относительно заготовки. При этом увеличивается высота гребешков микронеровности. Исследования показали, что точение с колебаниями режущего инструмента приводит к увеличению шероховатости поверхности по сравнению с обычным точением. При точении без вибраций

расстояние между траекториями движения инструмента на соседних оборотах заготовки постоянно и равно подаче на оборот  $S_0$ . Точение с наложением на подачу дополнительных колебательных движений инструмента приводит к периодическому изменению этого расстояния от минимальных до максимальных значений, теоретическое значение которого при симметричном вибрационном точении ( $\xi=1$ ) составляет  $\Delta_{\max}=2S_0$ . Точение с асимметричным циклом колебательных движений инструмента позволяет уменьшить шероховатость поверхности по сравнению с симметричным вибрационным точением, так как уменьшается максимальное расстояние между траекториями движения резца на соседних оборотах детали, и, следовательно, максимальная толщина среза. При достаточно жесткой системе станка шероховатость поверхности главным образом определяется коэффициентом асимметрии и снижается с увеличением асимметрии цикла ( $\xi=1/4$ ).

Увеличение шероховатости при точении с коэффициентами асимметрии  $\xi > 1$  обусловлено влиянием на процесс обработки упругих деформаций системы станок-приспособление-инструмент-деталь. Теоретическое расстояние  $\Delta_{\max}$  при точении с коэффициентами асимметрии 2 и 1/2, 4 и 1/4 одинаково. На рисунке 2 представлены показатели  $R_a$  при точении с различными коэффициентами асимметрии.

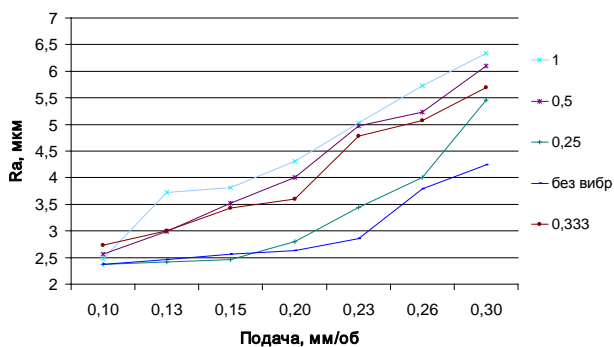


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости поверхности от подачи



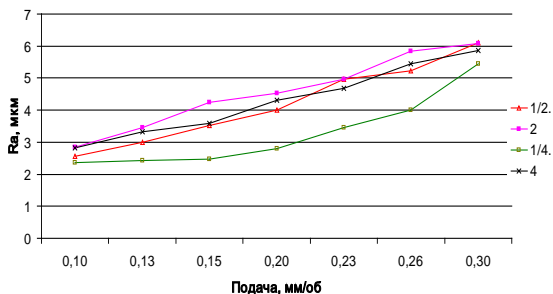


Рисунок 2 – Шероховатость поверхности при различных коэффициентах асимметрии

Профилограммы поверхностей, полученных точением с коэффициентами асимметрии более единицы, имеют периодические глубокие впадины, характерные концу периода отвода инструмента, при котором с уменьшением деформации резец больше врежется в заготовку. Следовательно для обеспечения в процессе точения деталей с асимметричными колебаниями режущего инструмента обработку деталей необходимо вести на станках достаточной жесткости.

Увеличение глубины резания приводит к росту упругой деформации подрезцового слоя металла, что способствует увеличению шероховатости. Величина шероховатости при точении с асимметричными колебаниями инструмента от скорости резания не зависит.

УДК 621.52

Даукшис А.И.

## ВАКУУМНАЯ СУШКА МАТЕРИАЛОВ

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Сушкой называется процесс обезвоживания материала, основанный на испарении влаги в окружающую среду при нагревании. Процесс сушки может быть значительно ускорен созданием вакуума в сосуде с высушиваемым материалом.

Показателем, по которому оценивается качество обезвоживания, является влажность. Влажность зависит от природы вещества, а в твёрдых телах, кроме того, от степени измельченности или пористости.

Сушка в вакууме снижает потери тепла с отработанным сушильным агентом, позволяет лучше уловить ценные (или агрессивные) пары, выделяющиеся из материала, и уменьшить потери продукта.

Сушка в вакууме применяется в следующих отраслях:

1. Сушка пищевых продуктов.
2. Сушка древесины. Технология вакуумной сушки привлекательна, прежде всего, тем, что она предоставляет реальную возможность значительно сократить продолжительность сушки при сохранении качества высушенных пиломатериалов, а в ряде случаев повысить его.
3. Сушка в сельском хозяйстве. Применение сушильной техники создает предпосылки для уборки урожая без потерь при любых погодных условиях и без ущерба для качества продукции.
4. Сушка в химической промышленности. Применяется при производстве полимерных материалов, солей, минеральных удобрений, синтетических красителей, органических веществ, химических тканей, волокон и прочее.

УДК 621.762

Евтухов К.С.

## **ДЕФОРМИРУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАДИАЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ ТЕЛ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Петюшик Е.Е.*

Малокобальтовые сплавы, как наиболее твердые и в меньшей степени прочные, применяются главным образом для обработки резанием чугуна, неметаллических материалов, некоторых видов

сталей и жаропрочных сплавов, для оснащения волочильного инструмента, горного инструмента для бурения мягких пород, зубков врубных машин, коронок вращательного бурения. Традиционные технологии получения твердосплавного инструмента методом порошковой металлургии успешно реализованы для массового производства твердосплавных пластин режущего инструмента, рабочих частей деформирующего инструмента, имеющих простую геометрическую форму и относительно небольшие массу и габаритные размеры. Для инструмента более сложной геометрической формы применяют способы формообразования заготовок, обеспечивающие равномерное распределение приложенного к поверхности дискретной (порошковой) заготовке давления, спекание под давлением (горячее изостатическое прессование). Последний способ весьма дорогостоящий при реализации, поэтому дальнейшее развитие способов холодного изостатического прессования, в частности, применительно к получению заготовок из твердого сплава, представляется весьма целесообразным.

В настоящей работе рассматривали конструкцию специального деформирующего инструмента для формообразования заготовки детали «Проводка таза машин RI-10, RIR-15», являющейся специальным элементом для направления проволоки при ее волочении. Рабочая поверхность детали – центральное отверстие с криволинейной образующей – подвергается при эксплуатации интенсивному истиранию проходящей через него стальной проволокой, скорость относительного перемещения которой составляет сотни метров в минуту. В этой связи материал детали – твёрдый сплав ВК6.

Деталь представляет собой тело вращения, образованное преимущественно криволинейными поверхностями. Имеет небольшие габаритные размеры (34×17 мм), отверстие криволинейной формы с минимальным диаметром 4 мм, сложную наружную конфигурацию. К особенностям конструкции детали относятся большая неравномерность толщины стенки и ее малая толщина

(1,5 мм на значительной длине), наличие переходов с минимальными радиусами кривизны между образующими поверхностями, немонотонность изменения профилей внутренних и наружных криволинейных образующих.

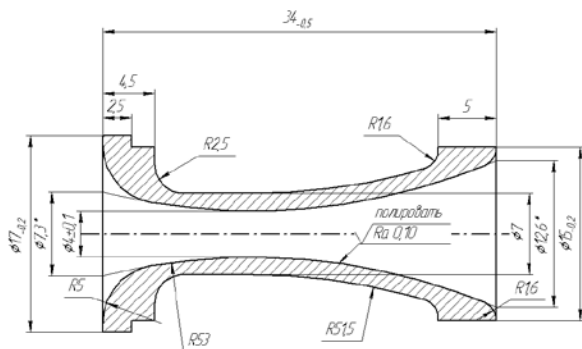


Рисунок 1 – Эскиз детали «Проводка таза машин RI-10, RIR-15»

Указанные особенности конструкции детали обуславливают выбор способа формирования заготовки, который способен обеспечить одновременно получение заданной конфигурации поверхностей при максимально равномерной плотности прессовки по объему. Наиболее просто удовлетворяет этим требованиям способ сухого радиального прессования уплотняемых материалов [1] при уплотнении на оправку.

Принимая во внимание геометрию детали, разработана следующая конструкция формы: оправка 1 изготовлена составной для свободного её извлечения из прессовки; эластичная оболочка 2 также состоит из нескольких частей – двух полуформ, фиксирующихся в собранном состоянии эластичным бандажом 3. Для облегчения процесса сборки-разборки формы отверстие бандажа и наружные поверхности полуформ оболочки конические. Для удобства засыпки порошка в многоместную форму при последовательном расположении прессовок [1], бандаж также является составным.

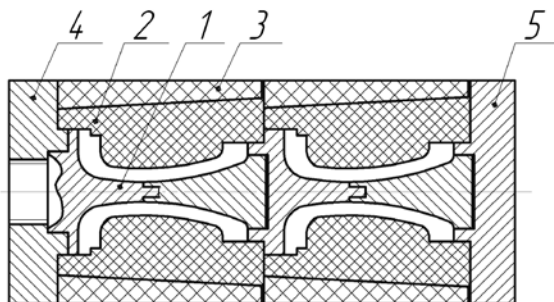


Рисунок 2 – Схема конструкции деформирующего инструмента

Для ограничения продольного перемещения эластичной оболочки в процессе прессования (такое ограничение обеспечивает пресс-блок установки для сухого радиального прессования уплотняемых материалов), конструкция прессформы с двух сторон ограничена крышками 4, 5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реут, О.П. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. – Минск: Дэбор, 1998. – 258с.

УДК 621.762

Евтухова Т.Е.

### **ФОРМИРОВАНИЕ БЛОЧНЫХ АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*БНТУ, г. Минск*

Применение высоких температур при получении блоков за счет спекания порошков адсорбентов невозможно, поскольку приводит к спеканию структуры адсорбента, вследствие чего

получаемые материалы обладают небольшим суммарным объемом пор и низкой удельной поверхностью. Поэтому в настоящее время метод гидратационного твердения дисперсного алюминия с различными наполнителями является наиболее перспективным, поскольку позволяет формировать проницаемые материалы с высокой удельной поверхностью, механической прочностью, минуя стадию получения нанопорошка.

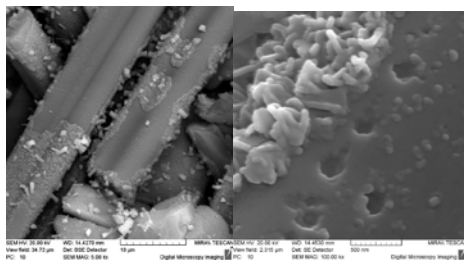
Для обеспечения, указанных выше свойств, было решено применить процесс гидратационного твердения для смеси углеродно-волокнутого материала (УВМ) «БУСОФИТ» (ТУ РБ 00204056-108-95, ПО «ХИМВОЛОКНО», г. Светлогорск) и алюминиевой пудры ПАП-2.

Для получения образцов композиционного адсорбента ткань УВМ «БУСОФИТ» мелко нарезали, просеивали через сито 100 мкм, в определенной массовой пропорции смешивали с пигментной пудрой ПАП-2, смесь загружали в разъемную многоместную форму из коррозионно-стойкой стали и подвергали гидротермальной обработке при температуре 100°C в течение 1,5-2 ч. Образцы в виде цилиндров  $\varnothing$  10 x 10 мм предназначены для исследований механической прочности, адсорбционных свойств и особенностей нано- и микроструктуры синтезированных материалов методом СЭМ.

СЭМ-фото иллюстрируют, что исходный УВМ Бусофит сформирован из волокон диаметром 6...8 мкм, на поверхности которых хорошо просматриваются равномерно расположенные округлые макропоры размером от 0,1 до 0,4 мкм

В процессе гидратационного твердения смеси пигментной пудры ПАП-2 и УВМ Бусофит на поверхности углеродного волокна формируется покрытие различной морфологии. На СЭМ-фото (рисунок 1) покрытие проявляется в виде отдельных частиц и в виде сплошной плёнки, наблюдаются отдельные крупные частицы (длиной 1...2 мкм) вещества покрытия, а также поверхность волокна без покрытия.

На рисунке 2 приведена изотерма адсорбции-десорбции азота и график распределения пор по размерам в композиционном материале состава УВМ Бусофит+ ПАП-2 (50/50 мас.%).



X 5000

x 100000

Рисунок 1 – СЭМ изображение УВМ, модифицированного наночастицами гидроксида алюминия

Наличие гистерезиса на изотерме, как было установлено выше, обусловлено капиллярной конденсацией в мезопорах ПНК. На кривой распределения пор по размерам два максимума – один менее выраженный (~4,5 нм) и относится к структуре ПНК, другой существенно более интенсивный (<4 нм) относится к микропористой структуре УВМ.

Материал при определении прочности на сжатие проявляет хрупкие свойства, т.е. разрушается без образования остаточных деформаций, диаграмма  $\sigma$ - $\epsilon$  не имеет площадки текучести и зоны упрочнения, а величина относительной деформации  $\epsilon$  не превышает 2-5%. На  $\sigma$ - $\epsilon$  диаграммах присутствует одна восходящая ветвь с резким падением в момент разрушения. Момент резкого падения напряжения считается пределом прочности материала при сжатии, который для исследованного материала составил ~10 МПа.

Таким образом, синтезированный композиционный углеродно-керамический материал (адсорбент) имеет трехуровневую систему пор, в которой ультрамакропоры сформированы

волокнами УВМ и гидратированными частицами ПАП-2, мезопоры сформированы в процессе гидратационного твердения ПАП-2, а микропоры содержатся в волокнах УВМ Бусофит.

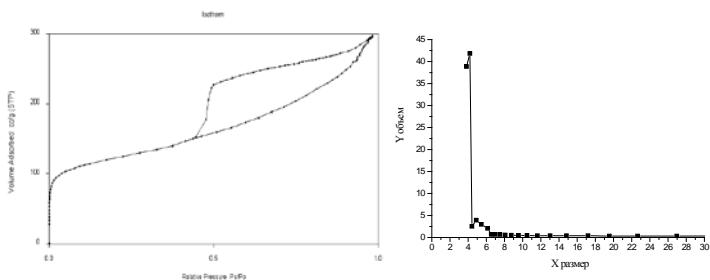


Рисунок 2 – Изотерма адсорбции-десорбции азота и распределение пор по размерам в композиционном материале состава УВМ Бусофит+ПАП-2 (50/50 мас. %).

Материал имеет высокую для такого класса материалов механическую прочность, а метод гидратационного твердения позволяет формировать фазовые контакты между адсорбентом и алюминиевым корпусом, тем самым обеспечивая тепловой контакт с последним.

УДК 667.613.3:620.197.6

Сечная И.В., Журавлева М.В.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

БГТУ, г. Минск

Научный руководитель: Иванова Н.П.

Нанесение лакокрасочных покрытий – один из самых распространённых и надёжных способов защиты металлических поверхностей от коррозии и придания декоративной отделки поверхности.



Одним из перспективных направлений при разработке эффективных лакокрасочных покрытий является применение лакокрасочных материалов на основе эпоксидных олигомеров. Они обладают комплексом таких ценных свойств, как высокая адгезия к металлическим и неметаллическим поверхностям, стойкость к действию воды, щелочей, кислот, ионизирующих излучений, малая пористость, незначительная влагопоглощаемость и высокие диэлектрические показатели. Их применяют для получения ответственных покрытий самого различного назначения, в том числе и для получения химически стойких, водостойких, электроизоляционных и теплостойких покрытий.

Химическое строение и невысокая вязкость эпоксидных смол обеспечивает широкие возможности для регулирования их свойств путем введения модифицирующих добавок, что позволяет достигать максимального соответствия получаемого материала необходимым требованиям. Лакокрасочные покрытия на основе эпоксидных соединений устойчивы в растворах NaOH (до 25%) при нагревании до 125°C, в соляной (до 25%), серной (до 70%), фосфорной и азотной кислотах. Они эластичны, влаго- и атмосферостойки в средах, содержащих Cl<sub>2</sub>, HCl, хлороформ. Обладают высокими электроизоляционными и механическими свойствами.

Известно, что на испытание защитных свойств покрытий в эксплуатационных условиях уходит много времени, что не удовлетворяет ни разработчиков, ни производителей. Ускоренные испытания позволяют получить информацию о стойкости покрытия в условиях его принудительного разрушения, моделирующего естественный механизм старения за короткое время испытания. В качестве таких ускоренных методов испытания применяют электрохимические методы.

Электрохимические методы основаны на измерении электрических параметров электрохимических явлений, возникающих в исследуемом растворе. Такое измерение осуществляют с помощью электрохимической ячейки, представляющей собой сосуд

с исследуемым раствором, в который помещены электроды. Электрохимические процессы в растворе сопровождаются появлением или изменением разности потенциалов между электродами или изменением величины тока, проходящего через раствор.

Для оценки защитных свойств и выбора концентрации модификатора в полимерном покрытии в работе использовано изучение временной зависимости стационарного потенциала системы металл-покрытие в течение 24 ч. Значения потенциалов определяли при температуре 20°C в шкале хлорсеребряного электрода сравнения, затем пересчитывали в шкалу нормального водородного электрода. Снятие анодных поляризационных кривых в 3% NaCl проводили с использованием потенциостата ПИ-50-1.1 с программатором задающим напряжение ПР-8 в трехэлектродной электрохимической ячейке в потенциостатическом режиме при ступенчатом изменении потенциала через 20 мВ с выдержкой тока при каждом потенциале в течение 1 мин. В качестве объектов исследования использовали углеродистую сталь 08 кп с нанесенным с двух сторон эпоксидным полимерным покрытием, для повышения защитной способности вводили модификатор в концентрации 0,5–3 %. Подготовку поверхности подложки осуществляли механическим (шлифование) и химическим (обезжиривание) способом. Края образцов защищали исследуемым материалом. Лакокрасочные композиции наносили в один слой ручным способом (окрашивание кистью), толщина покрытия составляла 20-25 мкм, сушку производили при 120°C в течение 140 мин. Перед электрохимическими исследованиями образцы обезжиривали ацетоном и высушивали на воздухе.

Значения стационарных потенциалов корродирующих систем основа – покрытие смещаются в электроотрицательную сторону (рисунок 1), что может быть обусловлено анодной реакцией ионизации металла. Для образцов с эпоксидным полимерным покрытием значение стационарного потенциала принимает более электроположительное значение по сравнению с углеродистой сталью. При концентрации вводимого модификатора 1% значение потенциала наименее электроотрицательное.

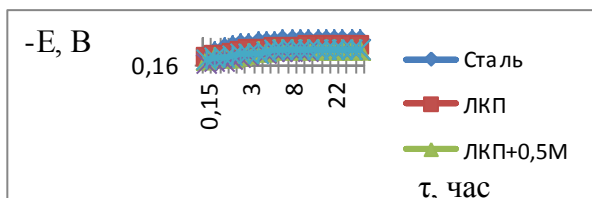


Рисунок 1 – Зависимость стационарного потенциала от продолжительности испытания

На рисунке 2 представлены потенциостатические поляризационные кривые в полулогарифмических координатах. В области потенциалов – (0,25–0,35) В наклоны тафелевских участков всех анодных кривых примерно одинаковы. Это позволяет предположить, что анодное растворение железа происходит в порах покрытия с одинаковым механизмом. Нанесение на поляризационные кривые измеренного стационарного потенциала позволяет определить скорость коррозии. Углеродистая сталь 08кп в 3% NaCl корродирует со скоростью 0,056  $\text{mA}/\text{cm}^2$ . Нанесение эпоксидного полимерного покрытия с модификатором уменьшает ток коррозии в 5,4 раз. Введением модификатора в полимерное покрытие позволяет повысить коррозионную стойкость системы, при этом плотности тока коррозии уменьшаются, а поляризационные кривые сдвигаются в область меньших токов. На основе экспериментальных данных оптимальной концентрацией модификатора в полимерном эпоксидном покрытии является 1 масс. %.

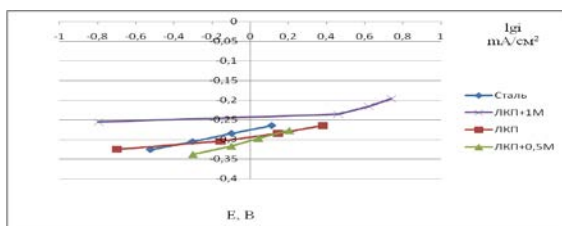


Рисунок 2 – Анодные поляризационные кривые

Электрохимические методы исследования могут быть использованы для оценки защитных свойств лакокрасочных покрытий и выбора их оптимального состава, проведения сравнительной характеристики коррозионной стойкости систем металл – полимерное покрытие. Электрохимические методы дают дополнительную оценку защитных свойств лакокрасочных покрытий, позволяют получить более полное представление о коррозионных процессах, протекающих под покрытием, оценить влияние модификатора на защитные свойства получаемых покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Благонравова, А.А. Лаковые эпоксидные смолы / А.А. Благонравова, А.И. Непомнящий – М.: Химия, 1998. – 120 с.
2. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии/ И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: Физматлит, 2006. – 328 с.

УДК 691.793

Зуёнок А.В.

### **ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ПОЛИРОВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иващенко С.А.*

Подготовка рабочих поверхностей упрочняемых деталей является важнейшим этапом технологии формирования любых покрытий. Качество этой подготовки во многом определяет качество конденсированного слоя и многие функциональные характеристики покрытий, в частности, прочность их сцепления с основой. Недостаточно тщательная подготовка упрочняемых поверхностей может привести к отслаиванию и разрушению покрытия в процессе нанесения и преждевременному выходу его из строя в процессе эксплуатации.

Подготовка поверхности происходит в течение целого ряда

операций обработки упрочняемых деталей. При этом традиционные методы подготовки (механические, химические и т.п.), не всегда гарантируют требуемое качество поверхности подложек. Поэтому для вакуумно-плазменного осаждения покрытий была разработана технология подготовки металлических поверхностей, гарантирующая высокое качество таких покрытий. Сущность технологии заключается в том, что, с целью повышения эффективности технологического процесса нанесения вакуумно-плазменного покрытия на поверхность изделия, обработку поверхности осуществляют в парогазовой оболочке, создаваемой электрическими разрядами в течение определенного времени.

Для обеспечения эффективности ЭИП упрочняемые поверхности деталей подвергаются предварительной механической обработке шлифованием либо другим методом до шероховатости  $Ra_1$  не выше 1,25..1,5 мкм. Параметр шероховатости  $Ra_2$  готовой детали задают на уровне не ниже 0,06..0,04 мкм, исходя из соображений производительности и экономичности процесса ЭИП.

После механической обработки детали должны проходить операцию мойки для удаления остатков СОТС и других загрязнений, так как среди них могут оказаться вещества, ухудшающие состав и, соответственно, работоспособность электролита.

Для электроимпульсного полирования металлических подложек используются различные электролиты, представляющие собой в основном водные растворы солей. Полирование деталей ведется в анодном режиме. Процесс электроимпульсного полирования деталей осуществляется на серийно изготавливаемых установках ЭИП-1 и ЭПОЛ-5Н.

