

Газопламенное напыление

полимерных порошковых красок

В статье рассмотрены вопросы разработки оборудования для газопламенного нанесения порошковых красок. Проведен анализ результатов практического применения, на базе которого, даны рекомендации по формированию покрасочного слоя из легкоплавких полимеров без изменения их структуры.

Вначале определимся с применяемой терминологией: «газопламенная полимерная порошковая покраска» и «газопламенное напыление покрытий из полимерных материалов». Обе формулировки подразумевают формирование полимерного покрытия и, соответственно, не имеют противоречий.

Принцип газопламенного нанесения (ГПН) полимеров изначально был позаимствован у технологии газопламенного напыления металлов. Покраска больше затрагивает декоративные свойства покрытия и имеет ограничения на тип используемых полимеров. Напыление – более обобщенное определение и подчеркивает функциональное назначение покрытия. В заголовке статьи мы попытались объединить эти два определения.

На сегодняшний день наибольшее распространение в промышленности получили следующие способы нанесения полимерных порошковых материалов:

- нанесение из псевдооживленного слоя;
- электростатическое нанесение;
- термоструйное нанесение.

Каждый из вышеперечисленных методов обладает своими преимуществами

и недостатками, определяющими его эффективную область применения, исходя из геометрических параметров покрываемых деталей и изделий, их конструктивных и технологических особенностей, условий будущей эксплуатации, а также необходимой толщины функционального полимерного слоя. Единственным фактором, объединяющим все способы, является термообработка (или термическое воздействие в процессе формирования полимерного слоя), необходимая для образования устойчивой адгезионной связи полимера с подложкой. Первые два способа – это т. н. «цеховые», поскольку предполагают проведение комплекса операций и наличие специальных камер, ванн, печей. Поэтому, первое и основное ограничение их применения касается собранных, стационарных и крупногабаритных изделий. В этом случае единственными экономичными и простыми в реализации являются методы термоструйного напыления, позволяющие формировать полимерное покрытие за одну технологическую операцию.

К методам термоструйного напыления относятся:

- тепловое напыление;
- распыление расплава (пневмоэкструзионное);
- газотермическое (газопламенное, плазменное).

Из перечисленных наиболее технологичным и экономически целесообразным, при работе в нестандартных условиях непосредственно на месте эксплуатации изделий, представляется метод газопламенного напыления. К его основным достоинствам следует отнести:

- возможность производить напыление на месте без демонтажа конструкций;
- гибкость технологии и мобильность оборудования;
- легкость и простота обслуживания;
- возможность формировать слои из большинства полимерных материалов, обладающих хорошей адгезионной

прочностью и практически без изменений структуры;

- отсутствие источников электропитания.

Сущность метода газопламенного напыления состоит в следующем:

- образование направленного потока дисперсных частиц краски, обеспечивающего их перенос на поверхность окрашиваемого изделия;
- создание условий для протекания устойчивой реакции горения смеси «горючий газ-воздух», сопровождаемой повышением температуры продуктов сгорания в факеле пламени и увеличением скорости их перемещения в направлении движения фронта пламени;
- взаимодействие продуктов горения с частицами порошка, в результате которого они нагреваются до температуры плавления с образованием жидкой фазы;
- превращение внутренней (тепловой) и кинетической энергии частиц краски в работу деформации при формировании адгезионного контакта с поверхностью подложки;
- оптимизация значений температуры и скоростей потоков газов и порошка для формирования удовлетворительного покрасочного слоя.

В настоящее время многие важные вопросы ГПН еще до конца не ясны. И дело не только в сложности процессов горения и теплообмена, но также и в зависимости параметров, а иногда и направления основных химических реакций, от множества факторов – химических, структурных, теплофизических,



условий нанесения, типа материала подложки и т.д.

