

УДК 620.193:678:667

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОАКТИВИРОВАННОЙ ГАЗОПЛАМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ ИЗ ЧАСТИЦ С РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

*канд. техн. наук, доц. С.Э. ЗАВИСТОВСКИЙ, С.В. МОЛЧАНОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрены вопросы использования композиционных механических смесей с частицами различного размера, различной плотности и произвольной формы наружной поверхности для реализации концепции управления напряженно-деформированным состоянием многокомпонентных покрытий, получаемых методом газопламенного напыления и наплавки.

Введение. Развитие хозяйства выдвигает ряд насущных проблем - экономии трудовых, сырьевых, топливно-энергетических ресурсов, интенсификации действующих и разработки новых технологических процессов, защиты окружающей среды, успешное решение которых во многом связано с созданием и рациональным использованием новых полимерных материалов и способов их нанесения.

Высокая химическая устойчивость к действию агрессивных сред, хорошие диэлектрические свойства, повышенная сопротивляемость изнашиванию определяют наиболее эффективные области применения полимеров для защиты металлов от коррозии и износа, создания композиционных материалов и систем, обладающих улучшенным комплексом эксплуатационных свойств. При этом удастся рационально сочетать свойства полимеров, металлов и других компонентов композиционных систем, добиваться экономного расходования материалов, создавать системы с заданными свойствами [1].

Широкое распространение полимеры получили в технологии защитно-декоративных покрытий, успешно заменяя традиционные лаки и краски, которые уже не могут удовлетворить возникающие с каждым годом новые потребности в надежных и дешевых покрытиях. Интенсивно разрабатываются новые композиционные составы, методы нанесения покрытий и приемы формирования полимерного слоя, совершенствуются аппаратура и методы исследований. Наибольший технико-экономический эффект они дают при защите изделий от разрушающего действия агрессивных сред, при обеспечении износостойчивости и минимальных потерь на трение в многочисленных фрикционных сопряжениях, при придании поверхностям металлоизделий электроизоляционных, антиадгезионных и других специальных свойств. Расширение областей использования полимерных покрытий привело к дальнейшему развитию методов их получения и аппаратурного оформления процессов, поиску новых композиционных составов и интенсификации их переработки [2].

Методы получения полимерного слоя на поверхности твердого тела во многом схожи с приемами получения стеклоэмалевых, керамических и металлонаплавочных покрытий, но имеют ряд принципиальных отличий, связанных с высокомолекулярной природой полимерных тел. Специфика дисперсного состояния полимерных тел и условий формирования полимерного слоя приносят существенные коррективы в физико-химические процессы, происходящие как на границе взаимодействия полимера и твердого тела, так и в системе полимер - полимер.

Существующие технологии нанесения покрытий методом газопламенного нанесения основаны на использовании порошковых материалов в виде частиц, максимально приближенных к сферической форме. Это связано с особенностями узлов питателей специализированного оборудования, основным условием перемещения частиц, через которое наблюдается условие самовытекания под действием собственного веса.

Использование композиционных механических смесей, в состав которых могут входить частицы различного размера, различной плотности и произвольной формы наружной поверхности, может привести к прекращению процесса свободного истекания порошковой шихты вследствие образования разветвленных арочных структур. С целью предотвращения «негативного влияния» частиц произвольной формы следует разрабатывать новые технические решения, препятствующие образованию арочных структур и обеспечению направленного массопереноса композиционной шихты заданной концентрации через отверстие питателя. Наиболее рациональным способом устранения этого нежелательного явления является создание между отверстием питателя и композиционной шихты зоны принудительных колебаний с определенными амплитудой, частотой и направлением. Это позволит не только смешивать различные составы и получать покрытия с новыми свойствами, но и повысить экономический эффект полимерного покрытия в связи с возможностью использования материалов из отходов химической промышленности.

