

Aluminium-Guide

Руководство

**Контроль качества порошковых красок:
показатели, методы, стандарты**

1-я редакция - декабрь 2020

1 Введение

1.1 Что такое «качество порошковой краски»

В этом руководстве рассмотрены основные вопросы, которые связаны с качеством порошковой краски, в том числе:

- Каковы показатели качества порошковой краски?
- Как эти показатели качества порошковой краски влияют на технологию электростатического напыления?
- Как состав порошковой краски влияет на качество готового покрытия?
- Какие методы испытаний применяют для контроля качества порошковой краски?

1.2 Для кого это руководство

Это руководство предназначено для тех, кто так или иначе работает с порошковой краской и сталкивается с проблемами при:

- изготовлении порошковой краски
- поставке ее потребителям
- заказе краски для собственного окрасочного производства
- порошковом окрашивании своих изделий «на стороне»
- транспортировании краски от производителя к месту ее применения
- входном и периодическом контроле качества порошковой краски на окрасочном производстве
- хранении краски в условиях окрасочного производства
- промышленном порошковом окрашивании
- выявлении причин дефектов порошковых покрытий на окрасочном производстве
- выработке мер по предупреждению дефектов порошкового покрытия.

Это руководство, в целом или некоторые его разделы, может быть полезно для работы на различных уровнях производственной ответственности:

- управленческому персоналу – при принятии решений и организационных мер по повышению качества продукции или услуг
- инженерно-техническому персоналу – для более глубокого понимания технологических процессов на производственных участках, которыми они руководят
- рабочему персоналу промышленных окрасочных линий – для пополнения и систематизации практических знаний и навыков работы
- контролерам качества продукции или услуг – для эффективного контроля качества порошковых покрытий.

1.3 Структура руководства

Структура этого документа организована так, чтобы каждый заинтересованный менеджер, инженер, специалист, лаборант или оператор оборудования мог извлечь из него полезную информацию для своего круга обязанностей и своего уровня ответственности.

В разделе 2 показано, как порошковая краска может быть источником дефектов порошкового покрытия.

В разделе 3 кратко описаны факторы, которые влияют на качество порошковой краски при ее изготовлении, транспортировании и хранении. Особое внимание уделено тем моментам, которые прямо или косвенно влияют на функциональные свойства порошковой краски, которые понадобятся ей при порошковом окрашивании. Это важно для более глубокого понимания процессов и явлений, которые происходят с порошковой краской в течение всей ее «жизни».

В разделе 4 представлен обзор свойств и характеристик порошковых красок. Выделены те из них, которые являются показателями качества при их применении для порошкового окрашивания изделий. Показано, как эти показатели качества влияют на параметры технологии нанесения порошковых покрытий и качество готового порошкового покрытия. Все показатели качества порошковой краски и методы их испытаний сведены в общую таблицу. Этот раздел будет полезен, в первую очередь, управленческому и инженерному персоналу окрасочных производств, чтобы представлять объем вопросов, которые надо учитывать для обеспечения высокого качества порошкового покрытия.

В разделе 5 рассмотрены методы испытаний физических показателей качества порошковой краски. Эти свойства имеют особое значение для технологии электростатического нанесения порошка на поверхность изделия.

В разделе 6 рассмотрены методы испытаний химических и термических характеристик порошковых красок.

Для каждого метода испытаний в разделах 5 и 6 указан его общий принцип, физический или химический смысл, необходимое оборудование, краткое описание процедуры, технологические пояснения. При практическом выполнении того или иного испытания, особенно в спорных случаях, необходимо обращаться к полному оригинальному тексту стандарта. Разделы 5 и 6 предназначены, в первую очередь, для инженеров и лаборантов лабораторий и служб по контролю качества, которые практически контролируют качество порошкового покрытия. Часть методов испытаний могут понадобиться только для окрасочных производств, другая часть – только для производителей порошковой краски.

2 Порошковая краска как источник дефектов покрытия

2.1 Источники дефектов порошкового покрытия

Нанесение порошкового покрытия на металлические изделия, например, на алюминиевые профили, является сложным технологическим процессом. Для обеспечения высокого качества порошковых покрытий необходимо держать в оптимальных интервалах большое количество технологических параметров на всех этапах производства: от подготовки поверхности изделия под окраску до выхода готового окрашенного изделия из печи полимеризации.

Кошмарный сон технолога производства по порошковому окрашиванию – массовые дефекты на уже готовом порошковом покрытии. Многие дефекты могут иметь несколько причин своего происхождения. Быстро выявить и устранить причину такого дефекта, а то и не одну – задача не из легких.

Чаще всего причинами этих дефектов является нарушение технологических параметров нанесения покрытия:

- пыль и другие загрязнения из окружающего воздуха или атмосферы печи
- низкое качество сжатого воздуха
- недостаточная подготовка поверхности изделия
- нарушения технологии электростатического напыления порошка
- нарушения параметров нагрева в печи полимеризации

Когда сжатый воздух и все технологические параметры в порядке, на участке порошкового окрашивания нет ни одной пылинки, а дефекты все равно «не уходят», то самое время проверить:

- качество порошковой краски, которая наносится на изделие.

2.2 Примеры дефектов, связанных с качеством порошковой краски

2.2.1 Кратеры

Такие дефекты порошкового покрытия как «кратеры» могут появляться по многим причинам, таким как недостаточное обезжиривание поверхности или чрезмерное количество масла в сжатом воздухе. Однако, еще одной причиной кратеров может быть взаимная реакция двух несовместимых красок, которые непреднамеренно оказались рядом в напылительном оборудовании.

2.2.2 Шагрень

Другим примером может быть дефект «псевдошагрень». Он возникает из-за слишком большой толщины порошкового слоя, нарушения параметров нагрева изделия в печи полимеризации или, так называемой, обратной ионизации при электростатическом напылении порошка. Вместе с тем, еще одной причиной этого дефекта, более редкой, может являться нарушение рецептурного состава краски, что привело к недостаточной растекаемости краски перед отверждением (полимеризацией) или преждевременному ее отверждению (полимеризации).

2.2.3 Включения

Однако, без сомнения, бичом технологов порошкового окрашивания являются такой дефект порошкового покрытия, как «включения». По-английски его называют «bits» или «seeds». Это – видимые невооруженным взглядом мелкие инородные, нерасплавленные в печи частицы, которые обычно полностью или частично покрыты краской. Часто они действительно, похожи, на рассыпанные мельчайшие семена. Они возникают как будто ни откуда и часто уходят сами собой. Они появляются уже после того, как покрытие «запечено» и выходит из печи. К этому времени уже поздно что-то сделать для их устранения и ничего не остается как полностью перекрашивать готовые окрашенные изделия или отправлять их в лом.

«Привычными» причинами дефекта порошкового покрытия «включения» являются недостаточно очищенный, «грязный», сжатый воздух или посторонние частицы и загрязнения в воздухе зоны напыления порошковой краски, а также на входе в печь полимеризации.

Более скрытой причиной появления дефекта «включения» может является сама порошковая краска:

- загрязненные исходные материалы при изготовлении порошковой краски;
- преждевременно полимеризованные частицы порошковой краски;
- чрезмерно большие частицы или агломераты наполнителей или пигментов;
- крупные агломераты из частиц добавок, которые вводятся в уже готовую порошковую краску для придания ей, например, лучшей сухой текучести.

3 Порошковые краски: изготовление, хранение, транспортирование

3.1 Термореактивные порошковые краски

Порошковые краски – это в основном мелко помолотые полимерные частицы. При нагреве эти частицы расплавляются на поверхности изделия в виде непрерывной пленки, прочной и химически стойкой.

Порошковые краски могут быть термореактивными (термоотверждаемыми) и термопластичными. Термопластичные порошки отверждаются не в результате химических реакций, а просто под воздействием снижения температуры. Эти краски обычно применяют для различных функциональных покрытий в виде довольно толстых пленок толщиной от 150 до 300 мкм. Этот тип порошковых красок имеет довольно ограниченное применение.

