



С.С. ВОЛКОВ
В. И. ГИРШ

СИЛЕНИЕ И НАПЫЛЕНИЕ ПЛАСТМАСС

*Рекомендовано
Управлением кадров и учебных
заведений МХП СССР в качестве
учебного пособия для подготовки
и повышения квалификации
рабочих на производстве*



МОСКВА
ХИМИЯ
1988

ББК 6П7.55

В 67

УДК 678.5.029.42 + 678.5.026.34

Рецензенты:

зав. кафедрой «Технология материаловедения и сварки» СЗПИ
докт. техн. наук, проф. Ю. В. Холопов;
гл. инженер з-да «Прогресс» Н. Е. Алексеев

Волков С. С., Гирш В. И.

В 67 Склеивание и напыление пластмасс.— М.: Химия, 1988.—
112 с.: ил.— (Б-чка молодого рабочего).

ISBN 5—7245—0027—2

Даны представления о механизме процесса склеивания пластмасс; приведены основные виды клеев, технология их приготовления, подготовка поверхности к склеиванию; описан контроль качества клеевых соединений. Изложены способы напыления пластмасс на различные материалы с целью защиты их от агрессивных сред и влаги, повышения износостойкости трущихся деталей и обеспечения надежной электроизоляции. Рассмотрено оборудование и приспособления для склеивания и напыления пластмасс, техника безопасности при проведении этих операций.

Для повышения квалификации рабочих, занимающихся склеиванием и напылением пластмасс; может быть полезна учащимся ПТУ.

В $\frac{2803090100-109}{050(01)-88}$ 109—88

ББК 6П7.55

Учебное издание

Волков Станислав Степанович
Гирш Валентин Иосифович

СКЛЕИВАНИЕ И НАПЫЛЕНИЕ ПЛАСТМАСС

Редактор Л. И. Галицкая
Художественный редактор В. В. Бордунова
Технический редактор О. В. Тюрина
Корректор Л. В. Лазуткина

ИБ 2298

Сдано в наб. 27.10.87. Подп. в печ. 14.05.88. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,0. Усл. кр.-отт. 7,25. Уч.-изд л. 7,51. Тираж 22 500 экз. Заказ 766. Цена 15 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия» 107076, Москва, Стромынка, 21, корп. 2.

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29

ISBN 5—7245—0027—2

© Издательство «Химия», 1988

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава I. Склеивание пластмасс	8
Общие сведения	8
Процесс формирования клеевого соединения	16
Состав и классификация клеев	23
Оценка технологических и эксплуатационных свойств клеевой композиции	27
Технология склеивания	30
Особенности технологии склеивания некоторых видов пластмасс	35
Конструирование клеевых соединений	42
Дефекты клеевых соединений	47
Контроль качества клеевых соединений	47
Глава II. Напыление пластмасс	50
Общие сведения	50
Материалы для напыления и требования к ним	51
Подготовка поверхности к нанесению покрытия	61
Методы изготовления порошкообразных полимерных композиций для покрытий	67
Методы напыления пластмасс	69
Требования к напыляемым изделиям	104
Дефекты и меры их предотвращения	106
Контроль качества покрытий	107
Техника безопасности при напылении	110
Библиографический список	111

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время полимерные материалы применяются во всех отраслях народного хозяйства. Среди множества материалов, используемых на практике, полимерные материалы составляют особую группу. Они обладают комплексом свойств, которого нет ни у одного из материалов. Они могут использоваться как самостоятельно, так и в сочетании друг с другом и с другими материалами.

Сочетание в конструкциях разных по физико-механическим свойствам материалов требует знания этих свойств для наиболее рационального их использования и для обеспечения высокой точности и надежности создаваемых машин и технологий.

Применение пластмасс в народном хозяйстве с каждым годом неуклонно растет, поэтому непрерывно совершенствуются технологические приемы, методы, процессы, способы переработки их в изделия. Технологический процесс изготовления даже самых простых изделий из пластмасс, как правило, включает в себя операции соединения отдельных деталей или узлов изделий друг с другом. Для этого применяются сварные, резьбовые, заклепочные, клеевые и другие виды соединения. В данной книге подробно описано склеивание как один из наиболее часто используемых методов соединения пластмассовых деталей и узлов, а также соединения пластмасс с другими материалами.

Склеивание как метод получения неразъемных соединений широко используется в самых различных отраслях народного хозяйства: в строительстве, самолетостроении, космической и военной технике, производстве транспортных средств (автомобилей, вагонов), приборостроении, обувном и мебельном производстве, судостроении, при возведении гидротехнических сооружений и т. д.

С помощью клея соединяют изделия из термопластичных и из термореактивных полимерных материалов, получая прочные высококачественные соединения из однородных и разнородных материалов. Склеиваются также полимерные материалы с неполимерными, например резина с металлом, керамикой и другими материалами. Склеивание растворимых в растворителях термопластов не вызывает затруднений и осуществляется клеем из того же материала. Термореактивные пластмассы склеиваются самоотверждающимися клеями из фенолоальдегидных и полиэфирных смол. Прочность склеивания зависит от характера и качества подготовки склеиваемых поверхностей, например от их шероховатости, физической структуры (капиллярности, пористости), полярности и электрического заряда.

Чрезвычайный интерес представляет применение металлополимерных композиций как для изготовления новых деталей машин, так и для ремонта и восстановления изношенных узлов и деталей. В качестве усиливающего наполнителя в композиционных материалах используются также мелкодисперсные частицы, волокна и хлопья материалов, более прочных, чем связующие. Выбирая размеры и форму наполнителя, а также сочетание типов и процентное соотношение наполнителя и связующего, можно получать материалы с заранее заданными свойствами. В качестве полимерного связующего используются чаще всего эпоксидные компаунды. Применяются также поликапроамид, полиэтилен, акриловые, эпоксидно-акриловые композиции, а также анаэробные полимерные материалы. Наполнителями служат в основном порошки металлов с размером частиц 1—100 мкм. В некоторых случаях в качестве наполнителей используются материалы типа молотой слюды, талька, каолина. Необходимые антифрикционные свойства у металлополимерных композиций обеспечиваются добавками графита, дисульфида молибдена. Эксплуатационные характеристики металлополимерных материалов достаточно высоки: разрушающее напряжение при сжатии 80—200 МПа, адгезионная прочность 15—40 МПа, допустимая температура нагрева 383—553 К, коэффициент трения скольжения по стали 0,005—0,06, износостойкость — не ниже этого показателя для специальных антифрикционных материалов. Это позволяет применять их для изготовления и восстановления таких тяжелонагруженных узлов и деталей, как блоки цилиндров, двигатели внутреннего сгорания («залечивание» трещин в корпусе, выравнивание посадочных мест), теплообменные аппараты и т. д. Отечественной промышленностью выпускаются эпоксидные композиции типов УП-5-212, УП-5-250, УП-5-221 для изготовления, ремонта и восстановления направляющих металлорежущих станков.

В промышленности широко используются процессы проклеивания и пропитки — при изготовлении непромокаемых тканей, производстве технического картона, шин и т. д. В швейной промышленности наметилась тенденция к замене в спецодежде ниточного шва клеевым.

Интересен опыт применения клеев для временного (технологического) крепления заготовок, фиксации резьбовых элементов для предотвращения самоотвинчивания, установки на клею штифтов и т. д.

Обнадеживающие результаты получены в хирургии при склеивании биологических тканей.

Наибольшее практическое применение склеивание находят там, где необходимо соединение деталей из материалов, сильно отличающихся по структуре, химическому составу, теплофизическим, механическим и другим свойствам, когда использование традиционных методов получения соединения затруднено или совсем невозможно.

Следует ожидать, что в будущем развитие техники склеивания пойдет в следующих направлениях: расширение номенклатуры склеиваемых изделий, материалов и их сочетаний за счет применения новых клеящих композиций и в результате использования специальных технологических приемов и конструкторских решений; расширение диапазона условий эксплуатации клеевых соединений путем совершенствования клеев (повышения адгезионной и когезионной прочности клеевой пленки, сопротивления старению, усталостной прочности, долговечности, создания новых связующих при использовании достижений полимерной химии); сокращение длительности отверждения; совершенствование методики расчета клеевых соединений и прогнозирование их работы, в том числе в силовых конструкциях; автоматизация процессов склеивания, в частности с применением робототехнических комплексов.

Порошкообразные, волокнистые и пастообразные полимерные материалы можно использовать для напыления на поверхности изделий из различных материалов. Напыление пластмасс как способ повышения долговечности конструкций и сооружений, его небольшая трудоемкость и относительная несложность оборудования позволяют все более широко применять этот способ в химическом и пищевом машиностроении, строительстве, судостроении, электро- и радиотехнической промышленности и других отраслях народного хозяйства для получения тонкослойных пластмассовых покрытий и облицовок. Напыление можно производить на самые различные материалы — металлы, дерево, бетон, ткань, стекло, бумагу, керамику, гипс, пластмассу, резину. Технология напыления на каждый из этих материалов имеет свои особенности.

Напыление применяют для защиты различных материалов от коррозии, придания поверхности антифрикционных и электроизоляционных свойств, а также повышения износостойкости деталей (подшипников, вкладышей, опор, втулок и др.). Кроме того, напыление наносят с целью получения декоративных и санитарно-гигиенических покрытий.

В связи с широким использованием полимерных покрытий интенсивно разрабатываются новые полимерные материалы и композиционные составы, методы нанесения покрытий и приемы формирования полимерного слоя.

Одним из способов рационального использования свойств металлов и полимеров является изготовление изделий с тонкослойными полимерными покрытиями, наносимыми на поверхность металлов.

Применение тонкослойных покрытий позволяет при малых затратах и сравнительно простой технологии реставрировать изношенные детали, используемые в узлах трения. Одно из преимуществ покрытий из порошковых полимеров — это возможность получения покрытий практически любой толщины с самыми различными свойствами. Применение порошковых эпоксидных композиций для нанесения покрытий позволило устранить ручной труд

при выполнении этой операции и в результате получать изделия повышенной надежности. Условия труда при нанесении покрытий из порошковых полимерных материалов улучшаются благодаря отсутствию токсичных и огнеопасных растворителей. Для нанесения покрытий на листовой прокат можно использовать метод напыления. Металлические листы с напыленным слоем легко штампуются, гнутся, режутся, в результате чего получают изделия с хорошим внешним видом.

Большое значение в технике имеют такие полуфабрикаты, как металлопласт и трубы с полимерным покрытием. Металлопласт представляет собой металлический прокат, на поверхность которого с одной или с двух сторон нанесен тонкий слой полимера. Этот материал при большой толщине защитного слоя противостоит коррозии в атмосферных условиях и в агрессивных средах.

Напыление применяется как промежуточная операция при сварке пластмасс с металлами. В этом случае сначала на поверхность металлической детали напыляют слой термопласта, а затем производят сварку ее с пластмассовой деталью через напыленный слой (преимущественно ультразвуком).

В данной книге обобщен опыт, накопленный в области технологии склеивания и нанесения полимерных покрытий методом напыления, а также создания соответствующего оборудования для нанесения покрытий из порошковых, волокнистых и пастообразных полимерных материалов.

Гл. I написана В. И. Гиршем, введение и гл. II — С. С. Волковым.

Глава I

СКЛЕИВАНИЕ ПЛАСТМАСС

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Склеивание — процесс получения неразъемного соединения деталей (рис. I.1) путем введения в технологический зазор между ними клея, способного к отверждению (рис. I.1, а), или путем растворения материала в зоне контакта заготовок с последующим соединением склеиваемых деталей и удалением растворителей (рис. I.1, б).

Клеи представляют собой индивидуальные вещества или смеси органических, элементоорганических или неорганических соединений, которые обладают хорошей адгезией, высокой когезионной прочностью, достаточной эластичностью и долговечностью в условиях применения и способны отверждаться в результате прохождения химических реакций (полимеризации, поликонденсации, вулканизации), испарения и диффузии растворителя в основной материал или охлаждения клеящего состава; при этом образуются прочные клеевые соединения [2, 3].

В основе склеивания, таким образом, лежит явление адгезии (прилипания) — способность к взаимодействию тел из разнородных материалов с достижением определенного уровня прочности сцепления. С адгезией связаны многие технологические процессы. Так, благодаря адгезии удерживаются на поверхностях деталей лакокрасочные и гальванические покрытия, типографская краска на бумаге; пузырьки воздуха прилипают к частицам руды и поднимают их на поверхность воды при флотации; при пропитке тканей специальными составами последние удерживаются на основе также в результате проявления адгезионных сил; без адгезии было бы невозможно получение бетона, кирпича. Можно было бы привести и другие многочисленные примеры.

Как правило, адгезионная прочность меньше когезионной, т. е. прочности сцепления внутри тела. Но бывает, что их значения близки или даже адгезионная прочность оказывается несколько выше. В этой связи можно говорить «о липкости», «клейкости» — способности высоковязкой жидкости или упруговязкого тела прочно удерживаться на твердой поверхности в виде тонкого слоя. Если состав, обладающий адгезией к твердой поверхности, проявляет также и способность к отверждению с сохранением в последующем связей, возникших в результате определенных физических и химических процессов, то он может служить клеем и использоваться для склеивания.

Использование физических и химических явлений, лежащих в основе склеивания, т. е. образование прочной связи клеевой композиции с поверхностью соединяемой заготовки, дает возможность решать и другие задачи — герметизации, ликвидации поверхност-

ных дефектов, придания поверхности свойства липкости и т. д. В этой связи при рассмотрении склеивания следует упомянуть о герметиках, шпатлевках, невысыхающих липких составах, которые могут иметь в своей рецептуре связующие и другие компоненты, входящие в клеи [3, 4].

До недавнего времени не было принято отождествлять технику выполнения каменной кладки со склеиванием. Но применяющийся раствор — это, по существу, клей, «каменный клей» на неорганической основе. В повседневной практике к клеям привыкли относить только составы на основе полимерных органических связующих искусственного и естественного происхождения. В настоящее время разработано большое количество неорганических клеев, которые широко применяются при получении огнестойкого асбестового картона и бумаги, огнеупорных масс, ячеистого теплоизоляционного материала, искусственного камня и т. д. Неорганическими клеями склеивают кварц, стекло, сталь, графит, фарфор, фаянс, асбест и др. Рабочие температуры при эксплуатации изделий могут достигать 1923 К. Однако природа связующего неорганических клеев и процессы, лежащие в основе их отверждения, настолько специфичны, что их следует рассматривать отдельно. Здесь же будет рассмотрено склеивание только с использованием клеев на основе полимерных органических связующих.

Склеивание следует рассматривать с различных позиций: физикохимии (процессы, протекающие на границе клей — деталь), механики (обеспечение необходимых прочности и долговечности), технологии (техника получения соединения), химии полимеров (вопросы, связанные с отверждением клея), конструирования (метод формообразования и сборки).

Во многих случаях склеивание может быть единственно возможным методом получения неразъемного соединения. В разных методах получения неразъемного соединения деталей используют различные термины для обозначения соединяемых деталей и соединяющих материалов. Сварщики говорят об «основном» и «присадочном» материалах (первый — это изделие, деталь, заготовка, второй — электрод, электродная проволока). Паяльщики используют понятия «основа» и «припой». Специалисты по склеиванию употребляют термины «субстрат» или «подложка» (склеиваемый материал), а «адгезив» (клей). Поскольку в поведении

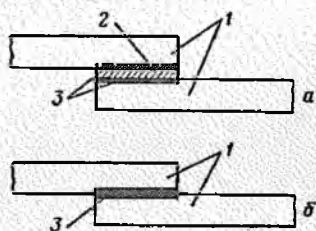


Рис. 1.1. Типы клеевых швов:

а — шов, полученный с использованием клея; б — шов, полученный с использованием растворителя; 1 — склеиваемые заготовки; 2 — клеевая пленка; 3 — граничный слой

этих соединений, в используемых технологических приемах, в подходе к расчету швов и т. д. имеется много общего, то понятно, что при рассмотрении склеивания употребляют некоторые термины, характерные для сварки и пайки.

В частности, наряду с терминами «субстрат» и «подложка» представляется допустимым использовать словосочетание «основной материал», «материал детали или заготовки». В качестве синонимов термина «клей» используют термины «адгезив», «клеевая композиция», «связка», хотя у каждого из них есть свой смысловой оттенок [1].

В течение очень длительного времени техника склеивания основывалась на использовании только натуральных продуктов: одни применялись в естественном виде и в силу присущей им природной гибкости (клейкости) не требовали специальной глубокой переработки (битумные смолы, камедь, яичный белок, крахмал и т. п.), другие получали из растительного и животного сырья после специальной обработки (казеин из молока, альбумин из крови, костный, мездровый и рыбий клей — вываркой костей, шкур, чешуи животных и рыб). В 1791 г. в Англии был выдан патент на использование натурального каучука в качестве клея. В 1800 г. начат промышленный выпуск казеинового клея. Несколько позже был предложен состав для склеивания кожи. В 1925 г. для склеивания было предложено использовать жидкое стекло (растворимые силикаты).

Качественным скачком в области склеивания послужило появление искусственных полимеров связующих на основе карбамидоформальдегидной смолы (1897 г.), фенолоформальдегидных смол (1907 г.), нитрата целлюлозы (1910 г.).

Развитие химии и механики полимеров, а также области физической химии, посвященной вопросам адгезии, обеспечило достижение такого уровня техники склеивания, при котором стало возможно целенаправленное влияние на технологические и эксплуатационные характеристики клеевых композиций.

На 20—30-е годы приходится широкое производство в промышленности развитых странах клеев на основе сложных эфиров целлюлозы, продуктов конденсации глицерина с двухосновными органическими кислотами, поливинилацетата, фенолоформальдегидных смол. Совершенствуются и композиции на природных связующих. Одновременно развивается техника склеивания — появляются пленочный клей, клеящие ленты. Благодаря разработке новых марок клеев стало возможным в эти годы изготовление деревянных авиационных и судовых конструкций в клеевом исполнении. В 1939 г. была разработана технология изготовления древесностружечных плит на синтетических связующих. В первой половине 40-х годов в промышленных масштабах начинают использоваться клеи на основе эпоксидных смол, полиизоцианатов, хлоропреновых каучуков, ненасыщенных полиэфиров. Существенно расширяется номенклатура склеиваемых материалов. Освоена технология

изготовления слоистых пластиков, соединения металлов, металлов с древесиной и т. д. [2, 3].

В последующие годы в связи с большими достижениями химии полимеров резко возросли разработка и использование в промышленности полиимидных, полисульфоновых, полибензимидазольных клеев. В 70-е годы появились клеевые составы со специальными свойствами, например анаэробные клеи, отверждающиеся даже при отсутствии контакта с воздухом.

Склеивание является сборочной операцией. Клеевые конструкции должны удовлетворять конкретным требованиям эксплуатации, т. е. должны обладать необходимым для данного изделия комплексом свойств — прочностью, коррозионной стойкостью, герметичностью, электроизоляционными характеристиками, ремонтопригодностью и т. д.

На практике часто приходится решать вопрос о выборе метода сборки: применять ли склеивание, пайку, сварку, механическое крепление, методы, при которых используются пластическая деформация заготовок и крепежные элементы? Знание технологических возможностей этих методов с учетом конкретных условий производства, свойств материала, специфики конструкции позволяет находить наиболее экономичный, рациональный вариант. Поэтому, оценивая технологические возможности склеивания, необходимо помнить, что склеивание является лишь одним из возможных методов сборки. По характеру решаемых задач и организации процесса склеивание ближе всего к сварке, и особенно к пайке. Так, при пайке на поверхность детали наносят тонкие металлические слои (лужение) с целью придания изделию специальных свойств — коррозионной стойкости, способности смачиваться металлическим расплавом, электропроводности — или для устранения мелких дефектов на поверхности (например, при отделке кузовов автомобилей). Аналогично используются клеи для создания на поверхности деталей из несваривающегося материала полимерной пленки, к которой в дальнейшем привариваются пластмассовые заготовки (например, при изготовлении боковин дверей в автомобильной промышленности с использованием клея и сварки ТВЧ).

Существует способ пайко-сварки, когда кромки соединяемых элементов разделяются, как для дуговой сварки плавящимся электродом, и образующееся пространство заполняется припоем. В ряде случаев резьбовые соединения дополнительно пропаяются для герметичности. Аналогично этому в промышленности находит широкое применение герметизация изделий с использованием полимерных композиций, обладающих клеящими свойствами, создание клеесварных конструкций, в которых клей не только обеспечивает герметичность, но и смягчает условия работы сварных точек (например, в авиационной промышленности). Существуют процессы, сочетающие в себе сварку и склеивание, разделить которые сложно, например ультразвуковая сварка пластмасс

но растворителям, нанесенным на соединяемые поверхности, сварка реактопластов, которые содержат определенный процент незаполимеризовавшейся смолы, играющей роль связки (клея).

Много общего также в технологии изготовления клееных и паяных конструкций — в подготовке соединяемых поверхностей, в способах нанесения припоя и клея. Аналогичны технологические возможности этих методов, характер поведения самих соединений (распределение рабочих напряжений по сечению шва, остаточные напряжения и деформации, особенности работы на отрыв, срез и т. д.).

Таким образом, для достижения поставленной конструкторской цели — обеспечения прочности, коррозионной стойкости, герметичности, электропроводности и т. д. — можно принимать различные технологические решения: соединять детали пайкой, сваркой, склеиванием, запрессовкой или другими методами [4].

Выбор метода определяется не только принципиальной возможностью получения работоспособного соединения с заданными конструкционными характеристиками, но и экономическими соображениями. Они определяются затратами на проведение основных и подготовительно-заключительных операций, стоимостью вспомогательных материалов и оборудования, затратами энергии, зарплатой и т. д. На выбор метода соединения сильно влияет масштаб производства, стабильность номенклатуры изделий, наличие оборудования, уровень квалификации работающих, степень автоматизации всего производства, природа технологических операций, осуществляемых наряду с операциями соединения деталей, и другие факторы. Так, например, при монтаже технологических трубопроводов малых диаметров из винипласта, когда объемы работ невелики, склеивание раструбных (телескопических) соединений в монтажных условиях может оказаться предпочтительнее, чем сварка горячим газом или даже нагретым элементом.