Перед тем как вплотную подойти к разработке оборудования для струйного нанесения полимерных покрытий, мы провели системный анализ состояния вопроса. Детально изучили конструкции и опыт применения как современных, так и первых установок, созданных в СССР в конце 80-х годов прошлого столетия. Первые газокислородные термораспылители неплохо себя зарекомендовали при напылении порошка поливинилбутирала, полиамида и отдельной группы порошков зарубежного производства. При напылении легкоплавких и вторичных полимеров наблюдалась деструкция напыляемого материала и, соответственно, очень низкое качество финишного покрытия. Поэтому в последнее время больший интерес представляют газовоздушные термораспылители, обеспечивающие нанесение покрытий порошками полимеров с температурой плавления от **365К до 670К (95-400 °C)**.

Мы провели технические консультации с сотрудниками **ИЭС им. Патона НАН Украины**, с известным производителем оборудования газопламенного напыления **Xiom Corporation (США)**. Проанализировали области применения, а также современный и перспективный уровень промышленного внедрения данной технологии в экономически развитых странах (США, Англия, Италия). К слову, в США внедрено и работает более 400 установок.

Установили достаточно плодотворное сотрудничество с крупнейшим производителем термопластических порошковых красок – фирмой **Plascoat Systems Limited (Англия)**. Цель – технические консультации по технологическим процессам разработки и создания новых композиций термопластических порошковых красок специального назначения. В настоящее время продукцию **Plascoat Systems Limited** мы предлагаем на Украине и, пока, считаем ее основным материалом при промышленном применении способа газопламенного полимерного напыления.

Выводы:

1. Востребованность и актуальность решения вопросов, посвященных обоснованию и разработке технологии формирования покрытий газопламенным напылением порошковых красок не вызывает сомнения.
2. Отсутствует научно обоснованная общая концепция построения оборудования ГПН порошковых красок, которая могла бы служить основой для выработки технического задания производителям порошка.
3. Отсутствуют общие рекомендации по выбору оптимальных величин те-

плового потока факела термораспылителя, а также режимов оплавления. Не проводились исследования по определению рационального состава горючей смеси, грануляции порошка, повышение его термостойкости. Каждый разработчик оборудования оптимизирует свои системы, опираясь в основном на собственные экспериментальные результаты с определенной группой полимеров, либо, в лучшем случае, самостоятельно занимается подгонкой (как правило, на достаточно примитивном уровне) отдельных характеристик полимерного порошка. Изложенное дает основание считать, что разработка специализированной порошковой краски, с учетом особенностей последующей термообработки в установках ГПН, с целью повышения эксплуатационной надежности финишного покрытия – является необходимым условием продвижения, как самого способа, так и технологии.

Бесспорно, качество формируемого покрытия при газопламенном напылении, по критерию адгезионной прочности, во многом зависит от химической природы полимерного материала, размера и формы его дисперсных частиц, их плотности, влажности, теплофизических и электрофизических свойств. Кроме того, немаловажным, с точки зрения формирования адгезионного контакта, является строгое выдерживание технологического регламента предварительной подготовки поверхности. Однако, как показывает теория и практика, основная причина изначально заложена в цикле термообработки, задача которой придать частицам порошка достаточный запас тепловой и кинетической энергии, в результате взаимодействия со струей газового пламени, образованной при сгорании горючей смеси «окислитель – горючий газ». Откуда становится понятна значимость процесса горения, так как эффективность взаимодействия пламени и частиц порошка определяет условия и степень термической активации напыляемого материала. Перенос тепла частицам полимера осуществляется за счет теплопроводности, конвекции и излучения, а для термопластичных полимеров еще и за счет движения горячего расплава в виде капель, потоков или брызг. Вклад каждого вида переноса в общий тепловой баланс зависит от характеристик системы и условий нанесения. Крайне важно, чтобы поверхностный слой полимера под действием тепла не нагрелся до температуры, при которой начинаются физические и химические превращения, приводящие к термическому и термоокислительному разложению.