Термореактивные порошковые краски наносят на изделия и затем отверждают (запекают) в печи при заданной температуре и в течение заданного времени. В результате этого нагрева происходит химическая «прошивка» (полимеризация) органических молекул, которые входят в состав краски с образованием прочной непрерывной трехмерной структуры. Это процесс является необратимым и при последующем нагреве покрытие не расплавляется, как это происходит у термопластичных красок.

Термореактивные порошковые краски имеют очень широкое применение в качестве защитных и декоративных покрытий. Эти покрытия обычно имеют толщину от 40 до 100 мкм. Именно они применяются в мире в огромных количествах для окрашивания элементов архитектурных сооружений, оргтехники, бытовых приборов, спортивного инвентаря и т. п.

Далее речь будет идти только о термореактивных порошковых красках, которые будут называться для краткости просто «порошковыми красками».

Основными типами смол, которые применяются в термореактивных порошковых красках, и определяют тип самой краски, являются полиэфирные, эпоксидные, акриловые и полиуретановые. Некоторые порошковые краски имеют в своем составе более, чем один тип смол и поэтому называются гибридными.

3.2 Изготовление порошковой краски

3.2.1 Смешивание, экструзия, измельчение и помол

Типичная порошковая краска содержит:

- органическую смолу в качестве главного компонента, который формирует покрытие;
- отвердитель, который обеспечит термореактивное отверждение расплавленного порошка при заданной температуре и длительности обработки в печи;
- несколько пигментов для формирования цвета покрытия;
- различные добавки, например, для обеспечения сухой текучести порошка или заданной растекаемости краски;
- наполнители для обеспечения специальных свойств и оптимизации состава краски.

Типичная современная технология изготовления порошковой краски из исходных ингредиентов схематически показана на рисунке 3.1.

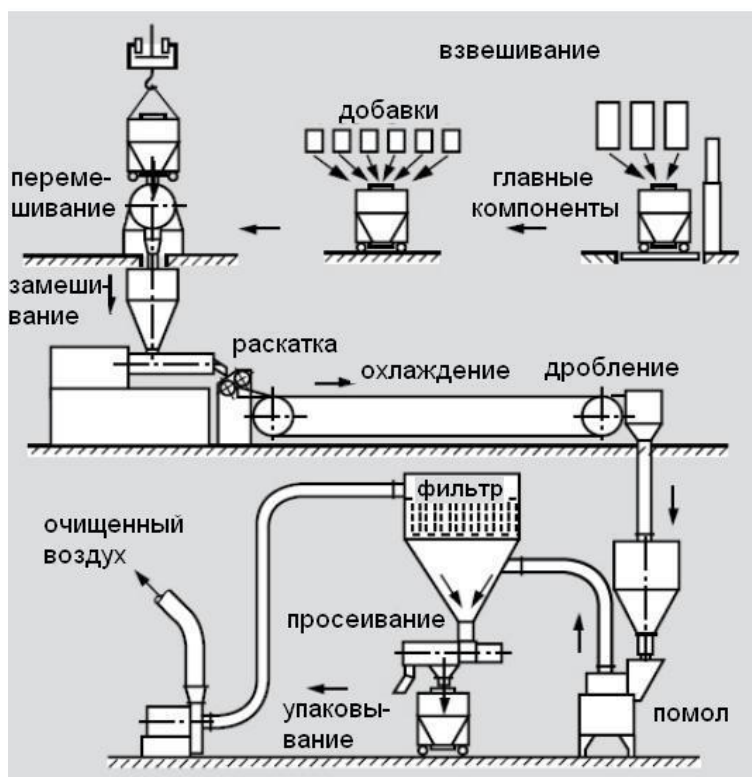


Рисунок 3.1 – Типичная технология изготовления порошковой краски

Сухие ингредиенты тщательно смешиваются между собой в специальных центрифугах с целью создания гомогенной смеси. Эта смесь затем подается в так называемый экструдер для перемешивания в частично расплавленном состоянии. На выходе из экструдера этот экструдат раскатывается в плоский лист толщиной 2-3 мм, который охлаждают на холодильнике и затем дробят в довольно грубые «чипсы». Затем эти «чипсы» поступают на мелющий агрегат (мельницу), где они размалываются в мелкий порошок с заданным распределением размера частиц.

Важно понимать, что смесь исходных материалов, которая подвергается экструдированию, уже содержит практически все компоненты реактивной порошковой краски. В результате при достижении некоторой повышенной температуры в ней могут происходить химические реакции, например, частичное спекание (химическое отверждение) порошка. Поэтому максимальная температура расплава в экструдере должна быть по крайней мере на 20 °С ниже рецептурной температуры отверждения порошкового покрытия.

Процесс изготовления порошковой краски должен проходить так, чтобы все температурные и деформационные технологические параметры находились в оптимальных интервалах. Поскольку эти параметры взаимно влияют друг на друга, то задача их оптимизации является очень трудной. Поэтому при производстве порошковых красок производят тщательный контроль состава продукта на нескольких промежуточных этапах, чтобы исключить отклонения состава порошковой краски от заданной рецептуры и заданной степени ее гомогенизации.

3.2.2 Сухое замешивание добавок

В порошковых красках применяется большое количество добавок, которые обеспечивают им различные полезные свойства, например:

- лучше выравнивания поверхности расплавленного порошка,
- создание специальной структуры поверхности,
- получение матовой поверхности,
- повышение сухой текучести краски.

Большинство добавок добавляют на этапе сухого смешивания и до операции экструзии. Однако некоторые из добавок не переносят нагрева и их можно вносить только после процесса экструзии, например, перед помолом или уже после помола. В прошлом обычной практикой было подавать эти добавки вручную непосредственно в коробки с готовой краской. Затем стали добавлять их в контейнер с измельченным экструдатом перед подачей его для помола. Кроме того, добавки могут подаваться сжатым воздухом на вход мелющего агрегата или перед ситом, которое находится после циклона (см. рисунок 3.1).

3.2.3 Fumed silicas

По-видимому, самыми известной добавкой порошковых красок является так называемая «белая сажа» (fumed silicas), которая имеет фирменное название Aerosil. Этот материал представляет собой аморфный диоксид кремния в виде чрезвычайно малых первичных частиц размером от 7 до 40 нм. Добавку Aerosil вводят в порошковую краску в количестве от 0,1 до 0,3 % (по весу) для того, чтобы:

- улучшить характеристики свободного сухого течения
- повысить стабильность при хранении
- снизить поглощение краской влаги.

Эта добавка поставляется от изготовителя в виде агломератов очень мелких частиц диоксида кремния, которые имеют диаметр около 0,2 мкм. Эти агломераты имеют вид больших кластеров из нескольких тысяч первичных частиц и имеют довольно большие размеры и поэтому могут создавать дефекты порошкового покрытия.

Поэтому перед внесением в порошковую краску они должны быть подвергнуты тщательной «деагломерации», то есть разбиты на достаточно мелкие части – агрегаты, размеры которых близки к размерам основных частиц порошковой краски. Не каждый изготовитель краски способен достаточно измельчать эту добавку перед замешиванием ее в порошковую краску. Недостаточное измельчение этой добавки является одной из причин образования дефекта «включения» в виде скоплений мелких точек.

3.3 Хранение и транспортировка порошковой краски

3.3.1 Воздействие повышенной температуры

Большинство порошковых красок выдерживают непродолжительное воздействие нагрева. Так, при температуре 38-46 °С обычно не происходит их повреждения [1]. Если температура достигает более высоких величин, то в краске могут происходить несколько физических изменений. Порошок, который находится в заводской упаковке (коробке, контейнере) может спекаться, слеживаться или комковаться. Высокие контейнеры или коробки, установленные в высокий штабель, могут добавлять проблем из-за чрезмерного веса самой краски. Коробки не должны устанавливаться более, чем в три ряда. Обычно такое слеживание краски устраняется путем пропуска ее через ситовый аппарат, но это является довольно трудоемким процессом.