Металлополимерное покрытие является наиболее надежным способом антикоррозионной защиты металлических изделий в условиях повышенной влажности и температуры, а использование полимеров

является наиболее эффективным и экономически целесообразным для защиты от коррозии трубопроводов работающих в среде с повышенной влажностью, водопроводных труб и т.д., так как традиционная антикоррозионная защита (лакокрасочные покрытия) требует систематического обновления [4]. Поэтому кажущаяся дешевизна последнего, с учетом регулярной покраски, с точки зрения экономичности явно проигрывает полимерным покрытиям.

Методика исследования. Существенные трудности при получении композиционных покрытий струйными методами связаны с обеспечением равномерной толщины полимерного слоя и необходимостью дополнительного прогрева изделий с нанесенным покрытием для его окончательного формирования. Однако имеющийся опыт автоматизации струйных процессов и использование эффективных устройств улавливания с последующей регенерацией дисперсных материалов позволяют считать струйные методы достаточно перспективными.

Существенное влияние на свойства покрытий оказывает конструкция питателя, влияющая на однородность состава компонентов в газовом потоке и качество покрытий. Питатели, входящие в состав установок газопламенного напыления, не обеспечивают равномерной подачи порошка в плазменный поток. В качестве питателя для дисперсных полимеров наиболее целесообразно применять камеру псевдооживления с эжектором для захвата частиц и их транспортировки к соплу или подвергнуть состав действию вибрации.

Композиционное полимерное покрытие можно наносить методом газопламенного напыления с использованием модернизированных наплавочных горелок типа ТЕРКО-П (рис. 1), конструкции которых

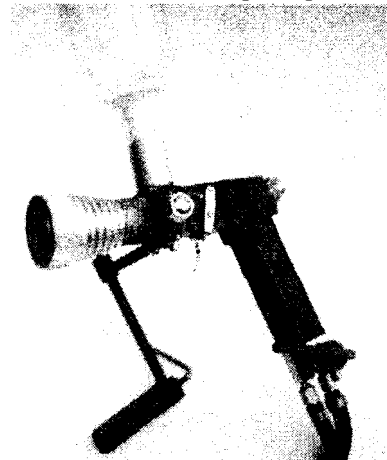


Рис. 1. Пропановоздушная горелка ТЕРКО-П

и технология их использования достаточно хорошо отработаны. Сущность модернизации состоит в создании специальной виброактивирующей приставки, способствующей созданию благоприятных условий для нормальной подачи порошковой шихты без ее заклинивания вследствие сложности формы частиц порошковых добавок.

Полимерные покрытия наносятся с помощью портативной установки, включающей в себя газопламенную горелку, емкость с порошкообразным полимером, баллон с пропаном и стандартный компрессор. Производительность около 2 м³/ч; покрытия толщиной 250 мкм. Стоимость такого покрытия незначительно выше стоимости лакокрасочного покрытия при значительно большей стойкости и надежности. Покрытие может быть большей или меньшей толщины за счет неоднократного прохождения напыляемой поверхности горелкой.

Гарантийная стойкость покрытия при температурных воздействиях от -45 °С до +60 °С при указанных воздействиях составляет два года. Реально в климатических условиях средней полосы гарантированная стойкость покрытия может достигать 6 лет. Стойкость полимерных покрытий при эксплуатации в комнатных условиях не ограничена. Стойкость полимерных покрытий на основе полиэфира в агрессивных средах (кислоты, щелочи, водяной пар, окислители, восстановители, биологические среды и т. п.) весьма высока.

Нанесение покрытий осуществляется путем активированного напыления полимерных порошков с размером частиц 40...200 мкм в пропановоздушном пламени.