Особую проблему представляет собой обработка длинномерных деталей типа направляющих и др., так как величина съема металла зависит от глубины погружения детали. Это объясняется наличием градиента избыточного гидростатического давления

по высоте в слое электролита. Поэтому при вертикальном расположении детали толщина парогазовой оболочки с увеличением глубины погружения уменьшается, а частота электрических разрядов соответственно увеличивается. В результате нижняя часть погруженной в электролит детали обрабатывается более интенсивно, чем ее верхняя часть, а получаемая величина погрешности формы не соответствует жестким требованиям, предъявляемым к прецизионным деталям.

Для повышения точности обработки длинномерных деталей разработан способ полирования, согласно которому деталь помещают в вертикально расположенный диффузор специальной формы, через который с расчетной скоростью прокачивается электролит. В результате прокачки обеспечивается равенство температуры электролита в любой точке около поверхности детали и равномерность съема металла по всей ее длине.

После полирования для удаления остатков электролита детали рекомендуется промывать в двух водах, например, холодной проточной и дистиллированной воде. Далее для удаления остатков влаги производится сушка деталей горячим воздухом в сушильном шкафу при температуре 60..150 °С.

Подготовку поверхности подложек желательно проводить непосредственно перед помещением в вакуумную камеру, так как именно свежеччищенные поверхности обеспечивают наилучшее качество осаждаемого покрытия. В случае невозможности быстрого использования подложки рекомендуется хранить в обеспыленных контейнерах или эксикаторах. Перед напылением покрытия их рекомендуется дополнительно протирать безворсовой тканью, смоченной в спирте-ректификате.

Подготовка поверхности перед нанесением газотермических покрытий имеет целью удалить с нее всякого рода загрязнения, окисную пленку и придать ей возможно большую шероховатость, так как напыляемый материал с гладкой поверхностью плохо сцепляются. Существуют различные методы подготовки поверхности. Они выбираются в зависимости

от конфигурации детали, ее габаритов, а также условий работы. Для обеспечения хорошего качества напыления, частицы напыляемого материала должны прочно соединяться между собой и основанием детали. В противном случае, возможно отслоение напыленного слоя от основы, а при оплавлении наблюдается стягивание напыленного слоя с краев изделия. Сцепление частиц между собой при напылении обуславливается химическим составом напыляемого материала, скоростью и состоянием частиц в момент удара. Сцепление покрытия с основой может быть осуществлено двумя силами: механическим сцеплением массы покрытия с макронеровностью основания и силами межатомного взаимодействия.

Различают два вида механического сцепления – клиновое и якорное, которые достигаются механообработкой. Межатомное сцепление, в покрытии или между покрытием и основой, осуществляется объемным оплавлением покрытия. Чем более развита поверхность, подлежащая напылению, тем больше сила сцепления напыленного слоя с основой.

Самым доступным способом подготовки поверхности под напыление является дробеструйная обработка стальной крошкой со смешанными размерами частиц от 400-1000 мкм. Данная обработка осуществляется двумя этапами:

- дробеструйная обработка на расстоянии 50-100 мм от поверхности детали служит для снятия основного дефектного слоя;
- дробеструйная обработка на расстоянии 150-200 мм от поверхности детали с повышенной скоростью перемещения струи дроби (детали) порядка 25-50 м/мин.

Последний прием служит для снятия напряжений в поверхностном слое детали, образовавшихся на первом этапе обработки, а также для того, чтобы поверхность детали была более шероховатой. Подготовленную под напыление поверхность необходимо тщательно предохранять от всяких загрязнений, в том числе жировых, масляных и пылевых.

Промежуток времени между подготовкой поверхности к напылению и нанесением покрытия должен быть минимален.

При длительном хранении подготовленной поверхности на ней образуются достаточно толстые окисные пленки, при этом прочность сцепления напыленного слоя с основой снижается.

Чтобы исключить явление, рекомендуется сразу после подготовки поверхности нанести на нее тонкий слой покрытия (подслой), толщиной 0,2-0,3 мм из сплава ПГ-СРЧ грануляцией 50-120 мкм, который будет являться защитным слоем от окисления и загрязнения. Данный подслои служит также для увеличения прочности сцепления покрытия с основой изделия.

УДК 681.5.017

Кирикович М.К.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА ОТКРЫВАНИЯ, ЗАКРЫВАНИЯ СТОРОК ДВЕРЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Привод предназначен для открывания, закрывания створок дверей общественного транспорта посредством двух пневмоцилиндров, закрепленных на кронштейне, при подаче импульсного электрического сигнала на электромагнитные катушки пневмораспределителя с рабочего места водителя. Привод должен обеспечивать аварийное открывание дверей с места установки привода из пассажирского салона и снаружи транспорта, выдачу электрического сигнала на контрольную лампу открытого положения двери, выдачу электрического сигнала на включении фонаря освещения посадочной площадки, защиту пассажиров от защемления, приведение в действие механизмов. На рисунке 1 представлена пневмоэлектрическая схема устройства открывания и закрывания дверей общественного транспорта.



При подаче электрического сигнала пневмораспределитель направляет давление сжатого воздуха в ту или другую полость пневмоцилиндров, которые в свою очередь открывают или закрывают створки дверей. При защемлении в дверях пассажира дверь останавливается за счет возникшего перепада давлений в полостях пневмоцилиндра, срабатывает антиблокировочное устройство и подает электрический сигнал на открытие створок. После закрытия двери антиблокировочное устройство так же срабатывает и, чтобы не допустить произвольного открытия дверей, оно обесточивается микропереключателем, который срабатывает в конце хода штока цилиндра на закрытие дверей.

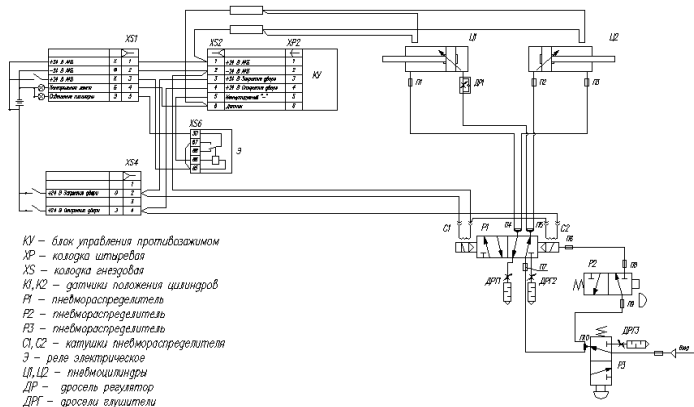


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства открывания и закрывания дверей

Электрический блок дублирует отключение антиблокировочного устройства при срабатывании микропереключателя. Это необходимо для случаев, когда принудительно отжимаются двери из закрытого положения, при этом двигается шток пневмоцилиндра, микропереключатель включается, подается питание на антиблокировочное устройство и, при отсутствии электрического блока, происходит самопроизвольное открытие дверей.

На рисунке 2 представлена спроектированная модель устройства открывания и закрывания дверей, которая будет устанавливаться на городской общественный транспорт в Республике Беларусь (парк троллейбусов предприятия «Белкоммунмаш», парк автобусов РУП «МАЗ»).

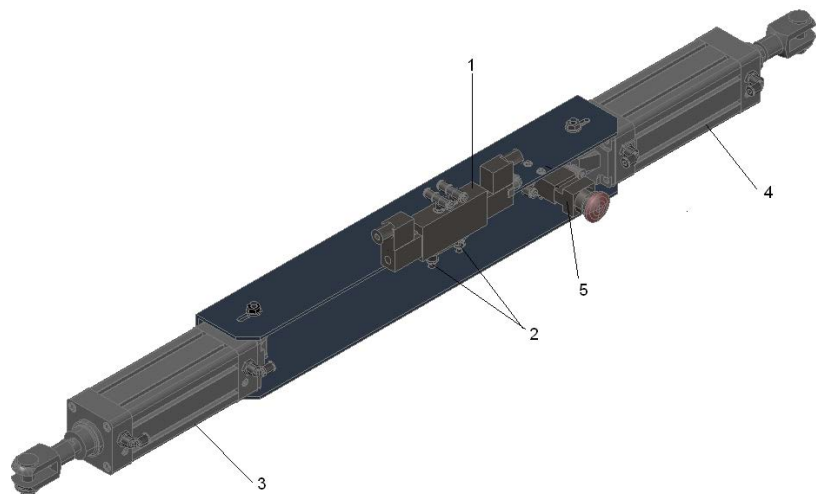


Рисунок 2 – Модель устройства открывания и закрывания дверей:  
1 – пневмораспределитель с электро-пневмоуправлением;  
2 – дроссели – регуляторы; 3, 4 – пневмоцилиндры двухстороннего действия; 5 – пневмораспределитель с ручным управлением

Пневмопривод двери содержит пневмораспределитель (1) с дросселями (2) на выходе для регулировки скорости штока. Рабочие пневмоцилиндры (3) и (4), которые соединены гибкими трубопроводами, являются исполнительным механизмом. Пневмо-распределитель с ручным управлением (5) для аварийного открытия створок дверей из салона общественного транспорта.

Основным недостатком известной конструкции является наличие электрического блока, элементы которого создают дополнительную вероятность отказа пневмопривода в работе.

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СПИРАЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

Считается, что спиральные компрессоры применимы только в кондиционировании воздуха, а для работы в низкотемпературной области не подходят. Уникальность спиральных компрессоров заключается в возможности безболезненно впрыскивать жидкий (или парообразный) хладагент непосредственно в спиральные полости приблизительно в середине процесса сжатия.

Сейчас запатентовано в ряде стран наиболее интересные технические решения, которые и позволяют производить впрыск жидкости для промежуточного охлаждения в низкотемпературных режимах непосредственно в зону сжатия, не снижая рабочего ресурса компрессора. Благодаря этому низкотемпературный спиральный компрессор может работать при температурах кипения  $-35\dots -40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и при обычных температурах конденсации  $+30\dots +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На сегодняшний день в мире не существует компрессоров, способных работать при температуре ниже  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  без применения так называемого «зимнего пакета» – дополнительных аксессуаров (нагреватель картера, изоляция, регуляторы). Необходимость в «зимнем пакете» объясняется прежде всего особенностями конструкции различных типов компрессоров, а также свойствами масел, которыми эти компрессоры заправляются. В спиральных компрессорах используют подшипники скольжения на основе либо медных, либо алюминиевых сплавов. Но при температурах ниже минус  $10^{\circ}\text{C}$  коэффициенты линейного расширения меди/алюминия со одной стороны и стали/чугуна с другой

значительно различаются. Это приводит к некоторому уменьшению зазоров в парах трения. Что касается масла, применяемого в спиральных компрессорах, то его вязкость заметно растет при температурах ниже минус 10°C. Следовательно, велика вероятность, что компрессор будет в этом случае работать в условиях недостаточной смазки либо вообще при «сухом трении». В реальных условиях запуск любого компрессора является критическим моментом для него, поскольку подшипники, воспринимающие начальные повышенные нагрузки, еще практически «сухие». Проблема в некоторой степени решается за счет установки подшипников скольжения с тефлоновым покрытием, которое повышает ресурс пар трения. Другая ситуация – много жидкого хладагента растворено в масле, и на смазку поступает масляная суспензия с пониженной вязкостью. Жидкий хладагент вымывает смазку из подшипников скольжения, что ведет к их перегреву и выходу из строя. Тефлоновые подшипники способны работать со смазкой, состоящей из 20% масла и 80% жидкого хладагента.

При остановке компрессора сжатый газ в нагнетательной полости внутри компрессора будет пытаться «прорваться» обратно на сторону всасывания, заставляя вращаться спираль в обратную сторону с характерным шумом. Обратный динамический клапан в нагнетательном отверстии неподвижной спирали средне- и низкотемпературных компрессоров специально установлен для снижения интенсивности обратного вращения спирального блока. При этом небольшое обратное вращение спирального блока не оказывает влияния на надежность компрессора в целом и не приводит к его преждевременному выходу из строя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Спиральные компрессоры MLZ/MLM для холодильных систем. Руководство по выбору и эксплуатации. – ООО «Данфос», 2011.

## ОЦЕНКА ПРОВОДИМОСТИ ВАКУУМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ВЯЗКОСТНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Учет потерь в цилиндрических трубопроводах является одной из самых важных задач, встречающихся при расчете вакуумных систем. Правильный учет сопротивления движению газа позволит избежать ошибок в выборе производительности средств откачки, так и размеров трубопроводов и арматуры.

Цель статьи – изучение теоретических и экспериментальных подходов к изучению течения разряженных газов по трубопроводам в вязкостном режиме.

Как известно, течение разряженных газов может протекать в одном из двух режимов.

При высоком вакууме в молекулярном режиме течения газа длина свободного пути молекул газа больше диаметра трубы, молекулы движутся независимо друг от друга, соударяясь лишь со стенками трубопровода. В области низкого вакуума при вязкостном режиме течения газа средняя длина свободного пути молекул газа значительно меньше диаметра трубопровода. Скорость течения слоя газа у поверхности трубопровода практически равна нулю, а остальные слои движутся в условиях стационарного потока с постоянной скоростью [1].

Для нахождения проводимости длинного трубопровода в вязкостном режиме течения разряженного газа с малой скоростью используется уравнение Пуазейля:

$$U = \frac{\pi R^4}{8\eta l} p \quad (1)$$

где  $R$  – радиус трубы,  $l$  – длина трубопровода, динамическая вязкость газа,  $p = (p_2 + p_1)/2$  – среднее давление,  $p_1$  – давление на входе и выходе трубопровода. Для воздуха при  $T=293\text{K}$  и

$$\Psi = 1,82 \cdot 10^5$$

$$U = 182 \frac{d^4(p_1 + p_2)}{2l}$$

Для проводимости короткого трубопровода (при относительных длинах трубопроводов  $l/d < 20$ , где  $d$  – диаметр трубопровода) используется уравнение Лангхара:

$$U = \frac{\pi R^4 p}{128 \Psi l [1 + 4,54 \cdot 10^{-2}] \frac{Q}{\Psi R_g T l}} \quad (2)$$

где  $Q$  – поток газа,  $R_g$  – газовая постоянная,  $T$  – температура газа.

Для проверки точности расчета по формулам 1 и 2 используют экспериментальный стенд для определения проводимости цилиндрических трубопроводов, разработанный Казанским технологическим университетом [2].

Стенд состоит из измерительной камеры, системы откачки и комплекта приборов для измерения давления и расхода газа. Измерения показывают значительное расхождение эксперименте с теорией при больших значениях среднего давления в трубопроводе.

Когда проводимости отдельных элементов трубопровода найдены задают их конструктивные размеры. При определении размеров трубопровода его длиной задаются исходя из условия размещения элементов вакуумной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника / Л.Н. Розанов. – М: Машиностроение, 2007.
2. Райков, А.А. Проводимость цилиндрических трубопроводов в вязкостном режиме течения / А.А. Райков // ВТ и Т. – Т. 19. – № 4. – 2009. – С. 233-238.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА БЕЗМАСЛЯНЫХ ФОРВАКУУМНЫХ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Активное развитие различных приложений вакуумной техники формирует новые требования к вакуумному оборудованию. Прежде всего, это касается степени чистоты получаемого вакуума, что диктует необходимость развития безмасляных средств откачки.

В данной работе ставилась цель провести анализ состояния рынка безмасляных средств откачки. Проанализировать возможные тенденции развития данного оборудования.

Мировой рынок вакуумной техники характеризуется высокой степенью консолидации производителей [1]. Они объединены в три региональные ассоциации: американскую AVEM (Association of Vacuum Equipment Manufacturers), японскую JVIA (Japan Vacuum Industry Association) и европейскую EVTA (European Vacuum Technology Association, часть VDMA – German Engineering Federation). Кроме того, менее значимые по числу участников ассоциации:

- Южная Корея – KOVRA;
- Тайвань – TVS;
- Китай – CVEA;
- Россия – PBO.

Три крупнейшие ассоциации ведут статистический проект International Statistics on Vacuum Technology (ISVT).

Данные о рынке формируются на основании статистики продаж вакуумной техники участниками ассоциаций (более 100 компаний). Согласно оценкам участников проекта ISVT, их суммарная доля в мировом объеме производства составляет

порядка 80%. Согласно данным ISVT, мировой рынок вакуумных технологий (оборудования, приборов и комплектующих) в 2007 году составил \$4,7 млрд. долл. По итогам 2008 года рынок превысил отметку в \$6,1 млрд. (оценка компании Edwards). Наиболее емкими сегментами рынка являются оборудование среднего вакуума (\$1,1 млрд.) и послепродажное обслуживание (\$1,1 млрд.). Сегмент послепродажного обслуживания на протяжении последних лет демонстрирует наиболее активный рост [2].

Один из наиболее ёмких рынков в мире — японский. Основным потребителем является полупроводниковая промышленность. В последние года она значительно потеряла свои позиции, при этом доля производителей плоскопанельных дисплеев существенно выросла примерно до 2 млрд. долларов США в 2008 году, причем только в Японии. Активное развитие получила отрасль, связанная с выращиванием кристаллов и созданием на их основе фотоэлектрических панелей. Область применения вакуума постоянно расширяется, но до сих пор наиболее важным его применением остается электронная техника. Вакуум является одним из основных условий функционирования электровакуумных приборов. Для обеспечения работоспособности электронного оборудования к вакууму предъявляются очень высокие требования. Прежде всего, это требования чистоты вакуума, особенно в полупроводниковых приборах, где процессы нанесения тонких пленок, ионного травления, обеспечивают получение элементов электронных схем субмикронных и нанометровых размеров. В последнее время активное развитие получили высокоточные и наукоемкие технологии с использованием чистого вакуума. Это, например, фото-электротехника и все, что связано с изготовлением и использованием данной аппаратуры. В таких относительно новых областях применения вакуумной техники формируются собственные требования к оборудованию повышенный уровень надежности при длительной непрерывной работе и повышенной



тазовой нагрузке, «терпимость» к пыли и твердым частицам, высокая производительность в диапазоне давлений  $10^3$ - $10^4$  Па.

При выборе средств откачки необходимо, кроме паспортных характеристик, уделять внимание зависимости производительности насоса от давления на входе.

Для большинства современных безмасляных бесконтактных насосов производительность при высоких давлениях (50-1000 Па) существенно ниже заявленных, пик которой наступает обычно в диапазоне 0,1-10 Па. Поэтому при выборе системы для откачки камеры большого объема нужно учитывать, что время ее откачки до давлений, когда форвакуумный насос становится наиболее производительным, может быть достаточно длительным.

#### ЛИТЕРАТУРА

5. Васильев, Ю.К. Анализ современного состояния рынка оборудования систем создания и поддержания вакуума / Ю.К. Васильев // Вакуумная техника и технология. – 2006.
6. <http://www.mielt.ru/dir/cat0/subj0/file0/view1306.html>.
7. <http://npf-rina.org/science/papers/vtt2003.pdf>.
8. [http://www.actan.ru/images/pdf/actan\\_catalogue\\_2010.pdf](http://www.actan.ru/images/pdf/actan_catalogue_2010.pdf).

УДК 621.762.4

Кубик И.Ю.

### **ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иващенко С.А.*

Работоспособность деталей с покрытиями весьма существенно зависит от совершенства применяемых методов очистки и подготовки поверхности.

Подготовка поверхности при формировании покрытий включает очистку поверхности, придание ей соответствующего

микрорельефа и определенных физико-химических характеристик, что обеспечивает необходимое качество покрытий.

Химическая чистота поверхности детали – одно из основных условий высокого качества наносимого покрытия. Загрязненность поверхности детали затрудняет взаимодействие покрытия с материалом основы, способствует возникновению несплошностей в покрытии и областей с высокими локальными напряжениями. Все это снижает прочность сцепления покрытия с основой и, как следствие, приводит к отслаиванию и растрескиванию покрытия в процессе его нанесения или эксплуатации.

Следует отметить, что практически все способы обработки металла ведут к загрязненности поверхности детали. Загрязнения могут состоять из оксидов, образующихся при термической и механической обработке, а также в результате коррозии на воздухе; щелочных соединений и солей, остающихся после обезжиривания и химического травления; многочисленных органических соединений, являющихся остатками СОЖ, полировальных паст, органических растворителей.

На качество покрытий оказывает существенное влияние топография поверхности детали. Обычно на ее поверхности перед нанесением покрытия не допускается наличие грубых дефектов рельефа: раковин, царапин, забоин. В то же время повышение шероховатостей химически чистой поверхности детали во многих случаях (при нанесении покрытий газотермическим способом, погружением в расплав, эмалированием и др.) способствует лучшему сцеплению покрытия с основой. Существующие методы подготовки поверхности под покрытие подразделяются на механические, химические, электрохимические и физические.

К механическим методам относятся, например, шлифование и полирование, галтовка и виброабразивная обработка. В ряде случаев эта обработка с использованием жидких химических активаторов, по существу, является химико-механической. Так, струйно-абразивная обработка является эффективным методом

подготовки поверхности заготовок для покрытий, не требующих предварительного полирования поверхности. Такие методы, как крацевание с помощью проволочных щеток, иглофрезерование, вибрационное обкатывание и магнитно-абразивная обработка не нашли широкого применения при подготовке поверхности вследствие малой универсальности и производительности, невысокой точности и качества поверхности и т.д. Следует отметить, что наряду с очисткой поверхности механические методы изменяют ее топографию, величину наклепа и остаточные макронапряжения.

Механические методы подготовки поверхности характеризуются простотой оборудования и технологий, обеспечивают требуемую шероховатость поверхности, но имеют ряд существенных недостатков. Основным из них является образование в процессе механической обработки дефектного поверхностного слоя. Этот слой обладает повышенной твердостью и хрупкостью и содержит помимо мелкокристаллической раздробленной смеси оксидов, нитридов и других соединений сильно деформированные зерна металла, инородные включения, скрытые дефекты и микротрещины. Наличие дефектного поверхностного слоя затрудняет заключительную операцию подготовки поверхности деталей непосредственно в вакуумной камере и приводит к снижению качества вакуумно-плазменных покрытий. Кроме того, механические методы подготовки приводят к направленной анизотропии магнитных свойств, особенно опасной для деталей из немагнитных материалов, так как это сказывается не только на качестве покрытий, но и ухудшает работоспособность самих изделий.

Химическая обработка включает обезжиривание, травление и полирование. Химический способ удаления жировых отложений основан на взаимодействии с ними органических растворителей (тетрахлорэтилена, четыреххлористого углерода, бензина, керосина и др.). Обезжиривание проводят погружением заготовок в жидкий растворитель, а также используют струйную обработку. Очень эффективна ультразвуковая

очистка, удаляющая загрязнения из самых труднодоступных участков поверхности. После обезжиривания обычно проводят травление детали, а в тех случаях, когда требуется низкая шероховатость поверхности, полирование. Под химическим полированием (ХП) понимают процесс обработки поверхности детали в электролите, протекающий без подвода внешнего тока в результате окислительно-восстановительных реакций системы металл-раствор. Растворы для ХП характеризуются высоким содержанием кислот: серной, фосфорной, азотной, соляной и плавиковой, и наличием в большинстве случаев в качестве окислителя перекиси водорода.