Порошковые краски, которые имеют пониженную температуру полимеризации, при воздействии на них чрезмерного тепла могут подвергаться необратимым химическим изменениям. Если это случается, то краска теряет свои первоначальные текучие свойства и становится не пригодной для применения. Большинство порошковых красок имеют в своей рецептуре специальные блокирующие добавки, которые предотвращают спекание (полимеризацию) при температуре ниже 95 °С, чтобы избежать этих проблем.

3.3.2 Воздействие повышенной влажности

Порошковая краска способна поглощать влагу, если относительная влажность воздуха в помещении для ее хранения превышает 60 %. Это может приводить к комкованию частиц порошка, затруднению псевдооживления порошка и затруднению сухого течения порошка по шлангам и элементам системы напыления порошка. В большинстве случаев такого комкования можно избежать путем комбинации перемешивания и оживления порошка в баке оживления в течение нескольких минут перед подачей его на напылительные пистолеты. Вместе с тем, лучше хранить порошковую краску при относительной влажности от 40 до 60 %.

Если краска сохраняется при контролируемых температуре и влажности, то она обычно остается стабильной, по крайней мере, в течение одного года. Некоторые изготовители краски декларируют срок хранения краски 24 месяца при условии хранения, например, при температуре не выше 27 °С и относительной влажности воздуха от 40 до 60 %. При таком длительном хранении порошковой краски она требует промежуточных проверок на свою пригодность для нанесения покрытия.

3.3.3 Влияние условий хранения порошковой краски

Чтобы избежать проблем с порошковыми красками условия их хранения и применения должны соответствовать следующим требованиям:

- Поддержание температуры воздуха 27 °С или ниже.
- Поддержание относительной влажности воздуха от 40 до 60 %.
- Краска не должна находиться на хранении слишком долго. Выдача краски в производство должна быть по принципу: «Первый зашел, первый вышел».
- Следить за тем, чтобы контейнеры или коробки с краской не оставались открытыми на полу цеха, где порошок может легко набрать влагу или загрязнения.
- Перед подачей краски нового цвета на напылительные пистолеты обрабатывать ее в баке ожигения в течение нескольких минут.

3.3.4 Влияние условий доставки порошковой краски

При заказе и доставке порошковой краски на окрасочное предприятие необходимо контролировать всю цепочку ее прохождения от завода изготовителя до склада на вашем предприятии. От того, в каких условиях, какими видами транспорта и как долго ехала ваша краска зависит ее последующее качество. Например, если это было летом в металлическом контейнере под палящим солнцем или в закрытой «будке» без кондиционера, то трудно ожидать от этой краски высокого качества. Нередко бывает, что заказ порошковой краски составляет одну или несколько коробок, а то и несколько килограммов краски, которая была отсыпана из заводской герметичной упаковки в полиэтиленовый пакет. Затем этот заказ поступает на предприятие обычной почтовой доставкой, во время которой вряд ли кто-то контролирует температуру, влажность условий транспортировки груза. Как и многие рекомендации в этом Руководстве эти предосторожности с хранением и доставкой порошковых красок не являются абсолютно необходимыми для всех производств по нанесению порошковых покрытий. Однако следование им обеспечит наилучшие результаты при наименьших трудовых затратах. Должное обращение с краской и немного терпения для достижения хорошего ожигения порошка поможет достигнуть стабильности технологии нанесения покрытий.

4 Показатели качества порошковых красок

4.1 Роль характеристик порошковой краски для качества покрытия

Процесс электростатического напыления:

- частицы порошка должны принимать на себя достаточное количество электрического заряда;
- порошок должен эффективно ожигаться сжатым воздухом;
- ожигенный порошок должен свободно передаваться по всей системе подачи порошка и системе его рекуперации;
- порошковое облако должно быть однородным;
- способность к нанесению покрытия на заднюю сторону изделия;
- способность к проникновению порошка в пазы и углубления.

Формирование покрытия из напыленного слоя порошка:

- полное расплавление частиц порошка:
- полное и равномерное растекание порошка по поверхности до начала процесса отверждения (желатинизации)
- однородное отверждение (полимеризация) порошкового покрытия при заданной температуре и заданной длительности обработки в печи
- обеспечение получения готовым покрытием заданного цвета и степени блеска (глянца) с установленной степенью однородности.
- установленную удельную плотность готового покрытия для контроля состава порошкового покрытия и оценки удельного расхода краски.

Сохранение функциональные свойства при транспортировании и хранении:

- стойкость к комкованию и спеканию
- сохранение реактивных свойств
- сохранение способности к сухому течению.

4.2 Показатели качества порошковых красок

Показатели качества порошковых красок – это те их свойства и характеристики, которые оказывают влияние, как на технологию нанесения покрытия, так и на качество самого покрытия. Целью контроля качества порошковых красок является контроль этих показателей по результатам испытаний порошковой краски.

В таблице 4.1 представлен полный перечень показателей качества порошковой краски и методов их испытаний, которые применяются в национальных и международных стандартах. Этот перечень составлен на основе положений стандарта ASTM D 3451.

Таблица 4.1 – Показатели качества порошковых красок и методы их определения

Свойства	Показатель качества	Метод испытания, критерий	Стандарты
Физические свойства	Распределение размера частиц	Ситовый анализ	ISO 8130-1 ASTM D 1921
		Лазерный дифракционный анализ	ISO 8130-13
	Сухое течение порошка	Угол откоса	ISO 4324
		Истечение порошково-воздушной смеси	ISO 8130-5 ASTM D 1895
	Эффективность напыления	Электростатическое осаждение	ISO 8130-10
	Удельная плотность	Газовый пикнометр	ISO 8130-2 ASTM D 5965
		Жидкостный пикнометр	ISO 8130-3 ASTM D 5965
Насыпная плотность	Коэффициент уплотнения	ASTM D 1895	
Химико-термические свойства	Термореактивность	Время желатинизации	ISO 8130-6 ASTM D 4217
	Растекание	Течение по наклонной плоскости	ISO 8130-11 ASTM D 4242
	Совместимость красок	Смешивание красок	ISO 8130-12
	Химический состав	Потеря массы покрытия в печи полимеризации	ISO 8130-7 ASTM D 3451
	Стойкость к нагреву	Температура плавления	ISO 8130-8
Стеклование		ISO 16805	

Практически все эти методы включены в серию стандартов ISO 8130 (14 частей). В России и Украине большинство из этих стандартов введены как национальные. Стандарты ASTM дают дополнительную информацию по методам испытаний порошковых красок, а также практические рекомендации по их применению.

Важно понимать, что многие из этих методов испытаний порошковых красок, такие как, например, «время желатизации» и «наклонное течение», применяются в основном для сравнения двух порошковых красок, а не для получения численного результата испытаний, который может считаться хорошим или плохим.

Интерпретация результатов испытаний будет зависеть от способа нанесения порошкового покрытия, а также от химического состава применяемого порошка. В идеальном случае все испытания должны выполняться в одних и тех же условиях, таких как освещение, время отбора образцов, температура и влажность. Эти условия могут указываться в методике испытаний или согласованы между поставщиком и заказчиком. При отсутствии таких указаний условиями испытаний обычно принимаются температура $23\pm 2^\circ\text{C}$ и относительная влажность $50\pm 5\%$.

5 Физические свойства порошковых красок

Физические свойства порошковых красок – это те свойства, от которых зависит технологический процесс электростатического напыления:

- размеры частиц и их доля в общем объеме порошка
- сухая текучесть порошка для хорошего перемещения движения по шлангам, трубкам инжекторам и форсункам
- способность частиц порошка принимать электрический заряд и эффективно осаждаться на поверхность изделия
- удельная плотность, по которой оценивают удельный расход краски
- коэффициент уплотнения, который характеризует изменение объема при переходе от сухого порошка к готовому порошковому покрытию.

