

Методика определения эффективности работы распылителей при нанесении порошковых покрытий

А.Ф. Артамонов, А.Н. Бондарев, Г.С. Догадин, В.К. Лобанов,
В.В. Панюшкин, С.И. Хренов
НПФ «ЭЛСТАР», Москва

Технология нанесения порошковых покрытий (Пк) на изделия с помощью распылителей пользуется в промышленности все большим спросом. Наличие на производстве распылителей разнообразных конструкций, а также огромного ассортимента распылительного оборудования, которое может работать с отклонениями от паспортных данных, зачастую вызывает у разработчиков и потребителей этого оборудования необходимость в определении эффективности работы конкретного распылителя.

В настоящее время практически единственным устройством, позволяющим оценить работу распылителя, является триботестер, использование которого в промышленных условиях очень удобно благодаря оперативному получению данных, компактности и простоте измерений. Выдвижной зонд (щуп) прибора помещается между распылителем и изделием, при этом на экране дисплея с определенной точностью отображается значение потенциала электрического поля, созданного заряженными частицами порошка (как в трибостатических распылителях), или сумма потенциалов собственного поля частиц и внешнего электростатического поля зарядного устройства (как в электростатических распылителях). Фиксируемые значения коррелируют с общими представлениями о роли электрического поля в процессе электростатического нанесения порошкового ЛКМ, однако, как правило, не позволяют оценить эффективность процесса нанесения с точки зрения практически важных показателей.

В отличие от измерений, проводимых с помощью триботестера, предлагаемая в настоящей статье методика позволяет количественно оценить эффективность работы распылителей, учесть основные параметры распыления в их взаимосвязи, что дает возможность сопоставить и проанализировать полученные результаты. Рассмотрим также комплекс оборудования, необходимого для реализации методики.

При нанесении порошковых ЛКМ с помощью распылителей после зарядки частиц краски происходит их осаждение и удержание на поверхности проводящего изделия. Однако часть порошка, увлекаемая воздушными потоками, минует изделие и улавливается системой рекуперации окрасочной камеры. После нанесения порошкового Пк на изделие оно отправляется в печь полимеризации, где происходит расплавление частиц ЛКМ и формирование защитно-декоративного Пк.

Главными показателями при нанесении порошковых Пк являются прежде всего эффективность осаждения порошка на изделие и скорость его нанесения на поверхность

изделия. Под эффективностью осаждения понимают отношение массы осевшего на изделие порошка к массе распыленного порошка. Скорость нанесения порошкового Пк определяется величиной плотности потока массы порошка, осаждающегося на единицу поверхности напыляемого изделия в единицу времени.

Кроме указанных выше интегральных показателей, процесс нанесения порошковых Пк характеризуется величиной заряда частиц порошкового ЛКМ, расходом краски и воздуха через распылитель, расстоянием между распылителем и изделием, диаметром факела порошка, размерами и формой напыляемого изделия, временем нанесения Пк, размером частиц порошка и т.д.

Учитывая многофакторность процесса нанесения порошкового Пк, необходимо выбрать наиболее важные показатели, которые следует измерять по разрабатываемой методике для более полной оценки эффективности нанесения Пк с помощью распылителей.

Процесс нанесения порошковых Пк основан на воздействии электрического поля на заряженные частицы ЛКМ по направлению к заземленному проводящему изделию. Сила электрического поля определяется законом Кулона:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad ,$$

где q – заряд частицы порошкового материала, E – напряженность электрического поля.

Чем больше заряд частиц и напряженность электрического поля, тем

больше электрическая сила, способствующая осаждению частиц на изделие.

