

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,