5.1 Распределение размеров частиц порошковой краски

5.1.1 Роль размера частиц порошковой краски

Размер частиц порошковой краски играет критическую роль в ожижении (псевдоожижении, флюидизации), нанесении и возврате порошка в системах электростатического напыления, а также во внешнем виде готового порошкового покрытия. Порошковые краски состоят из частиц с различными размерами, от таких малых, как 1 мкм, до таких крупных, как 150 мкм. Все вместе эти отдельные частицы формируют распределение размеров частиц, которое дает процентную долю частиц заданного размера или заданного интервала размеров частиц. Обычно на нижнем и верхнем краях распределения размеров находится небольшое количество частиц, а большинство размеров частиц находятся в интервале от 25 до 65 мкм.

Данные по распределению размеров частиц могут выражаться в следующем виде:

- Диаграмма фактической доли частиц в заданных интервалах размеров частиц.
- Средний размер – среднее арифметическое размеров частиц, то есть сумма всех размеров частиц, деленная на количество частиц.

- Медиана (D_{50}) – такой размер, что половина частиц имеет размер больше этого размера, а другая половина – меньше этого размера.
- Мода – это размер частиц, который встречается наиболее часто.

Распределение размеров частиц обычно устанавливается производителем порошковой краски на основании данных о методах нанесения порошковых красок, требуемой толщине готового порошкового покрытия, требований к качеству внешнего вида покрытия и производительности нанесения краски. Когда номинальное распределение размеров порошковой краски выбрано, его нужно постоянно контролировать, чтобы обеспечивать его постоянство от партии к партии и, конечно, внутри каждой партии.

Важно понимать, что численные данные по размерам частиц порошка в значительной степени зависят от применяемого метода анализа, которым они получены. По этому, например, ссылка на требования по размерам частиц порошка без определения метода испытаний не имеет большого смысла.

5.1.2 Ситовый анализ

- **ISO 8130-1 Краски порошковые. Часть 1: Определение распределения размеров частиц просеиванием**
- **ASTM D 1921 Стандартные методы определения размеров частиц пластмассовых материалов (ситовый анализ)**

5.1.2.1 Принцип

Пробу краски последовательно пропускают через одно, два и более сит или сразу через набор сит с заданными размерами ячеек. Фракции порошка, оставшиеся на каждом сите, взвешиваются до и после просеивания. Результаты испытаний выражаются в виде доли порошка (в процентах), который задержался на каждом сите. Анализ должен включать измерение доли в образце размеров крупных частиц и размеров мелких частиц.

5.1.2.2 Оборудование

Для просеивания порошка могут применяться следующие способы и приемы:

- Ручное просеивание отдельных сит (рисунок 5.1).
- Машинное просеивание с применением отдельных сит (рисунок 5.2).

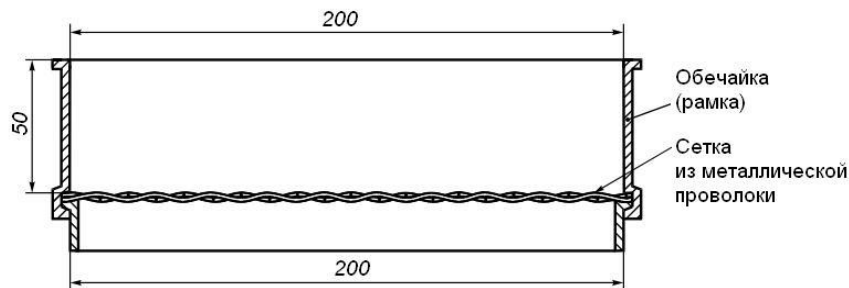


Рисунок 5.1 – Сито лабораторное [ISO 3310-1]

При оценке результатов испытаний или сравнении результатов испытаний различных порошковых красок необходимо принимать во внимание, что на результаты испытаний могут влиять следующие факторы:

- Тип оборудования и метод испытания (тип сит, их состояние, вид и тип движений сита, длительность просеивания, сжатый воздух и вибрация)
- Характеристики порошковой краски (насыпная плотность, распределение размера частиц, форма частиц, степень агломерации, влажность, прочность).

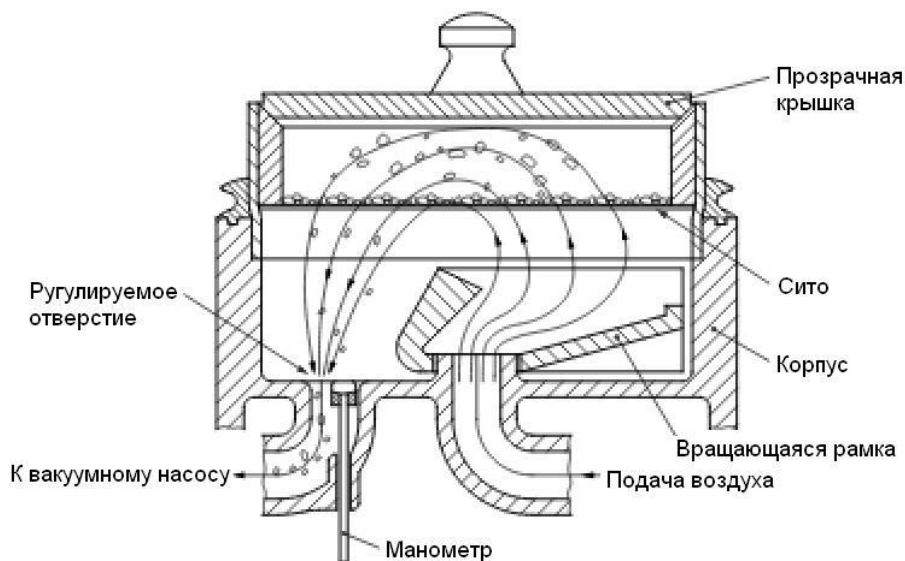


Рисунок 5.2 – Аппарат для просеивания порошковой краски с одинарным ситом [ISO 8031-1]

5.1.2.3 Ручное просеивание

Обычно ручное просеивание применяют на ситах с размером ячейки не менее 90 мкм. В сито засыпают небольшое количество порошка (от 10 до 50 г). Устанавливают сито или два сита на поддон и закрывают прозрачной крышкой. Применение более двух сит считается непрактичным.

Процесс ручного просеивания состоит в следующем. Берут сито или набор из двух сит, наклоняют под углом 20-30 градусов к горизонтали и ударяют 6-8 раз по верхней части корпуса сита. Затем трясут сито или набор сит горизонтально и крутят его на 90 градусов относительно вертикальной оси. Повторяют эти удары, тряску и кручение пока не исчезнет более мелкая фракция. Обычно это видно по изменению внешнего вида порошка.

Процесс просеивания заканчивают постукиванием по корпусу сита для удаления всех мелких частиц порошка с нижней стороны дна сита и нижней части корпуса. Оставшиеся частицы порошка удаляют мягкой кисточкой. Процедура ручного просеивания может занимать 15-20 минут.

Ручное просеивания применяют в основном на сите с размером ячейки 90 мкм на небольших окрасочных предприятиях для выявления в порошковой краске посторонних загрязнений, а также при проверке краски на наличие агломерации частиц после длительного или проблемного хранения.

5.1.2.4 Машинное просеивание

Аппараты для просеивания в отличие от ручного просеивания обеспечивают дополнительные возможности движения между просеиваемым порошком и ситом. Это движение производится следующим образом:

- движениями и вибрацией дна сита в одном, двух или трех направлениях
- струей воздуха
- комбинацией обоих способов.

В случае просеивания на наборе сит пробу порошка загружают в верхнее сито.

При машинном просеивании на аппарате для одного или двух сит обычно применяют сита с размером ячеек 90 и 45 мкм. Результатом таких испытаний является определение доли крупных частиц размером более 90 мкм и доли частиц размером более 45 мкм. Процедура просеивания занимает около 2 минут.

5.1.3 Лазерный дифракционный анализ

- **ISO 8130-13 Краски порошковые. Анализ размеров частиц методом лазерной дифракции**

5.1.3.1 Принцип

При измерении размера частиц порошка методом лазерной дифракции луч лазера проходит через рассеянный образец порошка. Измеряется угловое изменение интенсивности рассеиваемого света. Большие частицы рассеивают свет на малые углы относительно луча света, а малые частицы – на большие углы (рисунок 5.3). Затем эти данные по интенсивности рассеивания света анализируются компьютером.