Преимущества горелок типа ТЕРКО-П:

- защита деталей и элементов конструкций от воздействия агрессивных сред;
- защита от износа, нанесение антифрикционных слоев;
- электрическая изоляция соединений электрической силовой арматуры;
- изоляция контактирующих разнородных металлов для исключения электрохимических процессов;
- восстановление дефектных полимерных покрытий у деталей и конструкций на месте их эксплуатации (оборудование предназначено для использования дешевых полимерных порошков, производимых в Беларуси, имеют более низкую температуру плавления, чем зарубежные материалы);
- обеспечивается возможность нанесения покрытий на металлы, керамику, стекло, строительные материалы (бетон, кирпич, шифер, дерево);
- отсутствует необходимость в баллонном кислороде;
- простота реализации процесса, возможность нанесения покрытий на элементы конструкций без их разборки;
- широкий диапазон наносимых полимерных материалов (с температурой плавления от 90 до 400 °С).

В отличие от известных пропановоздушных горелок, которые выпускались в Германии и производятся в странах СНГ, данная установка позволяет плавно и в широких пределах регулировать состав горючей смеси и форму факела за счет наличия четырех игольчатых кранов, расположенных непосредственно на термораспылителе. Оригинальная конструкция газосмесительного устройства и соплового на-

конечника позволили повысить качество смешения компонентов горючей смеси и ликвидировать налипание полимерного материала на торец сопла. Одним из существенных преимуществ данной горелки является применение удобного бункера-питателя, выполненного из стандартной ПЭТ-бутылки, который обеспечивает удобную замену бункера и улучшает условия хранения полимерного порошка.

Полимерный термораспылитель предназначен для использования полимерных порошков любых стран изготовления (в том числе и производимых в Беларуси), температура плавления порошков от 90 до 400 °С, размер частиц до 400 мкм.

Характеристики термораспылителя:

максимальная производительность напыления, кг/ч 2,9

рабочее давление газов, МПа:

пропан-бутан 0,2

воздух 0,5

расход газов, м³/ч:

пропан-бутан 1,0

воздух 22,0

коэффициент использования полимерного порошка до 0,95

габаритные размеры (термораспылитель), мм 230x220x84

вес термораспылителя (без бункера), кг 1,5

Основные технико-экономические параметры создаваемого объекта включают получение антикоррозионного покрытия, по характеристикам не имеющего аналогов в Беларуси и за рубежом.

Для возможности использования в такой горелке композиционных механических смесей из частиц различного размера, различной плотности и произвольной формы наружной поверхности предлагается в качестве бункера использовать смесительную камеру (рис. 2). Композиционные материалы требуемой характеристики (в нашем случае это ПЭТФ по ТУ 6-13-1-88 с добавлением дисперсной активированной присадки) загружаются в бункер /, который имеет два отсека.

Смесительная камера, смонтированная на пружинах 5, которые упираются в упоры, может колебаться. Эта камера подвергается вибрации от вибратора (электродвигатель с вибратором) с частотой 100...300 колебаний в минуту и амплитудой от 0,1 до 3 мм.

В процессе вибрирования композиционная шихта просыпается через отверстия, расположенные в каждой из двух частей камеры, а величина истечения материалов из бункера регулируется жиклерами 3, которые в свою очередь регулируются поворотом ручек 4.

Попадая в нижнюю часть бункера, частицы непрерывно подвергаются переменным по знаку ускорениям. Частицы относительно перемещаются, совершая два вида движений - колебание и медленное перемещение всей массы. От стенок бункера вибрация передается прилегающим частицам, которые передают ее следующим частицам и т.д.,

тем самым частицы, перемешиваясь, попадают в питатель и, далее, через него (поджваченные струей газа и расплавляясь) попадают на поверхность покрываемого тела. Благодаря чему получается однородное покрытие из механических смесей, которое получить другим путем не представляется возможным.

Такой подход позволит рекомендовать технологию нанесения антикоррозионных покрытий на детали трубопроводов и запорно-регулирующую арматуру, которые будут обладать следующими свойствами:

- материал корпуса запорно-регулирующей арматуры - СЧ20, 12МФ;
- материал композиционного полимерного покрытия - ПЭТФ по ТУ 6-13-1-88 + дисперсная активированная добавка;
- фракция ПЭТФ - 63...200 мкм;
- фракция шлаковой добавки-40...63 мкм;
- толщина композиционного покрытия - 0,2...0,5 мм;
- производительность нанесения композиционного покрытия - 200...250 дм²/ч;
- повышение долговечности по сравнению с образцами, изготовленными по традиционной технологии, -2...4 раза.