Избыточный заряд частицы порошка приобретают с помощью зарядных устройств распылителей. Частицы порошкового материала после распыления и их зарядки распылителем несут разные по величине заряды. Это вызвано рядом причин. Во-первых, частицы попадают в зарядное устройство с различными начальными зарядами, что обусловлено трибоэлектризацией частиц при движении. Во-вторых, при зарядке распылителем частицы проходят через различные зоны зарядного устройства, в которых условия для их зарядки отличаются. В-третьих, различие в зарядах частиц связано с полидисперсностью порошковых ЛКМ. Существующее различие в зарядах частиц обуславливает и разное воздействие на них электрического поля, что влияет на величину коэффициента осаждения порошка на изделие.

Частицы краски после выхода из сопла распылителя образуют около изделия заряженное облако порошка, создающее в пространстве электрическое поле. Было показано [1], что величина электрического поля, возникающая от объемного заряда частиц порошка вблизи поверхности изделия, может достигать значительных величин. Поэтому заряд порошкового материала вносит существенный вклад в величину электрического поля в межэлектродном промежутке и на поверхности изделия. В частности, для трибостатических распылителей, у которых отсутствуют высоковольтные электроды, заряд порошка является единственным источником электрического поля в пространстве между распылителем и изделием. Таким образом, величина заряда порошка является одним из важных параметров процесса напыления распылителями.

Скорость нанесения порошкового Пк на изделие зависит от количества материала, поступающего через распылитель: чем больше расход, тем больше скорость. Но по мере увеличения расхода порошкового материала степень его зарядки снижается. Это наблюдает-

ся как для электростатических, так и для трибостатических распылителей. Выигрыш в скорости напыления приводит к снижению эффективности осаждения порошка на изделие, поэтому расход порошкового материала через распылитель является важным параметром, величину которого необходимо знать для оценки процесса напыления.

Другими факторами, влияющими на работу распылителя и эффективность напыления, являются расход воздуха через распылитель и диаметр факела распыляемого порошка. Воздушные потоки необходимы при дозировке порошкового материала с помощью эжектора. В этом случае чем выше скорость воздуха, тем больше расход порошкового материала через эжектор. Далее в потоке воздуха порошок транспортируется по шлангу от эжектора к распылителю. После выхода из сопла распылителя частицы порошка потоком воздуха перемещаются от распылителя к поверхности изделия. Воздействие потока воздуха на процесс нанесения порошкового Пк неоднозначно. С одной стороны, увеличение расхода воздуха приводит к повышению расхода порошка через распылитель и ускорению процесса его нанесения на изделие, с другой — ухудшает зарядку частиц и увеличивает скорость движения воздуха вдоль поверхности изделия, что снижает эффективность осаждения порошка на изделие.

Таким образом, предлагаемая методика должна оценивать эффективность работы распылителей на основе измерения эффективности осаждения порошка и скорости нанесения Пк на изделие. Одновременно измеряются важные для анализа работы распылителей характеристики процесса (заряд частиц, расход порошка и воздуха через распылитель, диаметр факела ЛКМ).

Оборудование для реализации методики должно быть компактным, позволяющим проводить измерения на предприятиях. Схе-

ма установки для определения эффективности работы распылителей при нанесении порошковых Пк представлена на рис. 1.

Исследуемый распылитель (1) крепится к штативу (2) в положении, когда распылительное сопло расположено вертикально вниз. Стойка штатива (3) выполнена из диэлектрического материала. Напыление распылителем осуществляется сверху вниз на металлическую поверхность (4) диаметром 0,5 м. Плоскость заземлена через металлическую основу штатива (5). Пространство между распылителем и плоскостью по периферийной части закрыто фильтрующим диэлектрическим материалом (6), расположенным таким образом, чтобы за время напыления оказать минимальное влияние на характер распределения воздушных потоков.