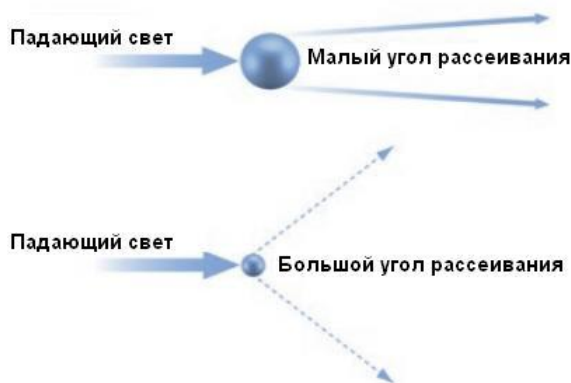


Рисунок 5.3 – Принцип лазерной дифракции

4.1.3.2 Оборудование

Измерение размеров частиц методом лазерной дифракции является намного более сложным, чем метод измерения просеиванием. Оборудование для такого анализа может быть весьма сложным и дорогим (рисунок 5.4). Эти аппараты дают диаграмму распределения размеров частиц порошка. Кроме того, они определяют статистические характеристики распределения размеров частиц порошка, в том числе:

- средний размер;
- медиану D_{50} ;
- моду.



Рисунок 5.4 – Лазерный дифракционный анализатор

Такие инструменты являются необходимыми и очень полезными для производителей порошковой краски, но вряд ли являются обязательным оборудованием для потребителей порошковой краски, особенно при среднем и малом объеме производимого порошкового покрытия.

5.1.4 Оптимальное распределение размера частиц

5.1.4.1 Интерпретация результатов испытаний

- Доля крупных частиц порошка размером свыше 90 мкм не более 0,5 % является хорошим стандартом для типичного порошкового окрашивания, например, архитектурных алюминиевых профилей. Эту проверку можно выполнить ручным просеиванием на одном сите.
- Отсеянный порошок на сите с меньшим размером ячеек, например, 45 мкм, дает хорошую оценку доли самых мелких частиц порошка. Эта доля должна быть в интервале от 22 до 28 %. Более высокая доля мелких частиц вызывает проблемы для системы электростатического напыления из-за их склонности к агломерации (комкованию) и недостаточной электростатической зарядке.
- Из-за неправильной формы частиц распределение размеров частиц, который определяют методом просеивания, может очень сильно отличаться от того, который получают методом лазерной дифракции. Всегда важно указывать, какой метод будет применяться для определения распределения размеров частиц, так как результаты различных методов не подлежат сравнению.

5.1.4.2 Слишком мелкие частицы

Слишком большая доля мелких частиц порошка, размер которых менее 10 мкм, является причиной некоторых проблем с напылением порошков:

- Мелкие частицы имеют более высокое соотношение поверхности к массе, чем крупные частицы. Это увеличивает склонность краски к поглощению влаги. Более высокое содержание влаги способствует повышенному комкованию порошка, что ведет к проблемам с ожигением и транспортированием

порошка по системе напыления, а также хранением порошка.

- Мелкие частицы несут больше заряда на единицу массы, чем крупные частицы. Поэтому при повышенной доле мелких частиц в порошке явление обратной ионизации и связанный с ним дефект «шагрень» возникает на меньшей толщине покрытия, чем обычно.
- Мелкие частицы имеют меньшую массу подвержены большему влиянию потоков воздуха и более слабых электростатических линий. Это затрудняет их проникновение в так называемые «клетки Фарадея», но способствует электростатическому окрашиванию обратной поверхности изделия.

5.1.4.3 Слишком крупные частицы

По физической сущности процесса формирования порошкового покрытия размер частиц играет важную роль в способности покрытия к выравниванию:

- Трудно ожидать хорошего выравнивания покрытия, которое состоит в основном из грубых крупных частиц порошка, которые должны «запечься» в однородную пленку при обработке в печи.
- Преобладание в порошке крупных частиц неправильной формы приводит образованию слоя сухого порошка с большей долей «пустых мест». Это повышает вероятность возникновения на покрытии дефектов типа пузырей, «булавочных уколов», апельсиновой корки и усадки.

5.1.4.4 Возвратная порошковая краска

Все более или менее крупные системы нанесения порошковых покрытий включают в себя системы возврата (рециркуляции) краски, которая не смогла осесть (электростатически притянуться) на изделие при своем первом проходе и через циклон возвращается обратно в бак ожижения и снова подается на распылительные пистолеты. В результате такой рециркуляции, например, с применением циклона, происходит смещения распределения размеров порошка к более крупной фракции (рисунок 5.5).

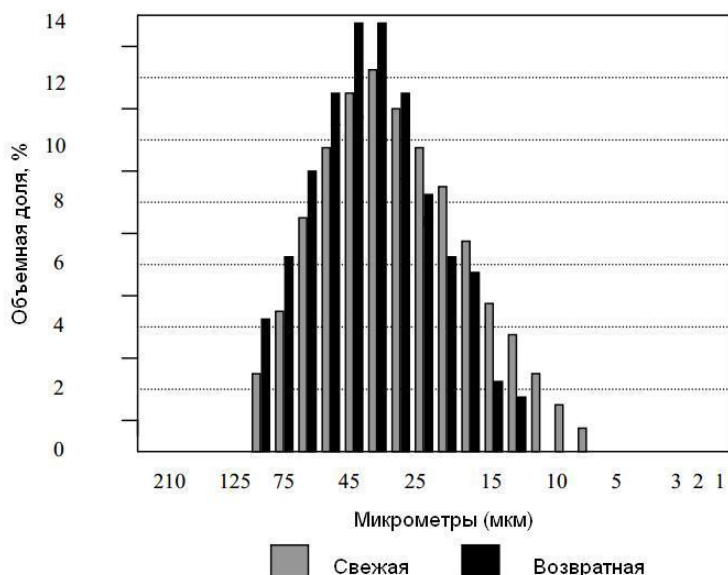


Рисунок 5.5 – Смещение распределения размеров частиц возвратной порошковой краски (циклонная система возврата порошка)

5.2 Сухое течение порошка

5.2.1 Роль сухого течения порошка для технологии напыления

Способность порошковой краски к транспортированию по трубкам и шлангам очень сильно зависит от ее сухой текучести. Текучесть порошка определяется как его способность к свободному, однородному и непрерывному (похожему на течение жидкости), когда он находится в заданных условиях давления, температуры и скорости несущего газа (воздуха).

- При электростатическом напылении эта смесь засасывается из бака ожижения и через шланги подается на напылительные пистолеты.
- Для получения однородных покрытий очень важным является непрерывная и стабильная подача порошка к напылительному оборудованию. Это зависит от того, как хорошо ожижается порошок.
- Факторами, которые влияют на то, как хорошо ожижается порошок:
 - форма частиц порошка
 - распределение размеров частиц
 - химический состав порошка
 - содержание влаги
 - склонность порошка к агломерации (комкованию).

5.2.2 Сухая текучесть (угол откоса)

- **ISO 4324 Поверхностно-активные среды. Порошки и гранулы. Измерение угла откоса**

5.2.2.1 Принцип

Определение угла откоса конуса порошка, которые получают при вытекании заданного объема порошка через специальную воронку, расположенную на заданной высоте над плоской и выверенной по горизонтали круглой плите (рисунок 5.6).