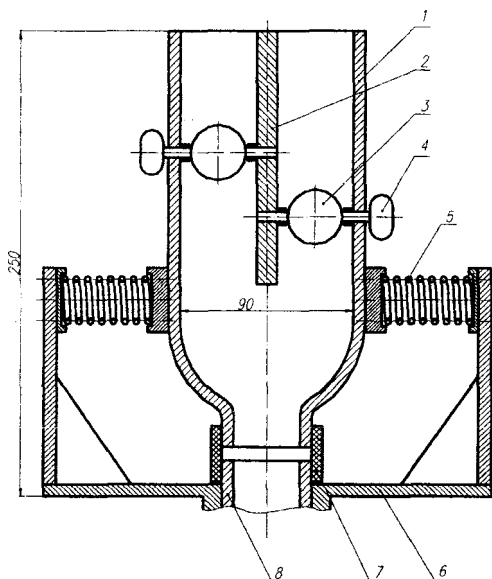


Рис. 2. Смесительная камера:

1 - корпус; 2 - перегородка; 3 - жиклер;

4 - ручка; 5 - пружина; 6 - упор; 7 - резинка;

8 - питатель горелки

В сочетаниях с другими методами используется основное преимущество струйного напыления - возможность нанесения полимерных частиц на труднодоступные участки изделий, что связано с отсутствием внешнего электрического поля. Вместе с тем в процессах подготовки порошков и их транспортировки к распылителю частицы приобретают заряды статического электричества, в результате чего газопорошковый поток имеет отличный от нуля интегральный заряд и собственное электрическое поле. Как правило, эффекты зарядения в струйном напылении не учитываются (в отличие от трибозлектрического напыления). Тем не менее трибозарядением частиц необходимо управлять для того, чтобы сохранить или усилить преимущество струйного напыления. Для этого необходимо стремиться к снижению интегрального заряда потока частиц. Возможны два приема - биполярная зарядка частиц и нейтрализация зарядов (независимо от их полярности). Первый прием предпочтительнее, поскольку его легко реализовать, например, за счет использования в качестве питателя камеры с псевдооживленным слоем. Вторым путем представляется более трудоемким и малоэффективным.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования влияния вибрационных воздействий на слой сыпучих материалов показывают, что при определенных параметрах вибрации наблюдается перераспределение в слое частиц с разным удельным весом и разной величины. Перераспределение в виброоживленном слое происходит, когда подъемные силы, выталкивающие на поверхность частицы с меньшей плотностью, чем плотность остальной уплотненной массы слоя, становятся больше их веса и сил внутреннего трения в системе [3].

Наиболее четкое расслоение частиц наблюдается в смеси мелких частиц и крупнокусковых материалов, а также в слое крупнокусковых материалов разного удельного веса. Если в состоянии виброоживления наблюдается относительное проскальзывание частиц, то в виброкипящем слое частицы отрываются друг от друга. С увеличением параметров вибрации выше критических скорость движения частиц повышается, и отдельные слои материала начинают перемешиваться. Перемешивание сыпучего материала в виброкипящем слое без дополнительной его продувки газом определяется только вибрационным воздействием как единственным и главным средством псевдооживления слоя. Регулирование структуры виброкипящего слоя может плавно осуществляться изменением параметров вибрации (частоты и амплитуды), что дает возможность создавать оптимальные условия для происходящих в нем процессов. Параметры вибрации, при которых наступает интенсивное перемешивание слоя, зависит не только от размера и плотности частиц, воздухопроницаемости и высоты слоя, влажности материала, коэффициента трения между частицами и других физико-механических свойств среды, а также от конструкции аппарата.