Методика измерения эффективности работы распылителей при нанесении порошковых Пк заключается в следующем. С помощью установки (рис. 1) производится напыление на плоскость (4) в течение времени, за которое в слое порошка не успевает возникнуть обратная корона. Время напыления (t_n) регистрируется секундомером. После окончания напыления с распылителя и плоскости снимается фильтрующий материал. Привес порошкового материала, осевшего на плоскость ($m_{пл}$) и попавшего в фильтрующий ма-

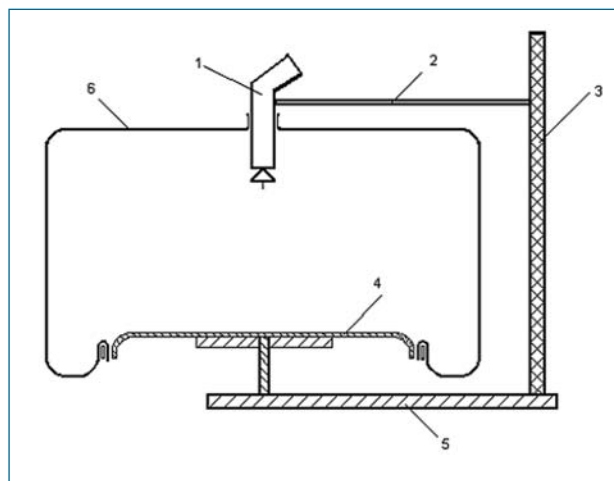


Рис. 1. Схема установки

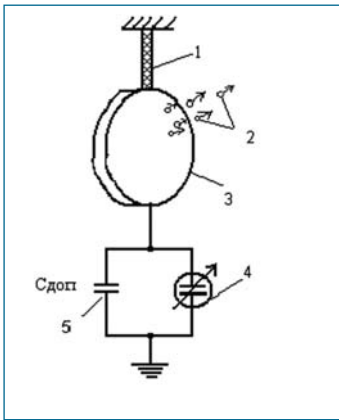


Рис. 2. Схема измерения заряда порошка

териал (m_{ϕ}), определяется на аналитических весах.

В ходе напыления измеряют расход воздуха через шланг подачи порошка к распылителю ($V_{\text{возд}}$), а также фиксируют все параметры, характеризующие режим работы распылителя: напряжение, силу тока, давление в воздушных магистралях и др.

Заряд порошкового материала, осевшего на поверхность, определяется по схеме, представленной на рис. 2.

Плоскость (3) со слоем порошкового ЛКМ подвешивается на диэлектрической струне (1). К плоскости присоединяется электростатический вольтметр (4) с параллельно подсоединенным конденсатором (5), имеющим емкость $C_{\text{доп}}$. С емкости системы «плоскость—вольтметр—конденсатор» кратковременным заземлением снимается избыточный заряд, при этом электростатический вольтметр показывает нулевую разность потенциалов. После удаления слоя порошкового ЛКМ с плоскости на ней останется заряд, наведенный частицами порошка. Электростатический вольтметр регистрирует напряжение, пропорциональное заряду удаленного порошкового слоя: $q_{\text{пор}} = C \cdot U$.

Эффективность зарядки порошкового ЛКМ распылителем характеризуется удельным зарядом порошка, т.е. отношением заряда порошка к его массе:

$$q_m = \frac{q_{\text{пор}}}{m_{\Sigma}},$$

где $m_{\Sigma} = m_{\text{пл}} + m_{\phi}$ — масса распыленного порошка.

Эффективность осаждения порошкового ЛКМ на плоскость рассчитывается из выражения:

$$\eta = \frac{m_{\text{пл}}}{m_{\text{пл}} + m_{\phi}}.$$

Расход порошкового материала через распылитель равен:

$$G = \frac{m_{\text{пл}} + m_{\phi}}{t_n}.$$

Средняя плотность потока массы порошка, осаждающегося на плоскость, определяется по формуле:

$$f = \frac{4m_{\text{пл}}}{\pi d_{\phi}^2 t_n},$$

где d_{ϕ} — диаметр факела порошкового материала.

Оценим погрешности рассматриваемой методики. Анализ приборной погрешности измерений показал, что она не превышает 3%, а вероятностная статистическая погрешность, связанная с неустойчивым характером процесса напыления, равна 12%.

