

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Сафронова Е.А. – магистрант, Одинаев Е.О. – магистрант,  
Федоров В.А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
(г. Барнаул)

Напыление представляет собой процесс нанесения покрытия на поверхность детали с помощью высокотемпературной скоростной струи, содержащей частицы порошка или капли расплавленного напыляемого материала, осаждающиеся на основном материале при ударном столкновении с его поверхностью.

История напыления насчитывает уже десятки лет, в течение которых совершенствовался способ упрочнения деталей машин, разрабатывались новые источники нагрева, имеющие высокие энергетические характеристики; создавалась аппаратура для непрерывной подачи напыляемого материала в виде проволоки или порошка; разрабатывалось и изготовлялось комплектное оборудование, типы и модификации которого к настоящему времени стали достаточно многочисленными.

Развитие современного транспорта, машино- и приборостроения, а также медицинской техники и товаров народного потребления характеризуется все возрастающим применением новых конструкционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Проблема ограниченности природных запасов большинства химических элементов, составляющих основу этих материалов, решается путем применения сложных структур, в которых основа выполнена из «обычных» легко обрабатываемых и широко распространенных компонентов, а функциональную нагрузку выполняет покрытие из материалов с заданным комплексом свойств. В настоящее время наиболее эффективными методами формирования таких покрытий являются процессы газотермического напыления, среди которых плазменное напыление можно считать наиболее универсальным и легко управляемым. Технологические преимущества плазменного напыления заключаются в эффективном управлении энергетическими характеристиками напыляемых частиц и условиями формирования покрытия за счет гибкости регулирования параметров и режимов работы плазмотрона; высокие ко-

эффициент использования порошка (до 85%), прочность сцепления покрытия с основой (до 80 МПа), низкая пористость; высокая производительность процесса; универсальность за счет получения покрытий из большинства материалов без ограничения их температур плавления; нанесение покрытия на изделия, изготовленные практически из любого материала; отсутствие ограничений по размерам напыляемых изделий; низкое термическое воздействие на напыляемую основу, что позволяет избежать деформаций, изменений размеров изделий, а также исключить нежелательные структурные превращения основного металла; нанесение покрытия на локальные поверхности; нанесение покрытия с минимальными припусками для последующей механической обработки; маневренность и возможность автоматизации процесса.

Целью плазменного напыления является изготовление деталей и изделий со специальными свойствами поверхности: износостойкостью (за исключением деталей, испытывающих ударно-абразивное изнашивание), антифрикционностью, коррозионностойкостью, жаростойкостью, кавитационностойкостью, эрозионностойкостью, электроизоляцией, стойкостью против фреттинг-коррозии и др.

Оборудование для плазменного напыления состоит из источника тока, блока аппаратуры, малогабаритного плазмотрона и порошкового дозатора. Плазмотрон и порошковый дозатор изготавливаются по оригинальным конструкторским разработкам.

Технологический процесс плазменного напыления состоит из предварительной очистки (любым известным методом), активационной обработки (например, абразивно-струйной) и непосредственно нанесения покрытия путем перемещения изделия относительно плазмотрона или наоборот. Скорость перемещения 2...30 мм/сек, расстояние между плазмотроном и изделием 100...150 мм, диаметр пятна напыления 10...25 мм, толщина покрытия 0,05...5,0 мм. Температура на-

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

грева деталей при плазменном напылении не превышает 100...150° С. Плазмообразующим газом являются, как правило, аргон или воздух. Расход аргона 15...20 л/мин. В качестве порошкового материала, формирующего покрытие, используются различные материалы и сплавы, тугоплавкие соединения, оксиды, полимеры и их композиции размером частиц до 100 мкм.

Нами разработан плазмотрон с подвижной зоной плазмообразования, которая позволяет подавать напыляемый порошок в необходимую область плазмы, выходящей из сопла плазмотрона, что позволяет регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой.

Технология плазменного напыления и установка могут использоваться для нанесения широкого спектра порошков с целью получения напылённых поверхностей с необходимой структурой и свойствами.

На рисунке 1 представлена схема установки для плазменного напыления покрытий. В электрическую дугу между охлаждаемыми катодом и анодом в виде сопла подается газ, образуя высокотемпературную плазменную струю. В эту струю подается наплавочный порошок, который, нагреваясь, в виде двухфазного потока вылетает из сопла и ударяется о напыляемую поверхность. При ударе частицы порошка наплавляются и кристаллизуются или полимеризуются на изделии, образуя защитное покрытие. Благодаря подвижной насадке-питателю плазмотрона можно регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой, что возможно из-за большой разницы температур плазменной струи, выходящей из сопла плазмотрона.