По номенклатуре соединяемых материалов (как однородных, так и разнородных) принципиальных ограничений нет. Существуют материалы, «инертные» к клеям. По аналогии с понятием о плохой «свариваемости» в этом случае можно говорить о плохой «склеиваемости». Но специальная предварительная обработка поверхности, вызывающая изменения структуры, физического состояния материала в тонком поверхностном слое, позволяет решать проблему склеивания и таких материалов. Возможно склеивание не только разных марок конструкционных материалов одного класса (металла с металлом, пластмассы с пластмассой, керамики с керамикой и т. д.), но и материалов, принадлежащих к разным классам (металла с пластмассой, металла с керамикой, металла со стеклом и т. д.) [5].

При склеивании разнородных полимерных материалов часто бывает достаточно введение в рецептуру клея таких двух связующих, каждое из которых проявляет хорошую адгезию к одному

из склеиваемых материалов; конечно, эти связующие должны легко совмещаться друг с другом.

Различие теплофизических свойств клея и материала соединяемых заготовок может привести к появлению остаточных напряжений и деформаций в результате усадки клеевой пленки при отверждении. Но и этот отрицательный эффект может быть в значительной мере снижен или даже практически устранен за счет конструкторских решений собираемого узла (в частности, уменьшения жесткости соединяемых элементов), подбора композиции клея, применения термической обработки, промежуточных проставок и другими приемами, используемыми при пайке и сварке, когда приходится соединять резко различные по своим физическим и механическим свойствам материалы.

Нет принципиальных ограничений и по виду полуфабрикатов, идущих для изготовления клеевых конструкций. Кроме склеивания листов, труб и различных профилей возможно также склеивание тканей, нетканых плоских и рулонных материалов органического и неорганического происхождения с сохранением в месте шва эластичности.

При склеивании практически не существует ограничений на разнотолщинность соединяемых заготовок. Исключение составляют только те случаи, когда наблюдается интенсивное растворение основного материала клеем. Это характерно для склеивания пластмассовых деталей. В таких случаях минимальная толщина составляет около 0,15 мм, что соизмеримо с толщиной клеевой пленки в шве [4, 5].

В большинстве случаев растворение основного материала (подложки) незначительно или не наблюдается вовсе, термомеханическое воздействие на заготовки минимально, что позволяет получать достаточно высокую размерную точность изделий; поэтому склеивание можно отнести к прецизионным методам сборки.

В тех случаях, когда компоненты клея способны мигрировать в основной материал, может наблюдаться изменение свойств поверхностных слоев заготовок, контактирующих с клеем, и как результат — образование пограничного слоя с пониженными механическими свойствами в уже готовом изделии.

В подавляющем большинстве случаев склеиванием выполняют нахлесточные соединения, так как клеевой шов, подобно паяному, хорошо работает на срез и плохо — на отрыв. Но практически возможно получение любого типа клеевого соединения по плоским и фасонным поверхностям [6, 7].

Пространственное положение деталей при склеивании может быть любое. В отдельных случаях приходится учитывать повышенную жидкотекучесть клеев определенных марок. Склеивание применяется не только в цеховых, но и в монтажных условиях. Существуют специальные приемы для получения клеевых соединений в труднодоступных местах.

Прочность соединений может достигать уровня когезионной

прочности клеевой пленки или быть даже несколько выше благодаря возникновению в ней сложного напряженного состояния (эффект контактного упрочнения). На пластмассах, тканях и других материалах органического происхождения возможно получение равнопрочного соединения (разрушение идет по основному материалу). Галтели, образующиеся в месте перехода от детали к детали в клеевом шве, способствуют снижению концентрации напряжений, и, как следствие, соединение хорошо работает на усталостную нагрузку. Изменение рецептуры клея, введение в него разного рода добавок позволяет в широком диапазоне регулировать механические свойства клеевой пленки и соединения в целом, а в ряде случаев получать композиции со специальными свойствами — электропроводностью, стойкостью к нефтепродуктам, атмосферо- и биологической стойкостью и т. д.

Практически все клеи, кроме специальных токопроводящих, в отвержденном состоянии обладают высокими диэлектрическими показателями. Полученные соединения герметичны. При изготовлении оптических систем можно получать прозрачные швы.

Благодаря специфике самого процесса склеивания можно производить соединения большого числа элементов одновременно (групповая обработка); при этом практически не ограничивается площадь склеиваемой поверхности, за исключением тех случаев, когда отверждение производится в специальных термошкафах, сушилках, с использованием сборочных приспособлений (тогда размеры изделий определяются возможностями этого оборудования).

Метод склеивания позволяет создавать конструкции из облегченных элементов, что приводит к общему снижению массы изделий. Этому способствует и малая плотность самой связки. Наиболее ярким примером могут служить сотовые клеевые конструкции, широко используемые в авиационной промышленности и в других областях. Сочетание клеевого соединения с контактной точечной сваркой не только обеспечивает герметичность, но и дает существенный выигрыш в ресурсе работы изделия.

В то же время следует иметь в виду, что существующие клеи не могут обеспечить одинаковую удельную прочность с металлами, керамикой, армированными пластмассами и многими другими конструкционными материалами, используемыми для силовых конструкций. Со временем в процессе эксплуатации изделия может наблюдаться снижение прочности в результате диффузии агрессивных веществ из среды в клеевую пленку, может происходить гидролиз или выщелачивание компонентов клеевого состава, а также коррозия основного материала под воздействием непрореагировавших остатков отвердителя. Миграция некоторых составляющих клеевой композиции к поверхности детали или миграция пластификатора из субстрата в отвержденный клеевой слой в случае соединения пластмасс может приводить к ослаблению уже готового соединения. Вероятность таких процессов в каждом

конкретном случае будет определяться составом клея, природой материала деталей, режимом склеивания, условиями эксплуатации.

Механические свойства материала полимерной клеевой пленки могут ухудшаться в результате термо- и фотодеструкции, что вообще характерно для полимерных материалов [6].

Существенное различие коэффициентов термического линейного расширения клея и детали, усадка клея при отверждении становится причиной появления значительных остаточных напряжений и деформаций. Из-за этого при термоциклировании часто наблюдается усталостное разрушение.

Большинство клеев обладает низкой теплостойкостью (до 473—523 К). Разработанные на основе органических соединений составы, хотя и способны выдерживать кратковременно высокие температуры (до 1273 К), обладают малой пластичностью. Интервал рабочих температур для клеевых соединений составляет от —213 до +473 К (для отдельных марок клеев — от 77 до 523 К).

Нахлесточное соединение (основной тип соединения при склеивании) уже само по себе является источником концентрации напряжений из-за искажения силового поля при передаче усилия. В результате этого возникают дополнительные осложнения при работе швов, особенно при переменных нагрузках [8].

Технологический зазор между деталями составляет 0,05 — 0,15 мм, поэтому требуются достаточно точные обработка и сборка сопрягаемых поверхностей. Технологический процесс склеивания отличается длительностью, трудоемкостью подготовительных операций, повышенными требованиями к качеству обезжиривания склеиваемых поверхностей, ограниченной жизнеспособностью приготовленного клеевого состава, повышенными требованиями к технике безопасности при проведении работ, трудоемкостью ремонта клеевых соединений. При необходимости применения специальной сборочной оснастки достаточно большая продолжительность процесса обуславливает потребность в дополнительных площадях и затратах на тиражирование приспособлений. Определенные трудности вызывает автоматизация процесса склеивания.

Факторов, влияющих на качество, и в частности на прочность соединения, много. Они связаны с составом клеевой композиции, с подготовкой поверхности под склеивание, с техникой и технологией нанесения клея и сборкой, с условиями отверждения [9—11].

Не говоря о возможных ошибках в выборе клея и нарушениях технологического режима, следует отметить, что многие из этих факторов трудно поддаются контролю, нестабильны во времени, в сильной степени могут зависеть от различных обстоятельств. Так, например, свойства приготовленного клея могут изменяться в результате испарения его компонентов или протекания в нем химических реакций. Техника нанесения клея не всегда обеспечивает получение постоянной по толщине клеевой пленки. В шве

могут образовываться пустоты в виде пор из-за некачественной подготовки поверхности и наличия в клее газообразных продуктов. Качество очистки и микрогеометрия поверхности даже в пределах одного изделия могут существенно различаться, и практически это трудно контролировать. Случайные загрязнения из-за неосторожного обращения с подготовленными заготовками могут привести к браку, который выявляется только при испытании или в процессе эксплуатации. Однородность клеевой композиции зависит от тщательности перемешивания; со временем может наблюдаться сепарация наполнителя [12].

На стадии отверждения клеевой пленки соблюдение режима не представляет трудностей, так как он поддается объективному контролю. Параметрами режима отверждения являются температура, продолжительность процесса и величина сжимающего усилия, передаваемого на склеиваемые детали.

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Формирование клеевого соединения в каждой точке склеиваемой поверхности складывается из следующих элементарных актов: установление физического контакта адгезива с субстратом; возникновение межмолекулярных сил взаимодействия между материалом подложки и связующим; повышение когезионной прочности адгезива. Технология и техника проведения процесса склеивания должны обеспечить условия для полного осуществления этих актов [6, 7].

Под установлением физического контакта следует понимать сближение атомов и молекул взаимодействующих тел на такие расстояния, когда возможно возникновение межмолекулярных сил или химических связей. Эти расстояния соизмеримы с межмолекулярными и межатомными расстояниями в основном материале и в отвержденной клеевой композиции и составляют порядка 10^{-8} см. Образование физического контакта при склеивании, как и при пайке, обусловлено явлением смачивания жидкостью твердой поверхности (рис. 1.2). Смачивание связано с энергетическими изменениями в системе жидкость — твердое тело. Известно, что атомы и молекулы, находящиеся на границе раздела фаз, обладают избытком потенциальной энергии по сравнению с теми, которые находятся внутри тела и имеют в отличие от поверхностных уравновешенное силовое поле. Поверхностные атомы (молекулы) под воздействием равнодействующих сил уходят внутрь тела, а их место занимают те, которые в данный момент обладают большим запасом энергии. В каждый момент времени в тонком поверхностном слое находятся атомы и молекулы, обладающие избытком энергии. Этот избыток энергии, отнесенный к единице поверхности, представляет собой поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение существует всегда — и у твердых и у жидких тел, когда имеется межфазная граница. В рас-

смазываемой системе до момента контактирования поверхностное натяжение существовало на границах жидкость — газ и твердое тело — газ. После контактирования исчезают прежние границы и появляется новая: жидкость — твердое тело. Если поверхностное натяжение на этой новой границе оказывается ниже, то процесс контактирования (смазывания) идет самопроизвольно, так как запас свободной энергии в системе уменьшается. Возможность смазывания определяется природой контактирующих материалов [8—10].

При существовании принципиальной возможности смазывания адгезивом подложки положение может осложниться из-за наличия на поверхности твердого тела каких-либо инородных веществ — загрязнений (масла, жиры и т. д.), сильно снижающих поверхностное натяжение. Чем выше поверхностная энергия склеиваемого материала, тем легче идет смазывание. Поэтому хорошая смазываемость наблюдается у металлов, керамики, стекла. Смазываемость можно улучшить при помощи специальной обработки поверхности и путем ее активирования физическими и химическими способами.

Отсутствие смазывания делает невозможным процесс склеивания, а наличие несмоченных участков приводит к дефектам. Поэтому одна из главных задач в технике склеивания — предварительное удаление загрязнений, препятствующих процессу смазывания и возникновению межмолекулярных сил взаимодействия адгезива и субстрата. При этом необходимо иметь в виду, что не полностью удаленные остатки составов, используемых в процессе удаления загрязнений (при обезжиривании, травлении), могут в свою очередь стать причиной нарушения необходимого контакта адгезива с подложкой («вторичное загрязнение») [5].

Если клей имеет малую вязкость и скорость растекания его достаточно велика, равномерное распределение клея по всей соединяемой поверхности обуславливается процессом самопроизвольного растекания. В других случаях приходится прибегать к механическому воздействию на клей, заставляя его течь в зазоре под действием сжимающего усилия, оказываемого на соединяемые заготовки, или используя специальную технику нанесения

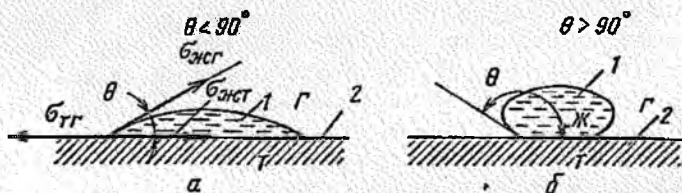


Рис. 1.2. Капля жидкости (1) на поверхности твердого тела (2) в случае смачивающей (а) и несмачивающей (б) жидкостей:

θ — краевой угол смачивания; σ — поверхностное натяжение на границе раздела фаз; г — газ, ж — жидкость, т — твердое тело

В.И.В. 1342

1506639
ОБ ТашТТ

клея на поверхность и тем самым изначально обеспечивая получение достаточно равномерного по толщине слоя.

Смачивание и растекание осложняются наличием на реальных (технических) поверхностях макро- и микронеровностей, высота которых может составлять от десятых долей миллиметра до сотых долей микрометра. Этот рельеф увеличивает фактическую площадь контакта клея со склеиваемой заготовкой, что способствует повышению прочности соединения. Но при этом необходимо обеспечить максимальное заполнение рельефа клеем для создания физического контакта по всей фактической площади. Для этого клеящее вещество должно иметь высокую подвижность, жидкотекучесть, малую вязкость, что достигается применением адгезивов в виде растворов, эмульсий, расплавов.

Повышение температуры и давления способствует заполнению микрорельефа. Нанесение клеевого слоя отдельно на каждую склеиваемую поверхность упрощает задачу, так как при сборке заготовок объединение клеевых слоев не представляет трудности. Полное заполнение микрорельефа, особенно при принудительном течении клея, вряд ли возможно. Вследствие этого в месте соединения могут образовываться микропустоты (микродефекты), которые являются источниками концентрации напряжений, нарушают герметичность и могут приводить к появлению очагов коррозии [7, 13].

Попытки объяснить возникшую после смачивания и последующего отверждения связь клеевой пленки с поверхностью заготовки привели к появлению нескольких теорий адгезии. В настоящее время существуют механическая, молекулярная, химическая, диффузионная и электрическая теории адгезии. Каждая из них не противоречит остальным, но и не может в полной мере объяснить всего многообразия фактов, наблюдаемых в процессе склеивания различных материалов [3, 6].

Механическая теория представляет образование сцепления как результат заклинивания отвержденного клея в порах материала (рис. 1.3) и внедрение в клеевую пленку при смачивании ворсинок, находящихся на склеиваемой поверхности. Для пористых материалов (ткани, бумага, картон, кожа, пенопласты и т. п.) такое объяснение может быть использовано, хотя далеко не является исчерпывающим [11].



Рис. 1.3. Возможные варианты заполнения клеем микрорельефа поверхности склеиваемой детали

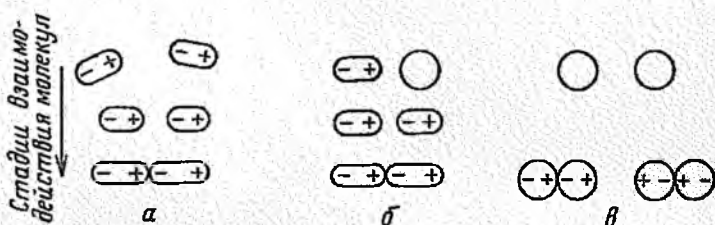


Рис. 1.4 Схемы возможного взаимодействия молекул адгезива с молекулами субстрата в случае двух полярных (*а*), полярной и неполярной (*б*) и двух неполярных (*в*) молекул

Молекулярная теория объясняет возникающую связь взаимодействием молекулярных электрических диполей (рис. 1.4). В случае симметричного построения молекулы дипольный момент равен нулю, как например, у полиэтилена, полипропилена, фторопласта. В этом случае мы имеем дело с неполярными полимерами. В молекулах полярных полимеров (эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиэфирные смолы, полиамиды, полиуретаны и т. д.) положительные и отрицательные заряды смещены относительно друг друга. При взаимодействии двух полярных веществ (рис. 1.4, *а*) их молекулы ведут себя как диполи, взаимно ориентируясь в пространстве так, чтобы их энергия взаимодействия была минимальной (ориентационные силы связи). При контакте полярных материалов с веществами, состоящими из неполярных молекул, последние под воздействием полярных молекул поляризуются, возникают так называемые индуцированные диполи, при этом происходит их деформирование (рис. 1.4, *б*). При взаимодействии неполярных молекул появляются дисперсионные силы межмолекулярного взаимодействия (рис. 1.4, *в*).

Химическая теория адгезии как главную причину возникновения связи выдвигает химическое взаимодействие между адгезивом и склеиваемой поверхностью.

Прочные клеевые соединения могут быть получены, если между адгезивом и склеиваемой поверхностью образуются химические связи — ионные или ковалентные (табл. 1.1) [14]. Их прочность в 10 раз выше, чем прочность водородных связей, и в 25 раз больше, чем в случае удерживания молекул клея на поверхности склеиваемого тела за счет адсорбционных сил [2]. Межмолекулярные взаимодействия с низкими значениями энергии связи не могут обеспечить достаточно высокие показатели прочности соединения. Такие связи легко разрушаются под воздействием внешних факторов (влажность, нагрев, действие поверхностно-активных веществ и т. д.). Химические связи способны обеспечить высокую прочность и долговечность клеевых соединений.

Диффузионная теория адгезии основана на том, что адгезионные связи обусловлены диффузией макромолекул или их отдельных сегментов. Адгезия происходит за счет диффузии частей макромолекул полимера (благодаря их гибкости) через гра-

Таблица 1.1. Значения энергии связи [14]

Тип связи	Среднее значение энергии связи, кДж/моль	Контактирующие материалы	
		адгезив	субстрат
Межмолекулярные связи:			
дисперсионные	4—8	Неполярный полимер	Неполярный полимер
деформационные	8—13	То же	Полярный полимер, полярные природные материалы (дерево, кожа и т. д.), металлы, стекло, керамика
ориентационные	13—25	Полярный полимер	То же
водородные	42—50	Полярный полимер, содержащий функциональные группы, в которых атом Н связан с электроотрицательной атомной группой (карбоксильные, гидроксильные, амидные и др.)	»
Химические связи:			
ионные	419—1047	Полимеры, содержащие карбоксильные группы	Металлы
ковалентные	251—503	Полярный полимер, содержащий реакционноспособную группу	Полимеры с реакционноспособными группами, металлы, стекло

ницу первоначального контакта. Поскольку клей обычно содержит растворитель, то его макромолекулы более подвижны, чем макромолекулы склеиваемого материала, и адгезия обеспечивается за счет диффузии молекул клея в склеиваемый материал. Если последний может набухать в растворителе клея, то происходит также диффузия макромолекул склеиваемого полимера в клей. Эти процессы происходят не на границе раздела, а в объеме и рассматриваются как явление взаиморастворимости полимеров, связанное с исчезновением границы между склеиваемыми телами. Прочность такого клеевого соединения обусловлена силами, которые действуют между переплетенными макромолекулами [2].

Электрическая теория адгезии, применяемая при изучении клеевых соединений полимеров с металлами, основана на рассмотрении процессов, сопровождающих отрыв полимерной пленки от твердой подложки. Эти процессы заключаются в возникновении на поверхности раздела двойного электрического слоя.

Знание состава адгезива и субстрата позволяет прогнозировать возможность применения тех или иных клеев для конкретного материала (табл. 1.2).

Завершающий этап формирования соединения — отверждение клеевой пленки. Протекание этого процесса зависит от природы клеевой композиции. Если основу клея составляет полимер, относящийся к термопластам, то отверждение может идти главным образом в результате охлаждения клея-расплава или испарения растворителя. Материал шва сохраняет присущую всем термопластам способность к размягчению при нагреве и набуханию под действием растворителя; материал шва имеет линейную или разветвленную структуру, поэтому теплостойкость таких соединений низкая. Для необратимо отверждающихся клеевых композиций характерно образование сетчатой структуры клеевой пленки. Отверждение может происходить при нормальной температуре и при нагревании.

Процессы отверждения сопровождаются усадкой клеевой прослойки и, как следствие, появлением остаточных напряжений и деформаций. Этому способствует также разница в коэффициентах термического расширения материалов, участвующих в образовании соединения, и в определенных случаях — выделение из клеевой композиции низкомолекулярных продуктов. Уменьшение модуля упругости клеевой пленки введением в ее состав пластификаторов может способствовать снижению остаточных напряжений.

В клеевом соединении принято рассматривать шов как однородную по составу прослойку (клеевая пленка). В действительности же на границе клей — основной материал (адгезив — субстрат) могут протекать сложные физические и химические процессы. Поэтому можно говорить о существовании в общем случае на межфазной границе промежуточной зоны, состав которой неидентичен материалу в центре клеевой пленки. В этом смысле правомерно будет различать не только макронеоднородность, связанную с различием природы соединяемого материала и клея, но и микронеоднородность в пределах клеевой пленки, являющуюся следствием диффузионных процессов, растворения, образования химических соединений на границе раздела фаз. Известно, что химическая неоднородность является причиной механической неоднородности, которая определяющим образом сказывается на служебных характеристиках соединения.

Таким образом, нужно говорить не только о границе адгезив — субстрат, но и о промежуточной зоне определенной протяженности, не стабильной во времени. Механические характеристики материала этой переходной зоны, прочность ее связи с основным материалом и клеевой пленкой обуславливают долговечность соединения.

Физико-химические процессы, происходящие на границе, протекают быстрее, чем в металлических швах при сварке и пайке. Поэтому стабильность во времени свойств клеевого соединения меньше, чем сварного и паяного. Эти процессы могут идти как непосредственно во время склеивания, так и при эксплуатации

Таблица 1.2. Оценка адгезионной способности * полимерных

Субстрат	Адгезия				
	фенолоформальдегидные смолы	карбамидные смолы	эпоксидные смолы	полиэфирные ненасыщенные	кремнийорганические смолы
Фенопласты	х	х	от	х	х
Аминопласты	у	х	от	х	х
Полиэфиры	н	н	н	н	0
Кремнийорганические полимеры	0	0	н	н	х
Полиуретаны	от	х	х	н	0
Полиамиды	н	н	у	н	0
Полиолефины	0	0	0	0	0
Поливинилхлорид	н	н	н	н	0
Полиметилметакрилат	н	н	х	х	н
Полистирол	н	н	н	н	н
Фторопласты	0	0	0	0	0
Металлы	от	х	от	х	х
Стекло	от	х	от	от	х
Керамика	от	у	от	х	х
Дерево	от	от	от	от	н
Бумага	от	от	от	от	н
Кожа	х	н	от	н	н
Ткани	от	н	от	х	н

* 0 — отсутствие адгезии, н — низкая адгезия, у — удовлетворительная, х — хоро.