В рассматриваемой методике предполагались следующие допущения:

- пылеуловитель не влияет на процесс осаждения порошка на изделие;
- порошок, не осевший на изделие, имеет незначительный заряд.

Выясним правомерность данных допущений. Степень влияния пылеуловителя на результаты измерений оценивали по коэффициенту осаждения порошка и его удельного заряда на плоскости с пылеуловителем и без не-

го. Измерения проводили при постоянном расходе порошка $G = 17$ кг/ч и воздуха $Q_{\text{в}} = 84$ л/мин. Ток коронного разряда (I) изменялся в интервале 10—40 мкА. Результаты измерения параметров напыления с пылеуловителем и без него приведены в табл. 1.

Подтверждением правомерности первого допущения является незначительное (в пределах погрешности измерений) отличие зарядов и коэффициентов осаждения порошка при наличии и отсутствии пылеуловителя.

Для проверки допущения о незначительности величины заряда порошка, не осевшего на поверхность изделия, сравнивали величины удельных зарядов порошка, измеренные рассматриваемым методом и методом, позволяющим измерять заряд всего распыленного порошка [2] на установке, представленной на рис. 3.

Заряд распыляемого порошкового ЛКМ определяется на заземленной металлической сетке (6) и изолированном от нее диэлектрической вставкой металлическом пылеуловителе (4) с перфорированным элементом (8) и фильтром (7). Диаметр сетки выбран большим, чем расстояние от распылителя до нее. Чтобы ионы коронного разряда не попадали на металлический пылеуловитель и не фиксировались электростатическим вольтметром V , размеры пылеуловителя выбраны меньше диаметра сетки. Воздух из пылеуловителя отсасывается через патрубок, соединенный с вакуумным устройством.

Все измерительные элементы крепятся на стойке, которая состоит из штатива (3), выполненного из диэлектрического материала, руки штатива (2) и металлического основания (5).

При проведении измерений порошковый ЛКМ направляется потоками воз-

Таблица 1

Ток коронного разряда I , мкА	Параметры напыления			
	с пылеуловителем		без пылеуловителя	
	q_m , мкКл/г	η	q_m , мкКл/г	η
10	0,97	0,70	1,02	0,70
30	2,05	0,90	1,98	0,90
40	2,04	0,90	2,14	0,90

духа и силами электрического поля в сторону заземленной сетки, за которой находится пылеуловитель. Находящиеся в облаке заряженного порошка ионы, двигаясь по силовым линиям на сетку, отсекаются от общего потока. Частицы порошка, прошедшие через сетку, улавливаются пылеуловителем с фильтром. Благодаря отсосу воздуха через пылеуловитель осуществляется полное улавливание порошка на фильтре. Большие размеры пылеуловителя позволяют полностью захватывать факел распыляемого порошка. Осевшие на фильтр заряженные частицы порошка наводят на металлическом пылеуловителе заряд, одинаковый по величине, но противоположный по знаку. Наведенный заряд пропорционален потенциалу на обкладках конденсатора, что регистрируется электростатическим вольтметром.

Часть распыленного порошка под действием электрического поля оседает на сетке. Его заряд измеряется

так же, как и заряд, осаждающийся на плоскости в исследуемом методе.

Для определения заряда всего распыленного порошка измеряется заряд порошка как осевшего на сетку, так и попавшего в пылеуловитель.

Результаты измерений удельного заряда и расхода порошкового ЛКМ рассматриваемым методом (метод 1) и методом, измеряющим заряд всего порошка (метод 2), осуществленных при одном режиме работы распылителя ($Q_B = 84$ л/мин, $I = 10$ мкА) представлены в табл. 2.

Как видно из таблицы, значения удельного заряда порошка и его расхода, измеренные разными методами, близки по значению, что говорит о правоте сделанного допущения. Таким образом, рассматриваемый метод позволяет проводить измерения параметров процесса напыления с достаточной точностью.