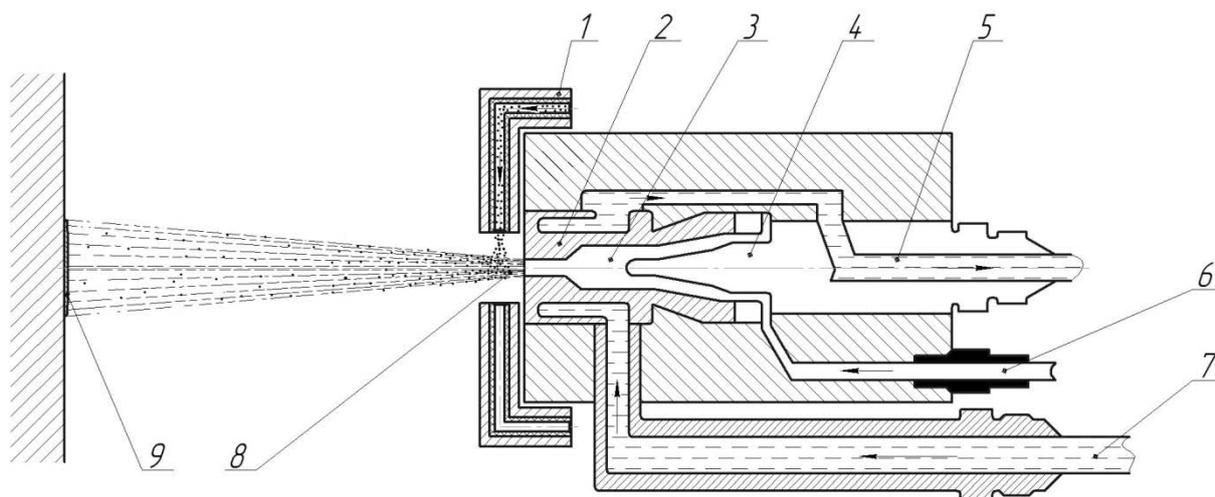


Рисунок 1 – Схема установки для плазменного напыления покрытий: 1 – подвижная головка с напыляемым порошком; 2 – анод плазмотрона; 3 – плазменная струя; 4 – катод плазмотрона; 5 – охлаждающая жидкость «-» питания; 6 – инертный газ; 7- охлаждающая жидкость «+» питания; 8 – высокотемпературная струя; 9 – напыляемое покрытие

Служебные свойства изделий с покрытиями определяются не только свойствами материала, который был использован при создании рабочей поверхности. Сам процесс нанесения покрытия имеет большие потенциальные возможности как в плане создания новых видов покрытий, так и техники исполь-

зования самой технологии. Конструирование покрытия включает в себя определение толщины слоя материала, создающего рабочую поверхность, выбор его состава и структуры системы "покрытие - основа". Традиционно применяется несколько типов структуры покрытий (рисунок 2).

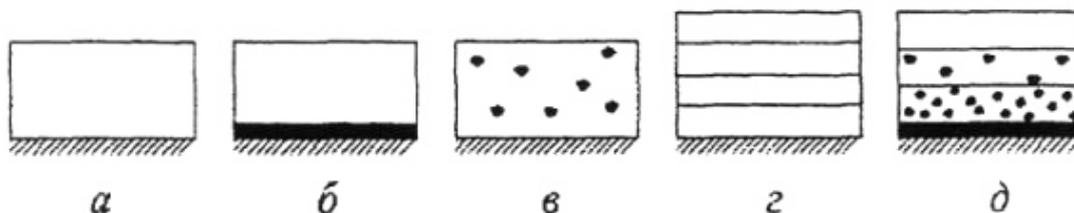


Рисунок 2 - Типы структуры покрытий

Довольно распространенным является однослойное покрытие (рисунок 2, а). Его использование целесообразно в случае создания конструкции "покрытие - основа" из материалов с соизмеримыми значениями коэффициентов термического расширения. Необходимым условием является также обеспечение прочности сцепления покрытия с основой. Как правило, такие условия выдерживаются при нанесении металлических покрытий на металлическую основу.

Более распространенным является покрытие с подслоем (рисунок 2, б). Подслой имеет меньшую, относительно основного слоя покрытия, толщину, лежащую в пределах 0,025... 0,1 мм. Назначение подслоя — в обеспечении крепкой связи покрытия с основой. Кроме того, его часто используют как переходный слой между материалами основы и основного покрытия для уменьшения разности их коэффициентов термического расширения. Зачастую как подслоя исполь-

зуются никель-алюминиевые материалы в виде композиционных порошков или сплавов; при нанесении оксидных покрытий для этого пригодны так же никель-титановые сплавы.