изделия. Иногда наблюдаются случаи самопроизвольного разрушения первоначально доброкачественного клеевого шва. Все это еще усугубляется склонностью полимерных материалов к старению — необратимым процессам, связанным с изменением во времени их структуры, свойств, резко усиливающимся под действием тепла, света, радиации [7].

Макронеоднородность может быть учтена при расчете соединения. Влияние микронеоднородности труднее прогнозировать, так как она зависит не только от основного материала и выбранной композиции клея, но и от техники склеивания. Так, недостаточная просушка нанесенного клеевого слоя приводит к недопустимо высокому содержанию растворителя в клеевой пленке и, как следствие, к низкому качеству шва. Избыток отвердителя может привести к коррозии основного материала и т. д. Таким образом, появляется много дополнительных, трудно учитываемых факторов.

Прочность соединения может быть снижена из-за отсутствия сплошной клеевой пленки и наличия участка, где при сплошности

полиуре- таны	поли- амиды	полиоле- фины	фторосо- держа- щие по- лимеры	поливи- нилхло- рид	поливи- нилбути- раль	полиметил- метакрилат	полисти- рол
от	х	0	0	н	н	0	н
от	х	0	0	н	н	0	н
н	н	0	0	н	н	0	н
н	н	0	0	0	0	0	0
от	х	0	0	0	н	н	н
у	х	0	0	0	н	0	н
0	0	от	0	0	0	0	0
н	н	0	0	от	н	н	н
у	у	0	0	х	у	от	у
н	н	0	0	н	н	у	от
0	0	0	от	0	0	0	0
от	х	н	0	у	у	н	н
от	х	0	0	н	х	н	н
от	х	0	0	н	х	н	н
х	х	н	0	н	у	у	у
х	х	н	0	н	у	у	у
от	х	0	0	н	н	н	н
х	х	н	0	н	у	н	у

шзя, от — отличная адгезия.

пленки все-таки не обеспечен физический контакт по всему микрорельефу.

При склеивании материалов, не совместимых с клеем, проводят специальную обработку поверхности субстрата с целью создания на ней прочно удерживающейся пленки иного, чем у основного материала, состава, с которой клей будет образовывать прочную адгезионную связь. По существу, при этом проблему склеивания сводят к соединению других материалов [11].

СОСТАВ И КЛАССИФИКАЦИЯ КЛЕЕВ

В настоящее время в мире выпускается около 1200 марок клеев. В большинстве своем они имеют сложную рецептуру, поэтому правильно было бы говорить о клеевой композиции. В общем случае ее функциональными составляющими являются: основа клея (связующее); растворитель; компоненты, обеспечивающие необходимые технологические свойства (смачиваемость, вязкость, растекаемость, адгезионную способность), — активаторы; компо-

ненты, обеспечивающие протекание процесса отверждения,— отвердители, катализаторы, замедлители, ускорители, ингибиторы; компоненты, влияющие на физико-механические свойства и другие эксплуатационные характеристики самого клея и клеевой пленки в составе соединения (наполнители, модифицирующие добавки, пластификаторы, стабилизаторы и др.).

Не обязательно присутствие в рецептуре каждого клея всех этих составляющих. Нередко оказывается, что те или иные ингредиенты выполняют одновременно несколько функций. Бывает, что для отверждения необходимо только изменение внешних условий (снижение температуры, изоляция от контакта с воздухом, механическое воздействие, приводящее к механодеструкции и последующему поперечному сшиванию макромолекул, и т. п.) [5, 6, 12].

Для склеивания некоторых пластмасс используют растворители, которые сами по себе не обладают клеящими свойствами, но способны растворять тонкий слой основного материала на соединяемых поверхностях и обеспечивать тем самым после приложения сжимающего усилия в течение определенного времени получение соединения с необходимым уровнем технологической прочности. Клей в этом случае образуется в месте соединения. Поскольку растворители, как правило, достаточно жидкотекучи, то в них предварительно можно растворить гранулы или стружку соединяемого или другого материала, способного к адгезии с подложкой. При этом получается двухкомпонентный клей, который имеет большую, чем у чистого растворителя, вязкость и допускает меньшую точность совмещения склеиваемых поверхностей.

Основой клея является связующее — вещество или смесь веществ, характеризующихся высокой адгезией к склеиваемому материалу. Свойства связующего оказывают определяющее влияние на основные эксплуатационные характеристики соединения. Основа клея может быть твердой и жидкой. Если основа представляет собой жидкость, то в ней растворяются другие компоненты клея. Если основа — твердое вещество, то для обеспечения возможности склеивания требуется либо нагреть его до получения расплава, либо перевести в раствор, способный принять и другие компоненты. Растворитель не только выполняет эту роль, но и обеспечивает получение необходимой консистенции всей клеевой композиции, что важно для выбора способа нанесения равномерного слоя на склеиваемые поверхности и заполнения технологического зазора без образования подтеков при различных пространственных положениях изделия [2, 4, 11].

В качестве растворителей используются органические жидкости (толуол, ацетон, этанол, метанол, хлороформ, бензин и др.), вода и др. в зависимости от природы связующего. Раствор или расплав должен обладать способностью к смачиванию подложки и в определенных случаях — к растеканию и капиллярному течению. К моменту завершения формирования клеевого соединения и достижения эксплуатационной прочности растворитель из клее-

вой пленки в основном удален, и его содержание в ней минимально.

Если полученный раствор или расплав связующего не проявляет достаточной адгезионной способности, то в рецептуру вводят активаторы — вещества или смеси веществ с повышенной адгезией к основному материалу и клею. Эти вещества можно наносить и на поверхность заготовки. Иногда используются реакционноспособные растворители, участвующие в процессе отверждения клеевой пленки.

Для перевода связующего в твердое состояние в состав добавляют отвердители — вещества, способные к химическому взаимодействию со связующим, в результате чего образуется сетчатая структура (процесс химического отверждения).

Для ускорения процесса отверждения вводят катализаторы, которые в ходе реакции не претерпевают каких-либо химических превращений. Количественные соотношения отвердителя и связующего определяются химизмом реакции отверждения. Количество катализатора не должно быть ниже определенного критического уровня. Отвердители и катализаторы вводят только в те клеи, отверждение которых происходит в результате химических реакций [5].

С момента введения отвердителя в клеевую композицию начинается процесс отверждения клея. Чтобы успеть до завершения отверждения выполнить все технологические операции по нанесению клея и сборке заготовок, необходимо контролировать скорость этой реакции, сохранять жизнеспособность клея. Это обеспечивается применением замедлителей. Если требуется, наоборот, повысить скорость реакции отверждения, вводятся ускорители.

Для подавления нежелательных химических реакций вводят ингибиторы. В частности, такая задача может возникать при склеивании металлов с использованием кислотных или других отвердителей, способных взаимодействовать с основным материалом.

Введение различных модифицирующих добавок существенно меняет эксплуатационные и технологические свойства клеев и клеевых соединений.

Наполнители позволяют изменять механические и теплофизические характеристики клеевого шва, в частности повышать модуль упругости, прочность, увеличивать теплопроводность и т. д.; в некоторых случаях наполнитель сообщает клею электропроводность.

Добавки пластификаторов снижают хрупкость клеевой пленки.

Могут вводиться вещества, снижающие температуру реакции отверждения.

Для предотвращения или замедления старения полимерного связующего вводятся стабилизаторы, действие которых

аналогично действию стабилизаторов в пластмассах. Вводимые в клеи пигменты влияют на товарный вид изделия. Для снижения стоимости клеев в них могут добавляться разбавители [6, 9].

Главным признаком, используемым при классификации клеев, является природа связующего. По этому признаку все клеи можно разделить на два больших класса: органические и неорганические. К последним относятся растворимое стекло, цементы, полифосфаты, клеи-фритты (водные суспензии композиций, содержащих оксиды щелочных и щелочноземельных металлов) и т. д. Органические связующие делятся на естественные (животного и растительного происхождения) и синтетические. Среди синтетических связующих различают термопластичные и термореактивные. Клеи на основе термопластичных полимеров представляют собой растворы, суспензии и расплавы. К числу таких связующих относятся полиамиды, полиметилметакрилат, полистирол, поливинилацетат, полиэтилен, полиизобутилен, производные акриловых и метакриловых кислот и т. д. Эти полимерные вещества имеют большую молекулярную массу (свыше 10 000). Термореактивные связующие — фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные, эпоксидные, полиуретановые, полиэфирные смолы, элементоорганические полимеры (кремнийорганические, борорганические, металлоорганические и др.). Молекулярная масса их существенно меньше, чем термопластичных полимеров (200—6000). Термореактивные клеи бывают одно-, двух- и многокомпонентные [10].

Независимо от принадлежности к термопластичным или термореактивным клеи по температуре отверждения различаются на клеи холодного (до 298 К), умеренного (298—373 К) и горячего (373—523 К) отверждения. По физическому состоянию это могут быть жидкие мономеры, растворы, суспензии, эмульсии, пленки или прутки, порошки. По функциональному назначению — конструкционные, неконструкционные и специальные. Конструкционные клеи обеспечивают прочность соединения, равную или соизмеримую с прочностью основного материала, и используются для создания силовых конструкций. Неконструкционные клеи предназначены для получения ненагруженных швов. Термином «специальные клеи» обозначают композиции, которые обладают ярко выраженными особыми свойствами, например высокой термостойкостью, электропроводностью, оптической прозрачностью, биологической инертностью (медицинские клеи). Эти клеи также должны обеспечивать определенный уровень механических свойств изделия [11].

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ

Знание свойств клеевой композиции необходимо при разработке рецептуры и рекомендаций по выбору марки клея, оценке его технологических возможностей, получении данных для расчетов швов, отработке технологии склеивания, экспериментальной проверке эксплуатационных характеристик клеевого соединения. Ориентироваться только на справочные данные и заводскую документацию, поступающую вместе с клеями, можно далеко не всегда из-за недостаточной их информативности, многовариантности сочетаний склеиваемых материалов, разнообразия условий работы изделий, способов подготовки заготовок, режимов отверждения клеевой композиции, возможных отклонений от нормативов при производстве клея и его компонентов, существенной зависимости качества соединения от субъективных факторов, а также значительных и чаще всего трудно учитываемых изменений в клее, происходящих во время его хранения и транспортирования. В связи с последним обстоятельством особое значение имеет входной контроль для оценки соответствия поступающего клея и его компонентов паспортным данным (сертификату).

Все характеристики клеевых композиций можно разделить на технологические и эксплуатационные. К технологическим относятся вязкость, сухой остаток, содержание летучих веществ, жизнеспособность, однородность, адгезия к склеиваемым материалам и некоторые другие; к эксплуатационным — прочность в различных условиях нагружения, тепло-, морозо-, водо-, атмосферостойкость, стойкость к воздействию различных химических веществ, масел, топлив, к изменениям температурно-влажностных условий и т. д.

Всего известно около 70 методов испытаний. На многие из них разработаны ГОСТы.

Вязкость клея является одной из важнейших его характеристик. Методика количественной оценки вязкости зависит от консистенции клея: маловязкая жидкость, вязкая жидкость, расплав. В первом случае используют вискозиметры — приборы, позволяющие по времени свободного истечения определенной дозы жидкости через калиброванное сопло судить о вязкости. Для более вязких клеев оценка вязкости ведется по времени прохождения стальным шариком определенного пути в жидкости, налитой в вертикально стоящую стеклянную трубку; в случае клеев с достаточно высокой вязкостью — по погружению конуса. Принципиальное значение во всех этих случаях имеет соблюдение температурного режима. Вязкость пленочного клея оценивается по изменению площади вырезанного из него диска, сжимаемого между обогреваемыми покрытыми слоем фторопласта металлическими пластинками при определенных давлении, температуре и продолжительности. Существуют и другие методы оценки.

Понятие «жизнеспособность» имеет разный смысл для реакционноспособных клеев и клеев, отверждающихся в результате испарения растворителя. В первом случае жизнеспособность определяется временем, в течение которого клей сохраняет консистенцию, необходимую для нанесения его на заготовку; во втором — максимальным временем, по истечении которого нанесенный на поверхность клеевой слой еще способен соединяться с поверхностью ответной детали. За результат оценки жизнеспособности клея принимается время, по истечении которого в определенных температурных условиях начинает происходить его желатинизация или отверждение, регистрируемые при перемешивании испытуемого состава стеклянной палочкой.

Сухой остаток оценивается по результатам взвешивания определенной порции клея в исходном состоянии и после испарения растворителя, удаления летучих веществ под действием тепла инфракрасных ламп, в сушильном шкафу, вследствие выдержки в термостате.

Оценка качества клея по виду и цвету производится с целью убедиться в отсутствии комков, геля, размешанного и неразмешанного осадка, для чего после перемешивания клея его наливают тонким слоем в прозрачные плоские сосуды (чашки Петри). Визуально или с помощью прибора (колориметра) оценивают цвет, который может свидетельствовать о кондиции клея.

О качестве пленочного клея можно судить по результатам механических испытаний пленки. Жидкие клеи с течением времени могут изменять свою вязкость. Для вспененных клеев измеряют кажущуюся плотность, влияющую на механические свойства соединения. Кроме того, существуют и другие подходы к оценке клеев: определение кислотности, содержания свободного формальдегида, стирола, хлора, эпоксидных групп и т. д. Но эти испытания не стандартизованы.

Оценить адгезионную способность клея можно только путем разрушения соединения. Но на результат в сильной степени оказывают влияние форма и размеры образцов, характер и скорость нагружения, температура и влажность при испытаниях, многочисленные технологические факторы. Для получения сопоставимых результатов разработаны стандартные методики, учитывающие специфику материала и клея.

Наиболее часто при склеивании конструкционных материалов используются методы определения прочности соединения при работе швов на срез, отрыв и раздир (отслаивание, расслаивание). ГОСТы регламентируют форму, размеры, количество, подготовку образцов, условия испытания, проведение замеров и оценку результатов. Выбор схемы испытаний (рис. 1.5) зависит от типа материала и характера конструкции. Кроме указанных существуют и другие способы оценки адгезионной прочности. При этом во всех случаях стремятся обеспечить равномерную работу шва.

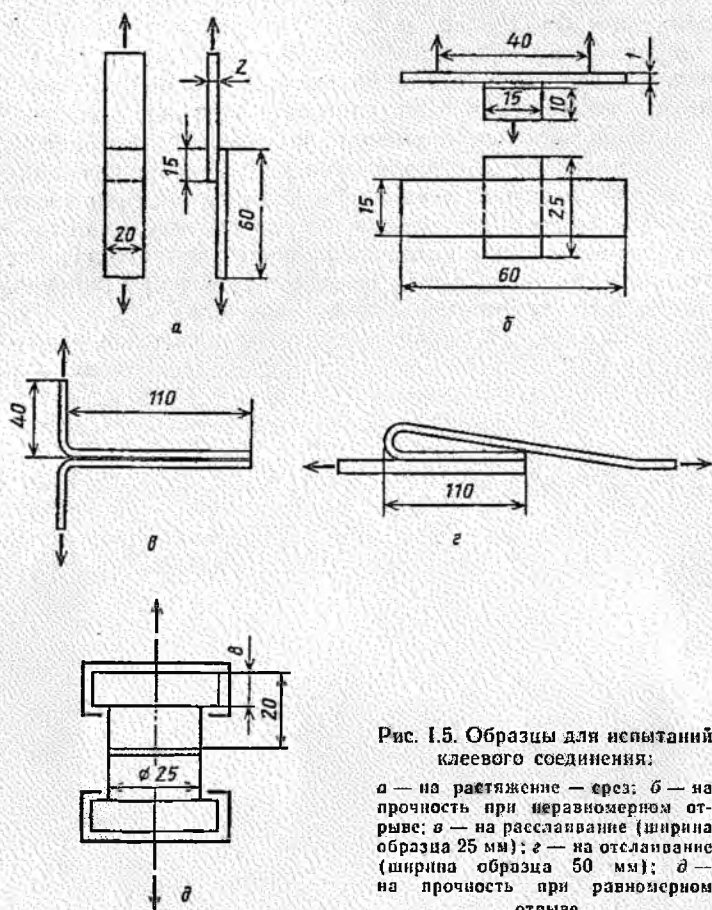


Рис. 1.5. Образцы для испытаний
клевого соединения:

а — на растяжение — срез; б — на прочность при неравномерном отрыве; в — на расслаивание (ширина образца 25 мм); г — на отслаивание (ширина образца 50 мм); д — на прочность при равномерном отрыве

Показатели механической прочности для более сложных условий нагружения (усталостные, повторно-статические нагрузки, двухосное растяжение и т. п.) определяются с учетом условий работы изделия принятыми в этих случаях методами испытаний.

Сущность определения морозостойкости соединений состоит в сравнении прочности образцов соединений при нормальной и пониженной температурах.

Теплостойкость оценивается по температуре, при которой стандартный индентор под действием фиксированной нагрузки внедряется на определенную глубину в материал, нагреваемый с постоянной скоростью, или по перемещению на заданную величину свободного конца консольно закрепленного нагруженного и нагреваемого образца.

Оценка водо-, атмосферо-, маслостойкости и стойкости клея к различным химическим ве-

ществам производится по сопоставлению результатов испытаний клеевых соединений сразу после изготовления и образцов, выдержанных в соответствующих условиях и средах.

Перечень стандартов на испытание и краткое содержание методик приведены в работах [6, 8, 11].

ТЕХНОЛОГИЯ СКЛЕИВАНИЯ

Технологический процесс склеивания в общем случае состоит из следующих операций: 1) приготовления клеевого состава; 2) подготовки поверхности деталей; 3) нанесения клея; 4) сборки; 5) отверждения клея; 6) контроля качества соединения.

Приготовление клея производят в соответствии с инструкцией завода-изготовителя за определенное время перед началом склеивания с учетом его жизнеспособности. При подготовке выполняют входной контроль качества компонентов, а затем осуществляют их дозировку в соответствии с рецептурой и смешивание. При этом необходимо регулярно проводить экспериментальную проверку технологических и эксплуатационных характеристик композиций. При больших масштабах производства эти работы проводят в специальных клеезаготовительных мастерских, в которых имеются дозировочное, клеемешалочное, раздаточное, моечное отделения и склад.

Подготовка поверхности при склеивании имеет особое значение вследствие адгезионной природы клеевого соединения. Задача состоит в том, чтобы создать условия для физического и химического взаимодействия по возможно большей площади с высокими значениями энергии связи.

Подготовка поверхности может включать следующие операции: обеспечение размерной точности сопрягаемых деталей для получения необходимых технологического зазора и площади склеивания (механическая обработка на станках); удаление с поверхности слоя материала, претерпевшего в ходе производства или хранения нежелательные для склеивания изменения (механическая обработка); создание на поверхности определенного микрорельефа для увеличения фактической площади контакта адгезива с основой (шероховка) с одновременным удалением части загрязнений (механическая обработка абразивными материалами, металлическими щетками, травление и т. д.); удаление с поверхности жировых загрязнений и других веществ, мигрирующих из основного материала и препятствующих смачиванию клеем твердой поверхности, образованию прочной адгезионной связи (обезжиривание, травление); нанесение на поверхность тонкого слоя специального состава, имеющего высокую адгезию к основному материалу и клею, с целью выравнивания теплофизических свойств адгезива и субстрата, создания барьера, препятствующего непосредственному контакту компонентов клеевой композиции с деталью (нанесение грунтов); создание

на поверхности деталей тонкой, ровной по толщине, прочно удерживающейся пленки вещества, адгезия которой к клею высока (оксидирование, фосфатирование, цинкование и др.); активацию поверхности — создание в поверхностном слое ненасыщенных связей, активных радикалов для повышения адгезионной прочности сцепления клея с основой (физические методы предварительной обработки поверхности — электрический разряд, радиоактивное и ультрафиолетовое облучение, газопламенная обработка, озонирование).

Выбор способов подготовки поверхности и последовательности ее выполнения в каждом случае решается индивидуально в зависимости от материалов склеиваемых деталей и их свойств, типа используемого клея, требований к эксплуатационным характеристикам изделия, масштабов и условий производства. При организации операций по подготовке поверхности необходимо исключить возможность случайного вторичного загрязнения от неосторожного обращения с заготовками или вследствие неправильных условий хранения, а также под действием материалов, используемых при обработке.

Подготовка поверхности механическими методами производится посредством шлифования, зачистки шкуркой, стальными вращающимися щетками. Высокой производительностью отличается обработка металлическими опилками, кварцевым песком, абразивными частицами при подаче их на деталь струей воздуха. Вместо пневмоструйной целесообразно использовать абразивную гидроструйную обработку, так как при этом снижается опасность травматизма обслуживающего персонала. В поверхность детали могут внедряться мелкие частицы абразива, их требуется удалить [4].

Обезжиривание поверхности производится: 1) в органических растворителях (ацетон, бензин, бензол, спирты, эфиры, этилацетат, метилэтилкетон и другие нехлорированные жидкости, а также хлорированные жидкости — трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, хлороформ); 2) в водных щелочных составах, в которые могут входить KOH , NaOH , Na_2CO_3 и т. д. Хорошие результаты дает обработка поверхности венской известью (смесь MgO и CaO). Наибольшее распространение получило щелочное обезжиривание в связи с низкой стоимостью материалов, пожаро- и взрывобезопасностью, простотой регенерации, меньшей токсичностью. Для повышения эффективности обработки в составы обезжиривающих ванн вводят поверхностно-активные вещества.

Обезжиривание растворами производят окунанием, протиркой, обрызгиванием и в парах. Выбор способа зависит от материала, масштабов производства, габаритов изделия и т. д. прибегают к комбинированной обработке в щелочных составах и растворителях. Для пористых материалов следует использовать способ обработки в парах. При обезжиривании пластмасс необходимо учитывать возможность их растворения. Желательно

использовать растворитель, содержащийся в клее, и производить обработку только места соединения. При склеивании растворителями для обезжиривания следует использовать жидкость, которая не растворяет основной материал. При процессах обезжиривания широко применяется ультразвук. В моющем составе за счет кавитации происходит энергичное удаление загрязнений. Этот прием особенно эффективен для деталей сложной формы и небольших размеров. В литературе имеются указания на эффективность применения ультразвуковой обработки по слою клея [2].