УДК 621

Куркин И.В.

## **ОСОБЕННОСТИ РОТАЦИОННЫХ КОМПРЕССОРОВ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

Появление идеи ротационных компрессоров датируется девятнадцатым веком. Это относительно молодая идея, если учесть, что возникновение принципа поршня относят, чуть ли не к древнему Риму.

Особенностью ротационных компрессоров по сравнению с поршневыми является отсутствие кривошипно-шатунного механизма и возвратно-поступательно движущегося поршня. Поэтому ротационные компрессоры имеют хорошую уравновешенность, меньшее количество движущихся частей, подвергающихся износу, отсутствие всасывающих, а в некоторых конструкциях и нагнетательных клапанов. Они проще в обслуживании и более надежны в работе.

Ротационные компрессоры имеют значительно больше конструктивных видов, чем любой другой тип компрессоров.

Ротационные компрессоры подразделяются на пластинчатые, с катящимся ротором, водокольцевые, двухроторные и винтовые.

Компрессоры с катящимся ротором характеризуются достаточно плавной подачей сжатого газа. За исключением пластинчатых компрессоров, у ротационных машин небольшие потери трения и малый износ. Самые значительные потери в ротационных компрессорах – это потери от перетекания газа и аэродинамические (или гидравлические) потери.

Компрессор с катящимся ротором является наиболее подходящим типом ротационного компрессора для получения наибольшей степени повышения давления в одной ступени. Изменение объема полостей и рабочие процессы происходят при вращении ротора.

Принцип работы компрессоров с катящимся ротором:

Основными элементами ротационного компрессора с катящимся ротором являются ротор и прижимная пластина, разделяющая области высокого и низкого давления. Ротор круглого сечения, прилегающий к стенке цилиндра, вращается вокруг оси цилиндра. Между ротором и зеркалом цилиндра остается при движении ротора зазор, равный 0,1-0,2 мм. Серповидное пространство между ротором и цилиндром разделено пластиной на всасывающую и нагнетательную части.

Компрессор с катящимся ротором приводится в движение эксцентриком центрального вала. Диаметр поршня меньше диаметра цилиндра. При вращении эксцентрика ротор как бы катится по внутренней боковой поверхности цилиндра, создавая серповидную полость, положение которой зависит от угла поворота ротора.

Компрессоры с катящимся ротором имеют следующие преимущества:

- простая конструкция;
- низкие потери трения и, следовательно, малый износ;
- высокий коэффициент подачи вследствие небольшого мертвого пространства.

- центробежные силы у катящегося ротора можно хорошо уравновесить, поэтому к подшипникам машины не предъявляются специальные требования, и возможна работа компрессора при высокой скорости.

- степень повышения давления у компрессоров с катящимся ротором не определяется геометрией машины (как, например, у пластинчатых компрессоров), поэтому они удобны при работе с переменной степенью повышения давления, как, например, при откачивании вакуумной системы или для холодильных установок, работающих с переменными температурами.

Недостатки компрессоров с катящимся ротором:

- потребность в маховике;
- пульсирующее нагнетание сжатого газа;
- почти наполовину меньшее использование объема цилиндра, чем в пластинчатых компрессорах.
- сложность изготовления и ремонта.

Расчет компрессоров с катящимся ротором.

Для компрессоров с катящимся ротором, как правило, принимают относительный эксцентриситет  $\varepsilon = \frac{e}{R}$  (рисунок 1) в пределах  $\varepsilon = 0.08 \dots 0.20$  (и более), а относительную длину цилиндра  $\theta = \frac{L}{2R}$  от 0,4 до 0,75 (у крупных машин до 2), где  $R$  – радиус цилиндра,  $e$  – эксцентриситет ротора,  $L$  – длина ротора.

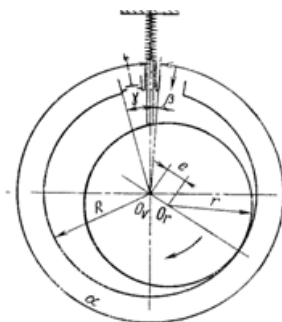


Рисунок 1 – Производительность компрессора с катящимся ротором

Ротационные вакуум-насосы в настоящее время почти полностью вытеснили механические вакуум-насосы, ранее широко применявшиеся машины с возвратно-поступательным движением поршня. В холодильной технике ротационные машины для домашних холодильников практически не применяются, но вследствие удовлетворительного коэффициента полезного действия и небольшого веса ротационные компрессоры все чаще применяются в качестве бустеров, т.е. поджимающих компрессоров в низкотемпературных промышленных холодильных циклах. Малые ротационные компрессоры (с катящимся ротором) используются в бытовой холодильной (тепланосной) технике, торговых прилавках, витринах, шкафах, транспортных кондиционерах.

УДК 539.4:629.3

Лапо В.О.

## **ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ**

*БГАТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Колоско Д.Н.*

*В статье рассмотрены вопросы повышения прочности конструкций, приведены значения удельной прочности материалов и особенности применения деталей из УКМ в автомобилестроении.*

Сложность повышения конструкционной прочности заключается не столько в повышении отдельных прочностных характеристик, сколько в обеспечении высокой надежности – сопротивлении хрупкому разрушению. В композиционных материалах, являющихся композицией из мягкой матрицы, в которой «ввязнут» трещины, и высокопрочных волокон, реализован оригинальный способ повышения конструкционной прочности.

Нитевидная одномерная форма армирующих элементов дает преимущество, состоящее в возможности создания упрочнения

в конструктивно требуемом направлении. Неспособность передавать нагрузку в перпендикулярном своей оси направлении является существенным недостатком. Матрица в композитах придает изделию заданную форму и делает материал монолитным. Ее пластичность позволяет передавать нагрузку соседним волокнам и уменьшать концентрацию напряжений вблизи различного рода дефектов.

По типу матричного материала композиционные материалы (КМ) делятся на полимерные (ПКМ), металлические (МКМ), керамические (ККМ), углеродные (УКМ) и гибридные (ГКМ) [1].

Углепластики или карбопластики (от «carbone» – углерод) – полимерные углеродные композиционные материалы из переплетенных нитей углеродного волокна диаметром 0,005-0,010мм, расположенных в матрице из полимерных смол. Их высокая стоимость вызвана сложной технологией производства и стоимостью производных материалов и оборудования.

При выборе материала необходимо стремиться к получению наименьшей массы при заданной прочности и жесткости конструкции. Наиболее информативной характеристикой свойств подбираемого материала служит отношение предела прочности  $\sigma_B$  к плотности  $\rho$ , называемое удельной прочностью материала:

$$\sigma_{y0} = \frac{\sigma_B}{\rho} \quad (1)$$

Значения этих характеристик для различных композиционных материалов приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Материал	$\sigma_B$ , МПа	$\rho$ , Н/мм <sup>3</sup>	$\sigma_{y0}$
Al2O3 волокно	4140	0,396	10,5
Al2O3 компакт	450	0,396	1,1
СВ стекловолокно	2580	0,258	6,2
Стекло	300	0,258	1,2
09X18H13M2 волокно	3400	0,78	4,4
09X18H13M2 компакт	1200	0,78	1,5
Углеродное волокно УВ	2500	0,17	14,7



Приведенные в таблице данные показывают значительное превосходство углеродного волокна по удельной прочности по сравнению с другими материалами. Детали из углепластиков легче, чем стальные или алюминиевые, прочные и безопасные, аэродинамичные и идеально подходят для применения в автомобилестроении. Вследствие высокой стоимости и длительности изготовления карбопластики применяют в качестве усиливающих дополнений в основной конструкции – части космических кораблей, кабины пилота и обтекатели в болидах Формулы 1, несущие винты вертолетов.

Особенностью применения углепластиковых композитных материалов на практике является отличие от общепринятых технологий ремонта. Стальные и алюминиевые детали машин можно относительно легко отремонтировать после аварии (заварить или отрихтовать). Недостатком карбопластиков является низкое сопротивление точечным ударам, потому что углепластики при повреждении образуют множество осколков, и восстановить первоначальный вид невозможно. При ликвидации конструкций возникает проблема в сложности утилизации углепластиков (их нельзя отправить в переплавку) и вторичное использование их пока не применяется.

Конструкции из углепластиковых композиционных материалов имеют по сравнению с другими традиционными материалами свои особенности, которые необходимо учитывать на всех стадиях жизненного цикла технического объекта: проектирования, изготовления, эксплуатации и утилизации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – М: Университетская книга, Логос, 2006. – 400с.

2. Материаловедение 4 // [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа [http://www.uproizvod.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=20&Itemid=111&limit=1&limitstart=2](http://www.uproizvod.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=111&limit=1&limitstart=2).

УДК 661.833

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ $\text{NPKMg}$ УДОБРЕНИЙ**

*БГТУ, Минск*

*Научный руководитель: Гаврилюк А.Н.*

Современная агротехника требует увеличения потребления удобрений и обеспечивает повышение урожаев, а, следовательно, ведет к более интенсивной эксплуатации почвы. В результате этого обнаружен дефицит второстепенных элементов и микроэлементов во многих почвах, бедных их доступными формами. Внедрение новых высокоурожайных сортов и гибридов, которым необходим более высокий уровень плодородия почвы, усугубляет дефицит второстепенных элементов и микроэлементов.

Возрастающее применение безбалластных удобрений, применение все больших количеств калийных удобрений, более высокие урожаи и связанный с этим большой вынос магния культурами делают удобрение магнием все более необходимым. Магний – обязательный компонент хлорофилла. Магний активизирует многие ферменты, в особенности фосфорилазы. Поэтому он имеет большое значение в энергетическом обмене и тем самым во всех других важных процессах обмена веществ, таких, как фотосинтез, углеводный, жировой и белковый обмены.

Если уменьшение питательных веществ в почве не будет компенсироваться внесением удобрений, истощение почвы приведет к снижению урожайности. Мировой практикой рационального ведения сельского хозяйства доказано, что внесение в почву минеральных удобрений – одно из важнейших агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение высоких и стабильных урожаев.

В нашей Республике производство магнийсодержащих удобрений на данный момент отсутствует, что требует его закупки у иностранных производителей и как следствие увеличение

финансовых затрат на ведение сельского хозяйства. Поэтому основным направлением научно-исследовательской работы является разработка технологии получения NPKMg-удобрений из недорогого и недефицитного сырья. В работе осуществляется анализ потенциальных источников сырья для производства данного удобрения с целью выбора наиболее оптимального, отработка оптимальных условий синтеза, а также разработка технологической схемы производства, которую можно было бы реализовать на базе ОАО «Гомельский химический завод».

В работе рассматривались такие источники сырья, как магнезит, доломит, бишефит и карналлит. Так как магнезит и бишефит являются привозным сырьем, а месторождения карналлита у нас в стране еще не разрабатываются, то в условиях ориентации нашей страны на импортозамещение исходным сырьем для производства магнийсодержащего удобрения был выбран доломит месторождения «Руба» Витебской области, который будет являться основным источником магния в удобрении, а также ковдорский апатитовый концентрат, который является фосфатным сырьем с высоким содержанием магния в исходной руде.

За основу технологии принята схема получения комплексного NPK удобрения, полученного серноокислотным разложением фосфатного сырья, которая реализованна в цеху аммонизированного суперфосфата на ОАО «Гомельский химический завод». В основу процесса положено обеспечение максимальной степени извлечения действующих веществ ( $MgO$ ,  $P_2O_5$ ) из сырья в раствор за минимальный период времени.

Количество используемого в процессе апатита и доломита должно обеспечивать в готовом продукте содержание следующего количества питательных элементов: 15% N, 15%  $P_2O_5$ , 15%  $K_2O$  и 2%  $MgO$ , однако марку готового удобрения можно варьировать в широких пределах. Источником  $K_2O$  в удобрении будет служить хлористый калий производства ОАО «Беларуськалий», а в качестве азотной составляющей будет применяться газообразный аммиак, который необходим

для нейтрализации таких кислот как фосфорная и серная. Так же для поддержания марки будет вводиться карбамид как наиболее концентрированное удобрение, содержащее около 46% N<sub>2</sub>, полученный на базе ОАО «Гродно Азот».

В результате проведения экспериментов был установлен порядок ввода реагентов, температура, которая будет обеспечивать максимальную степень разложения, а также время, которое необходимо для достижения максимального коэффициента разложения сырья. Концентрация кислоты принимается из условия создание подвижной суспензии с хорошими реологическими свойствами пульпы на последующих стадия процесса производства.

Процесс получения NPKMg-удобрения проходит следующие основные стадии: разложение ковдорского апатита и доломита серной кислотой; аммонизация полученной пульпы; ввод карбамида; ввод хлористого калия; грануляция и сушка; упаковывание готового продукта.

Данная технология позволяет получать NPKMg удобрения из недорогого и недифицитного сырья, которое не уступает по своим физическим и химическим свойствам зарубежным аналогам. Марку готового удобрения можно варьировать в широких пределах.

УДК 621.521

Лукашевич Е.Н.

## **ОСОБЕННОСТИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Водокольцевые вакуумные насосы предназначены для откачки неагрессивных по отношению к чугуну газов и паров с целью создания вакуума в закрытых аппаратах.

Водокольцевые вакуумные насосы широко применяются в различных отраслях народного хозяйства: в металлургии,

в химической и деревообрабатывающей промышленности, в машиностроении, в оптике и в медицине. В ряде производств они являются единственно приемлемым типом машин, например, когда требуется безмасляный вакуум с абсолютным давлением до 10–20 кПа. При совместном использовании с воздушными эжекторами это значение снижается до 0,1 кПа, что дает возможность применять водокольцевые вакуумные насосы в качестве форвакуумных насосов в системах безмасляной откачки, например, в системе насосов на установке термоядерного синтеза «Токамак-15», на вакуумных печах плавки титана и других металлов. Насосы используются также для откачки паровоздушной смеси в паротурбинных установках тепловых электростанций вместо водоструйных вакуумных насосов, что позволяет примерно на два порядка уменьшить расход воды, ресурсы которой, как известно, ограничены. Для обезгаживания рабочей жидкости при бурении скважин и обеспечения противопожарной безопасности на нефтяных и газовых месторождениях ежегодно требуется несколько тысяч таких установок. Имеется тенденция использовать в системах откачки ряда химических производств блок из нескольких водокольцевых насосов меньшей производительности вместо одного насоса большей производительности. Основное достоинство водокольцевых вакуумных насосов – простота работы. Насос состоит из небольшого количества деталей – корпуса, рабочего колеса и двух торцевых крышек (рисунок 1). В насосе имеется только одна движущаяся деталь – вращающееся рабочее колесо. Между рабочим колесом и корпусом машины, а также торцевыми крышками есть гарантированный зазор, а поскольку в насосе нет трущихся деталей, отсутствует вызываемый этим износ. В насосе нет клапанов, шестеренчатых передач, маслонасосов и специальных систем смазки. Все зазоры между рабочим колесом и корпусом уплотняются рабочей жидкостью, которая смазывает также сальники и уплотнения вала ротора. В консистентной смазке

нуждаются только подшипники ротора. Изготовление деталей насоса не требует высокого класса точности, все детали в ней взаимозаменяемы. В случае некоторого износа торцевых поверхностей рабочего колеса в результате многолетней работы, при наличии в отсасываемом газе пыли, песка и других примесей восстановление необходимых зазоров производится подбором прокладок между корпусом и торцевыми крышками. Перечисленные особенности предопределяют невысокую стоимость насоса и простоту его обслуживания. Водокольцевые насосы могут работать в течение длительного времени автономно. Основным недостатком водокольцевых насосов является относительно низкий вакуум.

Принцип действия водокольцевых насосов заключается в следующем. Эксцентрично расположенный ротор с радиальными лопатками (рабочее колесо) вращается в цилиндрическом корпусе, который частично заполнен жидкостью (рисунок 2). Лопатки рабочего колеса при вращении захватывают жидкость и отбрасывают ее к корпусу. В результате этого внутри корпуса образуется вращающееся кольцо

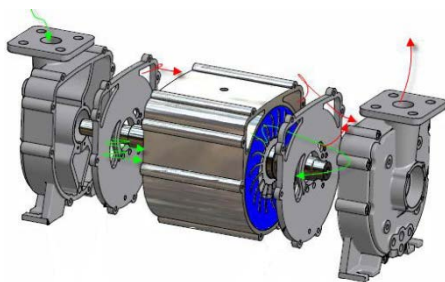


Рисунок 1 – Водокольцевой насос

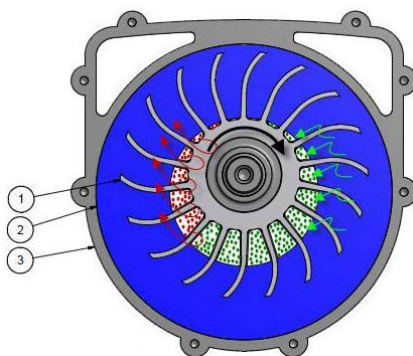


Рисунок 2 – Принцип действия насоса:

1 – рабочее колесо; 2 – жидкостное кольцо; 3 – корпус насоса

жидкости, которое и дало название данному типу насосов. Между втулкой рабочего колеса и кольцом жидкости возникает серпообразное пространство, являющееся рабочей полостью насоса. Это пространство разделяется лопатками рабочего колеса на отдельные ячейки переменного объема.

При увеличении объема ячейки происходит процесс всасывания, а при уменьшении – процесс сжатия и нагнетания. Процесс сжатия в насосе сопровождается интенсивным отводом тепла от сжимаемого газа к жидкости.

Температура сжимаемого газа при выходе из насоса мало отличается от температуры на входе, а рабочая жидкость нагревается, поэтому ее необходимо постоянно заменять. Рабочая жидкость подается либо во всасывающий патрубок, либо через гидравлическое уплотнение вала рабочего колеса в рабочую полость машины, а уходит через нагнетательные окна вместе со сжатым газом.

Таким образом, благодаря исключительно простой конструкции, эти насосы обладают большим ресурсом работы и легко поддаются ремонту.

УДК 621.793

Лухверчик Е.В.

## **МНОГОСЛОЙНОЕ ЗЕРКАЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Оптические детали с многослойным зеркальным покрытием применяются в телескопах-рефлекторах в сочетании с линзами и зеркалами других видов (рисунок 1). В таких телескопах используют следующий способ фокусировки света: отражение входящих лучей вогнутой зеркальной поверхностью.

Зеркало представляет собой стеклянный диск, одна из сторон которого имеет сферическую или параболическую вогнутую форму и покрыта отражающим слоем. При этом окрашивания предметов изображения, как в рефракторе, не происходит,



Рисунок 1 – Телескоп-рефлектор

так как попадающий в телескоп свет не проходит через стекло, а отражается от зеркальной поверхности объектива. Чтобы устранить дефект сферической аберрации в светосильных системах главное зеркало делают параболическим. Поскольку собранный главным зеркалом свет отражается обратно, его нужно перенаправить, чтобы вывести из трубы. Это делается с помощью небольшого плоского зеркала эллиптической формы (называемого вторичным) расположенного под углом в  $45^{\circ}$  к оптической оси глав-

ного зеркала. К сожалению, вторичное зеркало и система его крепления неизбежно будут экранировать главное зеркало, уменьшая количество собираемого им света и снижая общий контраст изображения. Для изготовления рефлектора требуется отполировать всего две оптические поверхности (главное и вторичное зеркала), причем качество каждой из них можно проконтролировать отдельно.

Применение таких зеркал намного удешевляет стоимость телескопа и позволяет делать телескопы больших размеров. Многослойное зеркальное покрытие 1И (41ИЭ.57ИЭ) наносится на оптическую деталь из стекла на вакуумной установке ВУ-2М (рисунок 2). Установка вакуумная модели ВУ-2М





Рисунок 2 – Вакуумная установка ВУ-2М

предназначена для нанесения в вакууме покрытий на оптические детали методом электронно-лучевого и резистивного испарения диэлектриков, полупроводниковых материалов и металлов с одновременным фотометрическим контролем толщины покрытия. Вакуумная установка обес-

печивает возможность нанесения металлических, однослойных, фильтрующих, токопроводящих и других оптических покрытий для области спектра, ограниченной длинами волн в диапазоне 250-110 нм.

Технологический процесс формирования многослойных зеркальных покрытий состоит из следующих этапов: подготовка поверхности, контроль качества очистки, нанесение покрытия и контроль функциональных свойств покрытия.

Подготовка изделий включает очистку рабочей поверхности спиртом и спиртоэфирной смесью. Затем осуществляется визуальный контроль рабочей поверхности оптической детали на наличие пыли и царапин. После чего изделия загружаются в вакуумную камеру установки для нанесения функционального покрытия.

Первый слой покрытия (алюминий Al) наносится методом резистивного испарения (толщина слоя до 20 нм). Затем методом электронно-лучевого испарения поочередно наносят диоксид кремния  $\text{SiO}_2$  и диоксид циркония  $\text{ZrO}_2$ . Количество слоев может варьироваться от 1 до 6. Толщина одного слоя диоксида кремния составляет от 30 до 900 нм, а диоксида циркония – от 20 до 500 нм.

Алюминий наносят на оптическую деталь для получения отражательных свойств, а для того чтобы предотвратить окисление

на слой алюминия наносят прочные слои диоксида кремния и диоксида циркония. Контроль готовых изделий с покрытием осуществляется исходя из функциональных требований, предъявляемых к многослойным зеркальным покрытиям:

1. Химическая устойчивость. Покрытие должно быть устойчиво к органическим растворителям, растворам уксусной кислоты и щелочи.
2. Влагоустойчивость 1 группы.
3. Механическая прочность 1 группы.
4. Термическая прочность. Должно выдерживать перепад температуры от - 60 до + 60°С.

УДК 674.81

Маскевич Е.А., Сычёва Н.А.

## **НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ**

*БГТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Хмызов И.А.*

Производство древесных топливных гранул считается одним из эффективных направлений утилизации мелких древесных отходов. Преимущества использования топливных гранул в сравнении с технологией прямого сжигания опилок, щепы и старой древесины, заключаются в том, что гранулы выделяют больше тепла, чем опилки и щепа, не требуют больших складских площадей и при хранении не самовоспламеняются. Кроме того, древесные гранулы намного экологичнее природного топлива – нефти и газа [1].

Идеальным сырьем для производства гранул являются сухие опилки, остающиеся на мебельных фабриках – нефти и газа.

Для их переработки необходим самый минимальный перечень оборудования. Блок-схема такого технологического процесса представлена на рисунке 1.

