

## Лабораторная работа № 4

### Нанесение порошковых полимерных покрытий в камерах с электрическим кипящим слоем

#### 1. Цель работы

Ознакомление с технологией и устройствами для нанесения порошковых полимерных покрытий в электрическом поле. Изучение процесса нанесения покрытий на изделия в камерах с электрическим кипящим слоем.

#### 2. Предварительные сведения

Технология нанесения порошковых покрытий в электрическом поле находит широкое применение практически во всех областях промышленного производства, где нужно получать защитные, декоративные, электроизоляционные, химстойкие и др. покрытия. Технологический процесс получения покрытий из порошков заключается в сообщении электрического заряда частицам диэлектрического порошкового материала, осаждении их под действием электрических сил из аэрозольного облака, окружающего заземленное изделие и закреплении нанесенного слоя. Сформированное порошковое покрытие в результате последующей термообработки расплавляется, спекается или полимеризуется и превращается в монолитную пленку.

Порошковые покрытия дают экономическую выгоду производителю до 30 % по сравнению с покрытиями, получаемыми с помощью жидких лакокрасочных материалов. Они существенно улучшают эксплуатационные характеристики изделий с покрытиями. Преимущества обеспечиваются за счет:

- практически полного отсутствия потерь покрывного материала;
- исключения из технологии окраски дорогостоящих и загрязняющих окружающую среду растворителей;

- возможности получения покрытия толщиной 40 мкм и выше за один цикл напыления;
- возможности получения покрытий с новыми, более высокими эксплуатационными характеристиками за счет применения в качестве покрывного материала веществ и соединений, которые переработать в покрытие можно только с использованием порошковой технологии;
- высокой производительности, улучшения условий труда и др.

В технологии напыления порошковых покрытий в настоящее время используются следующие материалы: эпоксидные смолы, эпоксиполиэфиры, полиэтилены, пентапласты, фторопласты, акрилы, поливинилбутираль, стекломали и др.

Зарядку частиц порошкового материала в установках для напыления осуществляют, используя два метода: ионную зарядку (осаждение ионов из объема газа в поле коронного разряда) и статическую электризацию (обмен зарядами между самими частицами и другими телами при их контактировании).

Коронный разряд возникает в электродных системах с резконеоднородным полем игла - плоскость и др.). Зона ионизации, в которой сосредоточены электроны и ионы, занимает небольшой объем вблизи электрода с малым радиусом закругления. Основную часть межэлектродного пространства занимает внешняя зона коронного разряда, в которой сосредоточены ионы одного знака, отсутствует ионизация и происходит зарядка частиц диэлектрического (например, полимерного) порошка.

Существует два вида устройств для напыления порошков в электрическом поле: с помощью распылителей (рис. 4.1) и с помощью камер с электрическим кипящим слоем (рис. 4.2).

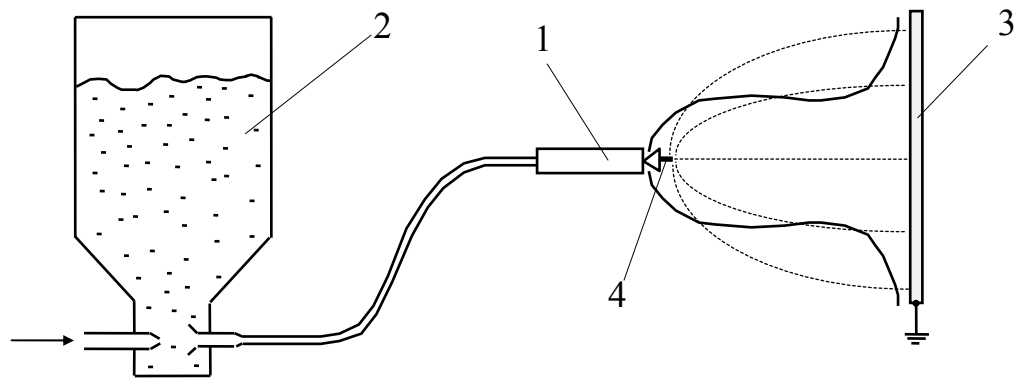


Рис. 4.1 Нанесение покрытия с помощью распылителя.