Травление производят в кислотных составах, в которые могут входить H_2SO_4 , HNO_3 , HF , HCl , H_3PO_4 и др. Для травления используют специальные ванны. Процесс ведут при нормальных и повышенных температурах (до 363 К). Продолжительность обработки — от нескольких секунд до 10—12 мин. Для каждого материала требуется своя рецептура травильного состава. При склеивании пластмасс к травлению прибегают реже, чем при склеивании металлов (главным образом при соединении трудно-склеиваемых неполярных полимеров — полиолефинов, фторопластов, некоторых сополимеров стирола). Составы для травления пластмасс могут быть аналогичны тем, которые используются для металлов. Для полиамидов применяют органические кислоты (концентрированная муравьиная и уксусная). Химическое травление пластмасс дает более стабильные результаты, чем физические методы обработки.

Травлению должно предшествовать обезжиривание, в противном случае не будет обеспечен контакт травильного состава со всей поверхностью.

После щелочного (химического) обезжиривания и травления необходимы тщательная промывка дистиллированной водой и сушка горячим воздухом. Сушка имеет важное значение, так как наличие влаги сильно ухудшает адгезию клея к подложке, снижая прочность и долговечность швов. Эта проблема не возникает при использовании водорастворимых клеев.

О качестве подготовки поверхности можно судить по поведению капли дистиллированной воды, нанесенной на испытываемую поверхность, наклоненную под углом 30—45°: если капля скатывается, не смачивая ее, то подготовка является неудовлетворительной.

Подготовленные поверхности следует незамедлительно склеивать во избежание существенной потери прочности соединения. Если это по каким-либо причинам невозможно, то на склеиваемые поверхности наносят адгезионные грунты, но это дополнительная операция, требующая оборудования, площадей и приводящая к увеличению трудоемкости изготовления изделия. Грунт выбирают таким, чтобы его окончательное отверждение совпадало с отверждением клея. Большинство грунтов — растворы полимеров и олигомеров, входящих в клеи. После нанесения грунта его подвергают воздушной сушке или частичному отверж-

дению. В таком состоянии заготовки могут храниться до 30 сут. Адгезионные грунты наносят на металлические и неметаллические поверхности, в том числе и на пластмассы. Они применяются главным образом при соединении разнородных материалов, где играют роль подслоев, барьерных покрытий. При склеивании эпоксидными клеями грунтами могут служить силаны и фенолформальдегидная смола, модифицированная виниловыми полимерами. В качестве грунта может быть использован и клей, имеющий хорошую адгезию к субстрату и основному клею.

Под воздействием различного рода облучения, электрического разряда, ультразвуковой, газопламенной обработки способность к адгезионному взаимодействию с клеем у металлов, пластмасс и других конструкционных материалов возрастает. Положительный эффект от ультрафиолетового или радиационного воздействия на поверхность трудносклеиваемых пластмасс обусловлен, по-видимому, тем, что энергия лучей соизмерима с энергией химических связей в полимерных молекулах, что ведет к появлению активных радикалов в результате разрыва химических связей.

Представляет интерес бомбардировка подготавливаемой поверхности ионами инертного газа в вакууме ($10^{-2} - 10^{-1}$ Па), при которой происходит «ионное травление». При этом достигаются высокая чистота, особая структура поверхности и, как следствие, повышение стабильности качества швов. Разброс значений показателей прочности составляет около 8 % вместо 25—30 % при обычной подготовке. В этом случае возможно получение соединений такой пары материалов, как полиэтилен с металлом [4—7].

При нанесении клея решаются три задачи — дозировка, равномерное распределение и обеспечение контакта клея с поверхностью. Дозировка клея должна быть достаточно точной, так как избыток или недостаток клея ведет к низкому качеству соединения. Обычно количество клея составляет 100—300 г/м² и зависит от вида клея и характера склеиваемых поверхностей. От равномерного распределения клея в значительной степени зависит качество будущего соединения. Клей может быть нанесен на две поверхности или (реже) на одну из соединяемых поверхностей в зависимости от марки клея. В зависимости от того, в каком состоянии находится клей (жидком, пастообразном, твердом монолитном, порошкообразном), а также в зависимости от характера изделия (длинномерный рулонный материал — пленка, ткань, бумага и т. п. с большой площадью склеивания, жесткие крупногабаритные конструкции с ограниченной площадью склеивания, перемещение которых затруднено, или малогабаритные, легкотранспортируемые заготовки), решается вопрос о выборе способа нанесения, дозировки и обеспечения контакта клея с подложкой [6].

Жидкие клеи (растворы, суспензии) можно наносить при по-

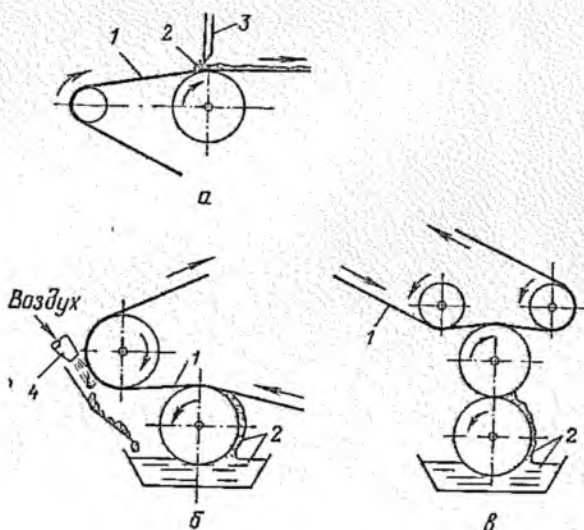


Рис. 1.6. Схемы валиковых устройств для нанесения клея:

а — с использованием ракля; б — с регулированием слоя клея струей воздуха; в — с применением верхних прижимных валиков; 1 — материал, на который наносится клей; 2 — клей; 3 — ракли; 4 — сопло для подачи воздуха

мощи кисти, валика, шприца, распылителя, а также методом окунания. Обычно при работе с такими клеями после нанесения требуется выдержка, при которой происходит испарение растворителя (если он присутствует в клее). Для получения необходимой толщины клеевой пленки наносится несколько слоев клея.

Пастообразные клеи наносят шпателем, раклей. Клеи-расплавы намазывают на нагретые поверхности или используют специальные пистолеты с электрическим обогревом, из которых клей выдавливается принудительно через сопло с насадкой.

Пленочные клеи в виде штучных заготовок прикатываются холодным (если они обладают липкостью) или горячим валиком. Порошкообразные клеи можно наносить методом вихревого напыления. Порошкообразные и жидкие клеи могут наноситься также методом распыления в электростатическом поле. Механическое воздействие на слой клея (при нанесении его кистью, раклей, шпателем, валиком) позволяет обеспечить необходимый контакт с подложкой и выровнять толщину слоя. При использовании разного рода валиковых устройств удается одновременно обеспечивать нанесение клея, его дозировку и распределение (рис. 1.6).

Сборка заготовок в случае применения клеев-расплавов производится сразу после нанесения клея, когда он еще находится в состоянии расплава. Но можно собирать и охлажденные детали с нанесенным клеем. При этом требуется повторный нагрев

в собранном состоянии. Клеи-дисперсии, как и растворы термопластичных клеев, нуждаются в сушке (открытой выдержке) от нескольких минут до часа в зависимости от марки клея. Испарение растворителя и всасывание его в поры подложки может идти как при комнатной, так и при повышенной температурах. Сжатие заготовок необходимо для обеспечения требуемой толщины клеевой пленки, создания контакта по всему микрорельефу, перераспределения клея на отдельных участках, предотвращения пористости при отверждении по реакции поликонденсации, когда выделяются газообразные продукты. В последнем случае давление сжатия составляет около 2 МПа. В других случаях давление лежит в пределах 0,01—1,0 МПа. При прессовании давление может достигать 5 МПа. В каждом конкретном случае режим выбирается особо. Если давление будет превышать необходимый уровень, то образуется «голодный» клеевой шов. Давление создают различными грузами, струбцинами, пружинами, вакуумом, на прессах и т. д. Применяемые сборочные приспособления, как правило, одновременно обеспечивают и взаимную фиксацию заготовок [12].

Отверждение клея ведется в определенных для каждой марки температурно-временных условиях. Температура отверждения может лежать в диапазоне 293—588 К. В случае применения клеев холодного отверждения повышение температуры способствует сокращению продолжительности процесса. При этом могут меняться механические свойства шва. От режима нагрева зависит и уровень остаточных напряжений. Нагрев производят в печах, термостатах, автоклавах, нагревательных прессах, инфракрасными лампами, токами высокой частоты и т. п. Термический режим может влиять на надмолекулярную структуру материала шва. Некоторые клеи отверждаются ультразвуком и радиационным методом [13, 14].

Контроль качества полученных клеевых соединений может производиться с использованием разрушающих и неразрушающих методов. Из числа последних наибольшее распространение получил ультразвуковой метод контроля. Проблема неразрушающего контроля клеевых соединений, особенно изделий из пластмасс, еще далеко не решена [13].

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СКЛЕИВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПЛАСТМАСС

Неразъемные соединения пластмасс получают главным образом сваркой и склеиванием. Четкую границу между этими методами в применении к пластмассам провести трудно. При сварке в месте соединения материал доводят до вязкотекучего состояния с помощью токов высокой частоты, ультразвука, потоков горячего газа, при контакте заготовок с нагретой твердой поверхностью или лучистой энергией от специального инструмента и т. д. В ре-

зультате получают слой расплава на поверхности детали, который играет роль связки, способной после совмещения с другой поверхностью, находящейся в аналогичном состоянии, после охлаждения давать неразъемное соединение.

При сварке происходит локальное изменение агрегатного состояния материала в ограниченном объеме. В основе таких процессов соединения, когда адгезив и субстрат имеют одинаковую химическую и молекулярную природу, лежит явление аутогезии (самослипания). Прочность шва может достигать значений когезионной прочности основного материала.

При склеивании того же эффекта добиваются путем получения раствора (если это возможно), в котором макромолекулы полимера, как и в расплаве, имеют повышенную подвижность и способны к диффузии. Известна ультразвуковая сварка по растворителю, сочетающая в себе склеивание растворителем и сварку в обычном понимании. Растворитель облегчает аутогезию.

При химической сварке в условиях сжатия соединяемых нагретых поверхностей происходит взаимодействие свободных функциональных групп, имеющихся в материале соединяемых заготовок. Этот процесс идет тем энергичнее, чем выше температура. Так, в частности, происходит сварка не полностью отвержденных реактопластов. Результаты получаются лучше, если на поверхность детали будет нанесен слой полимерного связующего, входящего в состав пластмассы, особенно если процент незаполимеризовавшейся смолы низок. Химической сварке способствует набухание полимера в растворителе, так как при этом усиливается подвижность функциональных групп. Прочность шва при химической сварке зависит от продолжительности выдержки заготовок в нагретом состоянии под давлением. Значения давления и температуры нагрева могут быть ниже, чем при обычной сварке.

Целесообразность применения того или иного способа получения неразъемного соединения можно определить только с учетом специфики конкретного материала и изделия. В самом общем виде можно сформулировать следующие рекомендации: термопласты (пластмассы, способные переходить при нагреве в вязкотекучее состояние без существенных изменений их молекулярной структуры) предпочтительно соединять сваркой; реактопласты (пластмассы, которые при нагреве разрушают, не переходя в вязкотекучее состояние) лучше склеивать; однородные материалы, способные растворяться, целесообразно склеивать растворителями; разнородные материалы, резко различающиеся по своей природе, можно склеивать с использованием составов, имеющих высокую адгезию к каждому из материалов; материалы, содержащие частично незаполимеризовавшееся связующее, следует соединять химической сваркой.

Эти рекомендации не дают исчерпывающего ответа на вопрос о выборе способа соединения. Так, например, полистирол одина-

Т а б л и ц а 1.3. Прочность при отслаивании клеевого соединения пластмасс в зависимости от полярности клея

Клей *	Прочность при отслаивании (кН/см) клевого соединения пластмасс на основе		
	полиэтилена	полиизобу- тилена	полиамида
Натрийбутадиеновый	1167,0	—	—
Полнизобутиленовый	951,2	—	—
Полнизопреновый	441,3	—	—
Натуральный	—	2873,3	294,2
Бутадиен-стирольный	392,3	2039,8	637,4
Бутадиен-нитрильный каучук, содержа- щий акрилонитрила:			
18 %	—	784,5	—
26 %	—	637,4	—
40 %	176,5	460,9	990,5
Хлоропреновый	—	—	7423,6

* Клеи расположены по степени возрастания полярности каучуковой основы.

ково хорошо сваривается и склеивается растворителем. Винипласт успешно сваривается многими методами и склеивается с помощью тетрагидрофурана или раствора ПВХ в нем и т. д.

Номенклатура полимерных материалов чрезвычайно многообразна; кроме того, они могут соединяться друг с другом в различных сочетаниях. Пластмассы, имеющие одну основу и принадлежащие к одной группе материалов, но с разной рецептурой, могут по-разному вести себя при склеивании. Входящий в состав пластмасс пластификатор и другие добавки могут мигрировать на поверхность и ослаблять или разрушать соединения, даже если до начала склеивания поверхности были тщательно обработаны. На поверхностях деталей может находиться смазка, используемая при литье в форму. Некоторые растворители, содержащиеся в клее, вызывают растрескивание основного материала под нагрузкой. Это особенно важно иметь в виду, когда в материале сохраняются значительные остаточные напряжения. В таких случаях прибегают к предварительной термической обработке заготовок.

В зависимости от режимов получения полимеры могут иметь отклонения по молекулярной массе. Решающим фактором для оценки пригодности клея является химическая природа субстрата, а точнее, соотношение полярностей субстрата и клея. Известное правило, заключающееся в том, что полярные полимеры склеиваются полярными адгезивами и, наоборот, неполярные — неполярными клеями, подтверждается данными табл. 1.3 [4], где приведена прочность соединения пластмасс на основе полимеров различной полярности (полиэтилен, полиизобутилен — неполярные; полиамид — полярный) клеями также различной полярности [4—6].

Поверхностные слои заготовок могут претерпевать значительные изменения в результате процессов старения, при этом будет изменяться адгезия к ним клея. При склеивании пластмасс в отличие от склеивания других материалов теплофизические и механические свойства адгезива и субстрата достаточно близки. Исключение составляют только композиционные материалы на полимерной основе. Так, например, коэффициент теплового расширения стеклопластиков в 7 раз ниже, чем полимера, составляющего его основу. Поэтому в клеевом шве могут возникать значительные напряжения при изменении температуры.

Полимерные клеи имеют, как правило, достаточно высокую химическую стойкость. Теплостойкость и химическая стойкость клеевого соединения и основного материала в большинстве случаев должны быть близкими. Клеи удовлетворяют этому требованию. По этим показателям обычно проверяют только клеевую пленку.

Из одного и того же полимера могут быть получены различные конструкционные материалы, различающиеся по степени однородности, сплошности, анизотропии свойств и т. д. Необходимы принципиально разные подходы к технологии склеивания монолитного полимера и пенопласта, листов и пленки, пленки и ткани из одного и того же материала, композитов. Склеивание полистирола растворителями — очень простой и хорошо освоенный процесс. Но механически переносить технику этого процесса на вспененный материал нельзя из-за быстрого его растворения. То же относится и к пленкам. В этих случаях следует применять медленно действующие растворители.

Свойства склеиваемых материалов накладывают ограничение на выбор клея: так, нельзя склеивать полимер составами, для отверждения которых требуются недопустимо высокие для основного материала температуры.

При склеивании пластмасс следует учитывать структуру материала, специфику его производства, теплофизические и механические характеристики, его «склеиваемость».

Среди термопластов есть легко склеиваемые материалы (полиметилметакрилат, полистирол, поливинилхлорид, поликарбонаты, производные целлюлозы и др.), трудно склеиваемые (например, полиамиды, полиформальдегид, полиэтилентерефталат) и «инертные» — те, которые поддаются склеиванию только после специальной обработки поверхности (например, фторопласты, полиолефины). В последнем случае не удастся получить высокую прочность клеевого соединения (относительная прочность клеевого шва составляет до 0,3 прочности основного материала).

При обезжиривании поверхности термопластов с использованием жидкостей, которые способны частично растворять склеиваемые материалы, следует учитывать соотношение летучести этой жидкости и растворителя, входящего в клей.

Склеивание полиолефинов (в частности, полиэтилена и полипропилена) представляет определенные трудности из-за их неполярности и нерастворимости.

Полиэтилен без активации поверхности склеивают композициями, состоящими из низкомолекулярного полиизобутилена, натрийбутадиенового каучука, виниловых эфиров; относительная прочность клеевого шва при этом не превышает 30 %. После активации поверхности можно использовать полярные клеи, содержащие хлоропреновый каучук с полиуретанами и другими модификаторами, эпоксидные композиции. Полиэтилены высокой и низкой плотности (соответственно низкого и высокого давления) склеиваются между собой растворами полихлоропрена или дисперсиями высокохлорированного полиэтилена [3, 11].

Полипропилен так же трудно поддается склеиванию, как и полиэтилен. Предварительная активация поверхности дает возможность применять эпоксидные клеи.

Полиизобутилен также принадлежит к полиолефинам, но в отличие от упомянутых выше он растворяется в бензоле, толуоле, хлорбензоле, тетрахлорэтаноле и бензине, что дает возможность склеивать его этими растворителями.

Фторопласты — инертные материалы, обладающие высокой химической стойкостью. Соединять их можно только после активации поверхности. Высокая термостойкость фторопластов позволяет применять клеи-расплавы (например, полигексафторпропилен). Имеется опыт использования при склеивании фторопластов диффузии в их поверхностные слои некоторых реактивных мономеров. Прочность швов при этом может достигать 8—14 МПа.

Поливинилхлорид является основой большого числа марок пластмасс, которые получают сополимеризацией поливинилхлорида с винилацетатом, винилиденхлоридом, модификацией его каучуками, мономерами, дополнительным хлорированием и т. д. При этом в широком диапазоне меняются эксплуатационные и технологические свойства полимера. Из-за характерных для многих термопластов проявлений эффекта пластической памяти для ПВХ целесообразно использовать клей с температурой отверждения до 323 К. ПВХ растворяется в хлорированных углеводородах, циклогексане. Для склеивания применяют растворы ПВХ или хлорированного ПВХ в смеси метилхлорида с метилэтилкетонам. Непластифицированные ПВХ с пенопластом на основе ПВХ и с искусственной кожей склеивают каучуковыми клеями. Прочность клеевых соединений составляет 3—9 МПа. Пластифицированные ПВХ склеиваются труднее. Поливинилхлоридные пленки, линолеум из ПВХ можно склеивать каучуковыми клеями. Для склеивания пластифицированного и непластифицированного ПВХ успешно используют полиуретановые клеи [11].

Полистирол хорошо растворяется в бензоле, дихлорэтане, трихлорэтане, хлорбензоле и поэтому успешно может соединяться этими растворителями. Медленное их удаление из материала обуславливает и медленное нарастание прочности клеевого шва. В связи с этим более целесообразно использовать менее активные растворители — циклогексан, этилацетат, метилацетат, кетоны. Часто применяют смеси растворителей. Хорошие результаты получают при использовании стирола, способного растворять полистирол. Подогрев до 323 К в сочетании со сжатием заготовок позволяет существенно сокращать время, необходимое для достижения заданной прочности клеевого соединения. Пенополистирол хорошо склеивается эпоксидными, карбамидными и винилацетатными клеями.

Полиакрилаты — полиметилметакрилат, сополимеры акрилатов с акрилонитрилом и другими мономерами — можно склеивать растворителями (хлороформом, ацетоном, ксилолом, хлорбензолом в чистом виде или с добавками). Растворитель испаряется медленно, из-за чего длительность выдержки склеиваемых деталей под давлением 10—50 Па составляет не менее двух суток. Склеиваемые поверхности предварительно смачиваются растворителем, в котором материал набухает. В результате испарения растворителя происходит усадка и возникают остаточные напряжения. Вследствие этого в месте контакта растворителя с полимером возможно появление мелких трещин. Часто в качестве клея применяют растворы полиакрилатов в растворителях или в мономере. В последнем случае необходимы добавки, ускоряющие процесс полимеризации. Хорошие результаты дают цианакрилатные и эластомерные клеи: прочность швов составляет до 45—50 МПа.

Полиамиды (капрон, нейлон и т. д.) относятся к трудно склеиваемым материалам и требуют предварительной специальной химической обработки. Растворяются в муравьиной кислоте и фенолах, являющихся очень токсичными веществами, и при повышенных температурах — в концентрированной уксусной кислоте, анилине. Возможно склеивание с помощью 10—20 %-х растворов полиамида в указанных растворителях или в резорцине. Отверждение ведут под давлением (до 0,2 МПа) при повышенной температуре (333—343 К). Прочность соединения составляет обычно 0,15—0,2 прочности основного материала.

Поликарбонаты можно склеивать полиуретановыми, эпоксидными, каучуковыми, цианакрилатными клеями, а также растворителями (хлороформом, диоксаном, тетрахлорэтаном). Отверждение клея при повышенных температурах (до 353 К) позволяет существенно снизить продолжительность процесса и повысить прочность соединения.

Полиформальдегид относится к трудно склеиваемым полимерам из-за его низкой полярности, поэтому к склеиванию прибегают редко. Требуется предварительная химическая активация.

ция поверхности полиформальдегида, после чего его можно склеивать эпоксидными клеями, клеями на основе фенольных смол, ненасыщенных полиэфиров, цианакрилатов. Прочность клеевых соединений в большинстве случаев низкая — около 10 % от прочности основного материала [6, 7].

Производные целлюлозы — нитраты, ацетаты, пропionatoны, гидратцеллюлоза. Целлулоид (нитрат целлюлозы) хорошо склеивается растворителями или растворами целлулоида, поливинилацетата, акрилатов. Фибру и целлофан, полученные из гидратцеллюлозы, соединяют клеями на основе хлорированного ПВХ, хлорированных каучуков, алкилфенольных смол. Ацетаты целлюлозы, из которых изготавливают негорючую фотопленку, канцелярские товары, детали пишущих машинок, игрушки, склеивают составами на основе хлорированного ПВХ, акрилатов, сополимеров винилхлорида с винилацетатом.