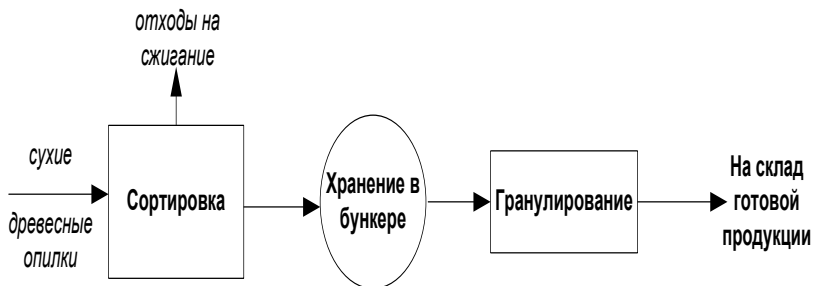


Рисунок 1 – Блок-схема технологического процесса получения топливных гранул из сухих мелких древесных отходов

Однако на практике чаще всего приходится иметь дело с сырым исходным сырьём, имеющим непостоянную влажность и различные размеры.



Рисунок 2 – Технологическая схема производства топливных гранул из древесных отходов естественной влажности:

1 – установка древесно-стружечная (серии «ДСМ»); 2 – склад с подвижным полом; 3 – транспортер; 4 – молотковая дековая дробилка; 5 – вибрационная сортировка; 6 – бункер-дозатор; 7 – питатель-дозатор; 8 – бункер теплогенератора; 9 – теплогенератор; 10 – газоход; 11 – растопочная труба; 12 – барабан сушильный; 13 – циклонная установка; 14 – выпускная труба; 15 – вентилятор-дымосос; 16 – сепаратор; 17 – дробилка; 18 пневмотранспорт; 19 – бункер пресса-гранулятора; 20 – пресс-гранулятор, оснащённый устройством для подачи насыщенного пара; 21 – охладитель гранул; 22 – вибросито; 23 – линия упаковки; 24 – упаковочные мешки

Оптимальная фракция древесных частиц для производства гранул высокого качества – 1-3 мм. Подготовку сырья следует осуществлять в два этапа, чтобы достичь таких размеров древесных частиц. На рисунке 2 представлена технологическая схема производства топливных гранул, включающая стадии подготовки древесного сырья [2].

На первом этапе технологического процесса (см. рисунок 2) выполняется рубка длинномерного сырья в крупноразмерную стружку на древесно-стружечной машине (ДСМ). Традиционно на стадии доизмельчения полученной стружки применяется молотковая дробилка. Новым техническим решением является установка дековой молотковой дробилки. Её принципиальным преимуществом является возможность измельчения древесины влажностью 80%, что невозможно в обычных молотковых дробилках из-за залипания влажной древесины на рабочих органах.

Важным технологическим решением получения топливных гранул является обработка измельченного древесного сырья насыщенным паром непосредственно перед стадией гранулирования. Действие насыщенного пара приводит к активированию компонентов древесины, образованию новых функциональных групп, усиливающих адгезионные взаимодействия между древесными волокнами, которые формируются в процессе гранулирования в прочные изделия. Результаты промышленных испытаний подтвердили, что обработка исходного древесного сырья насыщенным паром позволяет получать топливные гранулы требуемого стандартом качества: влажностью – 6,3%, зольностью – 0,78%, плотностью – 1220 кг/м<sup>3</sup>, с долей мелочи при истирании – 2%, низшей теплотой сгорания – 17810 кДж/кг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Секиров, Р. Перспективный вид топлива / Р. Секиров // Дерево.ру. – 2004. – №3. – С. 20-21.

2. Гомонай, М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы / М.В. Гомонай. – М.: МГУЛ, 2006.

УДК 675.92.036.664

Матвеев А.К., Бровко Ю.В., Логунова А.С.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ НА ТВЕРДОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИУРЕТАНОВ**

*УО «Витебский государственный технологический  
университет», г. Витебск*

*Научные руководители: Пятов В.В., Егорова Е.А.*

В настоящее время для производства обувных подошв широко применяется полиуретан, как термопластичный, так и интегральный. Получение подошв осуществляется методом литья в закрытые литьевые формы, при этом образуется до 20% отходов полимера. В связи с этим, одной из важных проблем при производстве обуви, является образование достаточно большого количества отходов производства, которым с недавнего времени присвоен 3 класс опасности.

Одним из возможных решений проблемы может являться разработанная учеными УО «ВГТУ» и применяемая на предприятии ЧУПП «Обувное ремесло» технология получения подошвенных пластин, используемых при ремонте обуви.

Сущность разработанной технологии состоит в следующем. Отходы, образующиеся при литье подошв, дробятся при помощи ножевой дробилки до размера частиц, не превышающих 5 мм. После этого дробленый материал загружают в машину для литья подошв. При литье пластин используются формы так называемого «книжного» типа (Рисунок 1), в которых впрыск расплава осуществляется через впускной канал, расположенный на передней части литьевой формы.

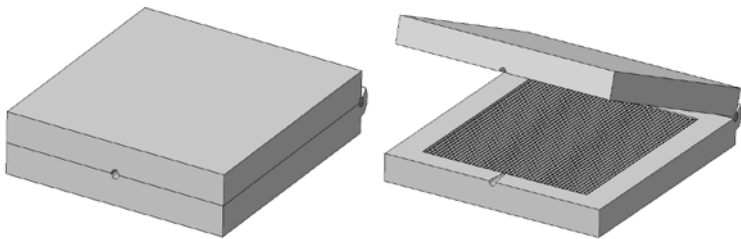


Рисунок 1 – Литьевая форма «книжного» типа

Полученные таким образом пластины используются для ремонта обуви. Однако в процессе эксплуатации таких пластин выяснилось, что износ материала происходит не равномерно. Анализ возможных причин такого поведения материала пластин позволил предположить, что связано это с конструкцией литевой формы, а именно с расположением впускного канала. Основанием для такого предположения явилось то, что пластины изнашивались больше в той части, где заполнение расплавом происходило в последнюю очередь. При помощи программы *Moldflow Plastics* был смоделирован процесс литья пластины при таком расположении впускного канала. Результат моделирования приведен на рисунке 2.

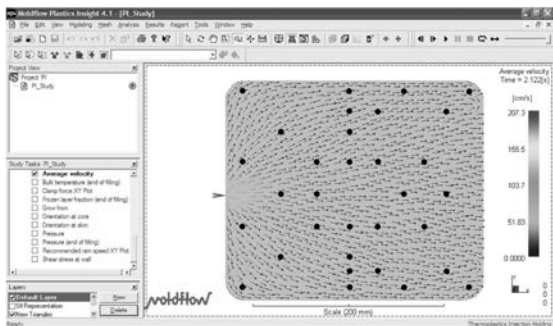


Рисунок 2 – Окно *Moldflow Plastics* с результатом анализа

В местах, отмеченных на рисунке точками, были произведены измерения твердости по Шору А, которые показали, значительный разброс твердости в разных местах пластины. Обработка результатов измерений показала, что значения твердости



фазовый и дисперсный состав. Как отмечено в работах [1, 2], на фазовый состав гидратированных оксидов металлов наибольшее влияние оказывает значение рН осаждения. Так, при осаждении гидратированного оксида алюминия при значении рН = 7,0-7,5 образуется бемит, при рН = 8,0-8,5 – псевдобемит, а при рН 10,0-10,5 – байерит. Авторы отмечают [3], что большинство полигидратов поливалентных металлов имеют слоистую структуру, из-за чего в их составе могут присутствовать не только структурные молекулы воды, но также вода, локализованная в межслоевом пространстве и не входящая в структуру соединения. Такая вода может образовывать прочные водородные связи в кислороде ОН-групп, координированных катионом. Данные соединения можно использовать в качестве наполнителей электрореологических суспензий (ЭРС), поскольку «сверхстехиометрическая» вода может быть активатором электрореологического эффекта. Исходя из этого, целью данной работы явилось исследование содержания химически связанной и «сверхстехиометрической» воды в гидратированных оксидах металлов, получаемых методом химического осаждения. Объектами исследования явились гидрогель FeOОН, ксерогель Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, гидратированный MgO. Образцы данных соединений получали периодическим методом при добавлении водного раствора аммиака в раствор соли металла. Термический анализ синтезированных продуктов осуществляли с помощью дериватографа «Paulik-Paulik-Erdey Q-1500».

Показано, что при нагревании гидрогеля FeOОН в неизотермических условиях на кривой нагревания имеется 2 эндо- и 1 экзоэффект с экстремумами при 157, 307 и 316°C, соответственно. Эндотермический эффект с экстремумом при температуре 157°C обусловлен удалением адсорбированной и «сверхстехиометрической» воды, потеря массы составляет 5,3 % мас. Отмечено, что второй эндотермический эффект, связанный с отщеплением структурных ОН-групп, сопряжен с экзотермическим эффектом, соответствующим образованию грубодисперсных



кристаллов  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Общая потеря массы образцом составляет 15,8 мас %, что соответствует брутто-формуле  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \{0,8\text{H}_2\text{O}\}$ , где количество «сверхстехиометрической» воды составляет 0,8 моль.

На дериватограмме образца полигидрата оксида магния присутствуют два эндотермических эффекта в интервале температур 30-360 и 360-560°C с минимумами при 130 и 430°C, соответственно. Первый эндотермический эффект может быть обусловлен отщеплением «сверхстехиометрической» воды, которая локализована в межслоевом пространстве и адсорбирована на поверхности частиц, а эндотермический эффект с минимумом при 430°C связан с отщеплением химически связанной воды в виде OH<sup>-</sup>-групп, координированных катионом. Согласно термогравиметрической кривой в интервале температур 30-360°C потеря массы составляет 7,7 мас %, а при 360-560°C – 31,0 мас %, что практически соответствует 1 молю химически связанной H<sub>2</sub>O на 1 моль MgO в исследуемом образце. Брутто-формула данного образца имеет следующий вид:  $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \{0,45\text{H}_2\text{O}\}$ , где  $\{0,45\text{H}_2\text{O}\}$  – количество «сверхстехиометрической» воды.

В результате термической обработки образца ксерогеля оксида алюминия в интервале температур 80-236°C наблюдаются два эндотермических эффекта: от 100-200°C и от 200-236°C, характеризующиеся потерей массы 8,37 и 11,45 мас % соответственно. Согласно [4], в температурном интервале 100-200°C, соответствующем первому эндотермическому эффекту, происходит отщепление сверхстехиометрической H<sub>2</sub>O, присутствующей в межслоевом пространстве псевдобемита в виде молекул H<sub>2</sub>O. Потеря массы образцом в интервале температур 200-250°C составляет 16,2 мас %. Полная потеря массы образцом – 52,3 мас %. Согласно химическому составу псевдобемита AlOОН или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, в нем содержится 15,0 мас % химически связанной H<sub>2</sub>O в виде гидроксильных групп. Брутто-состав данного соединения можно представить следующей формулой:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \{0,18\text{H}_2\text{O}\}$ .

На основании термических исследований установлено, что высокодисперсные полигидраты оксидов поливалентных металлов содержат в своем составе «сверхстехиометрическую» воду, которая влияет на свойства и область применения данных соединений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов, В.Ю. Синтез нанодисперсных гидро(ксеро) гелей  $Fe^{3+}$  и изучение их мезо- и микропористой структуры / В.Ю. Гаврилов, О.П. Криворучко / Кинетика и катализ. – 2009 – № 1 – С. 132-140.
2. Дзисько, В.А. Формирование гидроокиси алюминия при старении / В.А. Дзисько, А.С. Иванова, Г.П. Вишнякова // Кинетика и катализ. – 1976. – № 2. – С. 483-490.
3. Исупов, В.П. Интеркаляционные соединения гидроксида алюминия / В.П. Исупов // Журнал структурной химии. – 1999. – № 5. – С. 832-848.
4. Бедик, Н.А. Структурно-реологические свойства термостойчивых электрочувствительных суспензий на основе высокодисперсных гидратированных оксидов алюминия и хрома: автореф. дис. ... канд. хим. наук: / Н.А. Бедик; НАН РБ. – Минск, 2012. – 30 с.

УДК 661.311.12

Мачула В.А.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТА МАГНИЯ

*БГТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Гаврилюк А.Н.*

Магниевые удобрения – удобрения, содержащие магний. Особенно обеднены магнием почвы, под которыми содержится большое количество песка, и торфяные почвы. Внешне нехватка магния выражается в изменении окраски листьев растений, их края желтеют, краснеют, становятся фиолетовыми, между

жилками появляются пятна, отмирает ткань. Рост растений замедляется, листья скручиваются, стебли ломаются. Этот элемент входит в состав хлорофилла, фитина (магниева соль гексафосфорнокислого эфира инозита), участвует в образовании жиров, превращении фосфорных соединений.

Сульфат магния – эффективное магниевое серосодержащее удобрение. Состав: магний – 17%, сера – 13,5%. Повышает урожайность, улучшает вкусовые качества картофеля, овощей за счет увеличения содержания в плодах крахмала и витаминов. Чем легче и кислее почва, тем острее может быть дефицит магния. На недостаток магния наиболее остро реагируют томаты, огурцы, картофель.

Это водорастворимое быстродействующее удобрение. Его рекомендуется применять в интенсивном земледелии в условиях дефицита магния на слабокислых и нейтральных почвах. В этом случае при высоком уровне урожайности наблюдается постоянная потребность в легкорастворимых источниках магния, применяются также на лугах, в тепличных хозяйствах, в овощеводстве открытого и закрытого грунта. При внесении этих удобрений в почву большая часть магния переходит в обменное состояние. Кроме водорастворимости и хорошей усвояемости, большим преимуществом такого удобрения является отсутствие балластных примесей, что играет важную роль при транспортировке удобрения.

В настоящее время наблюдается активное внедрение современных агрохимических технологий выращивания сельскохозяйственных культур, предъявляющих новые требования к ассортименту и качеству используемых минеральных удобрений. К числу таких технологий относится производство сельскохозяйственных культур в закрытом грунте по интенсивным технологиям, основанным на применении систем капельного полива. Развитие данного сегмента сельскохозяйственного производства позволяет исключить негативное влияние неблагоприятных природных факторов, и особенно в регионах,

относящихся к зонам рискованного земледелия, тем самым обеспечить устойчивое и круглогодичное снабжение населения сельскохозяйственной продукцией, прежде всего овощной. Из всего достаточно обширного ассортимента минеральных удобрений, производимых в республике, ни одно не используется в тепличных хозяйствах, работающих по современным интенсивным технологиям. Поэтому весь объем удобрений, применяемых в теплицах, импортируется, что существенно удорожает конечную продукцию.

Создание производства семиводного сульфата магния, не выпускаемого в Республике Беларусь, является важной и актуальной задачей, как для тепличного хозяйства, так и для сельского хозяйства в целом. Поэтому целью научно-исследовательской работы, проводимой в рамках дипломной работы, являлась разработка технологии производства семиводного сульфата магния. В ходе выполнения работы были поставлены следующие задачи: определить оптимальные условия разложения магнийсодержащего сырья, добиться максимальной скорости фильтрации получаемой суспензии и кристаллизации сульфата магния из маточного раствора при производстве целевого продукта из различных источников сырья – брусита, доломита, магнезита.

В настоящее время основными производителями семиводного сульфата магния являются: Россия, Китай, Турция. Эти страны имеют большие запасы магнезита и, следовательно, используют его в качестве исходного сырья, что позволяет использовать безупрочную и практически безотходную технологию производства.

Наша страна не обеспечена таким видом сырья, поэтому для налаживания такого производства необходимо либо закупать магнезит за рубежом, что на порядок увеличит себестоимость продукта, либо необходима разработка новой технологии производства сульфата магния из местных сырьевых источников. В качестве исходного сырья для производства удобрения

целесообразно использовать доломит, основным достоинством которого является то, что он выпускается в Республике Беларусь на ОАО «Доломит» и цена на него намного ниже, чем на магнезит. При получении сульфата магния из доломита по циклической безупрочной схеме технологический процесс состоит из следующих основных стадий:

- разложение доломита серной кислотой;
- фильтрация и промывка сульфата кальция;
- возврат промывного раствора в цикл;
- кристаллизация сульфата магния;
- центрифугирование и возврат маточного раствора в цикл;
- сушка сульфата магния;
- фасовка и упаковка готовой продукции.

Реализация данной технологической схемы, основанной на получении сульфата магния из доломита по циклической схеме в действующем цеху сульфита натрия на ОАО «Гомельский химический завод», является экономически целесообразным, так как приводит к импортозамещению и удешевлению продукции.

УДК 621.762.4

Михеев И.И.

## **РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Томаль В.С.*

Ультразвуковая очистка – сложный процесс, сочетающий местную кавитацию с действием больших ускорений в очищающей жидкости, что приводит к разрушению загрязнений. Если загрязненную деталь поместить в жидкость и обеспечить воздействие ультразвуком, то под действием ударной волны

кавитационных пузырьков поверхность детали очищается от грязи [1].

Особое преимущество ультразвуковой (УЗ) очистки заключается в её высокой производительности при малой затрате физического труда, возможности замены огнеопасных или дорогостоящих органических растворителей безопасными и дешевыми водными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Качество УЗ очистки несравнимо с другими способами очистки. Например, при полоскании деталей на их поверхности остается до 80% загрязнений, при вибрационной очистке – около 55%, при ручной – около 20%, а при ультразвуковой – не более 0,5%. Обработка ультразвуком позволяет удалять не только хорошо видимые загрязнения, но и трудно доступные места деталей и инструментов, находящихся в моющем растворе [2].

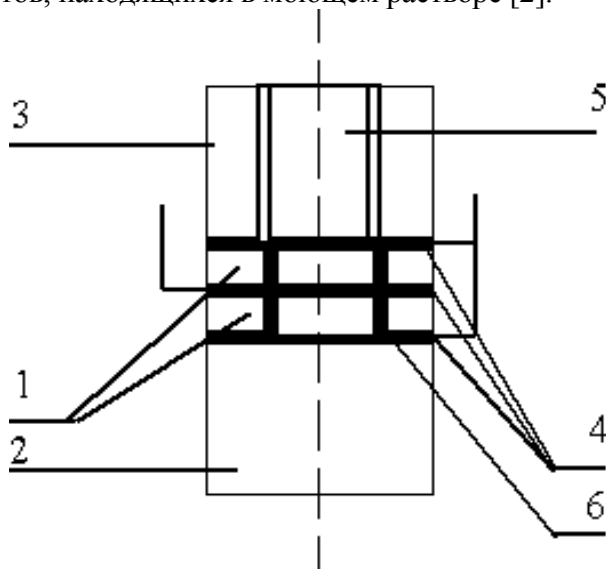


Рисунок 1 – Полуволновой пьезоэлектрический преобразователь

УЗ колебания высокой интенсивности в технологических системах создаются при помощи магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей. Магнитострикционные преобразователи

способны обеспечить большие мощности излучения УЗ колебаний, однако требуют применения принудительного водяного охлаждения. Это делает их непригодными для использования в многофункциональных малогабаритных аппаратах широкого применения.

Пьезокерамические материалы характеризуются очень высокой рабочей температурой (более 200 градусов Цельсия) и поэтому используются без принудительного охлаждения. Данные, преобразователи мощностью до 1 кВт, как правило, изготавливаются из искусственных пьезокерамических материалов на основе цирконата-титаната свинца с различными добавками.

Преобразователь состоит из двух пьезокерамических кольцевых элементов 1, излучающей накладки 2, отражающей накладки 3, прокладок из мягкой проводящей фольги 4 и стягивающего болта 5. Для электрической изоляции внутренней цилиндрической поверхности пьезоэлементов от металлического стягивающего болта применяется изолирующая втулка 6.

Применение данной системы позволяет построить имеющую конструкцию ванн для обеспечения ультразвуковой очистки заданных модулей в жидких средах [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Раджендран, В. Применения ультразвука / В. Раджендран. – М.: Техносфера, Паланичами, 2006. – 576 с.
2. Кундас, С.П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники / С.П. Кундас [и др.]. – Минск: Беспринт, 2003. – С. 92-146.
3. Шутилов, В.А. Основы физики ультразвука / В.А. Шутилов. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1980. – 280 с.
4. Агранат, Б.А. Ультразвуковые технологии / Б.А. Агранат, В.И. Башкиров, Ю.И. Китайгородский, Н.Н. Хабевич. – М.: Металлургия, 1974. – С. 220-235.

## РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВАНН ДЛЯ ОЧИСТКИ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Томаль В.С.*

УЗ оборудование для процессов удаления загрязнений включает различные по конструкции ванны, которые используются для очистки как в непроточных средах на основе водных растворов ПАВ и органических растворителей, так и в проточной воде. Ванны для очистки в непроточных и проточных моющих средах отличаются друг от друга тем, что последние оснащены переливным карманом или воронкой.

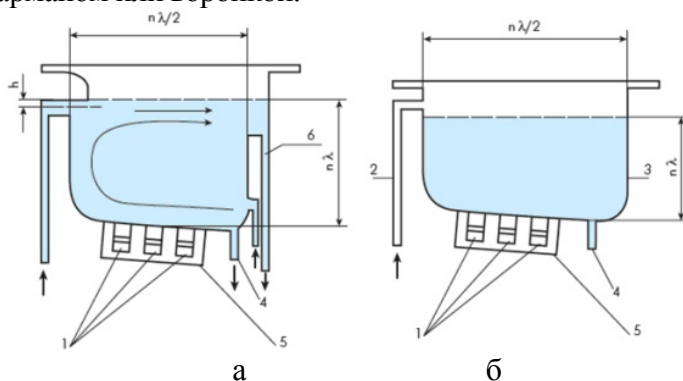


Рисунок 1 – Конструктивные исполнения УЗ ванн:

1 – преобразователь; 2 – переливной патрубок; 3 – корпус; 4 – сливной патрубок; 5 – экран; 6 – переливной карман

Для повышения эффективности обмена моющей среды в рабочем объеме ванны, подачу свежих порций раствора необходимо осуществлять противотоком сверху и снизу ванны через ряд отверстий небольшого диаметра (3-6 мм).

Емкость ванн выбирается в зависимости от габаритных размеров обрабатываемой детали или при групповой очистке



в зависимости от заданной производительности установки и необходимого времени очистки в каждой ванне.

Ответственным моментом при проектировании ультразвуковых ванн является выбор способа крепления пьезокерамических пакетных преобразователей (ППП) к ванне, так как это определяет долговечность ванны и эффективность её работы. ППП могут быть закреплены на стенках ванны с помощью эпоксидного компаунда (рисунок 2а), механически (рисунок 2б), сваркой (рисунок 3в), а также комбинированным способом (рисунок 2г).