За счет соединения свойств матрицы и наполнителей можно получить покрытие с многокомпонентной структурой (рисунок 2, в). Покрытия такого типа могут быть получены при нанесении механических смесей покрытий или композиционных порошков. В случае эксплуатации покрытия в условиях механических ударных нагрузок и теплосмен используются многослойные и градиентные структуры (рисунок 2 г, д). При этом, градиентная структура может быть как слоистой (из нескольких слоев с различным соотношением компонентов), так и непрерывной (отношение компонентов по толщине покрытия изменяется плавно) в результате их раздельного дозирования в процессе напыления.

На рисунке 3 показана схема структуры напыленного покрытия.

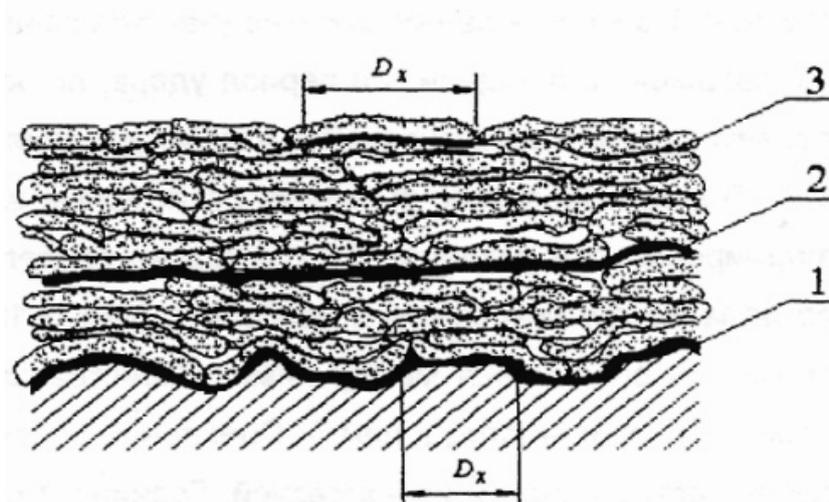


Рисунок 3 - Схема структуры покрытия: 1 - граница между покрытием и основой; 2 – межслойная граница, 3 - граница между частицами; Dx - диаметр участка пятна контакта, на котором происходит «приваривание» частицы

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Применение разработанного плазмотрона с подвижной насадкой-питателем возможно в:

- машиностроении;
- автомобильной промышленности;
- электротехнической и электронной промышленности;
- строительстве, угле- и нефтедобывающей промышленности;
- химической промышленности;
- бытовой технике.

Продукт для потребителя уникален тем, что подвижная насадка-питатель плазмотрона позволяет регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой, тем самым появляется возможность получения необходимого покрытия с требуемыми свойствами.

Инновационный продукт в виде малогабаритного плазмотрона может быть интересен среднему и малому бизнесу, конечным потребителям, а также покупателям.

Альтернативой композиционным покрытиям, полученным плазменным напылением являются полимерные и лакокрасочные покрытия, которые также используются для поверхностного упрочнения деталей, но применение плазменного напыления является более эффективным для защиты изделий от коррозии, износа, кавитации и других вредных факторов. Принципиально новыми качествами возможностями композиционных покрытий, полученных методом плазменного напыления, являются: получение покрытий с необходимыми свойствами (данный метод позволяет выбирать и контролировать толщину напыляемого материала, а также прочность сцепления напыляемых частиц с основой); получение защитные покрытия со специальными свойствами и их комбинациями (электропроводность, износостойкость, термостойкость, антифрикционность, светостой-

кость, задаваемые пористость или проницаемость); метод пригоден для получения покрытий из слоёв различных материалов.

В настоящее время ведется доработка конструкции подвижной насадки-питателя плазмотрона и основных параметров самого плазмотрона. Готовится заявка для патентования новой конструкции плазмотрона с подвижной насадкой-питателем. На завершающем этапе программы «У.М.Н.И.К.» планируется изготовить и испытать экспериментальный образец плазмотрона с получением данных для дальнейшей оптимизации конструкции в целом. В перспективе возможно открытие нового предприятия для напыления покрытий методом плазменного напыления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. Х12 В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985 – 240 с., ил.;
2. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухия, Д.М. Никитин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделения, 1985. – 199 с., ил.;
3. Коротеев А.С. и др. Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет / А.С. Коротеев, В.М. Миронов, Ю.С. Свирчук. – М.: Машиностроение, 1993. – 296 с.;
4. Лашенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. – К.: «Экотехнология», 2003. – 64 с.;
5. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. М.: Машиностроение, 1966. - 432 с.;
6. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. - 192 с.;
7. Основы научных исследований: Учебник для технических вузов/ В.И. Крутов, И.М. Глушко, В.В. Попов и др. Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 2009. – 400 с.;