Особенности склеивания реактопластов заключаются в следующем: во-первых, эти полимеры нерастворимы; во-вторых, изготавливаемые на их основе пластмассы, как правило, содержат наполнители, создающие значительную анизотропию свойств; в-третьих, для их склеивания в большинстве случаев необходимо использовать теплостойкие клеи. Для соединения их с другими конструкционными материалами требуется применение достаточно универсальных клеев. Подготовка поверхности соединяемых деталей состоит в механической обработке и обезжиривании. Иногда производится предварительный прогрев для удаления влаги из гигроскопического наполнителя [11]. Рекомендации по выбору клея для склеивания реактопластов приведены ниже [6, 8, 9]:

Склеиваемые материалы
Фенопласты с рабочей температурой 333—393 К

Фенопласты с рабочей температурой 473—573 К

На основе эпоксидных смол (стеклопластики, углепластики, боропластики)

На основе полиэфирных смол

На основе кремнийорганических смол

На основе полиимидов

Рекомендуемые клеи

Фенолополивинилацетальные, эпоксиполиамидные, полиуретановые

Фенолополивинилацетальные, модифицированные кремнийорганическими соединениями, фенолокаучуковые, эпоксифенольные, кремнийорганические

Эпоксидные, фенолополивинилацетальные, фенолокаучуковые, кремнийорганические

Эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиэфирополиизоцианатные, на основе ненасыщенных полиэфиров

Фенолокаучуковые, кремнийорганические, эпоксикремнийорганические, эпоксифенольные

Эпоксидные, полиамидные, полибензимидазольные

Фенопласты склеивают составами на основе фенолоформальдегидных резольных смол, фенолорезорциновыми эпоксидными

ми клеями с температурой отверждения 413—433 К. Для склеивания их с эластомерами можно использовать каучуковые клеи, модифицированные алкилсодержащими новолачными смолами. При изготовлении декоративных слоистых пластиков на основе фенольных смол для склеивания с древесиной применяют водостойкие мочевиноформальдегидные или поливинилацетатные, фенольные, иногда каучуковые клеи.

Для склеивания аминопластов используют эпоксидные, каучуковые, полиуретановые, фенольные клеи. Склеивание деталей из ненасыщенных полиэфирных смол или изготовление слоистых пластиков на их основе можно проводить, применяя полиэфирные или эпоксидные клеи с наполнителем. Для склеивания полиэфирных смол с другими материалами, например с искусственной кожей, используются клеи на основе хлоропренового каучука.

Материалы на основе эпоксидных смол склеивают композициями на основе этих же смол. Высокие механические показатели соединения получаются, когда процесс отверждения прошел не полностью.

При склеивании пластмасс с другими материалами приходится часто создавать довольно сложные по структуре швы: использовать смеси двух клеев, применять промежуточные прокладки, модифицировать клеи [4, 6, 9].

КОНСТРУИРОВАНИЕ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В задачи конструирования клеевого соединения входят: выбор типа соединения и его конструктивное оформление, подбор марки клея, расчет размеров рабочего сечения шва и величины зазора, назначение качества чистоты обработки поверхности. Правильное решение этих вопросов возможно только в том случае, если досконально известны назначение рассматриваемой клеевой конструкции, условия работы (диапазон и характер изменения рабочих температур, требуемая прочность, характер нагрузки, влажность), различия в теплофизических свойствах, модулях упругости основного материала и отвержденной клеевой пленки, возможность биологического поражения шва, склонность к коррозии или другому виду разрушения поверхности материала под воздействием компонентов клея и т. д. Поскольку точный учет всех этих факторов практически невозможен, количественная оценка служебных характеристик соединения и изделия в целом должна проводиться экспериментально. Однако установлены некоторые общие закономерности и разработаны рекомендации, позволяющие упростить задачу создания клеевого изделия. Некоторые из этих рекомендаций приведены ниже.

1. Основной тип соединения, применяемый в клеевых конструкциях, — нахлесточный (рис. 1.7). Это связано с тем, что клеевое соединение, имеющее адгезионную природу, лучше рабо-

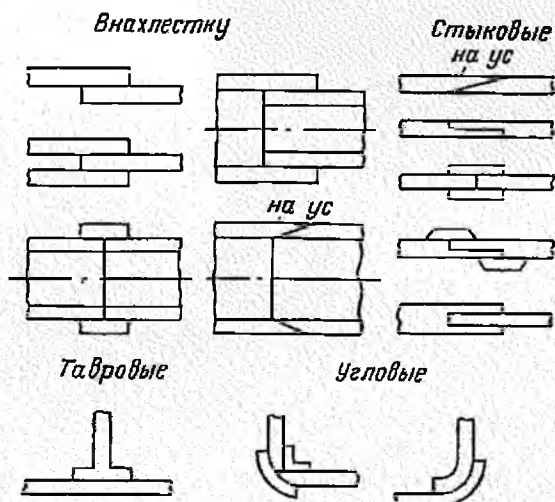


Рис. 1.7. Типы клеевых соединений

тает на срез, чем на отрыв. Если по каким-либо соображениям нельзя применять нахлесточное соединение, то прибегают к соединению «на ус» или комбинации такого соединения с элементами стыкового и нахлесточного швов. При выполнении тавровых или угловых соединений специально увеличивают площадь склеивания и вводят элементы, облегчающие работу швов на отрыв.

В асимметричных нахлесточных соединениях в местах перехода деталь — деталь при нагружении возникает концентрация напряжений, что снижает несущую способность шва. Поэтому желательно использовать симметричные нахлесточные соединения, а в местах перехода у деталей делать скосы.

При соединении трубчатых элементов широко используются раструбные и телескопические соединения.

2. При нагружении клеевого соединения различные участки шва работают неодинаково. Наблюдается концентрация напряжений по краям нахлестки (рис. 1.8). Это является следствием различия в деформационной способности клеевой пленки и основного материала и, в частности, существенного различия в значениях их модулей упругости (такая особенность характерна и для паяных соединений). В связи с этим целесообразно ограничивать длину нахлестки

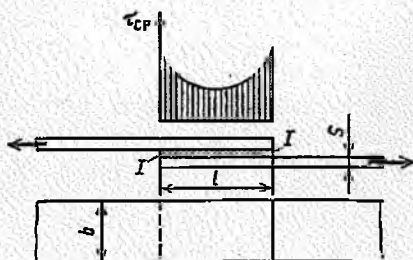


Рис. 1.8. Распределение срезающих напряжений по длине нахлестки в рабочем сечении шва $I-I$

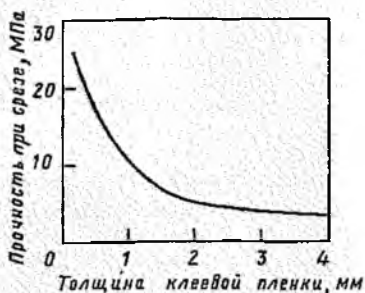
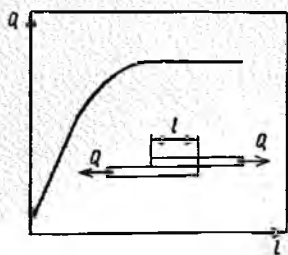


Рис. 1.9. Влияние величины нахлестки l на разрушающую нагрузку Q

Рис. 1.10. Влияние толщины клеевой пленки на прочность соединения при срезе (стальные образцы, склеенные композицией на основе метилметакрилата)

(l). Рекомендовать определенные числовые ее значения невозможно из-за чрезвычайно большого разнообразия клеевых композиций (и соответственно их механических свойств), а также сочетаний склеиваемых материалов. Ориентировочно можно считать, что $l \geq 10S$, где S — толщина склеиваемого элемента. Для ответственных изделий длину нахлестки принимают равной $l = (2,5 \div 5,0) S$. При чрезмерно большой нахлестке утяжеляется конструкция, повышается расход клея и увеличиваются другие затраты, связанные с обработкой большей поверхности; при этом не достигается никакой выгоды, так как средняя часть шва практически не работает (рис. 1.9). Кроме того, большая нахлестка создает дополнительные трудности для эвакуации из клеевой пленки остатков растворителя и продуктов, выделяющихся в процессе отверждения, что ведет к появлению дефектов.

Чем ближе клеевая пленка по своим механическим свойствам к основному материалу, тем может быть меньше величина нахлестки. При склеивании растворителями размер нахлестки может составлять несколько толщин склеиваемых деталей [12, 13].

3. Толщина клеевой пленки оказывает существенное влияние на прочность соединения (рис. 1.10). При уменьшении толщины прочность возрастает, но до определенного предела. Оптимальная величина технологического зазора (клеевой прослойки) лежит в пределах 0,05—0,15 мм.

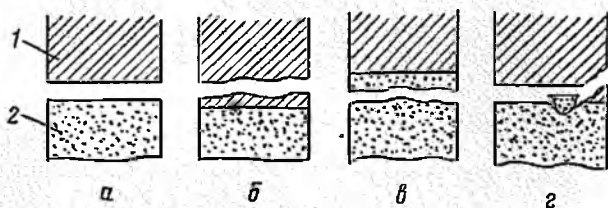
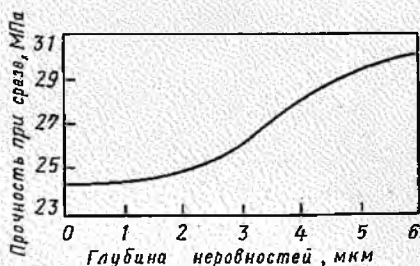


Рис. 1.11. Разрушение клеевого соединения:

a — адгезионное; $б, в$ — когезионное; $г$ — смешанное; 1 — субстрат; 2 — клеевая пленка

Рис. 1.12. Влияние глубины неровностей склеиваемых поверхностей на прочность соединения при срезе (склеиваемый материал — алюминиевый сплав, клей — на эпоксидной основе)



4. Определение размеров рабочего сечения шва представляет наибольшую трудность из-за неопределенности в выборе расчетных (допускаемых) напряжений для клеевой прослойки.

Разрушение соединения может идти по основному материалу, по клеевой пленке, по границе склеивания и захватывать основной материал и клеевой шов (рис. 1.11). Для равнопрочного соединения равновероятно разрушение по шву и основному материалу, т. е.

$$[\sigma_p] bS = [\tau_{ср}] lb,$$

где $[\sigma_p]$ — допускаемое напряжение в основном материале; b — ширина прослойки; S — толщина склеиваемого элемента; $[\tau_{ср}]$ — допускаемое напряжение на срез для клеевого шва; l — длина нахлестки.

Для получения значений допускаемых напряжений для клеевого шва необходимо учесть большое число факторов.

При расчете швов, представляющих собой комбинацию нахлесточных и стыковых или косостыковых соединений, несущая способность шва должна определяться как сумма этих показателей для каждого из элементов шва. Необходимо задаться коэффициентом запаса прочности, показывающим, во сколько раз напряжения, возникающие в шве, должны быть ниже вызывающих разрушение соединения.

В одних случаях расчет можно вести, исходя из условий кратковременного нагружения. В других случаях необходимо вести расчет на длительную прочность и, кроме того, учитывать весь сложный комплекс факторов, связанных с физическими и химическими процессами, протекающими в клеевой пленке и основном материале. Определенные сложности расчета часто связаны с недостаточной стабильностью механических свойств клеевых соединений.

5. Микрогеометрия поверхности играет существенную роль в формировании клеевого соединения. Правильный учет этого фактора при назначении квалитетов чистоты обработки сопрягаемых поверхностей имеет принципиальное значение не только для получения нужной точности сборки; общая тенденция такова, что с ростом шероховатости прочность соединений растет (рис. 1.12).

6. При выполнении соединения, элементы которого вместе с клеевым швом образуют замкнутый объем, необходимо преду-

смазывать дренаж для выхода воздуха и свободного движения клея во избежание образования воздушной подушки.

7. Выбор марки клея представляет собой многоплановую задачу: необходимо не только удовлетворить требованиям, обеспечивающим получение заданных эксплуатационных свойств соединения, но и учесть требования, предъявляемые самой технологией и техникой склеивания.

К числу требований, которые должны неукоснительно выполняться, относятся: близость молекулярной природы и совпадение полярности адгезива и субстрата для обеспечения хорошей смачивающей способности клея и высокой адгезионной прочности соединения; малая вязкость клея в момент нанесения на соединяемые поверхности для получения контакта по всему микрорельефу; наличие в составе связующего клеевой композиции функциональных групп, обеспечивающих сильное межмолекулярное или химическое взаимодействие; высокая когезионная прочность клеевой пленки; начало и скорость отверждения должны быть согласованы со временем достижения полного смачивания клеем поверхности заготовки; различие в коэффициентах термического расширения, модулях упругости основного материала и клеевой пленки, а также величина усадки при отверждении должны быть минимальными во избежание появления остаточных напряжений и деформаций соединения и концентрации и напряжений при его нагружении; отсутствие в клеевой композиции коррозионно-активных по отношению к материалу изделия компонентов; механические и другие свойства клеевой пленки должны соответствовать условиям эксплуатации по температуре, характеру нагружения, влажности и т. д.

Желательно, чтобы перед склеиванием не требовалось специальной трудоемкой предварительной подготовки поверхности, чтобы процесс отверждения шел без нагрева и приложения высокого давления, клей не содержал высокотоксичных веществ, имел длительный срок хранения в виде отдельных компонентов и высокую жизнеспособность в готовом виде.

Конкретная производственная задача может выдвинуть дополнительные конструкторские и технологические требования к клеям: атмосферостойкость, высокие диэлектрические показатели или электропроводность, возможность использования высокопроизводительных методов нанесения клея, минимальная продолжительность производственного цикла склеивания и т. д. Вообще единой методики выбора марки клея не существует. В справочной литературе приводятся таблицы, облегчающие поиск марки клея [4—6, 9, 14]. Во всех случаях непременно должно быть удовлетворено основное требование: способность клея обеспечивать высокую адгезионную прочность соединения с материалом изделия и необходимую когезионную прочность самой клеевой пленки.

Для упрощения проектирования конструкций клеевых соединений предложены специальные номограммы [4, 5].

ДЕФЕКТЫ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Дефекты клеевых соединений подразделяются на наружные, выявляемые поверхностным осмотром, и внутренние, обнаруживаемые только специальными методами контроля [8, 9].

Основными дефектами клеевых соединений являются «голодная», «сухая», «мокрая», пористая склейка, непроклеи, несмачиваемость клеем соединяемых поверхностей, недоотвержденная клеевая прослойка, перекося соединения. «Голодная» склейка является следствием нанесения недостаточного количества клея на склеиваемые поверхности. При «сухой» склейке клей пересушен до такой степени, что не происходит его склеивание с другой пересушенной клеевой пленкой (на ответной поверхности). «Мокрая» склейка является следствием неполного удаления из клея входящего в его рецептуру растворителя или неполного отверждения жидкого клея. Пористая склейка обуславливается неполным удалением растворителя или неправильным склеиванием и отверждением клеевой композиции, применением нерастворимого отвердителя, высокой влажностью склеиваемых поверхностей, наличием воздушных включений, образовавшихся в процессе нанесения клея. Непроклеи возникают при недостаточном давлении или позднем приложении давления, неравномерном нанесении клея, большой разнотолщинности склеиваемых деталей. Несмачиваемость клеем соединяемых поверхностей может проявиться на загрязненных поверхностях или при неправильном выборе способа подготовки склеиваемых поверхностей. Недоотверждение клеевой прослойки указывает на неправильное соотношение компонентов клея, низкую температуру или недостаточное время отверждения, а также неполное удаление растворителя. Перекося соединения возникает при неточной фиксации склеиваемых поверхностей, а также при смещении соединяемых изделий во время отверждения клея.

Большая часть дефектов клеевых соединений, как правило, вызвана неправильной подготовкой соединяемых поверхностей и нерациональной сборкой конструкций, нарушением установленных технологических режимов склеивания, недостаточной квалификацией рабочего персонала [5, 8, 9, 11].

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Предупредительный контроль предусматривает проверку соответствия соединяемых изделий и вспомогательных материалов техническим требованиям нормативной документации, контроль размеров соединяемых изделий, качества подготовки соединяемых поверхностей, квалификации рабочего персонала.

Соответствие соединяемых изделий и вспомогательных материалов техническим требованиям проверяется по внешнему виду. Поверхность изделий должна быть ровной и гладкой, без

раковин, трещин, пузырей, следов холодных спаев, разложения материала и т. д.

Особое внимание следует уделять контролю клеев (или исходных компонентов), обезжиривающих и травильных растворов. Клеи должны быть снабжены документацией завода-изготовителя. По истечении сроков хранения должно быть проведено испытание клеев на соответствие требованиям технических условий [9].

При контроле качества подготовки поверхностей изделий к склеиванию проверяется чистота соединяемых поверхностей.

При контроле квалификации рабочего персонала необходимо убедиться, что к работе допущены только рабочие, прошедшие специальную подготовку и соответствующую аттестацию.

Технологический контроль предусматривает поэтапный контроль технологических параметров склеивания, влияющих на качество соединения. При этом контролируются температура склеивания, давление при формировании клеевой прослойки, время отверждения клеевой прослойки и другие параметры, указанные в технологической документации на производство работ по склеиванию.

Контроль длительности технологических этапов производится секундомерами и реле времени; температуры нагревательных инструментов — электрическими приборами; глубины прогрева изделий в месте соединения — термочувствительной лентой (при нагреве ленты, укладываемая на поверхность изделия в месте соединения, изменяет свой цвет, что позволяет наблюдать за перемещением температурного фронта в изделии) [9].

Приемочный контроль представляет собой контроль качества готовых клеевых соединений неразрушающими и разрушающими методами, на основе результатов которых производится отбраковка склеенных изделий.

Разрушающими методами контроля клеевых соединений определяется механическая прочность при растяжении, сдвиге, равномерном и неравномерном отрыве, отслаивании, статическом и ударном изгибе. Для всех видов испытаний образцы следует вырезать из контролируемого клеевого соединения фрезерованием, если толщина материала более 1 мм, а из пленочных материалов — специальными устройствами (ГОСТ 14236—81). Испытания на растяжение листовых материалов толщиной более 1 мм проводятся по ГОСТ 11262—80, пленочных материалов — по ГОСТ 14236—81; для испытания необходимо брать не менее пяти образцов.

Образцы считаются выдержавшими испытания, если на поверхности натяжения клеевого шва не образовались трещины и надрывы.

Определение прочности клеевых соединений при сдвиге, при отрыве и при отслаивании проводится по методикам, изложенным в ГОСТ 14759—69 и ГОСТ 14760—69. Определение прочности

стыкового и торцевого клеевых соединений рекомендуется проводить согласно ГОСТ 156132—77 [8, 9].

Не разрушающие методы контроля прочности клеевых соединений находят широкое распространение, так как позволяют с минимальными затратами обнаружить некачественное склеивание и благодаря этому предотвратить разрушение изделия в процессе эксплуатации; дают возможность экономить время, затрачиваемое на контроль, и принять необходимые меры для улучшения качества склеивания. Кроме того, неразрушающие методы позволяют проводить контроль всех выпускаемых изделий, многократный контроль качества склейки, в том числе в процессе эксплуатации изделий. Используя эти методы, можно свести к минимуму число разрушающих испытаний готовых изделий.

Для контроля качества клеевых соединений изделий из пластмасс могут применяться следующие методы неразрушающего контроля: наружный осмотр, испытания на герметичность, рентгенографический контроль, ультразвуковая дефектоскопия, капиллярные и другие методы контроля. Они позволяют обнаруживать пустоты между склеиваемыми элементами, непроклеи, расслоения, повышенную пористость клеевых соединений [2].

Наружный осмотр клеевых соединений следует проводить при хорошем освещении по возможности с обеих сторон по всей протяженности соединения с применением увеличительных стекол с фокусным расстоянием 125 мм и увеличением в 2—20 раз. Чаще всего применяют складные обзорные лупы ЛПК-470 и ЛПК-471 двукратного увеличения [9].

Испытания на герметичность проводят следующими способами: обдувом (струей сжатого воздуха), воздушным давлением, гидравлическим давлением, наливом воды.

Рентгенографический контроль относится к радиационным методам контроля. Радиационные методы контроля основаны на воздействии рентгеновских или гамма-лучей, прошедших через контролируемое изделие, на фотопленку. По контрастности различных участков пленки можно обнаружить дефект в изделии.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на прохождении или отражении электромагнитных колебаний и сравнении интенсивности излучения, прошедшего через дефектный и бездефектный участки испытуемого изделия. Для контроля клеевых соединений типа металл — стеклопластик, металл — металл, полимер — полимер (при небольших толщинах склеиваемых изделий) обычно применяются приборы типа ДУК-66, ДУК-66П и др.

Капиллярные методы дефектоскопии основаны на способности жидкости проникать в поверхностные дефекты изделия, что позволяет обнаруживать все типы поверхностных трещин, расслоений и течей в клеевых соединениях.

В качестве жидкостей-пенетрантов, смачивающих полости дефектов, используют растворы органических люминофоров и красителей в смесях с необходимыми добавками. Избыток окра-

шенных жидкостей удаляют с помощью специализированных очищающих составов различными способами. После этого при освещении детали ультрафиолетовым светом можно четко выявить поверхностный дефект по яркому свечению следов заполняющего его люминесцирующего раствора (люминесцентный метод).

Освещение детали с дефектом, заполненным красителем, позволяет выявить дефект также косвенно по наличию цветной полосы в зоне дефекта (цветной метод) [2, 8, 9, 13].

Глава II

НАПЫЛЕНИЕ ПЛАСТМАСС

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Напыление полимерных материалов является одним из новейших способов обработки поверхности материалов, однако оно уже получило довольно широкое распространение. Основное назначение напыления — защита от коррозии различных строительных конструкций и резервуаров, электроизоляции и защита поверхностей деталей машин против истирания.

Все существующие методы напыления имеют свои технологические особенности. Режимы различных процессов напыления определяются особенностями конструкции распылителя, видом напыляемого материала, размерами и свойствами изделия, на которое необходимо нанести покрытие, а также требованиями, предъявляемыми к напыляемому покрытию. Для различных методов напыления можно назвать следующие общие факторы, влияющие на свойства получаемых покрытий и технико-экономические показатели процесса [15]:

факторы, связанные с напыляемым материалом: состав, физические свойства, форма и размер частиц порошкового материала; диаметр проволочного или пруткового материала; пластичность в случае применения паст;

факторы, связанные с источником тепловой энергии для напыления: род горючего; содержание кислорода в смеси; расход горючего и кислорода, если источник химический; потребляемая мощность; вид рабочего газа и его расход, если источник электрический; конструкция горелки (источник тепловой энергии);

факторы, связанные с подачей напыляемого материала: производительность подачи; вид и расход транспортирующего газа в случае порошкового материала; место и угол подачи напыляемого материала в горелку;

факторы, связанные с материалом, на который производится напыление: состав; способ предварительной подготовки поверхности и степень обработки; температура материала, на который производится напыление;

факторы, связанные с температурой, при которой полимер приобретает необходимую для напыления жидкотекучесть,— температурой растекания (ею принято называть температуру, при которой наблюдается быстрое образование жидкого пятна);

факторы, связанные с процессом напыления: расстояние от сопла горелки до напыляемой поверхности; скорость перемещения горелки или напыляемой поверхности; угол наклона горелки к напыляемой поверхности; использование защитного газа и его состав; состав окружающей среды в области напыления.