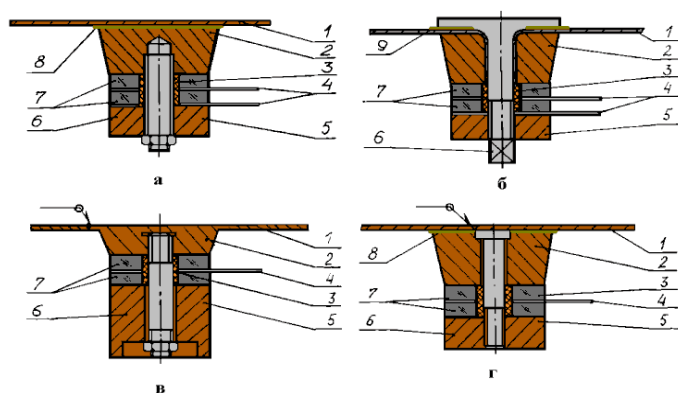


Рисунок 2 – Способы крепления пьезокерамических пакетных преобразователей:

- 1 – стенка ванны; 2 – излучатель; 3 – изолирующая втулка;
- 4 – лепесток; 5 – отражатель; 6 – армирующий элемент;
- 7 – пьезопреобразователи; 8 – клей; 9 – прокладка

Наиболее технологичен комбинированный способ крепления, который не создаёт зон скопления загрязнений и обеспечивает наиболее полную передачу УЗ колебаний в моющую среду. Поскольку в этом случае стягивающая шпилька приварена к стенке ванны, клеевой шов механически разгружен.

От выбора конструкции ванны и способа крепления ППП зависит скорость и качество очистки оптических и электронных изделий от различных загрязнений поверхностей.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС  
И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ДЕТАЛИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

В статье рассматривается технология и вакуумное оборудование нанесения многокомпонентных покрытий для решения вопроса о максимальной защите деталей газовых турбин от коррозии и высокотемпературного окисления.

Повышение эффективности различных энергетических установок и газотурбинных двигателей напрямую связано с увеличением рабочих температур топливно-газового потока. Однако рост рабочих температур сопровождается активизацией различных видов газовой коррозии и уменьшением прочности элементов конструкций двигателей и энергоустановок [1]. Решение вопроса о максимальной защите деталей газовых турбин от коррозии и высокотемпературного окисления связано как с выбором оптимального режима работы двигателя, так и с выбором материалов для изготовления его элементов. Наиболее эффективным, с экономической точки зрения, представляется использование специальных материалов с покрытиями. Это позволяет совместить прочность детали со специальными защитными свойствами их поверхностных слоёв. Примером является нанесение жаростойких покрытий на основе тугоплавких соединений кремния с неметаллами и металлами IV-VI групп методом вакуумного электродугового испарения. Метод основан на электродуговом испарении в катодных пятнах вакуумной дуги сплавов металл-кремний, фокусировке, ускорении ионов и осаждении продуктов плазмохимических реакций на поверхность изделий [2].

Наиболее широкое применение нашли сплавы Ni-Cr-Al-Y, Ni-Co-Cr-Al-Y, Co-Ni-Cr-Al-Y. Получаемые из них конденсационные покрытия имеют различное сопротивление сульфидной коррозии, которое зависит от их фазового и химического состава, структуры и от температуры испытаний [3].

Типовой технологической процесс нанесения таких покрытий состоит из следующих основных операций [2]: внекамерная химическая очистка поверхности от возможных загрязнений; ионная очистка поверхности и нагрев изделий; нанесение функциональных покрытий; контроль качества поверхности изделий.

Для осуществления вышеизложенного целесообразно использовать компоновочные решения, принятые в установке ННВ-6,6-И1. Установка предназначена для нанесения широкой гаммы многослойных, в том числе и композиционных покрытий на основе различных соединений тугоплавких металлов (нитриды, карбиды, карбонитриды, оксиды, бориды) [4]. Принцип действия установки основан на использовании метода физического осаждения материала из пара на подложку в вакууме.

Основным узлом вакуумной установки для нанесения жаростойких покрытий являются электродуговые испарители, расположенные таким образом, чтобы создавать в рабочей зоне вакуумной камеры эффект «плазменного котла». В данных плазменных источниках испарение материала с поверхности катода-мишени происходит благодаря высокой концентрации энергии электрической дуги в «катодном пятне». Достижимые в «катодном пятне» высокие температуры обеспечивают испарение самых тугоплавких материалов, включая вольфрам и графит. Количество электродуговых испарителей – три. Количество нагревательных устройств – 2. Для улучшения структуры осаждаемых покрытий предусмотрено использование ионного источника. В конструкции установки предложена система магнитной фокусировки плазменного потока испарителя,

плавного регулирования напряжения высоковольтного источника питания базового потенциала смещения, подаваемого на основу.

Для осуществления безмаслянной откачки в разрабатываемой вакуумной установке предложена заменить диффузионный насос турбомолекулярным. Использование этого откачного средства позволит получить следующие преимущества: быстрое достижение глубокого вакуума, достижение низкого уровня шума – ниже 47 дБ(А), более длительный срок службы – до 10'000 рабочих часов, большие периоды технического обслуживания, малые габариты и небольшой вес, длительные интервалы работы без технического обслуживания, контролируемый состав газовой (технологической) среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Забродина, Н.В. Высокотемпературная коррозия сплавов для конденсированных покрытий / Н.В. Забродина // Коррозионностойкие покрытия. – СПб.: Наука, 1992. – С. 107-110.
2. Мрочек, Ж.А. Вакуумно-плазменные покрытия / Ж.А. Мрочек. – Минск: Технопринт, 2004. – 369 с.
3. Забродина, Н.В. Высокотемпературная коррозия сплавов для конденсированных покрытий / Н.В. Забродина // Коррозионностойкие покрытия. – СПб.: Наука, 1992. – С. 107-110.
4. Паспорт установки ННВ-6,6-И1, 1989.

УДК 621.793

Павлюченя Д.А.

### **НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научные руководители: Федорцев В.А., Луговик А.Ю.*

Современная оптика наиболее широко применяет несколько видов оптических покрытий: просветляющие, упрочняющие,

гидрофобные и металлизированные. Это основные, самые эффективные виды, однако есть и множество других оптических покрытий, носящих скорее декоративный характер.

Виды оптических покрытий:

- просветляющие покрытия уменьшают отражение падающего излучения от поверхности оптической детали;
- светоделители являются частично отражающими прозрачными покрытиями;
- спектроделительные покрытия (спектроделители) предназначены для разделения падающего пучка на отраженный и проходящий различного спектрального состава;
- фильтрующие покрытия (интерференционные фильтры) предназначены для выделения требуемого спектрального диапазона из сплошного спектра излучения;
- поляризующие покрытия (интерференционные поляризаторы) предназначены для получения линейно-поляризованного излучения;
- электропроводящие покрытия используют для обогрева оптических деталей и смотровых стекол с целью устранения их запотевания и обледенения, в качестве прозрачных электродов в электрооптических, фотоэлектрических и жидкокристаллических устройствах, для снятия зарядов с поверхности оптических деталей, в качестве теплоотражающих покрытий и др.;
- светопоглощающие покрытия применяют для изготовления безбликовых высокоточных оптических элементов (шкал, сеток, растров) светозащитных бленд, приемников радиации, преобразователей солнечной энергии и др.

Классификация методов получения покрытий может быть основана на различиях агрегатного и физического состояния наносимого вещества. Например, к основным методам нанесения покрытий из парогазовой фазы относят:

1. *Физические методы напыления покрытий испарением.*

- термическое испарение нагревом прямым прохождением тока, радиационным, индукционным нагревом;

- прямое электронно-лучевое испарение;
- катодное распыление;
- высокочастотное распыление;
- магнетронное распыление;
- ионно-лучевое распыление;
- реактивное испарение и распыление;
- ионное осаждение.

2. *Химические (газофазные) методы напыления покрытий испарением.*

- пиролиз летучих соединений металлов и неметаллов;
- восстановление летучих соединений водородсодержащими веществами или парами металлов;
- гидролиз газообразных галогенидов водяным паром или водяным газом;
- реакции диспропорционирования;
- высокотемпературное прямое окисление кислородом газообразных галогенидов или металлоорганических бескислородных соединений.

УДК 66.097.3

Пархимович А.Л.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ**

*БГТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Ашуйко В.А.*

Процессы сорбции широко используются в различных отраслях промышленности, в том числе в очистке сточных вод. Особый интерес представляют недорогие и эффективные способы очистки сточных вод, основанные на использовании

отходов промышленности, местного сырья и минералов в качестве сорбентов.

В данной работе в качестве сорбентов использовались глины месторождений: «Веселовская» и «Городок». Глины представляют собой тонкодисперсные землистые мягкие гетерогенные горные породы, состоящие преимущественно из водных алюмосиликатов глинозема (гидроslюдистые, каолинитовые), образующие с водой пластичную тестообразную пасту с сохранением формы после высыхания и обладающие способностью к обмену.

Таблица 1 – Химический состав образцов изучаемых глин

Место-рождение	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Прочие
«Веселовская»	55,37-59,8	13,70-16,12	5,21-5,81	0,66-0,78	5,94-7,28	1,44-2,34	3,20-4,40	0,54-0,98	6,31-10,09
«Городок»	68,64	15,66	3,89	0,05	0,74	0,60	2,02	0,97	7,42

Цвет глин зависит от примесей оксидов железа и может изменяться от красно-бурого до буровато серого.

Возможность использования глин в качестве сорбентов объясняется тем, что кристаллы глинистых минералов имеют сильную разветвленную поверхность: суммарная площадь частиц, заключённых в 1 г глинистого материала достигает несколько сот квадратных метров.

Анализ литературных данных позволил предположить, что глины Белоруссии могут быть использованы в качестве сорбционных материалов для очистки загрязнённых ионами металлов сточных вод. Образцы измельчённых глин взвешивали на аналитических весах и помещали в исходные модельные растворы сульфатов железа (II), хлорида железа (III), ацетата свинца (II). Раствор сульфата железа (II) и хлорида железа (II) готовили из железного купороса FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, ацетат свинца (II) из Pb(CH<sub>3</sub>COOH)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O.

Многие глинистые минералы могут работать только в солевых формах (натриевой, калиевой и т.д.). Поэтому вначале образцы глин заливали раствором гидроксида калия с массовой долей 10%, и кипятили в течении 10 мин., после чего проводили отмывку глин от раствора гидроксида натрия декантацией.

Навески образцов активированных таким образом глинистых материалов помещали в растворы солей железа (II) и (III), свинца (II) периодически перемешивая. После отстаивания, в осветлённой водной фазе определяли остаточную концентрацию ионов металлов. Содержание адсорбированных ионов  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в образцах глин определяли по разности их концентраций в исходном и конечном растворе. Определения концентраций ионов в водных растворах над глинами проводили периодически.

Для определения содержания в растворе ионов  $\text{Pb}^{2+}$  в коническую колбу помещали аликвоту анализируемого раствора, 0,25 мл 2н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,1 г. винной кислоты, ~1,3 мл концентрированного аммиачного раствора до нейтрализации кислоты и индикатор – эриохром чёрный. Титровали 0,1 н. раствором трилона Б до изменения окраски из розовой в синюю.

Определение содержания в растворе ионов  $\text{Fe}^{2+}$ : в коническую колбу помещали аликвоту анализируемого раствора, 50 мл воды, 5 мл 6н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2,5 мл концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 3мл дифениламина синего. Титрование проводили 0,1 н.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . При добавлении дихромата калия появилось зелёное окрашивание. Точку эквивалентности фиксировали появлением фиолетовой окраски. Определение содержания ионов  $\text{Fe}^{3+}$  проводили по следующей методике: в коническую колбу с аликвотой помещали 1,5 г иодида калия, несколько капель раствора крахмала и титровали 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  до исчезновения фиолетовой окраски раствора, не восстанавливающейся в течение 3-5 минут.

Очистка водных растворов от ионов тяжелых металлов глинами обусловлена, как сорбцией ионов поверхностью глин, так и за счет взаимодействий с функциональными группами.



Таблица 2 – Сорбционная емкость глины месторождения «Городок»

Железо (II)		Железо (III)		Свинец (II)	
Концентрация ионов металла (C <sub>0</sub> ),г/л	СОЕ, мг-экв/г	Концентрация ионов металла (C <sub>0</sub> ),г/л	СОЕ, мг-экв/г	Концентрация ионов металла (C <sub>0</sub> ),г/л	СОЕ, мг-экв/г
2,5	1,731	2,5	1,910	2,5	0,3932
5,0	2,890	5,0	2,990	5,2	0,8164
8,0	3,530	8,0	3,750	9,6	0,1333

Таблица 3 – Сорбционная емкость глины месторождения «Веселовская»

Железо (II)		Железо (III)		Свинец (II)	
Концентрация ионов металла (C <sub>0</sub> ),г/л	СОЕ, мг-экв/г	Концентрация ионов металла (C <sub>0</sub> ),г/л	СОЕ, мг-экв/г	Концентрация ионов металла (C <sub>0</sub> ),г/л	СОЕ, мг-экв/г
2,5	1,695	2,5	1,889	2,5	0,3702
5,0	2,775	5,0	2,790	5,2	0,7498
8,0	3,514	8,0	3,706	9,6	0,3004

Проведенные исследования показали перспективность использования глины в процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Так при использовании активированных образцов достигнута степень очистки растворов от ионов Pb<sup>2+</sup> в пределах 96–98,9% , от ионов Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> в пределах 52–63%. Как видно из представленных данных, глины характеризуются заметной сорбционной емкостью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Способ очистки воды от металлов: а. с. 1289823, А1 МКИ С 02 F 1/28/ О.Н. Бородина, И.М. Большанина, Ю.Г. Смежав.
2. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ: сб. науч. ст. / Отв. ред.: Хомич [и др.]. – Минск, 2002.

3. Рубина, А. Химия промышленных сточных вод / А. Рубина. – М.: Химия, 1983.

4. Будилковский, Ю. Эффективная и доступная технология очистки промышленных стоков / Ю. Будилковский // Экология и промышленность. – 1996.

5. Душкин, С.С. Современные методы очистки воды и путь их интенсификации / С.С. Душкин // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков, 2002.

УДК 621.1

Пастушенко Е.А., Зуенок А.В.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ШИХТЫ НА ОСНОВЕ ГРАНИТА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Дробыш А.А., Петюшик Е.Е.*

В связи с увеличением потребности в пористых проницаемых материалах, расширением областей их применения, ужесточением требований к экологической безопасности сформировались тенденции к использованию импортозамещающих натуральных природных материалов, в частности, на основе гранита. В этом смысле на территории Беларуси перспективным представляется гранит, характеризующийся низкой себестоимостью и приемлемыми физико-химическими характеристиками.

Технология получения пористых проницаемых изделий (ППИ) на основе гранита включает традиционные операции порошковой металлургии: подготовка шихты, формование и спекание.

Подготовка шихты является ответственным этапом при изготовлении ППИ, так как качество шихты отражается на свойствах готовых изделий. В связи с этим главной задачей приготовления шихты является обеспечение равномерного распределения качественно различных компонентов шихты по объему. Состав шихты всходят компоненты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав шихты

№	Наименование	Содержание, %
1	Гранит	60
2	Алюмофосфатная связка (АФС)	4
3	Пресс-порошок	10
4	Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	1,0
5	Мука	13
6	Фарфор	12

Гранит (от латинского «гранум» – зерно) самая распространенная горная порода вулканического происхождения, содержащая 60–65% полевого шпата (ортоклаза и плагиоклаза), 20–30% кварца и 5–10% биотита, мусковита, иногда роговой обманки. Наиболее распространенной структурой гранита является равносторонняя (рисунок 1).



а)

б)

Рисунок 1 – Порошок гранита: а) поставляемый производителем, б) рассеянный фракции 200–600 мкм

Алюмофосфатная связка представляет собой продукты химической реакции, протекающей при повышенных температурах между окисью алюминия и ортофосфорной кислотой. Алюмофосфатные связки модифицируют органическими и кремнийорганическими соединениями. Их применяют для приготовления маркировочных составов, обладающих высокой теплостойкостью.

Пресс-порошок – керамическая масса определенного шихтового состава, предназначенная для прессования изделий в металлических формах, все компоненты которой были

предварительно подвергнуты измельчению до заданных размеров и затем тщательно смешаны в спец. машинах-смесителях. В зависимости от технологической необходимости полученный в смесителях порошок используют непосредственно для прессования или предварительно гранулируют. Пресс-порошки предназначенные для переработки в изделия методом прессования. Пресс-порошки – реактопласты, представляющие собой частично отверждённую смесь 30-60% термореактивной смолы с 70-40% тонко дисперсного наполнителя.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические соединения, которые, концентрируясь на поверхности раздела фаз, вызывают снижение поверхностного натяжения. ПАВ регулируют смачивание, облегчают диспергирование, повышают или понижают устойчивость суспензий, эмульсий, пен. Используются как моющие средства, флотореагенты, ингибиторы коррозии металлов, коагулянты и т.п.

Мука – в порошковой металлургии относится к дисперсным наполнителям. Ее вводят в полиамиды для улучшения антифрикционных свойств, для повышения электроизоляционных и физико-механических показателей, а также с целью снижения деформации под нагрузкой. Дисперсные наполнители полимеров используют главным образом для снижения стоимости и улучшения технологических свойств эпоксидных материалов.

Мука при заданной температуре выгорает и ведет себя как порообразователь. Порообразователи, вещества или смеси, используемые в производстве пористых материалов для создания в первоначально сплошном теле (среде) системы соединённых каналов-пор или изолированных пор-ячеек.

Подготовка компонентов шихты состоит в очистке их от примесей, механической обработке (например, дополнительное измельчение), рассев на фракции по величине, грануляция, термическая обработка, смешивание и т.п.

Одной из ответственных операций при подготовке шихты является получение путем смешивание компонентов шихты определенного химического и гранулометрического состава.

Порядок смешивания шихты: ПАВ смешивают с водой, в полученный раствор вводят гранит, пресс-порошок. фосфор и муку. После ввода каждого компонента, шихту тщательно перемешивают.

Полученная шихта обладает повышенной влажностью, высокими адгезионными свойствами, склонна к комкованию. В связи, с этим далее выполняется операция растирания комков на ситах, и промежуточные рассев и сушка. При необходимости указанные действия повторяют несколько раз.

Формообразование заготовок ППИ в форме труб осуществляют радиальным прессованием на оправку. Этот способ характеризуется минимальным перемещением частиц порошка в направлении приложения нагрузки, что особенно важно для прессования кварцевого песка – достаточно хрупкого и твердого материала. Повышению равномерности характеристик прессовок, и как следствие, готовых изделий, способствует использование оправки, плакированной эластичным материалом.

Диапазон давлений прессования составляет 40..80 МПа, оптимальное давление – 60 МПа.



Рисунок 2 – Образец ППИ на основе гранита

Полученные заготовки подвергают промежуточной сушке на воздухе.

Спекание изделий осуществляют в печах в воздушной среде. Температура спекания составляет 1150°С.

Полученные пористые проницаемые изделия (ППИ) готовы к использованию (Рисунок 2).

**ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
ПИГМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ  
ДЛЯ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА**

*БГТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Ещенко Л.С.*

В настоящее время гальванические производства имеют практически все предприятия машиностроительной, электротехнической и других отраслей промышленности РБ. Переработка гальванических шламов для предприятий обременительна, поэтому после нейтрализации сточных вод (перевода в менее растворимые соединения) их направляются на захоронение. Однако это не решает проблемы сохранения окружающей среды, поскольку шламы являются в той или иной степени токсичными. Согласно данным [1], полученные пигментные материалы на основе гальваношламов можно использовать для окрашивания ряда строительных изделий, в частности, силикатного кирпича, тротуарной плитки, при этом отмечено повышение их прочности и морозостойкости.

В Республике Беларусь производство пигментных материалов отсутствует, хотя их потребление растет из года в год и составляет тысячи тонн. Поэтому переработка гальваношламов на импортозамещающие пигментные материалы для целевого назначения является задачей важной и актуальной.

Исходя из этого, целью работы явилось термическая переработка гальваношламов на пигментные материалы для окрашивания силикатного кирпича.

Объектами исследования служили шламы, образующиеся при очистке сточных вод реагентным методом, при котором в качестве реагента используется кальциевое известковое молоко (Белорусский металлургический завод, г. Жлобин (БМЗ) или

ферроферригидрозоль (ФФГ) (РУП «Минский тракторный завод», ОАО «Белэлектромонтаж», г. Минск).

Так как шламы характеризуются непостоянством качественного и количественного состава, отбор проб проводили с периодичностью 1-2 месяца, затем их усредняли и подготавливали пробы для анализа путем высушивания до постоянной массы при 100-110°C. Комплекс выполненных исследований показал, что гальваношламы отличаются, в зависимости от условий очистки сточных вод, химическим, фазовым составом. Высокое содержание соединений железа (50-55 масс.% в пересчете на  $Fe_2O_3$ ), характерно для шламов, полученных с использованием в качестве реагента ферриферрогидрозоля.

Железосодержащие шламы, образующиеся при очистке сточных вод с помощью известкового молока, содержат в своем составе сульфат кальция, массовая доля которого достигает 40 масс.%, а также соединения железа до 25-35 масс.% в пересчете на  $Fe_2O_3$ . Показано, что в составе гальваношламов имеются соединения металлов Cr, Ni, Cu, Zn, общая суммарная масса которых составляет 10-30%.

Исследуемые шламы явились исходными компонентами сырьевого материала термоперерабатываемого на пигмент-наполнитель, для окрашивания силикатного кирпича. Получение сырьевого материала, состоящего из смеси гальваношламов, состояло из приготовления заданной массы шламов с влажностью 60-70 мас.%, их смешения при установленных соотношениях, исходя из содержания соединений железа в пересчете на  $Fe_2O_3$ , гомогенизации пастообразного материала. Термическое обезвоживание пастообразной массы проводили сначала при температуре 60-70°C, затем при 100-110°C, после чего высушенные продукты измельчали и классифицировали с помощью сита с размером ячейки 0,15 мм. Термообработку высушенных продуктов проводили в интервале температур 750-970°C в течение 30-40 мин.

В ходе исследований были получены пигментно-наполнители различной цветовой гаммы: от грязно-желтого

до темно-красного цвета, (цветовая гамма определялась визуально), в которых исследовали содержание соединений железа и других металлов, наличие кристаллических фаз.

Выявлено, что пигменты-наполнители являются высокодисперсными продуктами, содержащими  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , ферриты металлов. Преобладание в пигменте-наполнителе фазы маггемита  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  или гематита  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  определяет его цветовую гамму ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ - коричневый,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  – красный).

Совокупность полученных данных позволила обосновать состав сырьевого материала и температурный режим его термообработки. Нароботаны опытные образцы пигмента-наполнителя, на основе которого получены образцы кирпича.

Анализ экспериментальных данных показал, что цвет кирпича, в зависимости от массовой доли пигмента-наполнителя, изменяется от светло-оранжевого до красно-коричневого. Физико-механические свойства кирпича соответствуют требованиям ТУ, что позволяет заключить о возможности использования шламов, для переработки на пигментный-наполнитель для окрашивания кирпича.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев, В.П. Использование отходов гальванических производств в керамической, стекольной и строительной промышленности / В.П. Николаев [и др.] // известия Академии промышленной экологии. – 1997. – № 3. – С. 44-45.

УДК 621.941.08

Пигас А.А.