Кроме того, необходимым условием эффективного теплообмена в системе «пламя факела – частица полимера»,

является то, что скорость нагрева до предельно допустимой температуры не должна превышать значений, получаемых в результате деления предельно допустимой температуры для данного полимера на постоянную времени его нагрева.

Эффективное использование энергии подразумевает оптимизацию процесса горения факела, достигаемую за счет согласования пространственных и теплофизических параметров пламени с теплофизическими характеристиками используемого полимера, а именно:

- это соотношение в смеси окислителя и горючего газа;
- характер распределения температуры вдоль оси пламени;
- время нахождения частиц в активной зоне факела пропано-воздушного пламени;
- геометрические и теплофизические параметры напыляемых частичек полимера.

Не вдаваясь в детальный анализ уравнения реакции горения пропана в воздушной среде, показано, что для устойчивого горения при максимальной скорости продуктов сгорания, оптимальное соотношение расходов воздуха и пропана **$V_{в}/V_{п} = 21,10...21,74$** .

Поскольку пропано-воздушная смесь обладает относительно небольшой скоростью воспламенения, кривая распределения температуры вдоль оси пламени имеет ярко выраженный пиковый характер в средней зоне. При этом длина ядра пламени: **0,04...0,08 м**; длина средней зоны пламени: **0,01...0,02 м**; длина внешней зоны пламени: **0,16...0,32 м**.

Время нахождения частиц в активной зоне факела определяется средней скоростью полета, которая функционально связана с эффективностью процесса теплоотдачи, достаточного для расплавления полимера до пластического состояния. При этом предполагается, что температура на поверхности частицы и внутри должны соответствовать неравенству **$T_{пл} \leq T_n \leq 1,5 T_{пл}$** , где: $T_{пл}$ – температура плавления используемого полимера. Необходимо помнить, что для корректного количественного расчета скорости придется учитывать гранулометрический состав порошка, плотность напыляемых частиц, удельные теплоту плавления и теплоемкость полимера, расстояние от сопла до напыляемой поверхности и др. Анализ такой системы весьма затруднителен, тем более в трехмерных пространственных координатах. Наши упрощенные аналитические расчеты, подкрепленные экспериментами, показывают, что при работе с термопластическими порошками **Plascoat PPA-571** рациональная скорость полета части-

чек порошка краски должна находиться в пределах **20...40 м/с**.

На основании анализа литературных данных, результатов математического моделирования и комплексного инженерного расчета, была разработана и создана промышленная установка **МГПУ(п)-1-50**, предназначенная для ручного нанесения порошковых полимерных покрытий на подготовленные поверхности методом газопламенного напыления. Общий вид установки в базовой комплектации показан на фото.

Основные технические характеристики установки приведены ниже

1. Максимальная производительность по порошку, кг/ч, не более – 3-3,5.
2. Размеры частиц напыляемого порошка, мкм – 10-300.
3. Производительность напыления (при толщине слоя 250 мкм), кг/ч, – 8-10.
4. Толщина покрытия, мм – 0,15-2.
5. Емкость расходного бункера, л – 30.
6. Коэффициент использования материала – 0,95.
7. Расход:
 - пропан-бутана, м³/ч – 1,2;
 - сжатого воздуха, м³/ч – 25.
8. Диапазон рабочих давлений:
 - пропан-бутана, Мпа – 0,1-0,2;
 - сжатого воздуха, Мпа – 0,3-0,6.
9. Габаритные размеры установки, (Д × Ш × В), м – 0,9 × 0,7 × 1,2.
10. Масса установки (без загрузки), кг – не более 40.

Установка **МГПУ(п)-1-50** в настоящее время находится в активной стадии промышленной апробации.

При анализе результатов лабораторных и производственных испытаний установлено:

1. При формировании полимерных покрытий (**PlascoatPP571**) с помощью **МГПУ(п)-1-50** и выбранных оптимальных режимах напыления, термическая деструкция поверхности незначительна.