Указанные факторы связаны между собой и оказывают комплексное влияние на свойства покрытий. С учетом этого условия напыления в каждом конкретном случае выбирают в зависимости от напыляемого материала и материала основы [15, 16].

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Материалы для напыления. Выбор материала для напыления определяется в первую очередь назначением покрытия. Материалы для покрытия должны обладать химической стойкостью, атмосферостойкостью, высоким электрическим сопротивлением, антифрикционными свойствами и т. д. Толщина напыленного слоя может быть различной: от 0,05 до нескольких миллиметров.

Индивидуальные полимеры как пленкообразователи имеют ряд недостатков: высокая вязкость расплава, небольшой интервал между температурами течения и разложения, недостаточные адгезия и механическая прочность, низкая атмосферостойкость и т. д.,— поэтому в настоящее время для нанесения покрытий чаще всего применяются порошковые композиции, состоящие из смесей полимеров друг с другом и с различными добавками [22—24].

Наиболее широко для нанесения покрытий используются суспензии дисперсного политетрафторэтилена с различными добавками (дисульфидом молибдена, порошками различных металлов, например цинка и др.), а также полиамида с антифрикционными и упрочняющими добавками (графитом, стеклянной крошкой и др.) [17—19].

Добавки, которые вводят в смеси при изготовлении композиций для напыления, служат для обеспечения необходимых свойств покрытия, для удовлетворения требований, предъявляемых к готовому изделию. Они играют роль наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, красителей, смазок. В качестве добавок используют полимеры или мономеры, находящиеся в твердом, жидком или газообразном состоянии [17, 18].

Требования к материалам покрытий. Для нанесения покрытий используются материалы в виде порошка с частицами соответствующего размера, обладающие определенными сыпучестью, влажностью и не комкующиеся в процессе хранения.

Влажность порошков не должна превышать 2—3 %.

Увлажненные порошки просушивают в сушильных шкафах до достижения этой влажности при температурах 323—333 К. При более высоких температурах частицы размягчаются и слипаются [22—24].

Сыпучесть порошков является одной из важнейших физических характеристик композиций, применяемых для напыления вихревым, вихревым и газопламенным методами. Сыпучесть порошка определяется величиной трения между частицами и зависит от размера и формы частиц [22, 23].

Большое влияние на качество покрытий, образуемых полимерами в виде порошка, оказывают размер частиц и фракционный состав. Порошки с высокой степенью дисперсности легко оплавляются и позволяют получать покрытия при более низких температурах. Разброс размеров частиц не должен превышать 120—180 мкм. Для вихревого напыления применяют порошки с размерами частиц от 125 до 280 мкм, из них частиц с размерами от 125 до 180 мкм должно быть не менее 80 %. При газопламенном напылении величина разброса частиц имеет меньшее значение, чем при вихревом. При газопламенном способе допускают величину разброса частиц до 250 мкм.

Полимеры. Композиции, применяемые для порошкового напыления, могут быть приготовлены на основе термопластов и реактопластов. К термопластам относятся полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, поликарбонат, полиамиды, полиуретаны, пентапласты, фторопласты, поливинилбутираль и др. К реактопластам относятся эпоксидные смолы, фенопласты, аминопласты. Из реактопластов для покрытий чаще всего используют эпоксидные смолы [23, 25, 26].

В качестве полимеров, на основе которых изготавливаются материалы для покрытий, наиболее часто применяются следующие.

Полиэтилен. Для напыления на металлы применяют полиэтилен высокой и низкой плотности.

Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) обладает большей степенью кристалличности (75—85 %), более высокой температурой текучести. Полиэтилен низкой плотности (высокого давления) менее кристалличен (55—67 %), поэтому покрытия получаются более эластичными.

У полиэтилена высокой плотности выше молекулярная масса, он может выдерживать более высокие температуры, имеет большую твердость, однако из-за склонности его к растрескиванию (особенно при газопламенном напылении) целесообразнее применять смеси полиэтиленов низкой и высокой плотности [22—25].

Изделия, покрытые полиэтиленом, обладают химической стойкостью и водонепроницаемостью. Покрытия из полиэтилена и композиций на его основе наносятся для защиты от коррозии, а также в качестве электроизоляции от токов высокого напряжения или токов высокой частоты. Кроме того, они увеличивают

стойкость деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок при одновременном воздействии агрессивных сред, морской, пресной и хлорированной воды при температуре до 333 К. Для предотвращения или замедления процесса старения в полиэтилен добавляют стабилизаторы (ароматические амины, сернистые соединения, фенолы), которые препятствуют проникновению кислорода в толщу полимера, а также светостабилизаторы (графит, технический углерод, ниазон), которые уменьшают поглощение полимером ультрафиолетовых лучей. Адгезия чистого полиэтилена к металлу невысока. Для повышения адгезии к металлу применяют композиции полиэтилена с полиизобутиленом (10—15 %) и техническим углеродом (до 5 %) [27—29].

Полипропилен. Полипропилен — водостойкий материал. После длительного контакта с водой (в течение шести месяцев) при комнатной температуре водопоглощение полипропилена составляет менее 0,5 %, а при 333 К — около 2 % [22, 29, 30]. Достоинствами полипропилена являются также эластичность, незначительная склонность к образованию трещин, коррозионная стойкость и теплостойкость до 413 К.

С увеличением скорости охлаждения повышаются эластичность пленок и адгезия, снижаются остаточные напряжения. Для покрытий из полипропилена целесообразно быстрое охлаждение.

Процессы старения, связанные с повышенной окисляемостью, протекают у полипропилена быстрее, чем у полиэтилена, и вызывают резкое ухудшение его механических свойств. К недостаткам полипропилена следует также отнести невысокую адгезию его к металлам. По морозостойкости он уступает полиэтилену (его температура хрупкости лежит в пределах от —268 до —258 К). Кроме того, он имеет узкий температурный интервал перехода из твердого состояния в жидкое [22, 31, 32].

Полипропилен для покрытий следует применять со стабилизаторами, предохраняющими его от разрушения как в процессе переработки, так и во время эксплуатации. При повышенных температурах использование полипропилена более целесообразно, чем полиэтилена [33].

Поливинилхлорид. Для покрытий поливинилхлорид применяют в пастообразном состоянии. Паста готовится из 50—60 ч. порошка ПВХ и 50—40 ч. пластификатора — трикрезилфосфата. Снижение содержания пластификатора увеличивает химическую стойкость покрытия. Покрытие из поливинилхлорида защищает от воздействия слабых кислот и щелочей, морской воды, но непригодно для органических растворителей, бензина, масел [33, 36, 37].

Пасту из ПВХ наносят не только на металл, но и на бетон, бумагу, пластмассу, а посредством газопламенного напыления ее можно нанести на листовый материал из твердого ПВХ или на металлопласт в виде слоя толщиной до 3 мм и более [27].

Для увеличения адгезии пасты на поверхность предварительно наносят слой клея на основе поливинилацетата, перхлорвиниловых смол и др.

Материалом для покрытий в основном служит пластифицированный поливинилхлорид. Листовой и пленочный винипласт применяют в химической промышленности для футеровки металлической аппаратуры и трубопроводов, эксплуатируемых в агрессивных средах. В силу инертности поливинилхлорида покрытия на его основе имеют очень низкую адгезию к металлам. Для повышения адгезионной способности ПВХ перед нанесением покрытий проводится грунтование металлической поверхности. В качестве грунтов используют твердые и жидкие композиции на основе соединений как минерального, так и органического происхождения. Применяются термопластичные клеи на основе сополимера винилхлорида с винилацетатом, клеи на основе реактопластов — фенольной и эпоксидной смол, нитрильного каучука и др. [23].

Благодаря низкой стоимости сырья, высокой химической стойкости, хорошим физико-механическим и электрическим свойствам ПВХ является самым распространенным материалом, применяющимся в качестве защитно-декоративных, химически стойких и электроизоляционных покрытий [26, 37].

В состав поливинилхлоридных композиций, предназначенных для покрытий, помимо пластификаторов входят наполнители, стабилизаторы, смазки, пигменты и другие добавки, концентрация и природа которых оказывают существенное влияние на свойства покрытий [28—30].

В качестве пластификаторов применяются мономеры с высокой температурой кипения, например алкильные и арильные эфиры фталевой или себаценовой кислот, а также смесь дибутилфталата с диоктилфталатом [24, 26, 32].

Высокая химическая стойкость ПВХ позволяет успешно использовать покрытия на его основе в агрессивных средах и в атмосферных условиях различных климатических районов. Винипласт устойчив при температурах до 333 К, в растворах соляной и муравьиной кислот любой концентрации, в растворах солей различных металлов и в щелочах. Он не изменяется под действием глицерина, спиртов, гликолей, масел и т. д. [25].

Полистирол. Покрытия из полистирола обладают отличными диэлектрическими характеристиками, стабильными в широком интервале частот и температур. Они стойки в щелочах и некоторых минеральных и органических кислотах, не растворяются в алифатических углеводородах, низших спиртах и эфирах. Наибольшее распространение при напылении получил эмульсионный ПС (марки А), который выпускается отечественной промышленностью в виде порошка. В меньшей степени используется для покрытий блочный ПС.

В чистом виде ПС в качестве материала для напыления не

применяется. Для защитно-декоративных целей используют порошкообразные пластифицированные композиции на основе полистирола (в качестве пластификаторов применяются фенолоформальдегидные и алкидные смолы, трифенилфосфат и др.). Покрытия хорошего качества с большим сроком службы получаются на основе сополимеров стирола с акрилонитрилом, метилметакрилатом, а также при совмещении с синтетическими каучуками, которые можно рассматривать как нелетучие пластификаторы сополимеров стирола. Гибкость таких сополимеров обеспечивает сравнительно низкие напряжения в покрытиях, придает им повышенные эластичность и теплостойкость.

Для газопламенного напыления применяются композиции полистирола с полиэтиленом, в частности составы, содержащие 50 % ПЭ, 35 % ПС и 15 % графита. При газопламенном напылении порошка полистирола на стальную поверхность образуется твердое гладкое покрытие, обладающее, однако, повышенной хрупкостью. В процессе старения оно растрескивается и становится газо- и влагопроницаемым. Полистирол в качестве антикоррозионных покрытий самостоятельно не применяется вследствие недостаточной адгезии к металлическим поверхностям, низкой стойкости к ударным нагрузкам, а также склонности к растрескиванию. Для получения покрытий его совмещают с фенолоформальдегидными и алкидными смолами, а также применяют в виде латексов, преимущественно бутадиен-стирольного [22, 27, 34, 37].

Поликарбонат. Покрытия из порошкообразного поликарбоната (марки К) обладают очень высокой стойкостью к атмосферным воздействиям. За счет введения модификаторов покрытия из поликарбоната возможно применять в узлах трения. Поликарбонату свойственны термостойкость, повышенная радиационная стойкость и стабильность электрических свойств в широком интервале температур и частот. Для покрытий характерна высокая адгезионная способность [23, 26, 38].

Полиамиды. Для покрытий применяют полиамиды П-68 и П-АК-7, капрон.

Полиамиды используют для придания деталям антифрикционных свойств. Для улучшения антифрикционных свойств и повышения допустимых нагрузок в полиамиды добавляют порошки дисульфида молибдена, графита, талька, сульфата бария, алюминия и др. Размер частиц наполнителя не должен превышать размер частиц порошка [21, 22, 26].

Основными достоинствами полиамидов являются высокая износостойкость и низкий коэффициент трения, что дает возможность применять их в узлах трения. Полиамиды имеют хорошую адгезию к металлу; более высокую теплостойкость по сравнению с другими термопластами; они способны работать при температурах до 373—398 К; устойчивы в трениевых условиях, в частности, против термитов, разъедающих многие виды пластмасс.

Полиамиды плавятся при температуре выше 473 К в узком интервале температур. Они стойки в маслах, жирах, щелочах, не растворяются (за отдельными исключениями) в алифатических, ароматических и хлорированных углеводородах, но не стойки в фенолах, концентрированных минеральных и органических кислотах [31].

К недостаткам полиамидов относится их высокая гигроскопичность, приводящая к изменению размеров частиц при поглощении влаги или высушивании; в связи с этим во влажной среде значительно ухудшаются диэлектрические свойства полиамидов. Вследствие водопроницаемости и набухания покрытие с течением времени отслаивается от металла. Тонкослойные покрытия под действием ультрафиолетовых лучей теряют механическую прочность и становятся хрупкими. Хрупкость появляется также в результате старения под действием высоких температур и нагрузок [27, 30, 34].

Полиуретаны. Покрытия из полиуретанов характеризуются высокой адгезией к различным материалам, устойчивы к действию щелочей, концентрированных и разбавленных органических кислот, разбавленных минеральных кислот, углеводородов, альдегидов, жиров и масел; в них сочетается высокая твердость с эластичностью, они устойчивы к вибрации и истиранию. Для нанесения покрытий используется порошкообразный полиуретан ПУ-1, представляющий собой термопластичный кристаллический полимер. Покрытия на основе ПУ-1 могут работать длительное время в условиях высокой влажности при температурах до 383 К без существенного изменения физико-механических свойств. Методы нанесения покрытий — те же, что и для других порошкообразных термопластов [24, 34].

Пентапласт относится к числу химически стойких материалов. Он обладает отличными механическими, диэлектрическими и антикоррозионными свойствами, низкой вязкостью расплава, высокой технологичностью, а также хорошей адгезией к металлам, вследствие чего весьма пригоден для образования антикоррозионного антифрикционного покрытия. Невысокая вязкость расплава позволяет получать покрытие толщиной до 0,2 мм за одно оплавление. Пентапласт выпускается в виде порошка [31, 32]. Он устойчив в среде водных растворов щелочей, кислот и солей, в большей части органических растворителей (алифатических и ароматических углеводородов, спиртов, альдегидов, кетонов, кислот и аминов). По химической стойкости занимает промежуточное положение между поливинилхлоридом и фторопластом-2 [21, 23, 25].

Высокая термо- и теплостойкость пентапласта позволяет эксплуатировать изделия с напыленным покрытием из этого полимера при температурах до 403 К, а в отсутствие кислорода — до 483 К без изменения физико-механических свойств. Пленки из пентапласта незначительно деформируются под нагрузкой.

Пентапласт наносят на поверхность защищаемых изделий в порошкообразном виде и в виде дисперсий в органических средах. С целью сохранения термостойкости и исходных свойств в процессе переработки и эксплуатации при повышенных температурах в пентапласт вводят стабилизаторы. Стабилизаторами пентапласта в покрытиях являются диафен НН, бисалкофен БП, ирганокс 1010 и др. [28, 31].

Для увеличения прочности, твердости и повышения термостойкости напыленного слоя в пентапласт добавляют минеральные наполнители, а для повышения химической стойкости покрытий в агрессивных средах используют некоторые оксиды металлов (Cr_2O_3 , TiO_2 и др.).

Благодаря высокой химической стойкости и низкой проницаемости для агрессивных сред покрытия из пентапласта применяются в основном для защиты химического оборудования, работающего в агрессивных средах и жестких условиях эксплуатации [24, 27, 34].

Фторопласты используются для создания антикоррозионных, антифрикционных, электроизоляционных и других покрытий. Для покрытий в основном применяются фторопласт-2, -3, -3М, -4, -4Д. Фторопласт-3М выпускается в виде тонкого легко-сыпучего порошка. В связи с тем что фторопласт-4 и фторопласт-4Д обладают значительными деформациями при небольших нагрузках и малой износостойкостью, они обычно применяются для напыления совместно с другими материалами, такими, как кокс, стекловолокно, графит, дисульфид молибдена и др. Фторопласт-3 является наиболее технологичным из фторопластов и может быть нанесен на изделие как методом напыления, так и из суспензии. Покрытия из суспензии фторопласта-3 эластичны и стойки к ударным нагрузкам, но стойкость к агрессивным средам у них значительно ниже, чем у покрытий из фторопласта-4 [24—26, 29].

Поливинилбутираль и покрытия из него стойки к действию органических кислот и минеральных масел. Покрытия обладают высокими твердостью и износостойкостью, хорошей адгезией к стали, алюминию, меди, цинку, хрому, пластмассам и тканям [35].

Поливинилбутираль в чистом виде или с добавками широко применяется в качестве декоративных и защитных покрытий. Для нанесения декоративных покрытий применяют «шлицевой» или клеевой поливинилбутираль.

«Шлицевой» поливинилбутираль легче плавится и растекается по поверхности. Покрытия из него обладают высокой твердостью и устойчивостью к ударам, а также высокой механической прочностью, удовлетворительными эластичностью, атмосферостойкостью, стойкостью к действию ультрафиолетовых лучей. Для работы в агрессивных средах поливинилбутираль может применяться с различными добавками. В чистом виде во многих

агрессивных средах (особенно при температуре более 333 К), а также в пресной и морской воде недостаточно стоек [22]. При добавлении пигментов, с которыми он легко совмещается, получают красивую гладкую пленку. При добавлении до 15 % оксида хрома повышается адгезия к металлическим поверхностям. При добавлении фенолоформальдегидной смолы и минеральных наполнителей широко применяется для напыления с целью выравнивания и сглаживания поверхности штампованных корпусов различных объемных изделий [28, 36, 37].

К недостаткам покрытий из поливинилбутираля относятся их невысокая стойкость в щелочах, минеральных кислотах, растворимость в спиртах. Растворы поливинилбутираля применяются в качестве клеев и лаков, для изготовления замазок, пропиточных составов и декоративных покрытий ярких цветов.

Акриловые полимеры обладают высокой стойкостью к действию света, низких (до -223 К) и высоких (до $+533$ К) температур и к атмосферным воздействиям [38].

В качестве материалов для напыления используют термостойкие смолы. Из термопластичных акриловых полимеров в качестве основы для порошковых композиций и лакокрасочных покрытий используются смолы АС (сополимер, состоящий из 90 % бутилметакрилата и 10 % метакрилата) и БМК-5 (95 % бутилметакрилата и 5 % метакриловой кислоты) [24]. Значительно большее применение нашли полимеры и сополимеры производных акриловой и метакриловой кислот. Одним из таких продуктов является полимер акрилонитрила [25].

Покрытия на основе термопластичных акриловых смол имеют низкую набухаемость в воде, но значительную паропроницаемость, что не позволяет использовать их для защиты в условиях повышенной влажности. В таких случаях необходимо предварительное оксидирование или фосфатирование поверхности защищаемого изделия.

Эфиры целлюлозы. В качестве материала для напыления применяется этилцеллюлоза (ЭЦ). Основное использование ее в этой области — защитно-декоративные покрытия. В чистом виде в качестве покрытий порошкообразные эфиры целлюлозы не применяются, их модифицируют пластификаторами, пигментами и другими добавками. Такие покрытия имеют хорошие декоративные свойства (превосходят в этом отношении другие материалы). Кроме того, они обладают высокой влагостойкостью и светостойкостью, удовлетворительной механической прочностью [28].

Каучуки. В качестве материалов для покрытий применяются резины на основе натурального и синтетических каучуков.

Высокой эластичностью и хорошими адгезионными свойствами обладают покрытия из резин на основе натурального каучука. Они используются для защиты изделий от минеральных кислот

и щелочей до 40 %-й концентрации при температурах до 328 К. Для защиты изделий сложной конфигурации находят применение жидкие материалы в виде дисперсий высокомолекулярных каучуков (латексов) или растворов низкомолекулярных каучуков. Широко применяются в антикоррозионной технике резины на основе бутадиен-стирольного каучука (СКС-30), наполненные техническим углеродом. Для повышения адгезионной способности используют смеси СКС с натуральным каучуком. Покрытия из резин на основе бутилкаучука отличаются долговечностью и стабильностью электрических свойств в условиях повышенной влажности. Они устойчивы в 30 %-й азотной, 50 %-й серной и концентрированной соляной кислотах. Высокую химическую стойкость и теплостойкость имеют покрытия из фторкаучуков (СКФ-32, СКФ-26) [19, 22, 23, 37].

Эпоксидные смолы. Для изготовления материалов, используемых в качестве покрытий, из реактопластов наиболее часто применяются эпоксидные смолы. В результате реакции смолы с отвердителем образуется продукт, имеющий пространственную структуру [15]. В качестве отвердителей можно применять безводную фталевую кислоту, амины и другие вещества. В состав эпоксидных смол вводят также пластификаторы и наполнители [24].

Для напыления обычно используют хорошо перемешанную смесь порошков отвердителя и смолы. Смесь нагревают в течение определенного времени и доводят до полутвержденного состояния. После этого ее резко охлаждают и перемалывают в порошок, который используют для напыления. Как материал для антикоррозионных, электроизоляционных, защитно-декоративных и антифрикционных покрытий эпоксидные смолы применяют в виде паст, лакокрасочных материалов, а также в виде порошкообразных композиций [25, 27].

Порошкообразные композиции на основе эпоксидных смол готовят тремя способами: совместным механическим измельчением сухой смолы и других компонентов; сплавлением смолы и отвердителя при условии отсутствия химического взаимодействия между ними с последующим измельчением; сплавлением смолы и отвердителя с частичным взаимодействием между компонентами и последующим механическим измельчением [27, 34].

Отвержденные эпоксидные смолы устойчивы к спиртам и углеводородам, щелочам, солям и разбавленным минеральным кислотам, смазочным маслам и др., обладают удовлетворительными показателями электрических свойств в условиях повышенной влажности и высоких температур. Изделия с напыленным покрытием из эпоксидной смолы отличаются хорошими антифрикционными характеристиками. Эпоксидные смолы обладают высокой адгезионной способностью к металлам вследствие содержания значительного количества полярных функциональных групп.

После напыления покрытие выдерживают в течение 30 мин при 403—443 К для полного отверждения [15, 24, 35].

Добавки. Для придания полимерам свойств, позволяющих использовать их в качестве материалов для нанесения покрытий, в них в виде добавок вводятся наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители, смазывающие вещества (смазки) и др.

Наполнители, как правило, способствуют повышению прочности, химической стойкости, улучшению диэлектрических свойств. Их вводят также с целью экономии полимера [17, 18].

