

УДК 666.1.031

*О.В. ШАЛЫГИНА, Л.Л. БРАГИНА, Г.И. МИРОНОВА, В.З. АННЕНКОВ,  
К.И. КУПРИЯНЕНКО*

## **ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ СТЕКЛОЭМАЛЕВЫХ ПОРОШКОВ ПРИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ НАНЕСЕНИИ НА КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЙ**

**Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
ОАО «Грета», г. Дружковка, Донецкая обл.**

На основе анализа принципов нанесения стеклоэмалевых покрытий на сталь в электрическом поле РОЕСТА сформулированы основные требования к свойствам стеклоэмалевых порошков. С применением традиционных методик и комплексной системы Mastersizer 2000 установлен оптимальный гранулометрический состав порошков для получения качественных покрытий на стальных деталях различной конфигурации.

### ***Введение***

В настоящее время для получения защитных стеклокомпозиционных, стеклоэмалевых и полимерных покрытий наибольшее применение получила энергоресурсосберегающая технология нанесе-

ния порошковых покрытий в поле высокого напряжения — электростатическое напыление РОЕСТА (Powder electrostatic application). Технология порошкового электростатического нанесения покрытий широко применяется при производ-

стве бытовой техники, нагревательной и химической аппаратуры, деталей машин и оборудования, архитектурно-строительных элементов и конструкций, санитарно-технических изделий и др.

Актуальность и целесообразность применения этой технологии на отечественных и зарубежных эмалировочных предприятиях обусловлена значительными преимуществами порошковой электростатической технологии по сравнению с традиционными. Электростатическое распыление обеспечивает наибольшую степень автоматизации технологического процесса, возможность контроля толщины покрытия, значительно уменьшает вероятность образования дефектов, упрощает подготовку поверхности стальной основы. Кроме того, благодаря возможности многократной рекуперации материала, эта технология характеризуется практически полной безотходностью.

Необходимым условием успешной реализации технологии РОЕСТА является обеспечение показателей электростатической адгезии материала наносимых покрытий (стеклоэмалевых порошков) на уровне 75% и выше. Электростатическая адгезия стеклоэмалевых порошков зависит от следующих факторов [1]:

- удельного электрического сопротивления порошка;
- гранулометрического состава (распределение частиц по размерам);
- текучести (флюидизации).

Поэтому задача данной работы заключалась в установлении влияния вышеперечисленных факторов на качество защитных стеклоэмалевых и стеклокомпозиционных покрытий на малоуглеродистой стали, получаемых по электростатической технологии РОЕСТА.

#### Экспериментальная часть

В связи с поставленной задачей в работе были коротко рассмотрены физические основы процесса порошкового электростатического нанесения стеклоэмалевых покрытий на стальные детали. Электрическое поле, образованное между распылителем и стальной деталью, создается благодаря разности потенциалов между коронным разрядом на пистолете-распылителе и заземленной стальной детали. Коронирующий электрод соединяется с отрицательным полюсом источника высокого напряжения (от 60–130 кВ). Во внешней области коронного разряда движется поток отрицательно заряженных ионов в направлении некоронирующего электрода. Способность стеклоэмалевых частиц приобретать заряд в электрическом поле коронного разряда является главным условием осуществления процесса нанесения порошковых покрытий на стальные изделия. При этом частицы эмали, отрицательно заряженные адсорбированными на их поверхности ионами, диспергированные воздушным потоком под действием механических (сжатый воздух 0,1–0,15 МПа) и элект-

рических сил, направляются к поверхности анода — заземленной стальной детали (рис. 1) [2,3].