Диаметр факела порошкового материала $d_{\text{ф}}$ измеряется в отдельном эксперименте по следующей методике. В рабочем режиме распылителя осуществляют на-

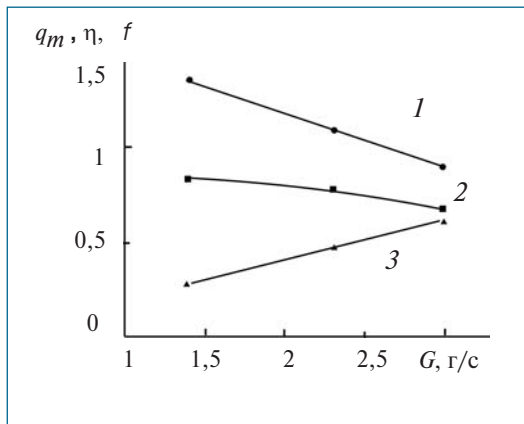


Рис. 4. Зависимости характеристик работы распылителя от расхода порошка:
1 — q_m , мкКл/г; 2 — η ; 3 — f , 10^{-2} г/с·см²

пыление на металлическую сетку с размером ячейки 10 мм, установленную перпендикулярно потоку воздуха из распылителя на расстоянии 15 см от его сопла. Диаметр факела определяют как диаметр сплошного Пк, получаемого на проволочках сетки.

Апробация методики проводилась на одном из электростатических распылителей при технологических параметрах, характерных для процесса напыления: расход по-

рошка $G = 2,3$ г/с; расстояние до плоскости осаждения $h = 15$ см; расход воздуха $Q_B = 64$ л/мин. Измеренный удельный заряд порошка (q_m) составил 1,08 мкКл/г. Коэффициент осаждения порошка (η) равен 0,78, плотность потока массы в отпечатке факела (f) составила $0,47 \cdot 10^{-2}$ г/с·см².

На рис. 4 представлены результаты использования приведенной методики при получении зависимости показателей эффективности работы распылителей от расхода порошка. Как видно из графиков, зависимости q_m , η и f от G подтверждают изложенные ранее закономерности процесса напыления.

Таким образом, разработаны методика и комплекс оборудования для определения показателей процесса напыления: производительности, коэффициента осаждения, расхода порошка и воздуха, удельного заряда частиц порошка. Определены погрешности методики и показана пригодность комплекса оборудования для промышленного применения и выполнения лабораторных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Верещагин И.П. и др.** Технология и оборудование для нанесения полимерных покрытий в электрическом поле. М.: Энергоатомиздат, 1990.

2. **Панюшкин В.В., Пашин М.М.** ЛКМ. 1984. № 2. С. 25—27.

Таблица 2

Показатель	Значение	
	Метод 1	Метод 2
Удельный заряд порошка, мкКл/г	1,1	1,1
Расход порошкового ЛКМ, кг/ч	16,8	17,2

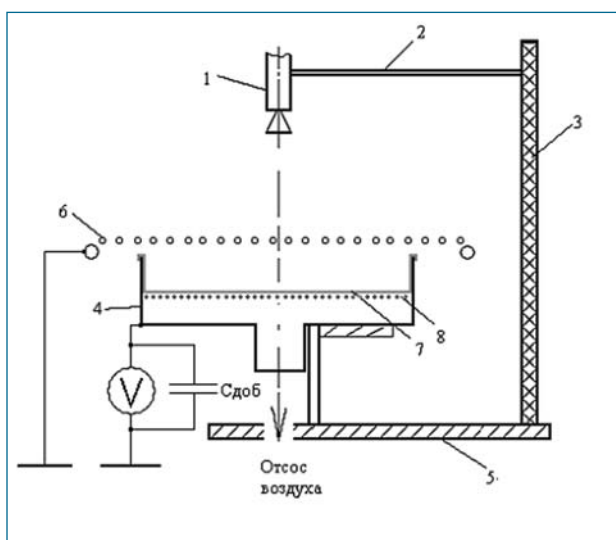


Рис. 3. Установка для измерения заряда распыленного порошка