По происхождению твердые наполнители могут быть минеральными и органическими. К минеральным наполнителям относятся оксиды металлов (ZnO , TiO_2 и др.), каолин, литопон, смола, кварцевая мука, асбест, силикат кальция, мел, известь, графит, тальк, асбестовая бумага и картон, стеклотальк, минеральная вата и др. К органическим наполнителям относятся древесная мука, сульфитная и сульфатная целлюлозная масса и бумага, картон, хлопковые ткани, льняные очесы, химические волокна и ткани, полимерные наполнители (каучуки, бакелитовая мука), древесный шпон и крошка, отходы кожи, солома и др.

Наполнители могут быть порошкообразные, в виде спутанного волокна и с заранее упорядоченной структурой (бумага, ткани, шпон) [18—20].

Пластификаторы улучшают технологические свойства (текучесть, обрабатываемость, пластичность и т. д.) и эксплуатационные характеристики полимера. В качестве пластификаторов используют чаще всего низкомолекулярные высококипящие жидкости, совмещающиеся с полимерами. Пластификаторами служат эфиры адипиновой, себаценовой, фталевой и фосфорной кислот. Такие пластификаторы, как фосфаты и хлорированные вещества, понижают горючесть материалов, а углеводородные пластификаторы способны улучшать диэлектрические характеристики [20, 21].

Стабилизаторы (термостабилизаторы и антиоксиданты) служат для повышения стойкости полимерных покрытий к действию света, солнечной радиации, тепла, кислорода воздуха и т. д., т. е. факторов, способствующих деградации полимера.

Достаточно эффективным стабилизатором, предохраняющим от светостарения, является газовая сажа, действие которой проявляется уже при содержании ее около 0,3 %. В качестве термостабилизаторов полиолефинов используют обычно амины, вводимые в количестве около 0,2 %. Для поливинилхлорида достаточно эффективными стабилизаторами являются стеараты кальция, свинца и бария, основной карбонат свинца и др. Для этролов применяют термостабилизатор дифениламин, а также светостабилизатор салол [20—22].

Красители. Для придания полимерным покрытиям красивого внешнего вида применяют разнообразные красители и пигменты органического и неорганического происхождения. От кра-

сителя требуется, чтобы он не выцветал на солнце и цвет его не изменялся при воздействии высокой температуры напыления и переработки. Ярко окрашиваются полистирол, его сополимеры, полиметилметакрилат и его сополимеры, эфиры целлюлозы, вискоза и другие полимеры. Менее яркие расцветки обычно имеют наполненные полимеры, резина, полиолефины, фторопласты, поливинилхлорид и другие материалы. Газовая сажа помимо окрашивания в черный цвет придает покрытиям из полиолефинов и резины повышенную устойчивость к атмосферным воздействиям. Такие наполнители, как диоксид титана, оксид цинка и другие, могут одновременно и окрашивать полимерные покрытия. Жидкие, расплавленные и порошкообразные полимеры окрашиваются легче всего, так как краситель в них равномерно распределяется в процессе смешения компонентов композиций в шаровых мельницах и других смесительных аппаратах [21—24].

Смазки часто вводят в состав различных полимерных композиций для предотвращения налипания их на металлические поверхности оборудования и оснастки при переработке. Выбор типа смазки зависит от вида полимера и от его совместимости со смазкой. В качестве смазок широко применяются стеарин, стеарат цинка, парафин. Применение эмульсии воска в качестве смазки основано на том, что она создает разделительный слой, облегчающий извлечение изделий из формы.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ К НАНЕСЕНИЮ ПОКРЫТИЯ

Предварительная обработка металлических поверхностей. Перед нанесением полимерного покрытия методом напыления поверхность металлической детали должна быть подготовлена так же, как и перед нанесением лакокрасочных или гальванических покрытий.

Для создания прочного сцепления с материалом покрытия металлическая поверхность очищается от грязи, пыли, окалины, жиров и т. д. Способ и качество подготовки поверхности в значительной степени влияют на адгезию покрытия к металлу. Поверхность изделия, на которую будет производиться напыление, должна быть сухой, не должна иметь открытых линейных раковин, незачищенных сварных швов, острых углов и ребер. Края на углублениях, выступах и канавках должны быть закруглены по радиусу не менее 3 мм. На краях канавок при отсутствии закруглений образуется скопление излишнего порошка, что приводит к неравномерному напылению [20, 22, 24].

Продолжительность хранения подготовленных деталей перед напылением должна быть не более 5 ч во избежание окисления очищенных поверхностей.

Подготовка поверхностей перед напылением может осуществляться механическим, химическим или электрохимическим способом [26].

К механическим способам относятся пескоструйная или дробеструйная очистка, обдирка, шабровка, очистка металлическими щетками и др. [15].

Незначительную ржавчину очищают металлическими щетками, скребками или наждачной шкуркой, затем для обезжиривания промывают в растворителях (ацетоне или бензине) и выдерживают на воздухе в течение 20 мин для удаления растворителя.

Изделия, покрытые значительной ржавчиной или окалиной, подвергают пескоструйной или дробеструйной обработке. При этом создается шероховатость и производится активация поверхности. В качестве абразивных материалов для дробеструйной обработки используют стальную и чугунную крошку, корунд, карбид кремния, кварцевый песок, гранит и другие материалы. В кварцевом песке и граните не допускается содержание легко разрушаемых минералов, которые после обдувки остаются на поверхности детали. Стальную крошку (металлический песок) и корунд можно использовать многократно. Металлический песок применяется в виде зерен с острыми гранями размером от 0,5 до 2 мм. Такой металлический песок обладает большой прочностью и твердостью, дает значительно меньше пыли, чем кварцевый песок, долговечен и менее вреден. Обработку металлическим песком производят в герметически закрытых шкафах, оборудованных вытяжной вентиляцией [15, 20, 24, 35].

В дробеструйных аппаратах чугунная или стальная крошка, увлекаемая струей сжатого воздуха, с силой выбрасывается через сопло на обрабатываемую поверхность, очищая ее.

Используют два типа устройств: пневматические и центробежные. В устройствах с пневматической подачей абразивные частицы разгоняются сжатым воздухом и, вытекая из сопла в виде струи, ударяются с большой скоростью об обрабатываемую поверхность. В центробежных устройствах абразивные частицы непрерывно подаются во вращающееся с большой скоростью лопаточное колесо, где они разгоняются и под действием центробежных сил устремляются на обрабатываемую поверхность [15, 35].

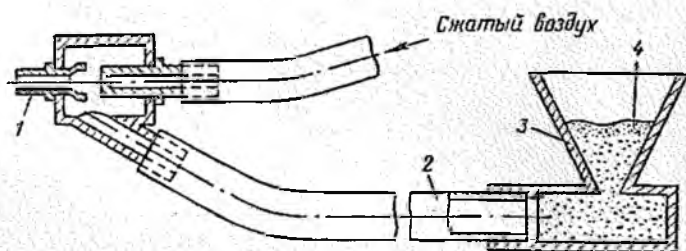


Рис. II. 1. Эжекционный дробеструйный аппарат:

1 — сопло; 2 — шланг; 3 — бункер; 4 — абразивный материал

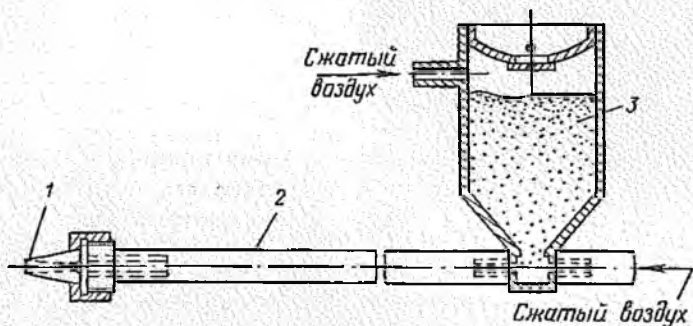


Рис. II. 2. Нагнетательный дробеструйный аппарат:

1 — сопло; 2 — шланг; 3 — абразивный материал

Устройства с пневматической подачей показаны на рис. II.1 и II.2. Первое из них является эжекционным, а второе — нагнетательным. Эжекционные устройства более дешевы, их используют для обдувки абразивными материалами поверхностей небольших деталей. Эти устройства не обеспечивают высоких скоростей абразивных частиц и не позволяют получать достаточную шероховатость поверхности у таких твердых материалов, как, например, чугун. Нагнетательные устройства имеют большую производительность, их можно применять для придания шероховатости твердым поверхностям. Устройства с центробежной подачей абразива используют только на поточных линиях. Это делается для обеспечения их рентабельности, поскольку они являются наиболее дорогими устройствами [15].

При использовании одного и того же абразивного материала и одного и того же сопла дробеструйного устройства с увеличением давления сжатого воздуха повышается производительность процесса обдувки. С ростом размера частиц абразивного материала производительность обдувки также возрастает. Однако при этом увеличивается расстояние между выступами или впадинами шероховатой поверхности. Поэтому обычно используют смесь, состоящую из мелких и крупных зерен. На технологию дробеструйной обработки оказывают влияние вид абразивного материала, форма и размеры его частиц, требования, предъявляемые к свойствам наносимого покрытия, и другие факторы [15].

К химическим способам подготовки поверхности относятся обезжиривание растворителями, фосфатирование, промывка в щелочах, травление в разбавленных кислотах.

Обезжиривание металлических изделий в зависимости от степени загрязненности проводят органическими растворителями (бензином, ацетоном, уайт-спиритом), эмульсионными составами и водно-щелочными растворами, например, следующего состава (г/л): сода кальцинированная — 50, едкий натр — 10, тринатрий-фосфат — 30. Температура раствора — до 303 К, продолжи-

тельность процесса — не менее 300 с. Применяют и другие обезжиривающие составы. Обезжиренные изделия промывают горячей водой до 353 К, затем холодной проточной водой и направляют на травление. Промытые изделия сушат и направляют на фосфатирование [20, 22, 24].

Для повышения эффективности обезжиривания проводят дополнительно электрохимическое обезжиривание или применяют ультразвук [33].

Качество обезжиривания на последней стадии контролируется методом, основанным на свойстве менее благородных металлов вытеснять более благородные из их солей. Для различных металлов применяют различные растворы солей. Например, для латуни и меди используют раствор нитрата ртути, для черных металлов и алюминия — раствор сульфата меди. На поверхности изделия при хорошем обезжиривании образуется тонкий равномерный слой более благородного металла (меди или ртути), при недостаточном обезжиривании металл не выделяется на поверхности. Для получения высококачественных полимерных покрытий необходимо, чтобы выделившийся металл образовывал равномерный слой [24, 27, 33].

Для оценки качества обезжиривания можно рекомендовать люминесцентный метод, основанный на способности органических соединений (масел) флуоресцировать в ультрафиолетовом свете. Изделие погружают в органический растворитель, содержащий 1—2 кристаллика флуоресцентного красителя (на 100 л растворителя), после чего осматривают его поверхность под кварцевой лампой. Плохо обезжиренные участки образуют темные пятна на однородном фоне. Этот метод обладает большой точностью и пригоден для оценки качества в тех случаях, когда требуется высокая степень обезжиривания [33].

Для удаления слоя оксидов с поверхности металлов наиболее широко применяются травление в растворах кислот и солей и обработка кислотными пастами. Состав травильного раствора или пасты зависит от природы обрабатываемого металла. Так как процесс электрохимически инициированной полимеризации (или сополимеризации) чувствителен к микропримесям, находящимся на поверхности металла, то в ряде случаев целесообразно вместо химического травления проводить электрохимическое травление или сочетать химическое травление с обработкой ультразвуком [31—33]. После операции химического или электрохимического травления изделие необходимо тщательно промыть обессоленной водой, так как следы электролита на поверхности могут влиять на качество формируемых покрытий, а также вызывать нежелательные побочные реакции. Контроль промывных вод, стекающих с поверхности, осуществляется по их электрической проводимости [24, 33].

Чтобы поверхность металла не окислялась при нагреве изделия до температур около 553 К, применяют фосфатирование,

производимое после пескоструйной обработки. Фосфатирование поверхности перед напылением повышает прочность сцепления полиамидной пленки с металлом примерно на 40 %. После фосфатирования детали промывают проточной холодной водой, нейтрализуют 2 %-м раствором кальцинированной соды и после повторной промывки водой выдерживают в сушильном шкафу в течение 1—2 ч при температуре 393 К. Помимо улучшения сцепления пластмассовой пленки с металлом фосфатирование способствует защите от коррозии металлической поверхности под тонким слоем пластмассового покрытия [20, 22].

Электрохимическая очистка изделий осуществляется в щелочных растворах при воздействии постоянного или переменного электрического тока. Электролитами могут служить гидроксид натрия, фосфат натрия, цианид калия или натрия, карбонат натрия. Одним электродом является сам щелочной раствор, а вторым — стальные никелированные пластинки. В процессе электролиза выделяется газ, который способствует отрыву капель масла от поверхности металлического изделия [20].

Электрохимический метод почти неприменим для очистки изделий сложной конфигурации. В этом случае рекомендуется ультразвуковой метод очистки, который осуществляется на ультразвуковой установке при помощи органических растворителей или щелочных растворов. Этим способом обезжириваются сравнительно небольшие изделия сложной конфигурации. Ультразвуком очищают также от ржавчины, окалины и других загрязнений. Продолжительность обезжиривания в органических растворителях протекает в 40, а в щелочных растворах почти в 100 раз быстрее, чем при других методах обезжиривания [20, 24].

Предварительная обработка некоторых неметаллических материалов. Напыление можно производить не только на металлы, но и на другие, самые разнообразные материалы: ткань, бумагу, дерево, гипс, пластмассы, стекло, резину и т. д. На эти материалы возможно производить напыление различными пластмассами, а также производить их металлизацию, т. е. наносить покрытия из металлов и сплавов (алюминия, цинка, олова, меди, магния, черных металлов, свинца и т. д.). Можно напылять различные материалы в несколько слоев, что позволяет получать покрытия со специальными характеристиками. Технология напыления на каждый из этих материалов имеет свои особенности. Здесь мы рассмотрим особенности предварительной обработки таких материалов [15, 35].

Ткань и бумага. Перед напылением ткань достаточно просушить. На бумагу напыление лучше производить без предварительной обработки, не подвергая ее глянецванию. На гляцевую бумагу и целлофан можно напылять цинковые покрытия. При напылении скорость перемещения этих материалов должна быть высокой, а расстояние, с которого производится напыление, должно составлять 250—300 мм. Если сцепление цинкового по-

крытия с основой получается недостаточным, можно провести предварительное напыление олова. На этот подслои можно напылять различные материалы [15].

Дерево. Перед нанесением покрытия дерево или фанеру тщательно просушивают и поверхность обрабатывают наждачной бумагой.

Если такая обработка не обеспечивает удовлетворительной шероховатости поверхности, в качестве предварительной обработки можно произвести обдувку корундом при низком давлении сжатого воздуха. На дерево можно напылить тонкий слой цинка или олова, который в дальнейшем может служить подложкой для напыления других материалов [15].

Гипс. Покрытия на гипс напыляются сравнительно просто. Напыление необходимо проводить сразу после сушки гипсовых изделий, не подвергая их предварительно вошению, так как воск препятствует сцеплению напыляемых материалов с основой. Изделия из твердого гипса можно предварительно обработать путем обдувки легкими частицами корунда при низких давлениях сжатого воздуха.

Пластмассы. Перед напылением покрытий изделия из терморезистивных пластмасс необходимо предварительно просушить. Сушку производят электрическими нагревателями при температуре, не превышающей 388 К, в течение 2—3 ч. Для обеспечения более прочного сцепления покрытия с основой можно перед нанесением покрытия произвести легкую обдувку абразивными материалами. Если такая предварительная обработка не допускается, обрабатываемую поверхность можно покрыть тонким слоем растворителя, который размягчит поверхность материала. Напыление следует производить сразу, пока материал размягчен. При напылении горелку необходимо располагать на большом расстоянии от поверхности изделия [15].

Для некоторых термопластичных материалов указанные выше методы предварительной обработки применить не удастся. В таких случаях на очищенную от загрязнений поверхность изделия из термопластичного материала наносят слой целлюлозного лака [15, 35].

Стекло. Предварительная подготовка поверхности холодного стекла выполняется примерно так же, как и металлов, и заключается в основном в дробеструйной обработке абразивными материалами. Предварительно обработать стекло можно также путем нанесения на его поверхность тонкого слоя эпоксиной смолы или желатинообразного раствора фенолоформальдегидной смолы, которая затвердевает под действием тепла, выделяемого при напылении [15].

МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ

Главной задачей при изготовлении порошкообразных композиций является тщательное смешение всех компонентов, обеспечивающее максимально равномерное распределение разнородных частиц в объеме смеси (гомогенизацию). Степень гомогенизации во многом определяет качество получаемых композиций и напыленных покрытий.

Существуют четыре основных способа получения порошкообразных полимерных составов и композиций: 1) сухое смешение порошкообразных компонентов; 2) мокрое смешение — смешение компонентов в среде растворителя с последующим его испарением (лаковый метод); 3) смешение сплавлением компонентов; 4) комбинация сплавления и сухого смешения [19].

Первый способ является наиболее дешевым и высокопроизводительным, однако внешний вид получаемых покрытий и их эксплуатационные характеристики сравнительно невысокие. Основными недостатками внешнего вида покрытий нередко являются матовость и шагрень. Кроме того, порошки, изготовленные сухим смешением, склонны к разделению (сепарации) компонентов при напылении, особенно в электростатическом поле [19].

Сухим смешением получают порошки преимущественно на термопластичном связующем, исключаящем или затрудняющем возможность сплавления или растворения (полиэтилен, поливинилхлорид, пентапласт, фторопласт и др.). В некоторых случаях сухим смешением изготавливают и термореактивные порошки, например эпоксидные с отвердителем, обладающим высокой реакционной способностью, который трудно ввести методом сплавления [19].

Производство эпоксидных порошков сухим смешением включает четыре технологические операции: 1) измельчение компонентов; 2) смешение отвердителя со смолой; 3) смешение всех компонентов; 4) дополнительное (если это необходимо) просеивание. Эти операции, за исключением просеивания, выполняются в шаровых мельницах или в смесителях с Z-образными лопастями. Продолжительность измельчения и перемешивания определяется преимущественно исходным и конечным размерами частиц [19, 20, 22, 24].

При мокром смешении все порошкообразные компоненты и растворитель перемешивают в смесителе до образования раствора со взвешенными в нем нерастворимыми частицами (наполнитель, пигменты). Затем раствор подают с помощью насоса в камеру распыления, в которую одновременно нагнетается горячий воздух. При распылении растворитель быстро испаряется, его пары конденсируют и направляют на повторное использование. Образовавшаяся воздушно-порошковая смесь поступает в сепаратор типа циклона. Происходит отделение порошка, который

далее направляется на расфасовку. Преимуществами описанного способа является отсутствие процессов дробления, измельчения и просеивания, а также высокая степень гомогенизации растворимых компонентов. Этот способ, однако, дорог и поэтому не нашел широкого применения [19, 22].

Смешение сплавлением компонентов нашло наибольшее промышленное применение. В общем виде этот метод заключается в том, что смолу, наполнитель, добавки и отвердитель сплавляют в смесителях, гомогенизируют в экструдерах или на вальцах, затем охлажденный материал измельчают и просеивают.

Один из вариантов технологического процесса изготовления полимерных порошкообразных материалов методом сплавления схематически показан на рис. II.3 [19]. В аппарат предварительного смешения загружаются все компоненты. После сухого перемешивания они поступают в двухшнековый смеситель и затем в экструдер. Из экструдера расплав композиции поступает на охлаждаемые валки, откуда по конвейерной ленте направляется на измельчение и просеивание.

Продолжительность перемешивания и гомогенизации в смесителях во многом зависит от их типа и конструкции рабочих элементов, причем для быстро отверждающихся композиций

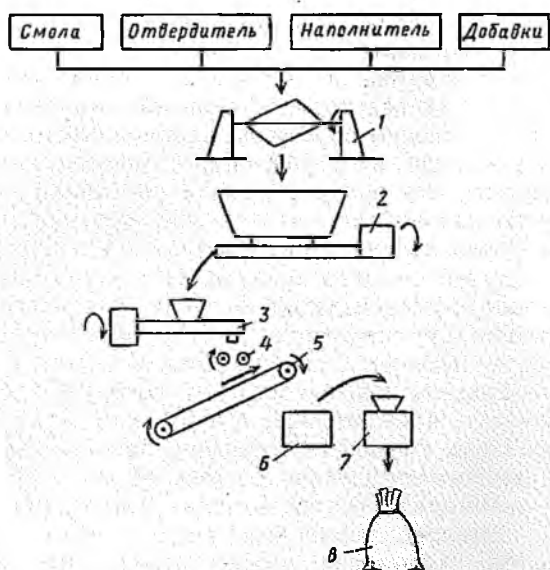


Рис. II.3. Схема производства порошков путем сплавления компонентов и гомогенизации расплава:

1 — предварительный смеситель; 2 — двухшнековый смеситель; 3 — экструдер; 4 — охлаждаемые валки; 5 — транспортер; 6 — бункер; 7 — мельница (дезинтегратор); 8 — расфасованный порошок

допустимая продолжительность гомогенизации может составлять около 1 мин. При выборе оборудования следует учитывать также способность экструдеров или смесителей к самоочищению. Это особенно важно при производстве окрашенных композиций. Очистка оборудования может производиться различными способами — загрузкой смолы, промывкой растворителями или заменой рабочих элементов.

Комбинация сплавления и сухого смешения применяется в случае использования, например, высокоактивного отвердителя, который вводится в охлажденный измельченный сплав всех остальных компонентов. Таким же образом на последних стадиях процесса могут вводиться и пигменты. Данный способ несколько сложнее рассмотренного выше сухого смешения всех компонентов, но качество получаемых порошков выше [19, 20, 22, 24].

МЕТОДЫ НАПЫЛЕНИЯ ПЛАСТМАСС

Существует несколько групп методов нанесения покрытий на различные изделия: струйные методы напыления; напыление в псевдооживленном слое; напыление в электростатическом поле — электрофоретическое осаждение полимеров из дисперсий (электрофорез); напыление насыпанием; нанесение расплава методом литья под давлением; плакировка металлов [19, 20, 22].

Струйные методы напыления. К ним относятся газопламенное напыление, беспламенное напыление, тепловлучевой метод, нанесение покрытий из растворов, суспензий и эмульсий, центробежный метод распыления порошков, плазменный метод.