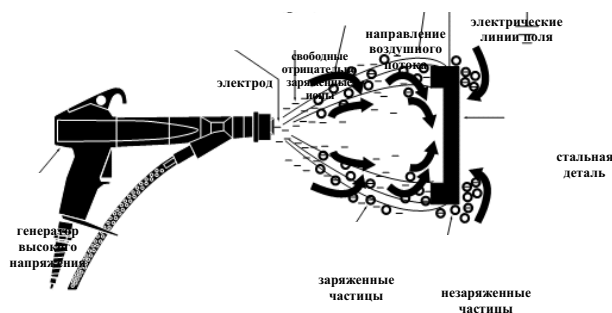


Рис. 1. Схема электростатического нанесения порошка на стальную деталь [2]

Основным фактором, определяющим осаждение частиц при нанесении их в электростатическом поле, является величина заряда частиц. Заряд частицы прямо пропорционален величине напряженности электрического поля и квадрату ее радиуса (т.е. поверхности частицы) [4,5]:

$$Q_{\max} = 3E_0 r^2,$$

где  $Q_{\max}$  — максимальный заряд сферической частицы;  $r$  — радиус сферической частицы;  $E_0$  — напряженность поля, кВ/см.

Главными факторами, оказывающими влияние на скорость движения частиц стеклоэмалевого порошка в электрическом поле и их устойчивость на осадительном электроде — детали, являются их дисперсность и электросопротивление.

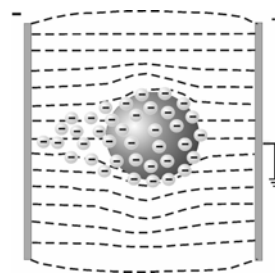


Рис. 2. Схема частицы эмали с адсорбированными отрицательными ионами

При размоле стеклоэмалевого фритты в вибро- или шаровых мельницах порошки эмали имеют дисперсность от долей микрометра до 150 мкм. На частицы эмали, взвешенные в газе, электрическая сила всегда действует в направлении осадительного электрода. При этом, в соответствии с формулой (1), частицы с большим радиусом, обладающие большим зарядом, и, следовательно, наибольшей скоростью вдоль электрического поля, осаждаются на детали раньше, чем мелкие. Когда заряженная частица порошка располагается вблизи поверхности металла, она индуцирует заряд равного значения, но противоположного знака внутри металла (рис. 3). Чем больше частица

Свойства стеклоэмалевых порошков для технологии РОЕСТА

Марка стеклоэмалевого порошка	Текучесть, г/30 с	Электро- сопротивление, Ом·м	Гранулометрия, мкм					
			>125	125–90	90–63	63–45	45–32	<32
			Содержание фракций, %					
DM 59 (1)	96	$9,0 \cdot 10^{11}$	0,3	1,4	12	31	52,3	3
DM 59 (2)	172	$9,5 \cdot 10^{11}$	0,2	0,5	4,5	20,2	72,2	2,4
E 9233 (1)	52	$9,5 \cdot 10^{11}$	0,2	2,9	25,5	71,4	–	–
E 9233 (2)	87	$8,5 \cdot 10^{11}$	0,2	1,9	11,2	28,3	58,4	–
Б-3 (1)	58	$8,2 \cdot 10^{11}$	9,6	27,6	12,8	14,1	9,2	26,7
Б-3 (2)	110	$1,9 \cdot 10^{12}$	0,1	0,3	2,7	62,4	24,3	10,2

порошка на поверхности металла и больше ее заряд, тем сильнее электрическое поле между частицей и ее зеркальным изображением, т.е. сильнее электростатическое притяжение между ними (рис. 2). Тот факт, что более крупные частицы характеризуется более сильным притяжением к заземленной детали, объясняет образование в толстых слоях порошковых покрытий дефекта «апельсиновая корка».

Частицы стеклоэмали, характеризующиеся высокой проводимостью, попадая на стальную деталь, быстро теряют свой заряд. Это приводит к тому, частицы могут быть легко сметены с детали воздушным потоком или упасть под действием силы тяжести. Низкая проводимость частиц обеспечивает их закрепление на осадительном электроде (изделии) более продолжительное время, которое позволяет осесть второму и третьему слою порошка. Под действием электрического поля второй слой прижимает к осадительному электроду первый слой и после того, как частицы первого слоя потеряют свой заряд. Точно так же электрическое поле действует и на заряды частиц третьего слоя, осевшего на второй и т.д. Вследствие постоянного давления вновь оседающих разноразмерных частиц под действием газового потока слой эмалевого порошка на изделии представляет собой очень компактное плотное покрытие. Чем выше сопротивление частиц, тем больше плотность многослойного покрытия, которое образуется в процессе нанесения эмалевых порошков. Равномерность толщины нанесенного покрытия является следствием эффекта самовыравнивания слоя благодаря более сильному притяжению заряженных частиц на участках с меньшей толщиной.