## **МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Данильчик С.С.*

На изготовление режущего инструмента ежегодно расходуются десятки тысяч тонн дорогостоящей инструментальной стали



и твердых сплавов, содержащих ценные легирующие элементы. Однако эффективность использования инструмента еще недостаточно высока. Преждевременный выход из строя большого количества инструмента приводит к простоям оборудования, к излишней затрате материалов и рабочей силы. Выяснить причины его изнашивания во времени при различных условиях механической обработки позволяют различные методы измерения износа. Износ по задней поверхности проявляется в виде площадки износа, которая характеризуется высотой износа. Износ по передней поверхности происходит в виде лунки имеющей длину, ширину и глубину. Смешанный износ проходит по передней и задней поверхностям одновременно.

Существующие методы измерения износа инструмента можно подразделить на прямые (когда измеряется непосредственно кромка режущего инструмента) и косвенные (когда измеряется параметр процесса резания). Прямое измерение износа и состояния режущей кромки инструмента может проводиться различными контактными (специальными измерительными щупами, весовой износ, объемный износ) и бесконтактными методами (например, с помощью оптических приборов). К прямым относятся методы радиоактивных изотопов; микрометрического измерения; применения оптико-электронного устройства измерения износа; электромеханический; пневматический и другие методы [1]. Косвенные методы позволяют оценить состояние инструмента непосредственно в процессе обработки по параметрам процесса резания. К параметрам наиболее пригодным к измерению можно отнести: силы резания; вибродинамику резания; электромагнитные явления, возникающие при резании; температуру в зоне резания; термо-ЭДС резания; виброакустический сигнал зоны резания. В практике широкое распространение получают такие методы как: метод измерения шероховатости, метод измерения сил резания и крутящего момента, метод измерения мощности резания, метод термоЭДС и другие [2].

Каждый из перечисленных выше методов имеет определенную область применения, большинство методов дорогостоящи, требуют сложных технических средств. При выборе метода нужно руководствоваться следующими критериями:

- инвариантность измеряемого параметра к режимам и условиям обработки;
- быстродействие алгоритмов распознавания на основе данного метода;
- точность измерения;
- надежность и достоверность полученной оценки;
- простота технической реализации (стоимость).

Наиболее точными являются прямые методы измерения, из которых более простым является метод микрометрического измерения. Данным методом можно измерить уменьшение размера от вершины режущего лезвия инструмента до определенной базовой поверхности или точки на инструменте, например, на державке резца в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности. Этот износ, непосредственно влияющий на точность механической обработки, приводя к погрешностям формы и размера обрабатываемых деталей, называется размерным износом. Такое измерение можно проводить либо с помощью микроскопов, либо точными измерительными приборами. Одно из приспособлений для измерения размерного износа, которое можно легко применить в лабораторных условиях, представлено на рисунке. Исследуемый резец 2 базируется боковой поверхностью по упорам 4, а торцевой поверхностью по упорному винту 3. Измерение проводится индикатором часового типа 1 или более точным многооборотным индикатором с ценой деления 0,001 мм.

Исследование износа проводятся через определенные промежутки времени работы инструмента на станке, измеряя расстояния от вершины резца до выбранной измерительной базы. При этом для исключения влияния температурных деформаций резца необходимо выдерживать постоянство температуры

резца при его измерениях. Поэтому перед измерением величины износа резца необходимо дать ему время на остывание или производить искусственное охлаждение его до температуры окружающей среды.

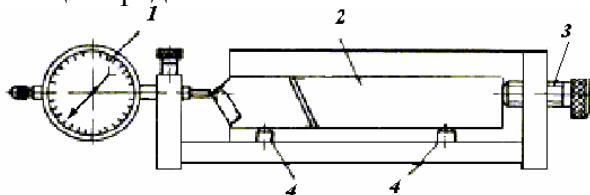


Рисунок 1

Несмотря на продолжительные исследования, проводимые в поисках скоростного метода определения износа режущего инструмента проблема выбора самого эффективного метода из уже существующих очень актуален в наше время.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
2. Ящерицын, П.И. Теория резания / П.И. Ящерицын, Е.Ф. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – М.: Новое издание, 2006. – 512 с.

УДК 621.521

Попова В.А.

## СУХИЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ С КОГТЕВЫМ МЕХАНИЗМОМ

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Полупроводниковая промышленность на протяжении последних лет была главным локомотивом развития вакуумной техники [1]. Однако, активное наполнение в настоящее время современным технологическим оборудованием таких отраслей,

как металлургия, химическая промышленность и др. также использующих вакуумное оборудование, позволяет им оказывать все большее влияние на его развитие. Кроме того, активно стали развиваться области полупроводниковой промышленности, не относящиеся напрямую к процессу изготовления микро- и нанoeлектронной техники – например, фотоэлектротехника (photovoltaics) и все, что связано с изготовлением и использованием фотоэлементной аппаратуры для солнечной энергетики, плоскопанельные дисплеи и т.п. [2].

Эти относительно новые области применения вакуумной техники формируют собственные требования к оборудованию – повышенный уровень надежности при длительной непрерывной работе и повышенной газовой нагрузке, толерантность к пыли и твердым частицам, обеспечение высокой производительности в диапазоне давлений от 1000 до 0,0001 мбар. Эти и ряд других факторов, оказывающих существенное влияние на развитие вакуумной техники несколько развернули устремления разработчиков от высоковакуумных к форвакуумным системам, обеспечивающим средний вакуум – как правило, до 0,0001 мбар.

Как отмечалось авторами работы [1] основной особенностью развития средств вакуумной откачки на протяжении последних лет является стремление избавиться от вакуумных масел и других рабочих жидкостей. Эта тенденция настолько сильна, что получает развитие даже в таких областях применения вакуумной техники, где этим вопросам до последнего времени не уделяли много внимания – прежде всего, в вакуумной металлургии. В [3] показаны основные особенности и преимущества замены паромасляных и традиционных механических насосов с масляным уплотнением на безмасляные откачные системы на базе сухих механических насосов: существенное энергосбережение и простота эксплуатации, отсутствие необходимости утилизации рабочих жидкостей и, наконец, другой качественный уровень получаемой продукции.

Технология сухой откачки с использованием когтевого механизма захвата обеспечивает новые, более высокие уровни надежности в ситуациях, когда насосы с маслянным уплотнением находятся на границе своего рабочего диапазона.

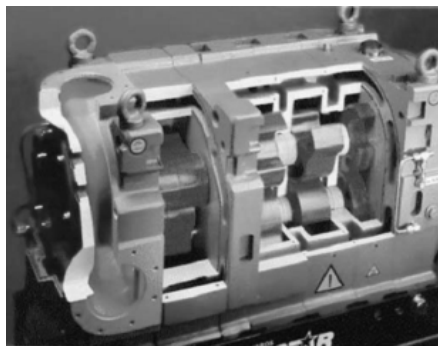


Рисунок 1 – Когтевой насос

Когтевой насос выполняется в виде многоступенчатой (обычно состоящей из 3 или 4 ступеней) машины, где одной из ступеней является двухроторная ступень Рутса, остальные – когтевые (рисунок 2). Главным обладателем патента на данную конструкцию является компания Edwards.

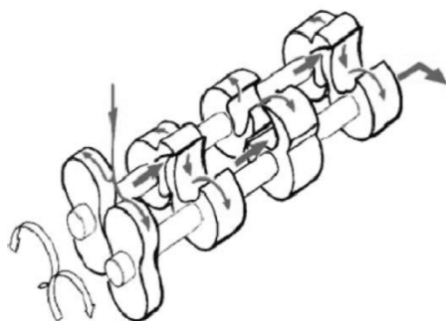


Рисунок 2 – Когтевой механизм

Когтевые насосы полностью бесконтактные насосы, откачка в которых обеспечивается вращением роторов специальной формы, зазоры между которыми очень малы – до микрометров, поэтому уровень обратного потока газа также крайне мал. Форма роторов когтевого насоса показана на рисунке 1.

Несмотря на вышеизложенное, во всем мире продолжается использование и классических форвакуумных откачных средств с маслянным уплотнением, однако оно сокращается, а в таких отраслях, как полупроводниковая промышленность и ряде других высокотехнологичных областей практически полностью прекращено. Главным ограничителем

повсеместного перехода на безмасляные средства откачки, как правило, является их более высокая стоимость. Однако, как показывает практика, за счет более низких издержек на обслуживание и утилизацию рабочих жидкостей, особенно в промышленных приложениях, стоимость владения безмасляных систем оказывается ниже, чем масляных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, Ю.К. Анализ современного состояния рынка оборудования систем создания и поддержания вакуума / Ю.К. Васильев, С.Б. Нестеров, Т.С. Васильева // Вакуумная техника и технологии. – 2006. – Т. 16. – №1 – С. 55-62.
2. Васильев, Ю.К. Выбор безмасляного (сухого) насоса для форвакуума и высокого вакуума. Направления развития безмасляных средств вакуумной откачки / Ю.К. Васильев, С.Б. Нестеров // Вакуумная техника и технологии. – 2009. – Т. 26. – №3 – С. 75–87.
3. Васильев, Ю.К. Современные пути оптимизации откачных вакуумных систем на базе диффузионных насосов / Ю.К. Васильев, С.Б. Нестеров // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология», Москва, 10–11 апреля, 2009 г. – Москва, 2009. – С. 81-84.

УДК 539.42:004.45

Рокало Н.В., Савчук Н.А.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА MATHCAD**

*БГАТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Колоско Д.Н.*

*В статье рассмотрен пример определения по опытным данным циклической долговечности для 12 серий образцов из 4 сталей разных диаметров с помощью пакета Mathcad.*

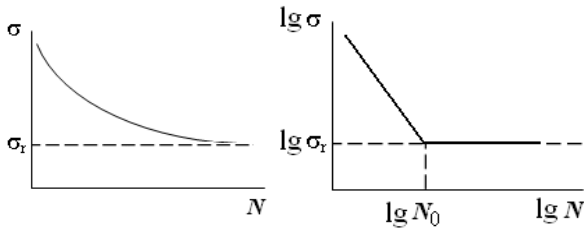


Рисунок 1 – Усталостная кривая в основных и логарифмических координатных осях

Долговечность – способность материала сопротивляться развитию постепенного разрушения. Циклическая долговечность характеризует работоспособность материала в условиях многократно повторяющихся нагружений. При знакопеременной нагрузке разрушение может происходить постепенно при напряжениях значительно меньших, чем предел текучести. В результате роста усталостных трещин опасное сечение детали уменьшается, пока не происходит мгновенное хрупкое разрушение.

Для расчетов деталей на прочность и долговечность строится усталостная кривая, показывающая зависимость нормальных напряжений  $\sigma$  от числа циклов до разрушения  $N$ . По экспериментальным точкам проводится усредняющая кривая.

На практике усталостную кривую строят в логарифмических координатах  $\lg \sigma - \lg N$ , в которых кривая аппроксимируется двумя отрезками: соответствующей ограниченной выносливости образцов наклонной прямой и соответствующей пределу выносливости  $\sigma_r$  горизонтальной прямой (рисунок 1).

При расчетах на ограниченную выносливость записывается уравнение для наклонного участка усталостной кривой в логарифмических координатах [1]:

$$\lg N = \lg A - m \cdot \lg \sigma, \quad (1)$$

где  $A$  и  $m$  – эмпирические коэффициенты.

Коэффициент  $m$  – показатель, характеризующий кривизну левого участка кривой усталости, определяется по формуле:

$$m = \frac{\lg N_0 - \lg N_1}{\lg \sigma_a - \lg \sigma_{-1}}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – число циклов, соответствующее точке перегиба усталостной кривой;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости при симметричном цикле;  $\sigma_a$  и  $N_1$  – координаты точки на левом участке кривой усталости.

Уравнение усталостной прочности имеет вид:

$$N \sigma^m = Const = N_0 \sigma_r^m \quad (3)$$

По значению предела выносливости и базового числа циклов определяем долговечность при заданном напряжении [1]:

$$N = N_0 \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^m, \quad (4)$$

Напряжение, соответствующее заданной долговечности:

$$\sigma = \sigma_r \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}}. \quad (5)$$

Определение коэффициента  $m$  и долговечности  $N$  по формулам (2) и (4) в математическом пакете Mathcad показано на рисунке 2.

Полученные интервалы значений долговечности для 12 серий образцов приведены в таблице 1.

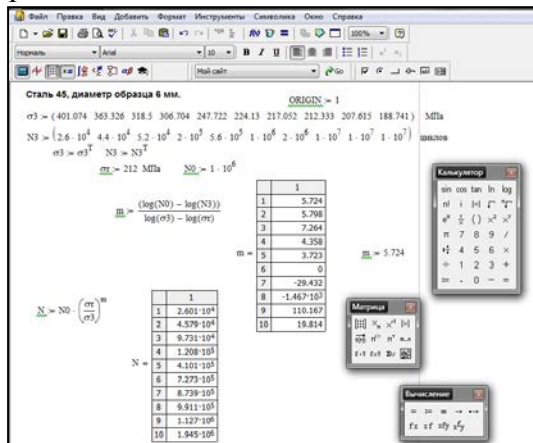


Рисунок 2  
Таблица 1



Марка стали	$\sigma_B$ , МПа	Ø 6 мм	Ø 7,5 мм	Ø 9,5 мм
35	430	$5,9 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^3 \div 2,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^3 \div 9,5 \cdot 10^4$
45	610	$4,8 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^3 \div 2,5 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^4 \div 2,4 \cdot 10^8$
40X	1000	$5,4 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^8$	$6,1 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^5 \div 5,4 \cdot 10^7$
50XН	1100	$4,6 \cdot 10^5 \div 8 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^5 \div 4,5 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^7 \div 2 \cdot 10^{11}$

Применение данного алгоритма в математическом пакете Mathcad при обработке большого количества экспериментальных данных значительно снижает трудоемкость вычислений. Анализ приведенных в таблице значений позволяет сделать вывод, что при повышении значений предела прочности материала уменьшается разброс изменения значений циклической долговечности, при всех прочих равных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Г.Е. Сопротивление материалов на базе Mathcad / Г.Е. Макаров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.

УДК 676.024.74:676.038.2

Русецкая А.Н., Дубовик А.А.

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКЛЕИВАНИЯ БУМАГИ, СОДЕРЖАЩЕЙ МАКУЛАТУРУ**

*БГТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Горжанов В.В.*

Основным видом сырья для производства высокосортной бумаги для печати в Республике Беларусь остается импортируемая дорогостоящая беленая целлюлоза. Для снижения себестоимости бумажной продукции перспективным является использование макулатуры в качестве источника волокна.

Введение в композицию бумаги для печати макулатуры приводит к повышению ее впитывающей способности по отношению к воде. Это обусловлено слабо разработанной поверхностью таких волокон и их незначительной длиной, что создает в бумажном полотне большое количество пор, по которым влага легко проникает внутрь. Если впитываемость выше нормы, бумага при печати будет впитывать краску непосредственно с цилиндра, что приведет к размягчению покровного слоя. В результате на печатном листе могут образоваться ореолы, краска будет «пробивать» на другую сторону листа [1].

Для придания гидрофобности бумаги в настоящее время наибольшее распространение получила проклейка синтетическими клеями на основе алкилкетендимеров жирных кислот. При использовании алкилкетендимеров (АКД) закрепление гидрофобизирующих частиц на волокне происходит в результате химической реакции между активными функциональными группами клея и гидроксильными группами целлюлозы, что придает ей гидрофобность [2].

С целью определения точки введения проклеивающего вещества дозирование АКД осуществляли до введения в бумажную массу наполнителя и после него по приведенным вариантам:

1. АКД → наполнитель → катионный крахмал → коагулянт → флокулянт;

2. наполнитель → АКД → катионный крахмал → коагулянт → флокулянт.

Композиция бумаги для печати при проведении эксперимента была следующей: беленая сульфатная целлюлоза из древесины хвойных пород (компания VOTNIA, Финляндия) – 26%, беленая сульфатная целлюлоза из древесины лиственных пород (компания ILM PULP, Россия) – 46%, макулатура марки МС–7Б – 27%. При проклейке бумажной массы расход наполнителя (мел МТД-2) составлял 9,5%, расход катионного крахмала Hi-Cat C 323 A – 8%, расход катионного коагулянта PAX-18 – 4,4%, расход анионного флокулянта Fennopol A 5050 R – 0,2%. По каждому

из представленных вариантов расход клея АКД Hydrores 350 М составлял от 2 до 10%. На рисунке представлены зависимости показателя впитываемости при одностороннем смачивании по Кобб<sub>30</sub> в зависимости от количества АКД и порядка его введения в бумажную массу.

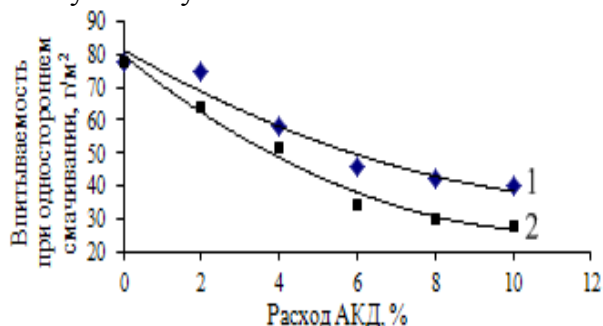


Рисунок 1 – Зависимость впитываемости при одностороннем смачивании бумаги от точки введения и расхода клея АКД:

1 – после введения наполнителя, 2 – до введения наполнителя

Как видно из рисунка, введение АКД довольно эффективно снижает впитываемость бумаги для печати. Наибольшая эффективность при введении АКД достигается до наполнителя – впитываемость при одностороннем смачивании уменьшается до значений 28 г/м<sup>2</sup> против 40 г/м<sup>2</sup> при введении АКД после наполнителя. Такой эффект объясняется тем, что при введении наполнителя он осаждается на волокнах, их активная поверхность уменьшается, что препятствует осаждению на них частиц АКД. В результате этого на волокнах осаждается меньшее количество АКД и снижается эффект проклейки.

Из рисунка видно, что резкое снижение впитываемости бумаги происходит при расходах АКД до 6% с 78 г/м<sup>2</sup> для непроклеенной бумаги, до 46 и 34 г/м<sup>2</sup> для первого и второго вариантов соответственно. Дальнейшее увеличение расхода приводит к плавному снижению этого показателя с 46 до 40 г/м<sup>2</sup> и с 34 до 28 г/м<sup>2</sup> соответственно.

Из представленных данных следует, что для повышения гидрофобности бумаги для печати рекомендуется дозирование клея

АКД до введения наполнителя в количестве 6–8%. Установленный режим проклейки бумажной массы, содержащей макулатуру, обеспечивает получение сорбционных свойств, соответствующих требованиям, предъявляемым к бумаге для изготовления конвертов (ТУ600017868.077).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кипхан, Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства / Г. Кипхан. – М.: МГУП, 2003. – 1280 с.

2. Сарана, Н.В. Проклейка бумаги в нейтральной среде димерами алкилкетенов отечественного производства / Н.В. Сарана, В.Е. Гурьянов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1998. – № 7-8. – С. 10-13.

УДК 681.5.017

Рябцев Р.Л.

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТОРСКОЙ САПР AUTODESK-INVENTOR**

*БНТУ, г. Минск*

*Научные руководители: Федорцев В.А., Войтулевич Д.М.*

В условиях нарастающей глобализации рынка способность современного машиностроительного предприятия конкурировать в сфере производства наукоемких изделий, в первую очередь, определяется возможностями ускорения технологической подготовки производства. Такая динамика данной стадии технической подготовки производства (при резком расширении номенклатуры выпускаемых изделий) предполагает постоянный рост потребностей в различной технологической оснастке (штампы, пресс-формы, режущий и мерительный инструмент, приспособления и т.д.).

В производственных условиях при освоении нового изделия трудоемкость проектирования и изготовления технологической

оснастки обычно бывает сравнима с трудоемкостью производства собственно изделия [1].

Поэтому задача повышения качества, сокращения сроков и снижения трудоемкости проектирования технологической оснастки занимает важное место при производстве любых изделий машиностроения. Успешное решение этой задачи машиностроительными предприятиями может быть достигнуто только при переходе к использованию достижений информационных технологий, связанных с инженерным анализом, твердотельным моделированием и компьютерными базами знаний. Именно поэтому многие машиностроительные предприятия связывают свое будущее с внедрением и использованием CAE/CAD/CAM-систем [2].

Эти системы позволяют обеспечить более жесткие требования к срокам и стоимости проектных работ. Проведение конструкторских работ, нацеленных на создание качественной, конкурентоспособной продукции, связано с подготовкой точных математических моделей узлов и агрегатов, а также с выполнением огромного объема математических расчетов, необходимых для инженерного анализа конструкций. Основной путь повышения конкурентоспособности предприятия связан с резким сокращением сроков создания моделей и ускорением расчетов математических параметров на всех этапах разработки продукции.

Таким образом, применение высокопроизводительных систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа (CAE/CAD/CAM-систем) стало ключевым элементом бизнеса предприятия, работающего на современном рынке машиностроения.

Система автоматизированного проектирования (САПР, в англоязычном написании CAD System – Computer Aided Design System) – это система, реализующая проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ.

В настоящее время промышленность, наука и техника все больше и больше нуждаются в продуктах машиностроения. И продукты вакуумного и компрессорного производства не исключение. Ввиду того, что спрос создает конкуренцию производств одного и того же профиля продукции, в частности когда совершенствуется и вакуумная и компрессорная техника, то возникает необходимость ускорения и автоматизации производства. Особенно это касается случая ускорения создания конструкторской и технологической документации новых изделий.

Основной путь решения данных проблем – это интенсивное использование информационных технологий, в частности программных компьютерных продуктов.

Одним из таких продуктов, который пользуется популярностью на машиностроительных предприятиях развитых стран, является система **Autodesk-Inventor-Series** (или **Autodesk-Inventor-Professional**) [3].

*Autodesk-Inventor* – это:

- готовое решение для комплекса задач всего цикла конструкторской подготовки производства;
- оптимальные инструменты для специализированных производств: тонколистовое проектирование, проектирование сварных конструкций;
- инновационные технологии проектирования изделий сложной геометрической формы.

*Autodesk-Inventor* – это также:

- высокая производительность;
- проектирование изделий объемом в несколько десятков тысяч компонентов;
- адаптивные технологии проектирования деталей и узлов в контексте сборки, начиная от эскизной проработки и заканчивая полной компоновкой изделия;
- библиотека стандартных деталей согласно 18 стандартам, включая ГОСТ (около 100 ГОСТов);

- инженерная подсистема проектирования, анализа и генерации типовых механических конструкций с использованием стандартных изделий;
- визуализация работы механизмов с учетом наложенных ограничений;
- автоматическое создание видов чертежей, ассоциативно связанных с моделью;
- импорт/экспорт DWG, IGES, STEP и других стандартов обмена твердотельной и поверхностной информацией;
- возможность первичной проработки эскизного проекта с последующим переходом к трехмерной модели;
- развитые средства поверхностного моделирования. Совместное использование поверхностей и технологии гибридного проектирования со свободным переходом от поверхностной к твердотельной модели и наоборот;
- десятки сертифицированных приложений и аппаратных устройств.