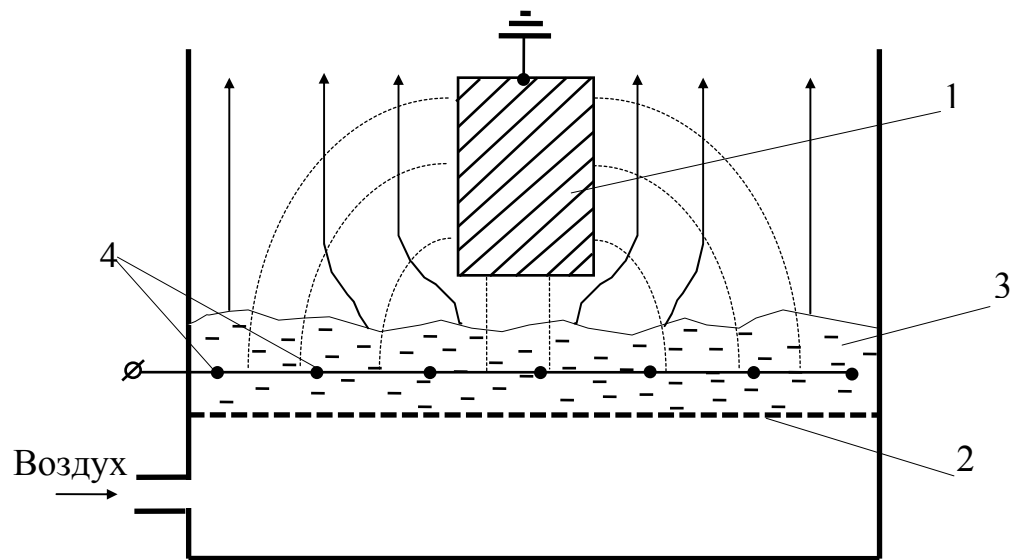


Рис. 4.2 Нанесение покрытия в камере с кипящим слоем.

В первом варианте (рис. 4.1) основным элементом установки является ручной или стационарный распылитель. Порошок подхватывается из дозатора 2 потоком воздуха, транспортируется по шлангам, проходит распылитель 1 с распылительным соплом. На выходе распылителя образуется аэрозольное облако. Заземленное изделие 3 помещают в вытяжном шкафу таким образом, чтобы аэрозольное облако достигало его поверхности. Внутри распылителя или в зоне распылительного сопла устанавливаются коронирующие электроды 4. Наиболее часто коронирующий электрод изготавливается в виде иглы. После подачи постоянного высокого напряжения (преимущественно отрицательной полярности) на коронирующий электрод 4 происходит зарядка порошка и осаждение заряженных частиц из облака на заземленном изделии. Электрическое поле, возникающее между иглой и заземленным изделием обеспечивает силовое воздействие на заряженные частицы и является основным фактором, обеспечивающим осаждение их из факела на изделие и формирование слоя покрытия. Большую роль в этом процессе играют также силы электростатического рассеяния самого облака заряженных частиц.

Во втором варианте (рис. 4.2) для нанесения используется камера с электрическим кипящим слоем. Заземленное изделие 1 помещают в диэлектрическую камеру, содержащую пористую перегородку 2, на которую насыпают порошковый материал 3. Внутри слоя порошка установлены высоковольтные электроды 4. Порошок переводится во взвешенное состояние при избыточном давлении воздуха под пористой перегородкой. Частицы, находящиеся в вихревом движении в кипящем слое, получают заряд в основном при контакте с высоковольтными электродами. В электрическом поле между высоковольтными электродами и изделием происходит разделение частиц по знакам зарядов (заряды противоположного знака образуются в слое за счет соударения частиц между собой и со стенками камеры), вынос заряженных частиц в объем камеры над поверхностью кипящего слоя. Таким образом весь объем камеры от поверхности пористой перегородки до изделия оказывается заполненным взвешенным порошком. Такое состояние порошка в ка-

мере называется электрическим кипящим слоем. Под воздействием электрического поля происходит осаждение заряженных частиц на изделия и формирование покрытия.