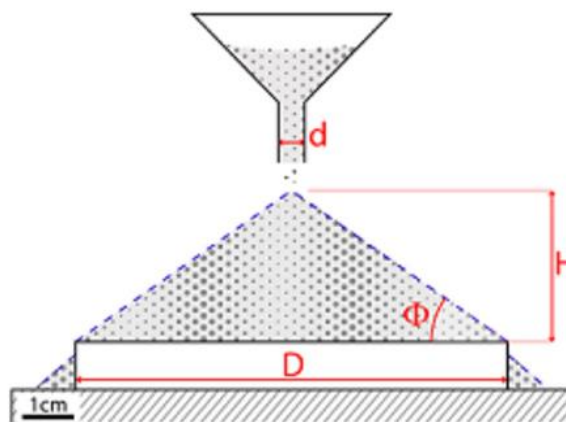


Рисунок 5.6 – Принцип измерения угла откоса [ISO 4324]

5.2.2.2 Оборудование

Аппарат для испытания порошка на сухую текучесть показан на рисунке 5.7.

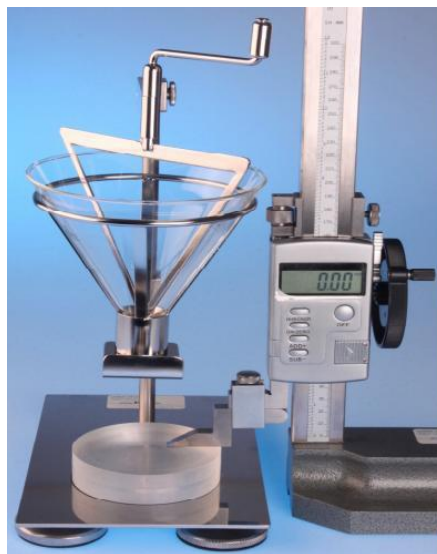


Рисунок 5.7 - Аппарат для определения угла откоса по ISO 4324

Пробу материала высыпают в стандартизированную воронку, которая снабжена мешалкой. Порошок высыпают на толстый стеклянный диск. Высота конуса порошка, который образуется под воронкой является индикатором для способности порошка к течению по каналам напылительного оборудования и складскому хранению.

5.2.2.3 Метод

- Некоторое количество порошка высыпается через воронку на горизонтальную поверхность с образованием конуса (в виде маленькой горки или холмика).
- Угол, который образуется стороной этого конуса дает показатель сухого течения порошка.
- Это испытание в основном производится, чтобы сравнивать различные партии порошка.

5.2.2.4 Интерпретация результата испытаний

Определение угла откоса является только косвенным, а не прямым испытанием способности порошка к ожижению, как это делается в другом методе оценки сухого течения порошка – способности порошка к ожижению (ISO 8130-5, см. ниже 5.2.3).

Характеристики течения и соответствующие углы откоса:

- 25-30° - очень высокая текучесть
- 31-35° - хорошая текучесть
- 36-40° - удовлетворительная текучесть
- 41-45° - предельно допустимая текучесть
- 46-55° - плохая текучесть
- 56-65° - очень плохая текучесть
- >66° - полное отсутствие текучести

5.2.3 Способность порошка к ожижению

- ISO 8130-5 Порошковые краски. Часть 5. Определение свойств текучести порошково-воздушной смеси
- ASTM D 1895 Методы измерения кажущейся плотности, коэффициента усадки и сухого истечения органических порошковых материалов

5.2.3.2 Цель

Определение способности порошка к передаче по трубопроводам и шлангам с помощью воздуха.

5.2.3.3 Принцип, метод и аппарат

- 250 г порошка помещают в специальный аппарат (рисунок 5.8).
- Измеряют высоту порошка до ожижения H_0 и высоту ожиженного слоя H_1 .
- Открывают на 30 с специальное отверстие для вытекания воздушно-порошковой смеси в специальный контейнер.
- Взвешивают порошок, который собрался в контейнере.
- Повторяют эту процедуру три раза и получают три величины веса краски в контейнере: m_1 , m_2 и m_3 .

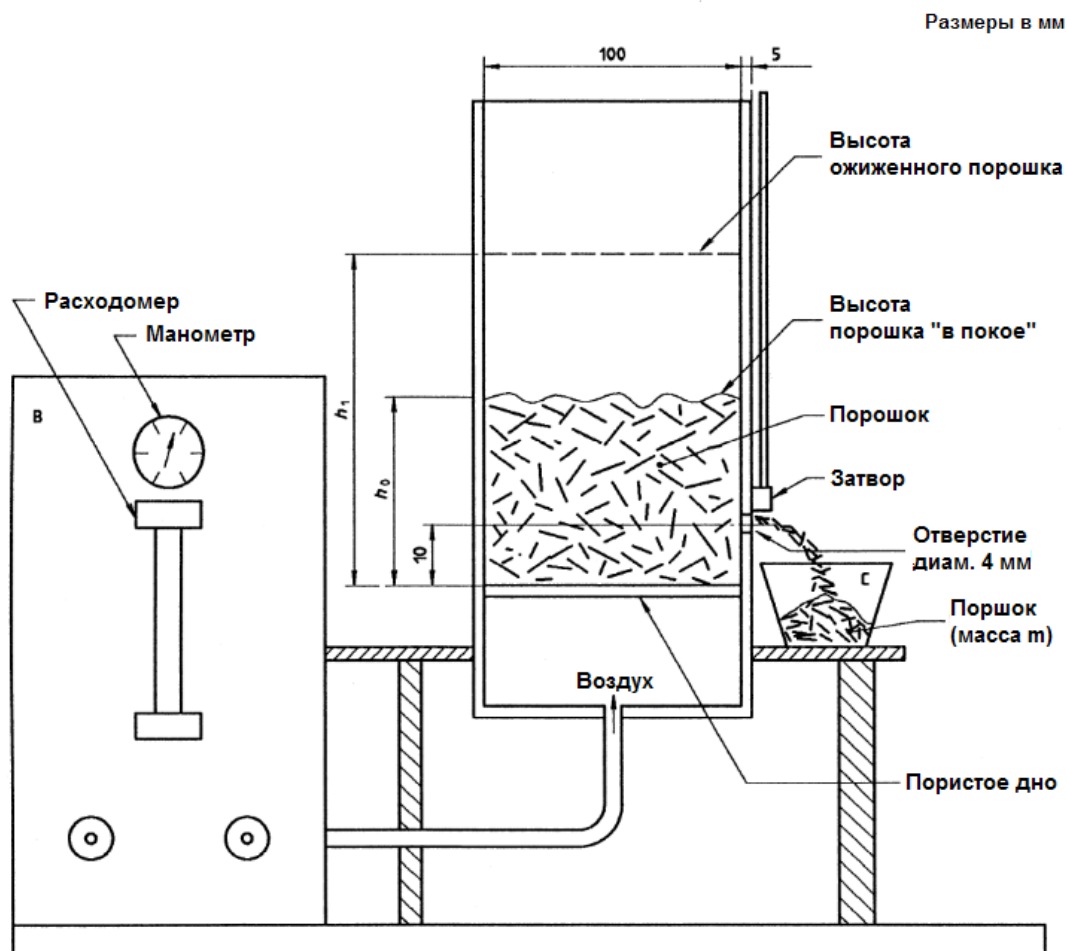


Рисунок 5.8 – Аппарат для испытания порошковой краски на способность к ожижению [ISO 8130-5]

5.2.3.4 Интерпретация результатов

Коэффициент способности к передаче порошка в виде воздушно-порошковой смеси определяют по формуле:

$$R = m \times (H1 / H0),$$

где m – арифметическое среднее величин веса краски $m1$, $m2$ и $m3$.

Для эпоксидных порошковых красок с удельной плотностью от 1,3 до 1,6 опыт показывает, что результаты по величине R обычно бывают следующие:

- $R > 140$ – очень хорошо
- $R = 120-140$ – хорошо
- $R = 80-120$ – средне
- $R < 80$ – неудовлетворительно

Величины, которые приведены в этом примере являются только иллюстративными. Каждое окрасочное производство должно опытным путем получить аналогичную таблицу, которая соответствует его конкретным условиям.

5.3 Эффективность электростатического осаждения

- **ISO 8130-10 Порошковые краски. Часть 10. Определение эффективности электростатического нанесения**

5.3.1 Цель

Оценка эффективности осаждения частиц порошка на изделие при первом проходе распыленной краски.