Но эти же функции выполняют и другие системы автоматизированного проектирования. Уникальность же системы САПР Autodesk-Inventor состоит в том, что разработку детали, узла или сборки мы ведем от трехмерной модели к законченному чертежу с учетом всех технических требований к изделию. Что выгодно выделяет данную программу на рынке конструкторского программного обеспечения. Другими словами разработка ведется «наоборот», начиная создавать трехмерную модель мы закладываем в неё все необходимые технические требования, чтобы на выходе сформировать чертежи в соответствии с требованиями ЕСКД. Реальность трехмерного моделирования заключается в том, что полный отказ от двухмерных данных невозможен. Передовая САПР Autodesk-Inventor обеспечивает выполнение всех этапов проектирования деталей и изделий в единой среде разработки, набор функций которой зависит от выполняемого этапа. Это значит, что теперь можно постепенно разрабатывать

трехмерные модели, одновременно поддерживая существующие проекты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1980. – 564 с.
2. Журнал «САПР и технология», июнь 2011. – 62 с.
3. Waguespack, C. Mastering Autodesk Inventor 2010 / C. Waguespack, L. Jahraus. – Sybex, 2009. – 816 с.

УДК 621.521

Севрук О.А.

## ИМИТАТОРЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Имитатор космического пространства (его еще называют «космический имитатор», встречается также название «имитатор космоса») представляет собой изначально вакуумную камеру с системой вакууммирования и поддержания заданного вакуума, оснащенную системой регулирования температуры объекта испытания и различными вспомогательными системами [1]. В практике испытателей порой смешивают термины термобарокамера и имитатор космического пространства. Однако разница между ними определяется глубиной вакуума и областью применения. Термобарокамеры обычно рассчитаны для проведения испытаний авиационной и атмосферной ракетной техники с глубиной разряжения в процессе испытания не лучше 1 мбар (около 1 мм.рт.ст), тогда как имитаторы космического пространства изначально предназначены для испытаний космических аппаратов и их частей, работающих в условиях открытого космоса с характерным разряжением в камере до  $10^{-6}$  ...  $10^{-7}$  мбар.



В настоящее время благодаря новым разработкам стало возможным производить имитаторы космического пространства, полезным объемом от нескольких десятков литров до десятков и сотен кубометров (рисунок 1).

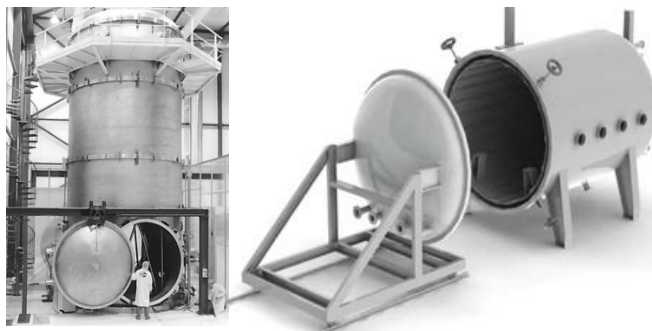


Рисунок 1 – Камеры-имитаторы космического пространства

В ряде случаев используют камеры-имитаторы космического пространства не только для проверки испытуемого объекта на корректность тепловых расчетов и теплообмена, проверки прочностных характеристик объекта, но также и для исследования систем терморегулирования объекта при облучении их со стороны солнца, Луны, Земли и других объектов. Для этих целей в имитаторе космического пространства устраивается дополнительный модуль облучения. Данный модуль облучения может быть сконфигурирован из нескольких рабочих групп излучателей, с индивидуально управляемым включением и интенсивностью, позволяющим имитировать произвольную ориентацию объекта испытания по отношению к источникам облучения в космосе.

Имитатор космического пространства также может быть оснащен необходимым количеством технологических и смотровых окон и заглушаемых фланцев для обеспечения съема данных

по проводной схеме или подвода устройства имитации дополнительного воздействующего фактора.

В камерах-имитаторах невозможно создать требуемый вакуум с помощью механических насосов, как правило, используемых в физических лабораториях. Чаще всего воздух из камер откачивают последовательно ступенями или покаскадно [2]. Механическими насосами производят лишь первоначальную откачку. На следующих ступенях откачки применяют ртутные или масляные диффузионные насосы и криогенные насосы. Только такие насосы способны поддерживать в камере необходимый вакуум.

Солнечный свет имитируют с помощью ртутных, ксеноновых или дуговых угольных ламп, которые обычно устанавливаются снаружи, вне камеры. Свет и тепло от этих источников посредством системы отражателей направляются на кварцевые окна камеры, пройдя сквозь них, они попадают на систему зеркал и линз, установленную уже внутри камеры, и фокусируются и направляются ею на испытываемый образец. Некоторые большие камеры имеют внутреннюю систему освещения. Для создания условий низких температур, которым в космосе может подвергнуться объект, не освещенный солнечным светом, стенки камеры имеют панели или змеевики, охлаждаемые протекающим жидким азотом. Таким образом, в камере можно поддерживать температуру  $-200^{\circ}\text{C}$ .

В США такие камеры сыграли важную роль в разработке и испытании пилотируемых и непилотируемых космических кораблей. Типичной камерой для испытания непилотируемых космических кораблей является камера в Годдардовском центре космических полетов в Гринбелте, штат Мэриленд. Она имеет диаметр 10,6 м и высоту 18,2 м, в ней можно создавать и поддерживать вакуум  $1 \cdot 10^{-10}$  мм рт. ст. Система из 127 ртутно-ксеноновых ламп и рефлекторов, которые фокусируют излучение этих ламп в пучок, проходящий далее через четыре кварцевые линзы, точно имитирует видимую, а также ультрафиолетовую и инфракрасную

части спектра солнечного излучения. Эти лампы расположены на съемной крышке, которая позволяет поместить в камеру космический корабль или какие-то узлы, предназначенные для испытаний. Человек, входящий в камеру при включенных лампах (камера еще не вакуумирована), должен быть одет в специальный алюминизированный защитный костюм, отражающий тепловые лучи, и иметь на лице маску с фильтром, не пропускающим озон, который образуется в камере под действием ультрафиолетового излучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Имитаторы космоса [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://blms.ru/space> – Дата доступа: 03.03.2012.

2. Поплавский, В.В. Техника высокого вакуума / В.В. Поплавский. – Минск: БГТУ. – 2001. – 363 с.

УДК 621.762.4

Станютко Д.О.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВАКУУМНОЙ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Шахрай Л.И.*

Фильтрация – процесс разделения суспензий или аэрозолей при помощи фильтровальных перегородок (ФП), пропускающих жидкость или газ, но задерживающих твёрдые частицы. Фильтрация осуществляется в специальных аппаратах – фильтрах. Наряду с термином «Фильтрация» для названия этого процесса употребляется и термин «фильтрация». В тех случаях, когда фильтрация нужно провести быстро и если в обычных условиях она вызывает затруднения, пользуются фильтрацией под вакуумом. Сущность его заключается в том, что в приемнике создают уменьшенное давление, вследствие чего жидкость фильтруется под давлением атмосферного воздуха. Чем больше разность

между атмосферным давлением и давлением в приемнике, тем быстрее идет фильтрование истинных растворов кристаллических веществ. Коллоиды фильтруют под вакуумом при соблюдении особых условий.

В практике фильтрования наиболее распространены две основные схемы вакуум-фильтровальных установок: с принудительным удалением фильтрата из ресивера насосами; с самотечным удалением фильтрата.

Вакуум-фильтровальная установка с удалением фильтрата насосами (рисунок 1, а) состоит из воздуходувки 1, фильтра 2, насосов 3, ресивера 4, гидроловушки 5, вакуум-насосов 6, барометрической трубы 7 и гидрозатвора 8, соединенных между собой трубопроводами. Ресивер предназначен не только для поддержания постоянного разрежения в системе, но и для сбора фильтрата. Гидроловушка поднята над затвором на высоту 10,5 м с целью предупреждения попадания фильтрата в вакуум-насос при аварийных ситуациях, так как в случае создания предельного вакуума (0,1 МПа) высота подъема фильтрата в барометрической трубе составит 10,33 м. С учетом просасывания воздуха через осадок в зоне просушки, потерь вакуума в системе и характеристик насоса значение рабочего вакуума ниже предельного на 13,3-19,9 кПа.

Схема работает следующим образом. Отсасываемый из вакуум-фильтра воздух вместе с фильтратом поступает в ресивер, в котором происходит разделение воздуха и фильтрата. Фильтрат, скапливающийся в нижней части ресивера, откачивается насосом. Воздух из ресивера через гидравлическую ловушку откачивается вакуум-насосом. В случае попадания в гидроловушку фильтрата, последний будет стекать по барометрической трубе в гидрозатвор. Нижний конец барометрической трубы опущен в воду, которая препятствует засасыванию атмосферного воздуха в трубу. Воздуходувка необходима для подачи сжатого воздуха в фильтр в период отдувки осадка.

Расстояние от нижней части ресивера до оси фильтратного насоса выбирают в зависимости от рабочего разрежения в вакуумной системе и разрежения на всасывание, создаваемого насосом 3. Это расстояние составляет 1 м и больше.

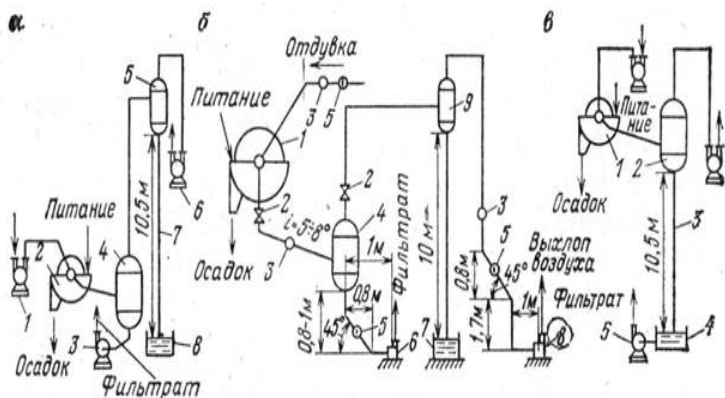


Рисунок 1 – Принципиальные схемы вакуум-фильтровальных установок: а) с принудительным удалением фильтрата насосами; б) тоже, с применением обратных клапанов; в) с самотечным удалением фильтрата

Схема вакуум-фильтровальной установки с принудительным удалением фильтрата (рисунок 1, б), состоящая из вакуум-фильтра 1, кранов 2, фильтратных коллекторов 3, ресивера 4, клапана обратного поворотного 5, центробежного насоса 6, гидрозатвора 7, вакуум-насоса 8 и гидроловушки 9. Отличительными особенностями предложенной схемы являются жесткое ограничение расстояния между нижней частью ресивера и насосом (не более 1 м) и установка всасывающего трубопровода под углом 45° с применением обратного клапана. К ресиверу подключают два насоса для откачки фильтрата: один – рабочий и второй – резервный. Данная схема применима для фильтровальных отделений небольшой производительности.

Недостатки схем с удалением фильтрата насосами следующие:

– при фильтровании тонкоизмельченных продуктов поддерживается рабочий вакуум 79–86 кПа, поэтому для откачки

фильтрата насосы должны создавать на всасывании высокое разряжение;

- для гарантированной работы фильтратных насосов, последние должны устанавливаться ниже ресивера на 3-5 м;

- при работе насосов необходимо постоянно контролировать уровень фильтрата в ресивере (при переполнении ресивера должен автоматически включаться резервный насос);

- трудно регулировать вакуум в зоне набора осадка при работе фильтратных насосов;

- при применении схем с индивидуальным отводом фильтрата с каждого фильтра и при отдельном вакууме резко возрастает число фильтратных насосов, т.е. возрастают затраты на оборудование.

К преимуществам схемы с принудительным удалением фильтрата насосами относят: возможность установки вакуум-фильтров на нижних отметках фильтровального отделения, и исключение забивания гидрозатворов твердой фазой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жужиков, В.А. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий / В.А. Жужиков. – М.: Химия, 1971. – 440 с.

2. Лавров, С.В. Повышение эффективности процессов дрожжевого производства: (выращивания, фильтрация, формования): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.18.12 / Л. С. Вячеславович. – Воронеж, 2008. – 20 с.

3. Ширяева, Е.В. Процессы фильтрации суспензий и обезвоживания осадков на промышленных вакуум-фильтровальных установках непрерывного действия: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.17.08 / Е.В. Ширяева. – Москва, 2011. – 17 с.

**ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ  
СЕСКВИКАРБОНАТА НАТРИЯ  
В КАРБОНАТСОДЕРЖАЩИХ СИСТЕМАХ**

*БГТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Ещенко Л.С.*

Сесквикарбонат натрия – смешанная соль угольной кислоты формулой  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В настоящее время данное соединение находит применение в составах экологически безопасных безфосфатных моющих средств, в производстве косметических средств. Ввиду энерго- и трудоемкости процесса выделения  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  из минерала троны, интерес представляет получение сесквикарбоната натрия синтетическим путем. Известны способы получения, основанные на смешении порошкообразного карбоната натрия с водной суспензией гидрокарбоната натрия [1]. Недостатком данных способов является низкое содержание  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в продуктах синтеза. В то же время имеются литературные данные о получении сесквикарбоната натрия с содержанием 96,0–98,0 мас. %  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  политермической кристаллизацией из насыщенного раствора. Интерес также представляют способы получения, основанные на взаимодействии карбоната натрия с протонсодержащими реагентами, в частности, ортофосфорной кислотой. В данном случае могут быть получены сложные по составу продукты, содержащие дополнительно соединения, которые обладают антикоррозионными, поверхностно-активными, обезжиривающими и другими свойствами. В связи с этим целью работы явилось исследование условий кристаллизации  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в системах на основе карбоната, бикарбоната натрия и ортофосфорной кислоты.

Сесквикарбонат натрия получали насыщением при  $100^\circ\text{C}$  воды карбонатом и гидрокарбонатом натрия в присутствии  $\text{NaCl}$

и политермической кристаллизацией продукта при охлаждении раствора до 35°C или путем смешения в высокоскоростном лабораторном блендере карбоната натрия с раствором  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Фазовый состав определяли с помощью рентгенофазового анализа, химический состав – на основании материального баланса смешения исходных реагентов и с применением методов количественного анализа по стандартным методикам.

Показано, что медленное охлаждение насыщенного раствора, полученного в системе  $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ , позволяет приблизить процесс кристаллизации сесквикарбоната натрия к равновесным условиям и, следовательно, обеспечить более высокий выход продукта. Согласно расчетам, выход сесквикарбоната натрия по  $\text{NaHCO}_3$  составляет 54,7%. Установлено, что возврат маточного раствора на донасыщение и повторную кристаллизацию  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  позволяет сократить расход исходных реагентов и повысить выход продукта до 74,3%. Показано, что твердая фаза, полученная как в первом, так и во втором цикле кристаллизации содержит 97,0–98,0 мас. % сесквикарбоната натрия. Согласно электронно-микроскопическому анализу, сесквикарбонат натрия, полученный в системе  $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ , представляет собой крупные кристаллы пластинчатой формы длиной до 2 мм.

Исследованы условия кристаллизации сесквикарбоната натрия в системе на основе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и протонсодержащего реагента, в частности, раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Показана роль протонсодержащего реагента в кристаллизации  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в системе  $\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  за счет гидролиза карбоната натрия и образования при этом  $\text{NaHCO}_3$ , как исходных реагентов для насыщения жидкой фазы. Установлено, что стехиометрическое соотношение  $\text{NaHCO}_3$  к  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в насыщенной жидкой фазе достигается при наличии в исследуемой системе не менее 25–35 мас. % воды. Продукты взаимодействия ортофосфорной кислоты и карбоната натрия состоят из карбонат- и фосфатсодержащих фаз.



В зависимости от условий получения карбонатсодержащая фаза может быть представлена  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , фосфатсодержащая фаза –  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Отмечено, что массовое соотношение между указанными фазами определяется такими факторами, как молярное соотношение  $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$ . При молярных соотношениях  $\text{Na}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5 \leq 10,0$  в продуктах синтеза рентгенографически идентифицируются  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Повышение молярного соотношения  $\text{Na}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$  свыше 10,0 приводит к образованию сесквикарбоната натрия, массовая доля которого растет с увеличением содержания  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в системе  $\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ . Установлено, что с увеличением молярного соотношения  $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  от 2,0 до 4,0 происходит снижение содержания  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и увеличение массовой доли  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Method of producing non-phosphate detergents based on powdered sodium sesquicarbonate: EP 1690923 Ukraine, C 11 D 3/10, C 11 D 11/04 / О. Качур, W. Lemeshko; BRANDPAT Kancelaria Patentowa; заявл. 15.02.2005; опубл. 16.08.2006.

УДК 621

Терещук О.И., Гладкий В.Ю.

#### **ЭФФЕКТ КАЗИМИРА**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Квантовая теория показала, что вакуум представляет собой чрезвычайно динамичную, непрерывно меняющуюся субстанцию, из виртуально рождающихся и тут же умирающих элементарных частиц [1]. Иначе говоря, вакуум с точки зрения квантовой теории не просто «ничто», а может рассматриваться как море так называемых нулевых колебаний, и, даже если в пространстве

нет ни одной реальной частицы и ни одного реального кванта – фотона, электрические и магнитные поля совершают нулевые колебания. Эффект основывается на том факте, что в вакууме происходят постоянные колебания (флуктуации), связанные с рождением и исчезновением виртуальных частиц и античастиц. Этот эффект наблюдается между двумя металлическими параллельными пластинами, расстояние между которыми составляет около 100 нм. Такое расстояние накладывает ограничения на диапазон длин волн, разрешенный для этих виртуальных частиц. С уменьшением числа разрешенных длин волн (виртуальных частиц) внутри пространства между пластинами, там падает плотность энергии по сравнению с таковой во внешнем пространстве, где рождение виртуальных частиц ничем не ограничено. В результате, между пластинами создается отрицательное давление, которое притягивает пластины друг к другу. Чем ближе друг к другу поверхности, тем больше диапазон запрещенных длин волн виртуальных частиц, тем больше отрицательное давление, и тем сильнее сила притяжения.

Чтобы пояснить физический смысл этой силы, следует воспользоваться уравнением Шредингера [2]:

$$E = h \cdot w \cdot (n + \frac{1}{2}), \quad (1)$$

где  $E$  – энергия;  $w$  – собственная частота колебаний осциллятора;  $h \cdot w$  – квант, равный разности энергий уровней с квантовыми числами  $n$  и  $n-1$ .

Из уравнения видно, что даже если квантовое число  $n=0$ , энергия гармонического осциллятора равна  $\frac{h \cdot w}{2}$ . Эту величину назвали нулевыми колебаниями гармонического осциллятора.

Наличие двух проводящих пластин ограничивает пространство таким образом, что между пластинами возникает стоячая волна. В то же время, снаружи пластин пространство физического вакуума осталось невозмущенным, и оно-то и оказывает давление на пластины, стремясь приблизить их друг к другу.

Учеными Хендриком Казимиром и Дирком Полдером в 1948 г., было определено, что значение силы Казимира крайне мало. Расстояние, на котором она начинает быть сколько-нибудь заметной, составляет порядка нескольких микрон. Однако, будучи обратно пропорциональной 4-й степени расстояния, она очень быстро растет с уменьшением последнего. На расстояниях порядка 10 нм давление, создаваемое эффектом Казимира, оказывается сравнимым с атмосферным.

В 1970 году физик из американского университета Брандейса Джеральд Мур, открыл динамический, или нестационарный эффект Казимира [3]. Главное в нем – это быстрое и резонансное изменение параметров квантовой системы, которое ведет к быстрому изменению собственных частот поля, заключенного в какую-то полость. Наиболее чувствительный объект, у которого можно быстро и сильно изменять параметры, – это, так называемый, Джозефсоновский контакт, то есть контакт между двумя сверхпроводниками, разделенными слоем диэлектрика, или основанный на нем сверхпроводящий квантовый интерферометр – СКВИД. Именно на основе его и была создана установка, позволяющая экспериментально подтвердить динамический эффект Казимира.

Первыми успеха добились Кристофер Уилсон и его коллеги по Технологическому университету Чалмерса в шведском городе Гетеборге вместе с коллегами из Австралии и Японии [3]. «Овеществление» виртуальных фотонов происходило около волновода из алюминия, подключенного к сверхпроводящему квантовому интерферометру (два джозефсоновских туннельных перехода, параллельно соединенных в замкнутый контур) (рисунок 1). Экспериментаторы изменяли индуктивность этого контура, пропуская через него магнитный поток, осциллирующий с частотой порядка 11 ГГц. Колебания индуктивности сказывались на электрической длине волновода, которая осциллировала с вполне релятивистской скоростью.

Волновод, как и ожидалось, излучал фотоны, извлеченные из вакуумных флуктуаций.

Однако использовать эту установку для получения энергии

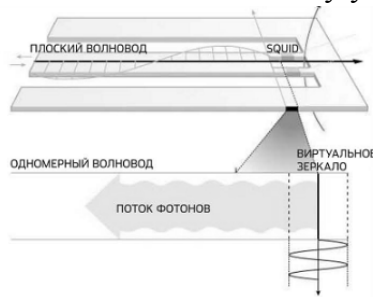


Рисунок 1 – Схема эксперимента

из вакуума невозможно: энергия полученного излучения неизмеримо слабее мощности, которую приходится закачивать в прибор. Это же справедливо и для прочих устройств, которыми можно воспользоваться для наблюдения динамического эффекта Казимира.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович, Я.Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии / Я.Б. Зельдович // Успехи физических наук. – 1981. – Т. 133. – Вып. 3. – С. 479-503.
2. Мостепаненко, В.В. Эффект Казимира и его приложения / В.В. Мостепаненко, Н.Н. Трунов // Успехи физических наук. – 1988. – Т. 156. – Вып. 3. – С. 385-422.
3. Левин, А. Энергия вакуума / А. Левин // Популярная механика. – 2012. – № 2. – С. 39-40.

УДК 621.52

Тимохович Д.В.

## ВАКУУМНАЯ СУШКА МАТЕРИАЛОВ

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Шахрай Л.И.*

Сушка – один из самых распространенных технологических процессов, используемый в химической, фармацевтической и пищевой промышленности. Трудно найти такое химическое и фармацевтическое производство, на котором не было бы операции

сушки того или иного вещества или препарата. Наиболее часто сушка является завершающим этапом технологического процесса с получением целевого продукта.

Сушка – удаление жидкости из веществ и материалов тепловыми способами. Осуществляется путем испарения жидкости и отвода образовавшихся паров при подводе к высушиваемому материалу теплоты, чаще всего с помощью, так называемых сушильных агентов (нагретый воздух, топочные газы и их смеси с воздухом, инертные газы, перегретый пар).

Сушке подвергают влажные тела: зернистые, порошкообразные, кусковые, гранулированные, листовые, тканые и другие.