Поэтому эмалевый порошок для нанесения в электрическом поле высокого напряжения должен иметь удельное сопротивление частиц  $>10^{11}$  Ом·м при их гранулометрическом составе в пределах 3–100 мкм, а также обладать необходимыми текучими свойствами. Такое сопротивление обеспечивается путем капсулирования частиц эмали гидрофобными веществами. Капсулирование порошка осуществляется обволакиванием кремнийорганическими жидкостями в процессе помола с последующим их отверждением при температуре 150–200°C. При этом одновременно достигается высокая сте-

пень флюидизации (текучесть) порошка, равная 90–120 г/30 с. Нанесение гидрофобного капсулянта обеспечивает повышение электросопротивления тонкодисперсного стеклоэмалевого порошка в среднем на 3–4 порядка: с  $10^7$ – $10^8$  Ом·м порошка без капсулянта до  $10^{11}$ – $10^{13}$  Ом·м с нанесенной гидрофобной пленкой. Поэтому для обеспечения хорошей адгезионной способности необработанный стеклопорошок должен иметь в нормальной атмосфере максимально возможное собственное электрическое сопротивление, не ниже  $10^6$ – $10^7$  Ом·м. В данной работе были синтезированы составы стеклоэмалей с использованием проявления полищелочного и поликатионного эффектов, характеризующиеся значениями собственного удельного электросопротивления  $\geq 10^9$  Ом·м [6].

Для исследования были взяты порошки стеклоэмалевых фритт, разработанных на кафедре технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ «ХПИ» и предназначенные для эмалирования по технологии РОЕСТА стальных деталей бытовых плит и внутренних баков водонагревателей [7,8,9]. Стеклоэмалевые порошки марок DM 59 и E 9233 используются для получения грунтовых и безгрунтовых покрытий на стальных деталях бытовых газовых и электроплит, а порошки Б-3 — для эмалирования внутренних баков электроводонагревателей. Изготовление порошков проводилось в производственных условиях с регулированием параметров помола: длительности и тонины. В заводской лаборатории ОАО «Грета» были исследованы свойства стеклоэмалевых порошков: текучесть (флюидизация), электросопротивление и гранулометрический состав — таблица. Гранулометрический состав порошков определяли с помощью установки, состоящей из вибропривода и набора сит с размерами ячеек 32, 45, 63, 90 и 125 мкм.

Исследование размера частиц экспериментальных стеклоэмалевых порошков проводили также с помощью комплексной системы для гранулометрического анализа Mastersizer 2000 — рис. 3,а и 3,б. Принцип работы прибора — метод лазерной дифракции — имеет ряд преимуществ перед традиционным методом аналитического рассеивания: более широкий диапазон измерения, высокая точность и воспроизводимость результатов, намного короче

ство покрытий  
 время измерения, возможность анализа различных форм материалов. Показатели значений гранулометрического состава исследуемых порошков по обеим методикам не имели значительных расхождений.

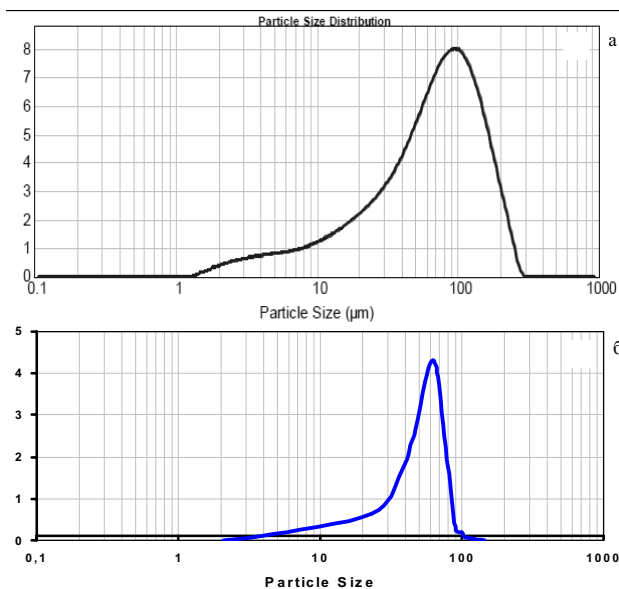


Рис. 3. Гранулометрический состав стекломалевого порошков: а – Б-3 (1); б – Б-3 (2)