2. Повышение эксплуатационных показателей наносимого покрытия возможно достичь за счет:

- активации покрываемой поверхности;
- плавного регулирования температурно-временных условий формирования покрытия;
- модифицированием полимерного материала, путем введения добавок-наполнителей.

Рассмотрим по пунктам. Активирование покрываемой поверхности достигается путем воздействия на материал подложки – это повышение температуры, создание напряженного состояния и увеличение шероховатости.

Гораздо сложнее с управлением режимами напыления. Эта проблема больше относится к технической реализации оборудования. Экспериментально уста-



новлено, что для эффективной работы по напылению термопластического порошка с размерами частиц от **150 до 250 мкм** необходима плавная и точная регулировка плотности потока тепла по сечению факела в пределах **(0,5...3,5) × 10⁶ Вт/м²**.

Эффективными модификаторами могут быть дисперсные металлы и их оксиды.

Так, при введении в состав полимерного порошка частиц окиси алюминия, наблюдалось повышение адгезионной прочности покрытия. Кроме того, из литературных источников известно, что введение в состав полимера активных добавок тригидрата оксида алюминия способствует снижению горючести материала, и, как следствие, повышению критической температуры деструкции, что крайне важно при ГПН.

3. При наличии в порошке крупных (**d ≥ 300 мкм**) и мелких (**d ≤ 100 мкм**) фракций их желательно разделять. В противном случае нагрев и оплавление крупных и мелких фракций при фиксированных режимах термообработки будет происходить неравномерно – крупные не успеют полностью расплавиться, а мелкие сгорят, что соответственно приведет к снижению прочности сцепления.

4. Выявлено и оценено влияние ряда конструктивных особенностей сопла на равномерность плотности потока порошковой струи в сечении пла-

мени по всей длине факела. Разные по расположению объемы струи порошка могут по разному взаимодействовать с различными по температуре участками факела. Часть порошка на границах факела может не расплавляться пламенем, а увеличение тепловых параметров пламени может привести к деструкции частиц, летящих ближе к оси факела. Была разработана и применена конструкция сопла, обеспечивающая узконаправленный поток частиц с малой угловой расходимостью (т.н. «параллельный» поток). Положительный эффект также наблюдался при расширении «плата» в распределении температуры по оси и сечению факела, путем увеличения ядра пламени и длины средней зоны. Кроме того, была экспериментально апробирована гипотеза о создании системы регулируемой «фокусировки» потока частиц, за счет использования внутри транспортно-го канала дополнительных магнитных полей. Если внутри канала обеспечить движение, при котором каждая частица, предварительно трибозаряженная, приобретает радиальную составляющую скорости, то регулируемое продольное магнитное поле заставит частицы двигаться по винтообразной траектории, создавая не расходящийся поток частиц по всей длине факела.

5. Практически установлено, что лучший результат, особенно с точки зрения визуального качества покрытия, достигается при предварительном прогреве напыляемой поверхности, желательно с пирометрическим контролем температуры, потом непосредственного нанесения полимерной краски с последующим оплавлением напыленного слоя.

6. Экспериментально показана возможность и определены оптимальные режимные параметры нанесения защитно-декоративных полимерных покрытий газопламенным методом на неметаллические материалы (пластмассу, керамику, МДФ, бетон и др.).

Достоверность всех вышеприведенных результатов и выводов подтверждена необходимым объемом и повторяемостью экспериментальных данных, полученных нами в натурных условиях.

ООО Белмар

г. Николаев, ул. Янтарная 318/10
тел.: (0512) 58-18-23
факс: (0512) 25-49-13
e-mail: belmar-ltd@mail.ru
<http://www.belmar-ltd.com>

Оборудование для порошковой покраски, декорирования металлоизделий, стекла, МДФ, ПВХ, газопламенной порошковой покраски.