Процесс сушки может быть значительно ускорен созданием вакуума в сосуде с высушиваемым материалом. При этом снижается точка кипения влаги в материале и обеспечивается интенсивный отвод выделяющихся паров. Сушка в вакууме в сочетании с высокими температурами обеспечивает высокую степень высушиваемости материала.

Сушка выпариванием связана с потреблением тепла, необходимого для превращения влаги материала в пар. Для подвода тепла служит нагретый воздух или газы, нагретые разными способами металлические поверхности, соприкасающиеся с материалом. Образующиеся пары отводятся воздухом, газами или путем откачки. При нагреве от внешних тепловых источников полученное поверхностью материала тепло благодаря теплопроводности материала передается его внутренним слоям, т.е. происходит теплообмен. В этом случае температура поверхностных слоев материала выше, температуры внутренних слоев.

#### **Целями сушки являются:**

1. облегчение и удешевление транспортировки материалов, для повышения их прочности;
2. сушка многих лекарственных препаратов обеспечивает их консервирование и хранение;

3. сушка необходима для последующего измельчения некоторых материалов.

### **Область применения процессов сушки в вакууме**

1. Сушка пищевых продуктов.
2. Сушка древесины.
3. Сушка в сельском хозяйстве.
4. Сушка в химической промышленности. Особенности процесса сушки в вакууме. Виды сушки в вакууме.

### **Технологический процесса сушки в вакууме**

Для примера описания технологического процесса сушки в вакууме возьмём вакуум сушильный шкаф.

Вакуум-сушильный шкаф – аппарат периодического действия. Такая сушилка представляет собой герметически закрывающуюся камеру круглого сечения (иногда прямоугольного), снабженную рядом изнутри обогреваемых горизонтальных плит (полок). Высушиваемый материал укладывается на эти плиты либо непосредственно, либо на съемных противнях.

### **Виды и особенности оборудования используемого для сушки в вакууме**

**1. Гребковые сушилки** – это аппараты, внутри которых вращается вал с лопастями – гребками, перемешивающими высушиваемый материал.

**2. Тарельчатые сушилки** – разновидность сушилок с перемешивающим устройством.

**3. Барабанная вакуумная сушилка** состоит из цилиндрического вакуумного корпуса с нагревательной рубашкой, вращающегося вокруг горизонтальной оси, и штуцера с крышкой и люком, служащего при малых размерах барабана для загрузки и выгрузки материала.

**4. Сушилки с наклонным барабаном** – корпус сушилки имеет рубашку, в которую подается горячая вода (с температурой от 40 до 130° С).

**5. Вращающаяся коническая сушилка**, чрезвычайно простая по устройству и в то же время обеспечивающая быстрое

высушивание материала в высоком вакууме и при весьма низких температурах. Корпус сушилки вращается вокруг горизонтальной оси.

УДК 544.77

Фирсова Л.Д., Грукалова Е.В.

## **ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ «ВОДА-ПАВ-БЕНЗОЛ» ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*БГТУ, г. Минск*

*Научные руководители: Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.*

В трехкомпонентных системах, содержащих водную и масляную фазы, а также поверхностно-активное вещество (ПАВ) в зависимости от соотношения компонентов имеют место процессы мицеллообразования, солюбилизации и микроэмульгирования.

В данной работе использовали неионогенные ПАВ TWEEN-20 и TWEEN-80. Эти ПАВ являются экологически безопасными, биоразлагаемыми и широко применяются в фармакологии, пищевой и косметической промышленности. В качестве олеофильной фазы использовали токсичный углеводород бензол. Исследованная система важна с экологической точки зрения, поскольку может являться модельной при разработке коллоидно-химических основ очистки объектов окружающей среды от ароматических загрязнителей. В эксперименте использовали коллоидные растворы ПАВ в дистиллированной воде с концентрациями 25,0 и 50,0 г/л (температура 22°C). Объем раствора составлял 10 мл. Расход бензола варьировали от 0,1 до 0,8 мл.

С использованием турбидиметрического метода анализа на фотоэлектроколориметре производили измерение оптической плотности систем  $D$  ( $\lambda = 400$  нм,  $l = 0,3$  см). На рисунке представлены зависимости  $D$  систем от содержания бензола через различные промежутки времени.

Из рисунка видно, что все кривые содержат два экстремума – максимум и минимум. Вначале, с повышением содержания бензола в системе, происходит увеличение  $D$ , что связано с увеличением размеров коллоидных частиц за счет внедрения в них молекул бензола. После достижения насыщения начинается процесс образования прямой эмульсии, в которой ПАВ играет роль стабилизатора. Капли эмульсии бензола имеют размеры, меньшие, чем мицеллы ПАВ, содержащие молекулы бензола, поэтому доля рассеянного ими света меньше. На графиках наблюдается область уменьшения  $D$  систем с увеличением содержания в них бензола. Дальнейшее повышение содержания бензола приводит к укрупнению капель эмульсии, которые наиболее интенсивно рассеивают свет –  $D$  увеличивается.

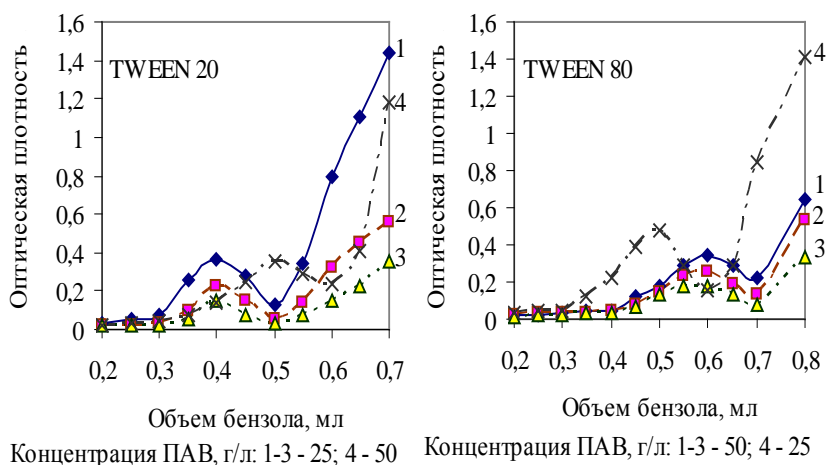


Рисунок 1 – Зависимость  $D$  систем от объема бензола через промежуток времени, сутки: 1, 4 – 1; 2 – 2; 3 – 6

Установлено, что солюбилизирующая способность ПАВ по отношению к бензолу возрастает с увеличением концентрации раствора и выше в системах, содержащих TWEEN-80, а процесс образования эмульсий более эффективно протекает в системе с TWEEN-20.



Следует отметить, что положение экстремумов на кривых зависит от природы и концентрации раствора ПАВ и не зависит от времени. С течением времени значения  $D$  уменьшаются (при прочих равных условиях). Объяснить данные закономерности не представляется возможным в силу того, что процессы, протекающие в системах, являются очень сложными и конкурируют друг с другом. Но визуально было замечено, что с течением времени (более 6 суток) процесс эмульгирования постепенно превалирует над процессом солубилизации.

УДК 621.512.3

Черкас С.А.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ МАСЛА В ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРАХ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

Необходимость использования масла в поршневых компрессорах обусловлена потребностью не только в смазке трущихся пар, но и в отводе от них тепла. До недавнего времени все поршневые компрессоры с мощностью электродвигателя от 5 кВт и выше с горизонтальным валом, как правило, оснащались масляным насосом для обеспечения внутренней циркуляции масла.

Масло, находящееся в картере на уровне, который можно контролировать через смотровое окно указателя уровня, после прохождения через масляный фильтр и насос под давлением подается в сеть смазочных каналов и подводится ко всем смазываемым точкам, откуда под действием силы тяжести стекает на дно картера.

Однако в использовании масла кроется один из главных недостатков воздушных поршневых компрессоров – наличие масла в сжатом воздухе.

В конце 90-х годов прошлого века инженерами компании «Битцер ГмБХ» была разработана первая серия поршневых компрессоров новой конструкции, получившая название «Октагон» (Octagon®), отличавшаяся принципиально новой системой внутренней циркуляции масла. Вместо традиционного масляного насоса на вал компрессора новой конструкции устанавливали динамический элемент (диск), который, вращаясь, подхватывал масло со дна картера и забрасывал его в специальный масляный карман.

Вдоль центральной оси эксцентрикового вала компрессора выполнен канал, куда попадает масло при вращении диска. Под действием центробежной силы масло из осевого канала вала поступает к узлам трения по радиальным отверстиям, расположенным в местах установки шатунов и подшипников скольжения. Благодаря постоянному подпиранию давлению масла эта система обеспечивает надежную гидродинамическую смазку подшипников скольжения.

При гидродинамической смазке достаточно наличия масла на входе в подшипники. Давление масла внутри подшипника создается в результате образования масляной пленки при высокой относительной частоте вращения эксцентрикового вала. Значение этого давления пропорционально нагрузке на подшипник и частоте вращения вала.

В отличие от компрессоров с маслонасосом, неспособным перекачивать сжимаемую газо-масляную эмульсию, вспенивание масла в картере при пуске компрессора с центробежной системой не прерывает циркуляцию масла. Она обеспечивает смазку узлов трения даже эмульсией. Система начинает подавать смазку в узлы трения сразу после старта компрессора без характерных для маслонасоса полутораминутных задержек подачи масла.

Таким образом, новая центробежная система внутренней циркуляции масла для оснащения высокопроизводительных компрессоров имеет следующие преимущества по сравнению с маслонасосной системой: а) меньшее число механических

частей, отсутствие обратных и перепускных клапанов; б) более низкий процент уноса масла; в) более быстрая реакция системы, подающей масло к узлам трения, при пуске компрессора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пластинин, П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет / П.И. Пластинин. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.

УДК 621.51

Чернухо А.О.

## **СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВЫХ И ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

При больших расходах сжатого воздуха все более широкое применение получают лопастные компрессоры, называемые также турбокомпрессорами. По сравнению с поршневыми компрессорами они более компактны, работают равномерно и осуществляют непрерывную подачу воздуха, что позволяет им работать без воздухохранивателей. Благодаря отсутствию клапанов они более надежны в работе.

Характерной особенностью лопастных машин является отсутствие пульсации развиваемого ими давления.

Сжатие воздуха в турбокомпрессорах достигается за счет более высоких по сравнению с вентиляторами окружных скоростей рабочих колес, которые достигают 450-500 м/с. Это позволяет получить в рабочем колесе степень повышения давления до 1,4.

Турбокомпрессоры имеют уменьшающиеся от ступени к ступени диаметр или ширину в связи с тем, что объем воздуха по мере сжатия в ступенях уменьшается. В турбокомпрессорах необходимо охлаждение воздуха, которое осуществляется, как правило, с помощью промежуточных холодильников,

устанавливаемых между группами рабочих колес различной ширины или различного диаметра.

Недостатки турбокомпрессоров: невозможность изготовления компрессоров малой производительности; несколько меньший к.п.д. самого компрессора по сравнению с поршневыми машинами; возможность устойчивой работы только в определенных границах производительностей; невозможность частых включений и выключений компрессора; более сложная параллельная работа.

Турбокомпрессоры целесообразно применять при производительности компрессорных установок свыше  $200 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

По сравнению с центробежными осевые компрессоры имеют важные преимущества: высокий КПД на расчетных режимах работы; большие производительности при малых поперечных размерах. Однако осевые компрессоры имеют большую длину и сложны в конструктивном оформлении, а, следовательно, дороже в изготовлении и менее надежны в эксплуатации.

Достаточно высокая степень газодинамической инертности осевых компрессоров является причиной того, что компрессор достаточно медленно набирает обороты, обладает низкой приемистостью. Осевые компрессоры, как правило, приводятся в движение турбинами, которые, в свою очередь весьма долго снижают свои обороты, таким образом, смена режимов работы таких компрессоров занимает достаточно длительный промежуток времени.

Выводы.

1. По степени сжатия в ступени. Большую степень повышения давления обеспечивают ступени центробежных компрессоров.

2. По реализации многоступенчатости. Многократный поворот воздушного потока в центробежном компрессоре приводит к сложности реализации многоступенчатости в нём.

3. По габаритам. Центробежные компрессоры, как правило, обладают достаточно большим диаметром рабочего

колеса. Многоступенчатые осевые компрессоры – обладают меньшим диаметром, но длиннее в осевом направлении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воронежский, А.В. Современные компрессорные станции (Концепции, проекты, оборудование) / А.В. Воронежский. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2008. – 614 с.

УДК 621.941.1

Шапко А.В.

## МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ СЛИВНОЙ СТРУЖКИ

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: Данильчик С.С.*

В зависимости от свойств обрабатываемого материала и условий резания различают следующие виды стружек: сливную, суставчатую, скалывания и надлома. Однако, учитывая то, что процесс резания осложняется наличием сливной стружки, для последней используют дополнительную классификацию: ленточная прямая, запутанная; непрерывная спиральная, штопорообразная, винтовая, цилиндрическая; дробленая плоская (элементы до 3-5 мм) и спиральная (элементы до 1-1,5 витков) и т.п. Использование в современном машиностроении автоматизированных производств, станков с ЧПУ и «безлюдных» технологий сделало актуальной проблему управления процессом стружкообразования. При этом, необходимо было решить следующие основные задачи: уменьшить отрицательное влияние сливной стружки на шероховатость обработанной поверхности и долговечность работы режущего инструмента и приспособлений; улучшить условия удаления стружки из зоны резания и транспортировки ее от станка; обеспечить безопасные условия труда рабочих. Одним из способов решения данных задач является дробление стружки. Наиболее известны следующие методы дробления сливной стружки.

Управление геометрией режущего инструмента – метод, наиболее эффективный при использовании инструментов с перетачиваемой режущей частью. Известно, что наибольшее влияние на процесс стружкообразования оказывают передний угол, главный угол в плане и угол наклона режущей кромки. Уменьшение переднего угла  $\gamma$  до его отрицательных значений дает возможность увеличить деформации срезаемого слоя, и в зависимости от предела прочности обрабатываемого материала и напряжений, возникающих в стружке, создаются условия для ее завивания или ломания [1].

Назначение режимов резания в пределах области устойчивого стружколомания используется для инструментов со сменными многогранными пластинками.

Наибольшее влияние на процесс стружкообразования из режимов резания оказывают величины подачи и глубины резания. Поэтому, как правило, зоны устойчивого дробления стружки определяют путем испытания сменных многогранных пластинок различных форм в различных диапазонах глубин резания и подач.

Использование инструментов с лунками, уступами и накладными стружколомами на передней поверхности дают возможность устанавливать при резании удобные форму, размеры и направление движения стружки, за счет резкого увеличения деформаций по ее ширине и толщине. Лунки и уступы формируются как на инструментах, подвергаемых заточке, так и на сменных многогранных пластинках.

Использование схем резания, позволяющих получить стружку заданных размеров применяется при больших величинах толщины или ширины срезаемого слоя. В этом случае влияние на процесс стружкообразования осуществляется изготовлением стружкоразделительных канавок на режущих кромках инструмента или путем предварительного нарезания кольцевых (винтовых) канавок на обрабатываемой поверхности детали. Количество, формы и размеры стружкоразделительных канавок на режущей кромке

определяются типом режущего инструмента, свойствами обрабатываемого материала и припуском на механическую обработку.

Управление кинематикой резания. Этот метод дает возможность получать желаемую по форме и размерам стружку независимо от режимов резания и геометрии режущего инструмента [2]. К кинематическим методам дробления стружки относятся дискретное и вибрационное резание. Дискретное резание заключается в том, что инструменту сообщают подачу немного больше заданной, и после совершения нескольких оборотов заготовки ее выключают. Заготовка совершает один оборот без подачи, что приводит к перерезанию сливной стружки. Периодическое включение и выключение подачи позволяет получать стружку необходимой длины.

Суть вибрационного резания заключается в том, что режущему инструменту или обрабатываемой заготовке задается, помимо основной рабочей подачи  $S_0$ , дополнительное колебательное движение в направлении основной подачи с амплитудой колебаний  $A$ . Для обеспечения устойчивого процесса дробления стружки частота задаваемых колебаний не должна быть кратной частоте вращения детали. Эксперименты показали, что наилучшее дробление стружки достигается при соотношении частоты задаваемых вибраций  $f$  к частоте вращения заготовки  $n$ :

$$\frac{f}{n} = 0,5; 1,5; 2,5 \dots \frac{2k+1}{2}.$$

Минимальная теоретическая амплитуда  $A$  колебаний режущего инструмента в этом случае равна  $\frac{S_0}{2}$ .

Вибрационное точение является эффективным способом стружкодробления в процессе обработки деталей, но при этом снижается качество обработанной поверхности [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закураев, В.В. Физические предпосылки разработки метода управления процессом завивания и дробления сливной стружки / В.В. Закураев // Вестник машиностроения. – 2002. – № 12.
2. Власов, А.Ф. Безопасность при работе на металло-режущих станках / А.Ф. Власов. – М.: Машиностроение, 1977. – 120 с.
3. Лавров, Н.К. Завивание и дробление стружки / Н.К. Лавров. – М.: Машиностроение, 1971. – 88 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция «Новые материалы и технологии»

<i>Авдейчук Е.С.</i> Особенности технологии и оборудования для нанесения покрытий на основе нитрида титана на зеркальную листовую нержавеющую сталь .....	3
<i>Азарчик П.Н.</i> Расчет рабочих камер вакуумных установок прямоугольной формы .....	5
<i>Балыдко Д.Н., Шатило А.А.</i> Оценка структурных характеристик слоев на крупнопористой керамической подложке .....	9
<i>Бунто С.В.</i> Вакуумные установки нанесения покрытий магнетронного типа .....	11
<i>Вишневский В.Ч.</i> Устройство и принцип действия электродуговых испарительных устройств .....	14
<i>Гордейко С.А.</i> Особенности применения макулатуры сборной для получения тароупаковочных видов бумаги и картона .....	17
<i>Гутич Е.А.</i> Получение геометрии винтовой части роторов винтовых компрессоров с использованием систем САПР .....	20
<i>Данильчик П.С.</i> Качество поверхностей, обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента .....	22
<i>Даукишис А.И.</i> Вакуумная сушка материалов .....	24
<i>Евтухов К.С.</i> Деформирующий инструмент для радиального прессования тел сложной геометрической формы .....	25
<i>Евтухова Т.Е.</i> Формирование блочных адсорбентов на основе углеродных волоконных материалов .....	28
<i>Сечная И.В., Журавлева М.В.</i> Электрохимическое исследование защитных свойств модифицированных полимерных покрытий .....	31

<i>Зуёнок А.В.</i> Технология электроимпульсной полировки поверхностей деталей .....	35
<i>Кирикович М.К.</i> Проектирование привода открывания, закрывания створок дверей общественного транспорта .....	39
<i>Кирюхова С.А.</i> Особенности работы низкотемпературных спиральных компрессоров ....	42
<i>Ковалевич Э.В.</i> Оценка проводимости вакуумных трубопроводов в вязкостном режиме течения газа ...	44
<i>Крепский Е.А.</i> Современное состояние рынка безмасляных форвакуумных средств откачки .....	46
<i>Кубик И.Ю.</i> Предварительная подготовка поверхности основы для формирования вакуумно-плазменных покрытий .....	48
<i>Куркин И.В.</i> Особенности ротационных компрессоров с катящимся ротором .....	51
<i>Лапо В.О.</i> Применение углепластиковых композиционных материалов в автомобилестроении .....	54
<i>Лось Е.Ф.</i> Технология получения NPKMg удобрений .....	57
<i>Лукашевич Е.Н.</i> Особенности и области применения водокольцевых вакуумных насосов .....	59
<i>Лухверчик Е.В.</i> Многослойное зеркальное покрытие..	62
<i>Маскевич Е.А., Сычёва Н.А.</i> Новые технические решения в технологии топливных гранул .....	65
<i>Матвеев А.К., Бровка Ю.В., Логунова А.С.</i> Исследование влияния конструкции технологической оснастки на твердость материалов из отходов полиуретанов .....	68
<i>Махрова Е.В., Крупица Н.В.</i> Исследование термической дегидратации высокодисперсных полигидратов оксидов металлов .....	70

<i>Мачула В.А.</i> Технология получения сульфата магния .....	73
<i>Михеев И.И.</i> Разработка ультразвуковых колебательных систем для удаления загрязнения в жидкой среде .....	76
<i>Михеев И.И.</i> Разработка ультразвуковых ванн для очистки оптических и электронных модулей .....	79
<i>Нарушко Е.О.</i> Технологический процесс и оборудование для нанесения многокомпонентных покрытий на детали высокотемпературной техники.....	81
<i>Павлюченя Д.А.</i> Назначение и особенности получения оптических покрытий .....	83
<i>Пархимович А.Л.</i> Использование глинистых материалов для очистки растворов от ионов некоторых металлов .....	85
<i>Пастушенко Е.А., Зуенок А.В.</i> Особенности получения пористых проницаемых изделий из шихты на основе гранита .....	89
<i>Пешков С.Ю.</i> Получения композиционных пигментных материалов на основе гальванических шламов для силикатного кирпича .....	93
<i>Пигас А.А.</i> Методы измерения износа инструмента..	95
<i>Попова В.А.</i> Сухие вакуумные насосы с когтевым механизмом.....	98
<i>Рокало Н.В., Савчук Н.А.</i> Определение циклической долговечности с применением пакета MATHCAD.....	101
<i>Русецкая А.Н., Дубовик А.А.</i> Технология проклеивания бумаги, содержащей макулатуру .....	104
<i>Рябцев Р.Л.</i> Особенности конструкторской САПР AUTODESK-INVENTOR .....	107
<i>Севрук О.А.</i> Имитаторы космического пространства...	111
<i>Станютко Д.О.</i> Технологический процесс вакуумной фильтрационной установки .....	114

<i>Сумич А.И., Чумак С.В.</i> Особенности кристаллизации сесквикарбоната натрия в карбонатсодержащих системах .....	118
<i>Терещук О.И., Гладкий В.Ю.</i> Эффект казимира .....	120
<i>Тимохович Д.В.</i> Вакуумная сушка материалов .....	123
<i>Фирсова Л.Д., Грукалова Е.В.</i> Изучение системы «вода-ПАВ-бензол» турбидиметрическим методом.....	126
<i>Черкас С.А.</i> Применение центробежных систем внутренней циркуляции масла в поршневых компрессорах .....	128
<i>Чернухо А.О.</i> Сравнение эксплуатационных характеристик осевых и центробежных компрессоров .....	130
<i>Шапко А.В.</i> Методы дробления сливной стружки ...	132

Научное издание

Инженерно-педагогическое  
образование в XXI веке

МАТЕРИАЛЫ

VIII Республиканской научно-практической  
конференции молодых ученых и студентов БНТУ

(68-й студенческой научно-технической конференции БНТУ)

17–18 мая 2012 года

В 3 частях

Часть 1

Подписано в печать 04.05.2012. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 6,36. Тираж 50. Заказ 536.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.