На практике электростатические распылители используются чаще, т.к. они являются универсальными устройствами, для них не существует ограничений по габаритам, степени сложности профиля поверхности изделия. Камеры кипящего слоя в силу условия выноса заряженных частиц к изделию под действием электрического поля имеют ограничения по высоте покрываемого изделия. Высота не должна превышать ~5 см. Эти устройства используют для нанесения покрытия на малогабаритные детали типа корпусов радиоэлектронных элементов, получения пазовой изоляции электрических машин малой мощности и др. Преимуществами камер с кипящим слоем являются простота, низкие капитальные затраты, возможность получения покрытий до 100-200 мкм за время 1 - 3 с (высокая производительность).

Рассмотрим основные процессы, сопровождающие нанесение порошковых покрытий.

1. Зарядка частиц. При напылении распылителями следует иметь отчетливое представление, как должна регулироваться и от каких факторов зависит величина заряда. Заряд  $Q$ , приобретаемый в поле коронного разряда частицей радиусом  $a$  из материала с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_m$ , определяется из выражения

$$Q = Q_m \cdot \xi \quad (4.1)$$

где  $Q_m$  - предельный заряд

$$Q_m = 4\pi\epsilon_0 \frac{3 \cdot \epsilon_m}{\epsilon_m + 2} \cdot a^2 \cdot E \quad (4.2)$$

$\xi$ - коэффициент степени недозарядки частиц, указывающий, на сколько недозаряжен порошок по сравнению с теоретическим предельным зарядом для используемой конфигурации межэлектродного промежутка, при выбранной напряженности электрического поля  $E$ , выбранном времени зарядки  $t$  при реальной плотности тока  $j$ .

$$\xi = \frac{j \cdot t}{4\epsilon_0 \cdot E + j \cdot t} \quad (4.3)$$

Анализируя представленные выражения, можно установить, что для увеличения заряда частиц необходима увеличивать напряженность электрического поля, плотность тока коронного разряда и время зарядки.

2. Процессы в осажденном слое порошка. По мере нарастания толщины слоя порошка на поверхности изделия напряженность электрического поля в слое возрастает до пробивных значений. Возникающие разрядные явления в слое порошка носят название "обратный коронный разряд". Время до возникновения обратной короны находится из условия накопления заряда в слое и вычисляется по формуле:

$$t_{ок} = \frac{8\epsilon_0 \cdot \epsilon_{сл} \cdot E_{пр}}{j}, \quad (4.4)$$

где  $\epsilon_{сл}$  - относительная диэлектрическая проницаемость порошкового слоя, вычисляемая по формуле:

$$\epsilon_{сл} = \epsilon_m \cdot K_{уп}, \quad (4.5)$$

где  $K_{уп}$  - коэффициент упаковки, характеризующий пористость слоя, равен отношению толщины оплавленного покрытия к толщине неоплавленного слоя.

$$K_{уп} = \frac{h_{опл}}{h_{сл}} = \frac{\Delta m_{ос}}{h_{сл} \cdot \gamma_m \cdot \Delta S}, \quad (4.6)$$

где  $\gamma_m$  - плотность материала порошка;  $B$  - коэффициент, изменяющийся от  $B = 1$  для камер с кипящим слоем и трибоэлектрических распылителей до  $B = 2$  для электростатических распылителей с внешней зарядкой порошка.

При обратном коронном разряде из порошкового слоя внешним электрическим полем в пространство над слоем порошка вытягиваются ионы, противоположные по знаку зарядам осаждающихся частиц. Ионы обратной короны разряжают подлетающие к изделию частицы, в результате падает плотность потока массы порошка, осаждающегося на изделие, и замедляется рост толщины слоя. Кроме того, появление развитого обратного коронного разряда вызывает образование кратеров в порошковом слое, что ухудшает качество получаемого оплавленного покрытия.