5.3.2 Принцип

Эффективность осаждения (нанесения, напыления) порошка определяют как отношение массы осажденного порошка в сравнении с общим количеством порошка, которое было направлено на стандартизованную тестовую мишень при заданных параметрах расхода порошка и давления воздуха. Выражается в процентах осажденной (напыленной) краски от общей массы краски направленной на изделие.

5.3.3 Метод

Электростатическое напыление порошковой краски на пять одинаковых мишеней. Мишенями являются стальные трубы наружным диаметром 25 мм и длиной 500 мм, которые завернуты в алюминиевую фольгу и подвешиваются вертикально. Все трубы имеют заземление. Фольгу для центральной трубы взвешивают.

Пистолет устанавливается напротив середины центральной мишени на расстоянии, которое обеспечивает покрытие около 60 % длины центральной трубы. Длительность напыления должна составлять $6,0 \pm 0,5$ с. Для точного начала и окончания напыления облако напыления перекрывают экраном из материала, который не проводит

электричество.

Центральную мишень осторожно снимают и помещают в печь на 5-10 минут при температуре, которая обеспечивает расплавление порошка.

Эффективность напыления E , выраженную в процентах, вычисляют по формуле:

$$E = (m_p \times 60 \times 100) / (P_f \times t),$$

где

m_p – масса порошка, осажденного на фольгу центральной мишени, г;

t – длительность напыления, с;

P_f – расход порошка, г/мин.

5.3.4 Интерпретация результатов испытания

Это испытание может быть полезными для сравнения эффективности напыления различных порошков одним и тем же пистолетом или различными пистолетами с одним и тем же порошком. Сравнение результатов испытаний имеет смысл только, если испытания проводились в одной и той же лаборатории, и примерно в тоже время, а не результаты испытаний различных лабораторий.

Результаты испытаний зависят от следующих свойств порошковой краски:

- химический состав;
- плотность;
- распределение размера частиц;
- форма частиц;
- характеристики течения смеси порошка в воздухе;
- содержание влаги;

а также следующие условия испытания:

- форма порошкового облака на выходе из пистолета;
- давление воздуха на пистолете;
- напряжение на пистолете;
- полярность пистолета;
- относительная влажность воздуха.

5.4 Удельная плотность

5.4.1 Зачем нужно знать удельную плотность порошка

Удельная плотность – это величина, которая вычисляется как отношение плотности материала к плотности воды при данных температуре и давлении.

От величины удельной плотности прямо пропорционально зависит удельный расход краски (в килограммах на квадратный метр). Порошковые краски наносятся в объемном виде (толщина в микрометрах, умноженная на квадратный метр). Знание удельной плотности дает возможность рассчитать при заданной толщине и площади покрытия необходимый вес порошковой краски.

5.4.2 Метод газового пикнометра

- **ISO 8130-2 Порошковые краски. Часть 2. Определение плотности с применением газового пикнометра**
- **ASTM D 5965 Методы определения удельной плотности порошковых красок**

5.4.2.1 Принцип

Определение объема пробы порошковой краски известной массы расчетным путем по изменению давления в пикнометре после введения пробы.

5.4.2.2 Оборудование и материалы

- Газовый пикнометр.
- Воздух или гелий в баллоне

5.4.3 Метод жидкостного пикнометра

- **ISO 8130-3 Порошковые краски. Часть 3. Определение плотности с применением жидкостного пикнометра**

5.4.3.1 Цель

Определение удельной плотности порошковой краски

5.4.3.2 Аппаратура и материалы

- Пикнометр жидкостный
- Вакуумный насос
- Вода дистиллированная
- Жидкость для смешивания с краской, например, n-гептан.

6 Химические и термические свойства порошковой краски

Химические и термические свойства порошковых красок – это те свойства, которые отвечают за формирование из слоя сухой порошковой краски прочного и декоративного полимерного покрытия, а также их стойкость к условиям транспортирования и хранения:

- длительность реакции отверждения (полимеризации)
- растекаемость по нагретой наклонной плоскости
- совместимость различных красок
- потеря массы покрытия при нагреве в печи
- стабильность свойств порошка при хранении
- температура стеклования
- температура плавления

6.1 Время желатизации (отверждения, полимеризации)

- **ISO 8130-6 Порошковые лакокрасочные материалы. Часть 6. Определение времени желатизации термореактивных порошковых красок при заданной температуре**
- **ASTM D 3451 Standard Guide for Testing Coating Powders and Powder Coating (Section 16 – Gel Time or Stroke Cure)**

6.1.1 Основание

Способность порошковой краски к отверждению (полимеризации), то есть ее реактивные свойства, может быть измерена с помощью простого испытания на желатинизацию. Желатизация – это переход жидкого расплавленной массы в гелеобразное состояние.

При этом испытании замеряют время, которое требуется, чтобы расплав краски при заданной температуре перешел в гелеобразное состояние. В этом гелеобразном состоянии отдельные органические молекулы соединяются между собой в трехмерную структуру, то есть происходит полимеризация. Задаваемая температура должна близка к температуре полимеризации краски, которую рекомендует изготовитель краски.

Время желатизации вместе с информацией о химическом составе порошковой краски дает возможность прогнозировать будет ли обеспечиваться полное отверждение (полимеризация) порошкового покрытия при данных параметрах печи – температуры и длительности обработки в печи.

Время желатизации является еще одной характеристикой, которая влияет на показатели порошкового покрытия: это время в секундах, которое нужно расплавленной порошковой краске достичь отвержения (полимеризации) в конце процесса плавления и при данной температуре. Это случается в виде быстрого изменения в хорошо перемешиваемого расплава в резиноподобное состояние.

Достаточно большое время желатизации может понадобиться для выхода газов как из окрашиваемого материала, так и из самого покрытия.

6.1.2 Принцип

Определяют количество времени, которое необходимо термореактивной порошковой краске, чтобы расплавиться, растечься и полимеризоваться (отвердиться) при заданной температуре ее нагрева.

Является быстрым способом убедиться, что в порошке партии присутствуют все ингредиенты. Если время отверждения слишком большое или если порошок совсем не отверждается, то это может указывать на то, что какие-либо ингредиенты порошка отсутствуют или присутствуют в неправильных количествах.

6.2 Растекание по наклонной плоскости

- **ISO 8130-11 Порошковые краски. Часть 11. Определение способности к стеканию на наклонной плоскости**

6.2.1 Цель

Эта часть стандарта ISO 8130 устанавливает метод определения характеристик текучести расплавленной термореактивной порошковой краски вниз по плоскости, которая имеет заданный наклон к горизонтали. Целью этого испытания является определение степени текучести расплавленного порошкового материала, которое может происходить при его термической обработке в печи. Эта характеристика связана с такими характеристиками покрытия как гладкость поверхности, ее внешний вид и способность покрывать острые углы. Это испытание применяют как полезный метод для проверки различий разных партий одной и той же краски. Этот метод не применяют для порошковых красок, у которых время желатинизации меньше одной минуты по ISO 8130-6.

6.2.2 Обоснование испытания

То, как хорошо порошок плавится и растекается по основе, является очень важным аспектом для заключительного этапа формирования покрытия. Течение по наклонной плоскости является простым, но эффективным способом оценить вязкость течения порошкового покрытия во время расплавления и полимеризации.

В неотвержденном (неполимеризованном) состоянии требования к способности порошковой краски к растеканию или выравниванию зависят от применяемого способа нанесения покрытия. Для очень гладкой готовой поверхности порошкового покрытия порошковая краска может потребоваться относительно быстрая (короткая) текучесть. Испытание на наклонное течение дает возможность сравнивать характеристики наклонного течения двух различных порошковых красок.

Время желатинизации и течение по наклонной плоскости применяют как первые проверки реактивности термоотверждаемых порошковых красок:

- Если результаты испытаний на время желатинизации или течение расплава не соответствуют заявленным характеристикам, то это может означать, что что-то не в порядке с исходным материалом или состав краски не соответствует ее рецепту.
- Оба испытания применяются в основном для сравнения одной партии порошковой краски с другой для проверки стабильности продукции.