Создать интенсивное перемешивание в слое многих тонкодисперсных порошков с размером частиц менее 10 мкм не удается во всем реальном для промышленных установок диапазоне параметров вибрации [4].

На интенсивность перемешивания тонкодисперсных порошков существенно влияет давление газовой среды в рабочей камере. Вакуум в камере позволяет для многих порошков создать условие хорошего перемешивания и устойчивое перемещение материала по вибрирующему лотку аппарата при значительно меньших ускорениях вибрации, чем при атмосферном давлении среды. Переход такого слоя в состояние интенсивного перемешивания начинается при сравнительно низких параметрах вибрации.

С увеличением размера частиц минимальные параметры вибрации, при которых начинается перемешивание в слое, снижаются. Движение частиц в виброкипящем слое начинается с верхних слоев материала. С увеличением параметров вибрационного воздействия зона интенсивного перемешивания все глубже уходит в глубь слоя и, наконец, охватывает весь объем материала.

Большинство сыпучих материалов, состоящих из частиц размером приблизительно от 50 до 1500 мкм, в слоях небольшой высоты начинают перемешиваться при параметрах вибрации, незначительно превышающих критическое ускорение g [5].

Перемещение частиц в виброкипящем слое не аналогично беспорядочному движению молекул газа и не соответствует законам перемещения отдельных частиц в безвоздушном пространстве. Многочисленными исследованиями показано, что перемещение частиц обуславливается в основном движением газа внутри виброкипящего слоя. Возникающие динамические давления и разрежения газа в слое дополнительно к вибрационным воздействиям вызывают отрыв частиц друг от друга и способствуют интенсификации их перемешивания. Под виброкипящим слоем в результате его «наносного» действия образуется вакуум. В образующийся вакуум засасывается воздух путем фильтрации его через слой, и в большей степени вдоль стенок аппарата, где частицы вследствие трения о стенки движутся менее интенсивно. Возникающие потоки воздуха в виброкипящем слое увлекают оторвавшиеся друг от друга частицы и создают интенсивное «фонтанирующее» перемещение материала.

В сосудах небольших размеров перемещение материала направлено у стенок сосуда вниз, а в центре - вверх (рис. 3).

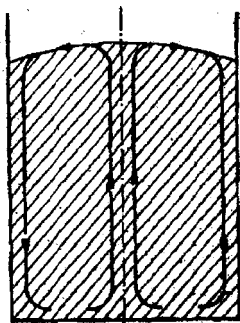


Рис. 3. Характер перемещения частиц материала в виброкипящем слое

С повышением высоты слоя при постоянных частоте и амплитуде вибрации продолжительность перемещения частиц по высоте засыпки увеличивается, а скорость перемешивания уменьшается. Следовательно, одинаковую интенсивность перемешивания с увеличением высоты слоя при постоянном ускорении вибрации можно получить, снижая частоту вибраций и увеличивая амплитуду колебаний.

Экспериментальные значения параметров вибрации, при которых частицы отрываются от вертикально вибрирующей горизонтальной площадки для слоя высотой 20 мм кварцевого песка разного зернового состава и стальных шариков, показаны на рис. 4. Эта кривая разделяет всю область вибрационного воздействия на две зоны, характеризующие два состояния слоя сыпучего материала.

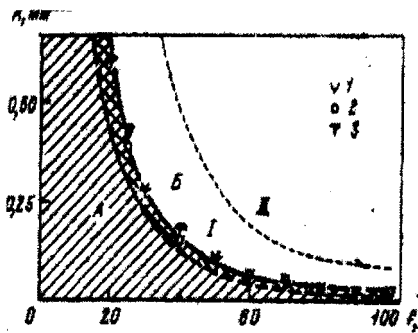


Рис. 4. Два состояния слоя сыпучего материала подвергаемого вибрации [6]:

A - виброожиженный слой; Б - виброкипящий слой; I - область сепарации частиц; II - область интенсивного перемешивания частиц; 1 - кварцевого песка с размером частиц $0,165+0,365$ мм; 2-то же, $0,555-0,6$; двойной штриховкой.