### Результаты и их обсуждение

Оценка качества наносимых по порошковой электростатической технологии покрытий показала, что при использовании порошков DM 59 (1) и E 9233 (2) с показателями текучести 96 и 87 г/30с соответственно, на стальных деталях бытовых плит получается равномерный плотный порошковый слой, образующий после обжига при температуре 840°C защитное стекломалевое покрытие требуемой толщиной 120–150 мкм. При этом практически не происходило осыпания порошка, и его расход был минимальным. Порошки DM 59 (2) и E 9233 (1), имеющие флоидизацию 172 и 52 г/30 с соответственно, характеризовались в первом случае повышенным расходом, а во втором образовывали неравномерные бугристые покрытия на деталях.

В серии порошков Б-3, предназначенных для эмалирования стальных баков водонагревателей, оптимальными свойствами обладает состав Б-3 (2), характеризующийся текучестью 110 г/30 с. Гранулометрический состав порошка Б-3 (2), характеризующийся содержанием фракции 63–45 мкм в количестве 62,4%, а фракции 45–32 мкм – 24,3%. Именно такой гранулометрический состав (таблица) обусловил минимальную разнотолщинность покрытия деталей сложной формы: бак во-

донагревателя представляет собой цилиндр с приваренными дном и крышкой. Толщина готового обожженного при температуре 860°C стекломалевого покрытия на стенках бака составляет 100–150 мкм, а на дне и крышке 150–220 мкм при принятом нормативами утолщении до 450 мкм, что обеспечило значительную экономию материала – стекломалевого порошка.

### Заключение

Анализ физических основ процессов электростатического нанесения стекломалевого порошков на сталь позволил выбрать в качестве главных факторов, определяющих качество получаемых покрытий, удельное электросопротивление, гранулометрический состав и текучесть этих порошков. Экспериментально установлены и проверены в производственных условиях значения этих параметров стекломалевого порошков, предназначенных для нанесения по ресурсоэнергосберегающей технологии РОЕСТА на стальные детали различной конфигурации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Quality requirements of European enamel authority. 2 Edition – Hagen: DEV, 2004. – 138 p.
2. Ken Kreeger. Application variables for powder coating systems // Amherst, Ohio: Published by Nordson Corporation, 1994. – 80 p.
3. Guskov S. Electrostatic Phenomena in Powder Coating // Proc. Powder Coating 96. – Indianapolis, 1996. – P.21-30.
4. Guskov S. Electrostatic charging and powder coating with porcelain enamels // Vitreous Enameller. – 2000. – Vol.51. – № 2. – P.51-56.
5. Лившиц М.Н. Автоматизация эмалирования и окраски санитарно-технических изделий с применением коронного разряда / М.Н. Лившиц. – М.: Стройиздат, 1964. – 48 с.
6. Шальгина О.В. Влияние поликатионного эффекта в стеклах системы RO–R<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> на их адгезию к стальной поверхности / Вісник НТУ «ХПИ». – 2005. – № 14. – С.115-121.
7. Шальгина О.В., Брагина Л.Л. Основные критерии синтеза грунтовых фритт для технологии PUESTA 2С/ 1F // Вопр. химии и хим. технологии. – 2007. – № 5. – С.76–79.
8. Брагина Л.Л., Шальгина О.В. Разработка основы грунтовой фритты для электростатического порошкового эмалирования // Стекло и керамика. – 2008. – № 7. – С.46-54.
9. Шальгина О.В. Однослойное защитное стекломалевое покрытие для стальных баков водонагревателей // Зб. наук. праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного». – Харків: Каравелла, 2010. – № 110. – С.351-356.

Поступила в редакцию 17.10.2011