6.2.3 Метод

- Заданное количество порошка спрессовывают в пластину и помещают на поверхность, которая располагается под некоторым углом (обычно 65 или 35 градусов) и нагревается до заданной температуры (обычно до температуры, которая декларируется как температура полимеризации данного покрытия).
- Пластина расплавляется и течет вниз по нагретой наклонной поверхности. Расстояние, которое проходит расплавленный порошок, является характеристикой данного рецепта краски

- Наклонная поверхность – это или пластина, которая находится на нагревательной плитке, или полированная металлическая поверхность самой нагревательной плитки, которые установлены под заданным углом.

6.3 Совместимость порошковых красок

- **ISO 8130-12 Порошковые краски – Часть 12. Определение совместимости**

6.3.1 Цель

Необходимость совместимости возникает при работе с порошковыми различных цветов или химического состава. При смешении несовместимых красок может возникать такие проблемы, как кратеры, изменение глянца, внешнего вида, физических свойств или цветового загрязнения. Чтобы не сталкиваться с такими проблемами на производственной окрасочной линии, лучше перед применением на линии различных порошковых красок проверять их на совместимость.

6.3.2 Принцип и метод

Смешивают различных марок порошковых красок в различном соотношении. Наносят смесь испытательные пластины, отверждают в печи и осматривают на проявление дефектов внешнего вида.

6.4 Потеря массы порошкового покрытия при обработке в печи

- **ISO 8130-7 Порошковые лакокрасочные материалы. Часть 7. Определение потери массы при обработке в печи**

6.4.1 Цель

По сравнению с жидкими красками порошковые краски имеют относительно небольшую потерю веса в после операции отверждения (полимеризации) в печи. Обычно эта потеря веса порошковых красок состоит из воды и низкомолекулярных органических соединений. Данные по потере веса могут потребоваться для проектирования системы удаления газов и вредных выбросов из печи полимеризации, а также загрязнений, которые могут оседать на поверхности изделий и стенках печи.

6.4.2 Принцип

Пробу порошка помещают в печь на заданное время. После нагревания охлаждают. Потерю масс при заданной температуре определяют по формуле (в процентах):

$$L = ((m_0 - m_1)/m_0) \times 100$$

где

m_0 - масса пробы до нагревания, г

m_1 – масса пробы после нагревания, г

6.5 Стабильность свойств порошка при хранении

- **ISO 8130-8 Оценка стабильности терморезактивных красок при хранении**

6.5.1 Цель

Прогнозирование физической и химической стабильности порошковой краски для определения срока ее пригодности в зависимости от времени и температуры хранения. В течение заданного срока хранения порошковая краска должна:

- сохранять способность к ожижению и свободному течению
- расплавляться, растекаться и отверждаться (полимеризоваться) с образованием порошкового покрытия, которое отвечает требованиям по декоративным и защитным характеристикам.

6.5.2 Принцип

Современные реактивные порошковые покрытия часто имеют очень короткий срок хранения при температуре от 20 до 30 °С. Их долговременное хранение и транспортирование при температурах выше 35-40 °С не должно допускаться. Свежая порошковая краска может хорошо ожижаться и распыляться в контролируемых лабораторных условиях, однако после хранения в производственных условиях при повышенной температуре и влажности может потерять эти свойства. Испытание на стабильность свойств порошковой краски является моделированием условий, в которых находится краска при транспортировании и хранении.

6.5.3 Метод

- Испытания на хранение выполняются путем помещения заданного количества порошка в контейнер и помещение этого контейнера в печь при постоянной температуре в течение некоторого периода времени.
- В ходе этого испытания сверху порошка помещают груз.
- После заданного времени испытания (от недели до месяца) порошок вынимают и оценивают изменение его физических и химических свойств.
- Если порошок спекся в твердую массу, которую нельзя разломать, он может вызвать производственные проблемы.
- Если порошок физически выглядит нормальным, то необходимо определить температуру отверждения и характеристики течения порошка и сравнить их с результатами испытаний, которые были получены до испытания на хранение.

6.6 Температура стеклования

- **ISO 16805 Binders for paints and varnishes – Determination of glass transition temperature**

6.6.1 Принцип

Температура стеклования – это температура термического перехода второго порядка, которая является характеристикой аморфных и полукристаллических полимеров. Температура стеклования – это температура, при которой стекловидная,

хрупкая смола становится вязким тягучим материалом. Это не точка перехода к расплавлению, но после нее материал становится более «мягким». Большинство смол, которые применяются к термореактивных порошковых красках имеют температуру стеклования в интервале 50-70 °С. Если температура стеклования порошковой краски находится около комнатной температуры (то есть ниже 50 °С), то частицы порошка будут склонны к спеканию друг с другом с образованием массы, которая не способна к распылению. Температура стеклования зависит не только от входящей в нее смолы, но и от отвердителей и добавок, которые могут понижать ее величину. Знание величины температуры стеклования неполимеризованного порошка особенно важно для порошковых красок с пониженной температурой полимеризации или порошковых красок с ускоренной полимеризацией. Такие порошковые краски требуют особых мер при их транспортировании и хранении.

6.6.2 Методы

Для измерения температуры стеклования применяют метод дифференциальной сканирующей калориметрии и другие методы. Дифференциальная сканирующая калориметрия – это метод термического анализа, с помощью которого измеряют, как изменяется теплоемкость материала с изменением температуры.

6.7 Температура плавления

- **ASTM D 3451 Standard Guide for Testing Coating Powders and Powder Coating (Section 16 – Gel Time or Stroke Cure)**

Определение температуры плавления (точки плавления) порошковой краски или температуры, при которой она становится липкой (температура липкости) может быть полезно по следующим причинам:

- установление максимальной температуры хранения
- установление максимальной температуры, при которой может быть изделие, когда оно входит в камеру напыления
- сравнение двух порошковых красок по их склонности к ударному спеканию.

Стойкость к ударному спеканию порошковой краски зависит от многих факторов, а не только от температуры плавления. Некоторые порошковые краски, благодаря своему химическому составу, могут быть стойкими к ударному спеканию, не смотря на то, что их температура размягчения относительно низкая.

7 Заключение

Мы четко осознаем, что представленные выше материалы не являются максимально полными и исчерпывающими. Поэтому мы с благодарностью примем во внимание все конструктивные замечания, уточнения и исправления. С ростом понимания рассмотренных выше проблем и получения дополнительной информации мы будем выпускать новые редакции этого руководства. Каждый покупатель любой из редакций этого руководства будет бесплатно получать все последующие редакции.

8 Библиография

Кроме международных стандартов 19 стандартов ISO и ASTM, которые представлены в тексте, источниками информации для этого руководства также послужили монографии, учебники, руководства, технические материалы и статьи, которые представлены ниже. Они могут быть использованы для более глубокого изучения рассмотренных вопросов.

1. All You Need to Know About Testing of Powder Coatings - <https://coatings.specialchem.com>
2. Материалы компании TCI Powder Coating - www.tcipowder.com
3. Powder Coatings: Chemistry and Technology / Emmanouil Spyrou – 2012.
4. European Coatings Handbook / T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke – 2000
5. User's Guide to Powder Coating / Nicholas Liberto – 2003
6. Powder coating made easy: Powder Coating 101 / Technicalhelp4U – 2003
7. Powder Coater's Manual / R. Talbert - 1998
8. A Guide to High-performance Powder Coating / Bob Utech -
9. Powder Coater's Manual / The Powder Coating Institute – Doc. PCI 021909 Rev. 1
10. Jing Fu – Ph. D. Thesis, The University of Western Ontario – 2014
11. Quality Control in the Powder Industry – <https://www.powdercoatedtough.com> - 2013
12. Dosing and dispersing - <https://www.neuman-esser.de> – 2020
13. Ask Joe Powder - September 1, 2013 - <https://www.powdercoatedtough.com>
14. AEROSIL and AEROXIDE fumed metal oxides for powder coatings – Technical Information 1340 – Evonic Industries