3 - стальных шариков диаметром $0,65 + 7$ мм

Большую группу порошков полимеров (например, полистирола, фторопластов и др.) не удастся перевести в состояние псевдоожижения только потоком газа. Это объясняется склонностью их к слеживанию и комкованию до полной потери сыпучести. В виброкипящем слое с дополнительной продувкой слоя снизу порошки хорошо перемешиваются, создается равномерное кипение материала [7].

Характер перемешивания зависит от конструкции камеры. В смесителях с гладкими стенками и свободным объемом перемешивания наблюдается в основном послойное движение материала, т.е. эффект циркуляции преобладает над эффектами диффузии. В смесителях с дополнительными элементами в рабочей камере возникают местные вихревые потоки, способствующие более быстрому протеканию диффузионных процессов и лучшему перемешиванию.

Оптимальный режим виброперемешивания соответствует работе на резонансной частоте смеси, которая определяется по формуле:

$$\omega_{рез} = \sqrt{E_{cp} S_n / l_c m_c},$$

где E_{cp} – среднее значение модуля упругости смеси; S_n – площадь поперечного сечения объема смеси, ортогональной к направлению действия силы; l_c – размер смеси в том же направлении; m_c – масса смеси.

$$E_{cp} = 100 / \sum_{i=1}^n \delta_i / E_i,$$

где δ_i – процент содержания каждого компонента; n – число компонентов; E_i – модуль упругости составляющей смеси.

Выводы и заключение. Наиболее рациональным способом нанесения антикоррозионного покрытия из многокомпонентной порошковой шихты является газопламенный способ, так как обеспечивает получение экономичного и прочного антикоррозионного покрытия.

Существующие технологии нанесения покрытий методом газопламенного нанесения основаны на использовании порошковых материалов в виде частиц, максимально приближенных к сферической форме. Это связано с особенностями узлов питателей специализированного оборудования, основным условием перемещения частиц, через которое является условие самовытекания под действием собственного веса. Использование композиционных механических смесей, в состав которых могут входить частицы

различного размера, различной плотности и произвольной формы наружной поверхности, может привести к прекращению процесса свободного истекания порошковой шихты вследствие образования разветвленных арочных структур.

Наиболее рациональным способом управления перемещением элементов многокомпонентной шихты является создание между питателем и зоной инжекции наплавки принудительных колебаний с определенными амплитудой, частотой и направлением.

Для процесса смешивания многокомпонентных шихт необходимо использовать определенную частоту колебаний, зависящую от параметров шихты.

Использование предложенного оборудования позволит получать полимерные стабильные по структуре антикоррозионные покрытия из многокомпонентных шихт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартнев Г.М. Физика и механика полимеров / Г. М. Бартнев, Ю. В. Зеленов: Учеб, пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1983. - 391 с.
2. Белый В.А., Довгяло В.А., Юркевич О.Р. Полимерные покрытия. - Мн.: Наука и техника, 1976. - 415 с.
3. Вибрации в технике: Справочник: В 6-ти т. Т. 6: Защита от вибрации и ударов / Гл. ред. В.Н. Челомей. - М.: Машиностроение, 1981. - 456 с.
4. Бауман В.А. Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве: Учеб, пособие для строительных и автомобильно-дорожных вузов. - М.: Высшая школа, 1977. - 255 с.
5. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. - М.,: Наука, 1972. - 344 с.
6. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник / Под ред. В.А. Баумана, И.И. Быховского, Б.Г. Гольдштейна. - М.: Машиностроение, 1970. - 548 с.
7. Довгяло В.А., Юркевич О.Р. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы. - Мн.: Навука і тэхніка, 1992. - 256 с.