При освоении основ организации процесса напыления в камерах с кипящим слоем практический интерес представляет сопоставление процессов, протекающих в камере с характеристиками получаемого покрытия. В течение 1-2 с в камере преобладает направленное движение по траекториям, близким к силовым линиям электрического поля. Покрытие в это время получается ровным. С увеличением времени напыления в периферийных участках объема камеры возникает вихревое движение и, спустя примерно 5 - 6 с такое движение становится преобладающим, и на поверхности порошкового слоя на изделии можно наблюдать местные отрывы порошка, кратеры, т.е. имеет место интенсивная обратная корона. Вблизи покрываемого изделия





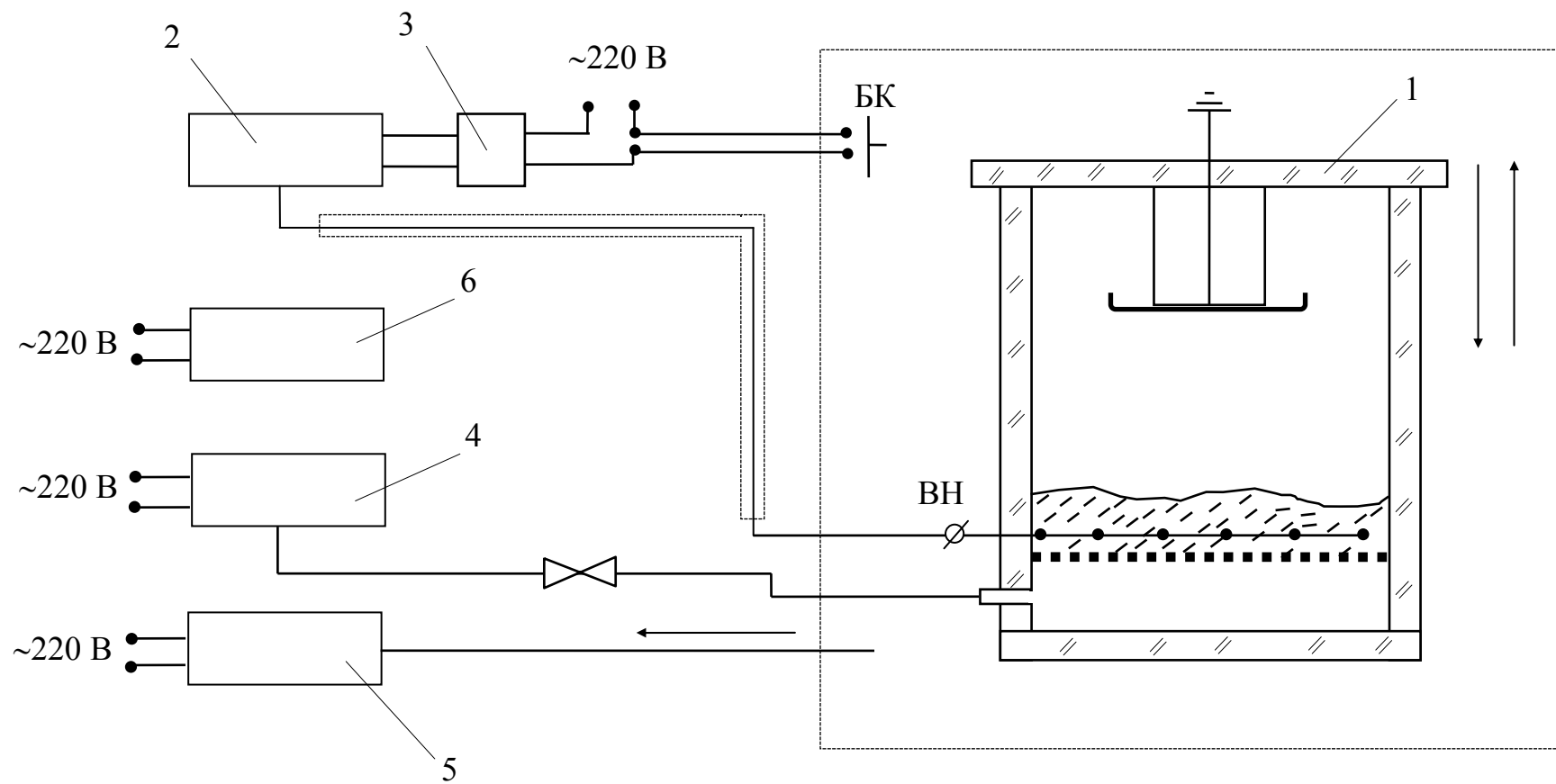


Рис. 4.3 Схема лабораторного стенда

Для оплавления покрытий в установке предусмотрена электропечь 6 марки СНОЛ 2.5×2.5×2.5.

На пульте управления установки смонтированы коммутирующие аппараты, а также аппаратура контроля включения отдельных электрических цепей в соответствии с ПУЭ.

#### 4. Задание на предварительную подготовку

1. Ознакомиться с данным описанием.
2. Какие виды зарядки частиц используются при электростатическом напылении?
3. Рассчитать время возникновения обратного коронного разряда для распылителя с плотностью тока  $\dot{j} = 20 \text{ мкА/м}^2$  и камеры, с плотностью тока  $15 \text{ мкА/м}^2$ . Порошок марки П-ЭП-219, диэлектрическая проницаемость материала  $\epsilon_m = 4$ ,  $\gamma_m = 1.4 \text{ г/см}^3$ . Считать  $K_{уп} = 0.4$ .

#### 5. Задание на проведение работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом, изучить инструкцию по эксплуатации. Включить печь.
2. Изучить наглядные пособия. Определить, для каких изделий, выпускаемых известными вам производствами и предприятиями целесообразно использовать технологию порошкового напыления.
3. Открыть вытяжной бокс, снять верхнюю крышку камеры, измерить высоту  $h$  порошкового слоя. Если  $h < 2 \text{ см}$ , досыпать порошок в камеру.
4. Включить компрессор. Отрегулировать зажимом расход воздуха таким образом, чтобы в камере существовал кипящий слой порошка. Обратит внимание на следующие показатели кипения порошка:

- объем, заполненный порошком при кипении должен составить 1.3 - 1.5 от первоначального;
- на поверхности кипящего слоя должны отсутствовать местные локальные прорывы воздуха;
- при покачиваниях камеры порошок в ней должен легко "переливаться", сохраняя поверхность практически горизонтальной.

5. Выключить компрессор.

6. Установить деталь на заземленном держателе, закрыть камеру, дверцу вытяжного бокса, включить источник высокого напряжения, нажать кнопку РВ и держать ее одной рукой. Другой рукой установить напряжение 25 - 30 кВ, ток 0 - 1 мкА. Отпустить кнопку.

7. Произвести пробное напыление, включив для этого пылесос, компрессор, источник высокого напряжения, нажать кнопку РВ и держать ее в нажатом положении до загорания лампочки, установленной над кнопкой РВ. Кнопку отпустить, отключить все цепи, кроме печи и пылесоса. Снять верхнюю крышку камеры, счистить щеткой порошок с держателя детали в камеру. Запомнить какого вида был напыленный слой.

8. Установить съемную деталь  $\varnothing 115$  мм на систему крепления. Произвести все операции по п. 7. Изделие аккуратно снять и поместить в печь покрытием вверх. Засечь время. Через 15 минут деталь с покрытием вынуть из печи.

9. Установить новую деталь и выполнить п. 7 и 8, установив время напыления (время нажатия кнопки РВ) 10 с. Зафиксировать изменение внешнего вида покрытия до и после оплавления для каждой напыляемой детали.

10. Напылить покрытие на деталь в течение 10 - 30 с. Визуально определить, каким образом меняется характер движения частиц а объеме камеры, когда возникает и как распространяется свечение в камере, каким образом меняются ток и напряжение в различные моменты времени напыления. Оценить время возникновения обратной короны. Счистить порошок с образца обратно в камеру.

11. Увеличить напряжение до 30 - 36 кВ, ток 5 - 10 мкА и проанализировать по приборам, как изменяются во времени электрические параметры процесса, как изменяется внешний вид покрытия при фиксированных  $t = 1; 2; 4; 6; 10$  с.

12. Измерить толщины покрытия  $\delta$  микрометром в 6 точках для каждой детали, определить среднее значение толщины покрытия и средне-квадратичное отклонение.

13. Оформить результаты измерений и визуальных исследований в виде отчета.

## 6. Контрольные вопросы

1. Возможно ли сочетание различных методов зарядки порошкового материала в устройствах для нанесения покрытий?

2. Как меняется коэффициент упаковки слоя порошка при возникновении в нем обратного коронного разряда?

3. Существуют ли ограничения по габаритам изделия при нанесении покрытия в камерах с электрическим кипящим слоем?

## Литература

Технология и оборудование для нанесения полимерных покрытий в электрическом поле /И. П. Верещагин, Н.Б. Котлярский, В.С. Морозов и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990.