Газопламенное напыление. Сущность этого метода заключается в том, что полимер в виде порошка пропускается через пламя специальной распылительной горелки, где он расплавляется и в расплавленном виде выбрасывается со скоростью около 30 м/с струей сжатого воздуха на поверхность изделия. Попадая на поверхность изделия, частицы расплавленного порошка растекаются и сцепляются с ней, образуя однородный сплошной слой напыления. Для обеспечения хорошего качества напыления необходимо поверхность, на которую производится напыление, очистить и нагреть [22, 24]. Обычно изделие подогревают до температуры, равной температуре плавления напыляемых пластмасс. Пламя в распылительной горелке может создаваться путем использования горючих газов, таких, как ацетилен, пропан, смесь пропан — кислород, природный газ и т. д.

Газопламенное напыление можно производить не только порошкообразной, но и пастообразной пластмассой. При этом частицы пастообразной пластмассы, проходя через пламя горелки, нагреваются до желеобразного состояния и, попадая на поверхность изделия, образуют сплошное монолитное покрытие [20, 22]. Этот метод позволяет наносить пластмассовые покрытия

толщиной до 5 мм и более. Качество покрытия при газопламенном напылении в большой мере зависит от квалификации исполнителя. Процесс малопроизводителен, но весьма пригоден для ремонта поврежденных участков покрытий, особенно на тонкостенных крупногабаритных изделиях не очень сложной конфигурации, имеющих открытые, доступные для напыления поверхности, а также для заделки сварных швов, устранения неровностей, вмятин и раковин на поверхностях различных машин при их изготовлении и ремонте. Примерный расход порошка полимера при толщине покрытия 0,3—0,4 мм составляет 1,0—1,5 кг/ч, а производительность установки — 2,2—3,2 м²/ч. При этом суммарный расход воздуха равен 14—16 м³/ч [22].

Основным недостатком газопламенного напыления является частичная деструкция полимера из-за неустойчивости теплового режима, что приводит к некоторым дефектам напыленного слоя. Этот недостаток устраняется при беспламенном, плазменном и теплотречевом методах напыления [20].

Нанесение газопламенным способом покрытий из пластмасс производится на специальных установках с применением горелок-распылителей. Все аппараты, применяемые для газопламенного напыления, работают по одному принципу и отличаются только формой пламени и способом подачи полимерного материала из порошкового питателя к распылительной горелке.

На рис. II.4 приведена схема питания горелки-распылителя воздушно-порошковой смесью при газопламенном напылении пластмасс. Подача порошка производится по центральному каналу сжатым воздухом. Смеск кислорода с газообразным топливом поступает в кольцевое сопло, на срезе которого образуется факел. Для удержания факела имеется еще одно кольцо-

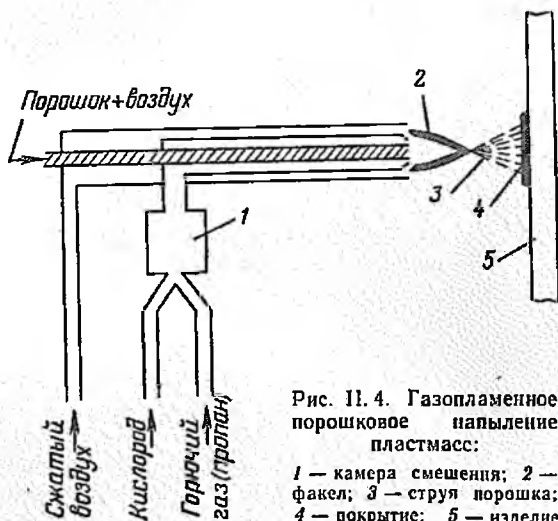


Рис. II.4. Газопламенное порошковое напыление пластмасс:

1 — камера смешения; 2 — факел; 3 — струя порошка; 4 — покрытие; 5 — изделие

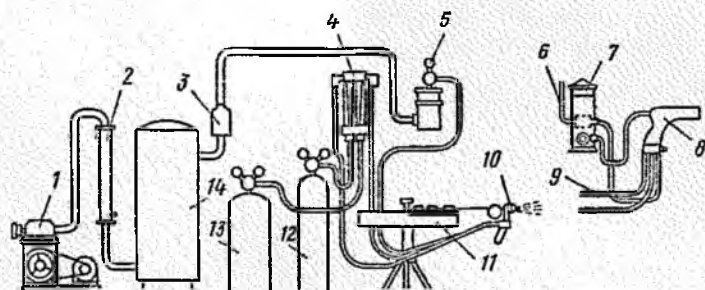


Рис. II.5. Схема установки для газопламенного напыления полимерных материалов в виде прутка или в виде порошка:

1 — компрессор; 2 — теплообменник; 3 — осушитель; 4 — расходомер; 5 — редуктор для регулирования подачи сжатого воздуха; 6 — подвод сжатого воздуха; 7 — бункер для порошка; 8 — горелка, распыляющая порошок; 9 — шланг к расходомеру; 10 — горелка, распыляющая полимерный прутки; 11 — бухта полимерного прутка; 12 — кислородный баллон; 13 — ацетиленовый баллон; 14 — ресивер

вое сопло, из которого истекает струя сжатого воздуха. Такая конструкция горелки позволяет производить регулировку длины факела и предохраняет внутреннее сопло от перегрева [15].

На рис. II.5 представлена общая схема устройства для газопламенного напыления пластмасс. Редуктор снижает давление сжатого воздуха, поступающего из воздушной емкости, до 0,3—0,6 МПа, а осушитель удаляет из воздуха влагу и масло [15].

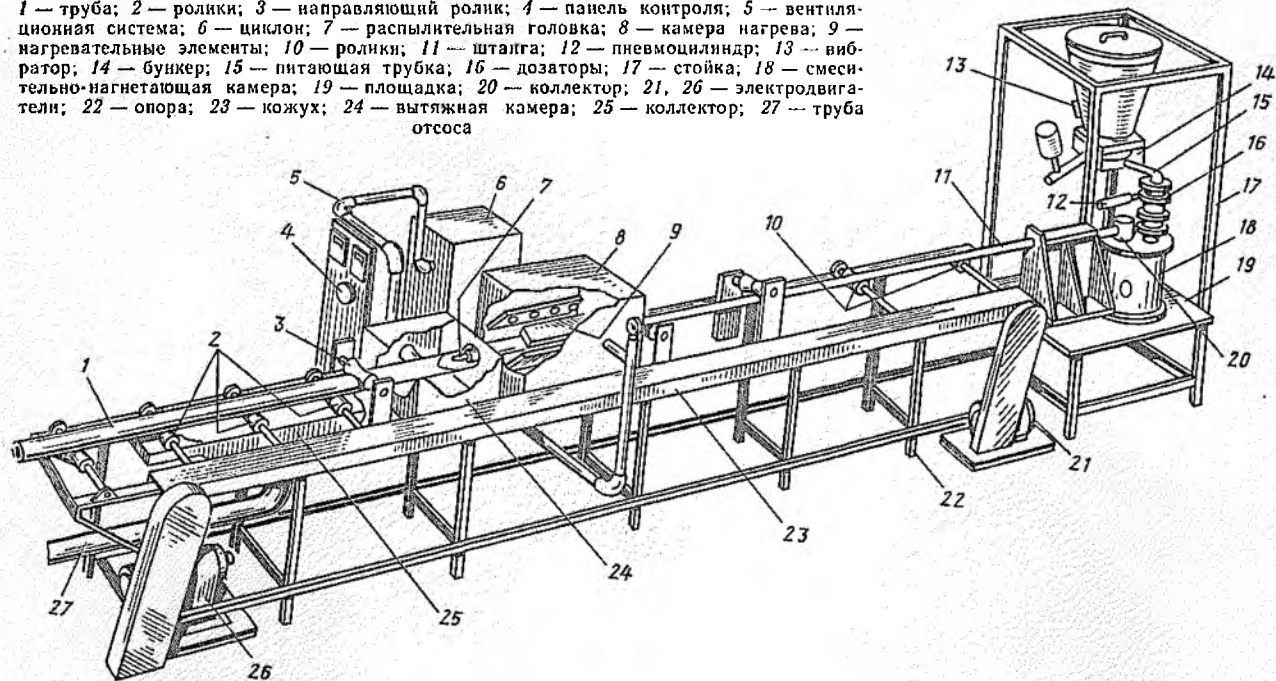
Отечественная аппаратура типа УПН-4, УПН-4Л для газопламенного напыления разрабатывается во ВНИИАвтогенмаше и серийно выпускается Барнаульским аппаратурно-механическим заводом.

Беспламенное напыление. Сущность этого метода состоит в том, что струя смеси воздуха с полимерным порошком наносится на предварительно очищенную нагретую поверхность из распыляющего устройства. Отсутствие деструкции полимера при напылении, простота конструкции и универсальность устройства для напыления, а также возможность нанесения покрытий на изделия различных габаритов и конфигурации при использовании небольшого количества полимерного порошка — вот преимущества этого метода. К недостаткам можно отнести необходимость предварительного нагрева изделия, большие потери (до 50 %) распыляемого материала, невозможность получения равномерных по толщине покрытий, особенно при напылении на острые грани и неперпендикулярные плоскости [20, 22, 26].

Для нанесения полимерных покрытий беспламенным методом на нагретые детали можно применять установки УПН-4 и УПН-4Л для пламенного метода без использования горючего газа. Все установки для беспламенного напыления порошковых материалов состоят из питателя и распыляющих головок и снабжены приборами для регулирования и контроля процесса напыления.

Рис. II. 6. Схема установки для покрытия труб полимерами струйным методом:

1 — труба; 2 — ролики; 3 — направляющий ролик; 4 — панель контроля; 5 — вентиляционная система; 6 — циклон; 7 — распылительная головка; 8 — камера нагрева; 9 — нагревательные элементы; 10 — ролики; 11 — штанга; 12 — пневмоцилиндр; 13 — вибратор; 14 — бункер; 15 — питающая трубка; 16 — дозаторы; 17 — стойка; 18 — смешительно-нагнетающая камера; 19 — площадка; 20 — коллектор; 21, 26 — электродвигатели; 22 — опора; 23 — кожух; 24 — вытяжная камера; 25 — коллектор; 27 — труба отсоса



Широко применяется нанесение покрытий из порошковых полимерных материалов на наружные и внутренние поверхности труб длиной до 12 м. На рис. II.6 [22] представлена схема установки для нанесения покрытий на трубы методом напыления. Установка работает следующим образом. Труба 1, перемещаясь вращающимися роликами 2, проходит камеру нагрева 8 с установленными в ней тремя термонизлучающими панелями и надвигается на головку распылителя, укрепленную на штанге 11. В камере нагрева происходит одновременно и нагрев трубы, и напыление полимера при помощи головки распылителя, расположенной на конце штанги. Штанга распылителя 11 жестко закреплена и подсоединена к коллектору 20, через который в нее нагнетается воздушно-порошковая смесь. Порошок подается к распылителю с помощью питающей системы, включающей в себя: бункер 14, систему вибраторов 13, питающие трубки 15, дозаторы 16, а также смесительно-нагнетающую камеру 18. Излишки порошка и газов, образующиеся после оплавления полимера, отсасываются с помощью вентиляционной системы 5 и вытяжной камеры 24 [22].

Теплолучевой метод. Этот метод во многом превосходит газопламенный: он более производительен и универсален. Сущность метода заключается в подаче потока частиц полимерного термопластичного материала в зону мощного теплового излучения, где они оплавляются и наносятся на покрываемую поверхность. Воздушно-порошковая смесь образуется в вихревихревом аппарате и через шланг направляется в ствол специального распылителя, на котором укреплены кварцевые иодные лампы типа НИК-200 [19, 24, 27].

Принципиальная схема устройства для напыления теплолучевым методом представлена на рис. II.7 [20]. Установка состоит из пистолета-распылителя 3 и питателя 1. Основным рабочим элементом распылителя является нагреватель, состоящий из нескольких параболических отражателей 5, в фокусах которых расположены кварцевые иодные лампы 6 типа НИК-200. В качестве питательного устройства используется аппарат вихревихревого типа, в котором создается воздушно-порошковая смесь, поступающая по шлангу 2 к щелевому распылителю 4. Рефлекторы укреплены шарнирно и могут поворачиваться на определенный угол для наиболее целесообразного регулирования фокусировки суммарного потока. Установка имеет электрорегулирующее устройство (на схеме не показано), позволяющее изменять интенсивность теплового потока в широком диапазоне. Для увеличения производительности в одном агрегате может использоваться большее число ламп [19, 20, 22, 24].

Теплолучевой метод в 1,5—1,8 раза более эффективен, чем пламенный, обеспечивает на 25—30 % сокращение расхода порошка при меньшей энергоемкости процесса. Покрытия, нанесенные этим способом, имеют более высокие физико-механические характеристики и лучшую адгезию к поверхности изделия. Кроме

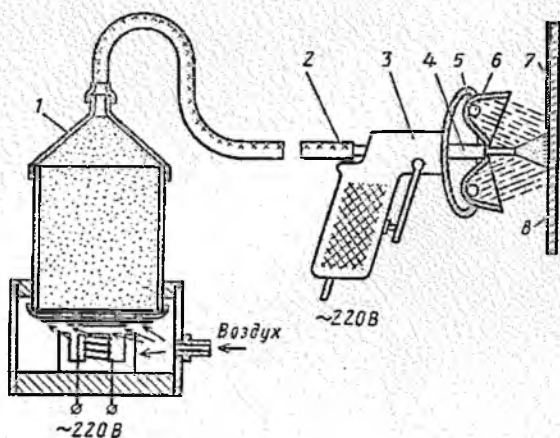


Рис. 11.7. Схема установки для теплоручевого напыления:

1 — порошковый питатель; 2 — шланг для подачи воздушно-порошковой смеси; 3 — пистолет-распылитель; 4 — щелевой распылитель; 5 — параболический отражатель; 6 — кварцевая лампа; 7 — полимерное покрытие; 8 — покрываемое изделие

того, теплоручевое напыление может применяться для нанесения покрытий как в инертных, так и во взрывоопасных средах, так как в этом случае нет открытого пламени.

Недостатком метода являются значительные потери порошкового материала при напылении, а также загрязнение воздуха. Этого недостатка лишены методы струйного напыления в электрическом поле [20, 22, 34, 37].

Нанесение покрытий из растворов, суспензий и эмульсий. Свойства (особенно адгезионная прочность) покрытий, получаемых из растворов, зависят как от состава, так и от концентрации полимера в растворе и толщины покрытия. Концентрация полимера в растворе должна быть в пределах 15—30 %. При малой концентрации приходится прибегать к многократному нанесению покрытий (до 20 слоев), а при концентрации свыше 30 % получаются слишком вязкие растворы [20].

Растворы наносятся кистью, распылительными устройствами, погружением изделия в ванну с раствором или наливом его на изделие. После нанесения раствора растворитель из него удаляется. Для каждого конкретного раствора имеется своя оптимальная скорость испарения растворителя [22].

Наиболее высокие прочность и теплопроводность напыленной пленки характерны для покрытий, полученных из раствора полистирола в ксилоле, а наименьшие значения этих показателей — для покрытий, полученных из раствора полистирола в тетрагидрокарбиде углерода (тетрахлористом углероде).

Наряду с термопластами для получения покрытий из растворов применяют термореактивные полимеры, например феноло-

формальдегидные смолы, которые в виде раствора в этиловом спирте наносятся в 3—4 слоя общей толщиной 0,3—0,6 мм. Наносящийся слой сушат при 293 К в течение 2 ч, затем протекает процесс полимеризации в течение 24 ч при повышении температуры от 313 до 403 К [20, 24, 26].

Суспензии и эмульсии обладают рядом свойств, обеспечивающих получение качественного полимерного покрытия. Они готовятся из полимеров, не растворяющихся в обычных растворителях, или труднонапыляемых порошкообразных полимеров.

Суспензии готовят из фторопластов, а эмульсии — на основе кремнийорганических полимеров. Суспензии должны содержать 60—70 % мелких частиц — размером до 0,5 мкм, остальное должны составлять частицы размером от 0,5 до 10 мкм. Во избежание коагуляции суспензии и эмульсии стабилизируют поверхностно-активными веществами. Суспензии и эмульсии наносятся кистью, распылением, окунанием в них изделия или наливом на поверхность. Суспензии и эмульсии готовят из фторопластов, пентапласта, поливинилхлорида, синтетических каучуков и полиэтилена.

Толщина покрытия зависит от концентрации и вязкости суспензии или эмульсии. С увеличением вязкости возрастает толщина покрытия. Однако покрытия большой толщины склонны к образованию трещин. Для получения качественного покрытия применяют многократное нанесение, причем толщина первого слоя не должна превышать 10—20 мкм. При последовательном повторении операции нанесения можно получить покрытие толщиной до 200 мкм [20, 22, 24]. Наиболее современными методами нанесения суспензий, эмульсий и раствора на металлические изделия являются методы нанесения в электрическом поле, в частности электрофоретическое осаждение полимера на поверхности изделия, при котором покрываемый металл служит катодом [20].

Центробежный метод распыления порошков. При этом методе порошок от дозирующего устройства подводится к диску, вращающимся в горизонтальной плоскости в противоположных направлениях. Порошок, попадая на диски, распыляется под действием центробежных сил, образуя плоскую струю. Для осаждения частиц на деталь, как правило, используется электрическое поле. Диски могут перемещаться вдоль вертикальных осей вращения, в результате чего получается достаточно объемная зона напыления, через которую пропускают детали [19, 24].

Плазменный метод. При этом методе напыления покрытий порошковый полимерный материал нагревается от ионизированного газа (аргона, гелия, азота, водорода и др.), который выходит из плазменной горелки струей с температурой около 10 000 К. Порошок перемещается потоком газа в плазменной дуге и наносится специальной плазменной горелкой на поверхность детали [15, 19].

Принципиальная схема установки для плазменного напыле-

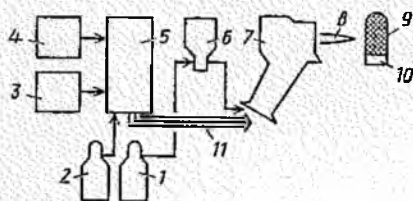


Рис. II. 8. Принципиальная схема установки для плазменного напыления:

1 — газ, транспортирующий порошок; 2 — рабочий газ; 3 — охлаждающая вода; 4 — источник электроэнергии; 5 — пульт управления; 6 — порошковый питатель; 7 — плазменный распылитель; 8 — плазменная струя; 9 — напыляемое покрытие; 10 — подложка; 11 — подвод к распылителю рабочего газа, воды, охлаждающей распылитель

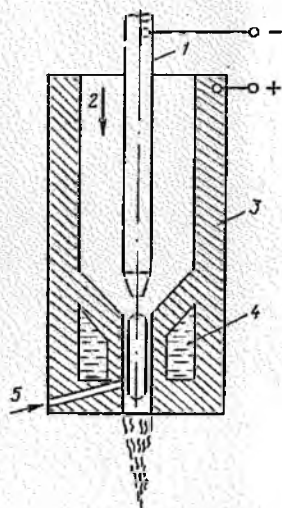


Рис. II. 9. Схема плазменного распылителя-горелки:

1 — вольфрамовый электрод; 2 — плазмообразующий газ; 3 — сопло; 4 — охлаждающая жидкость; 5 — газ, несущий порошок

ния приведена на рис. II.8 [15], а схема плазменного распылителя-горелки — на рис. II.9 [19]. Порошковый материал вводят в струю плазмы под определенным углом, зависящим от температуры плавления частиц порошка. Температуру струи можно менять в широком диапазоне, варьируя диаметр сопла и режимы работы распылителя. Этот метод имеет преимущества перед газоплазменным напылением: покрытия получают с меньшей пористостью, более равномерные, обладают высокой плотностью и хорошим сцеплением с поверхностью деталей. Так как в качестве рабочего газа используется инертный газ, то в расплавленном порошке и в напыляемом покрытии окисления не происходит. Недостатками этого метода являются высокая стоимость оборудования и большие затраты на его эксплуатацию; кроме того, процесс сопровождается шумом и ультрафиолетовым излучением. Для достижения высокой производительности напыление следует осуществлять при небольшом расстоянии от горелки до поверхности изделия (75—150 мм) [15, 19, 24, 35].

Однородные толстые покрытия необходимо напылять за несколько проходов. Толщина покрытия, достигаемая за один проход, составляет 150—250 мкм. Мощность плазмотронов, используемых для напыления, равна 20—40 кВт (40 % мощности теряется на охлаждение горелки). Поверхность изделия, как правило, не подогревают. Лишь в некоторых случаях производят предварительный подогрев с целью удаления влаги и увеличения прочности сцепления покрытия с поверхностью изделия. Такой подогрев осуществляют плазменной струей без подачи в нее

напыляемого порошка. Нагрев изделия при этом не превышает 400 К.

При плазменном напылении особое внимание обращается на равномерность и непрерывность подачи порошка в горелку. Для этой цели используют шпатель. Засасывание порошка из бункера шпателя транспортирующим газом, например аргонном, производится между нагнетательной и всасывающей трубами; по питающей трубе порошок равномерно подается в горелку. В качестве рабочего газа рекомендуется использовать смесь азота с 5—10 % водорода. Такой газ практически не взаимодействует с напыляемыми материалами, дешев и интенсивно передает тепло напыляемому порошку. Для напыления материалов, которые вступают в реакции с азотом, используется смесь аргона с 5—10 % водорода или (в большинстве случаев) чистый аргон [15].

Несмотря на высокую температуру газа, полимер не разлагается благодаря наличию инертной среды и незначительной продолжительности контакта порошка с плазмой. Этим методом можно напылять практически все полимеры. Особенно целесообразно использование его для напыления фторопластов [15, 19, 20, 24]. Возможно применение его при ремонте поврежденных поверхностей, ликвидации сколов, трещин, отслоений. Такие дефекты невозможно исправить какими-либо другими способами. В Белорусском институте железнодорожного транспорта и НПО «Биохимреактив» (г. Минск) разработан и внедрен в практику метод ремонта аппаратов, покрытых стеклоэмалью, с помощью плазменного напыления. Обнаруженную оголенную металлическую поверхность зачищают абразивным кругом, подвергают пескоструйной обработке, обдувают сжатым воздухом и обезжиривают ацетоном. После этого с помощью плазменной горелки наносят слой неорганического материала толщиной 0,5—1,5 мм (оксиды алюминия и циркония или коррозионно-стойкие сплавы), а поверх него, расплавляя в плазменной струе порошок полимера (пентапласт или фторопласт), напыляют тонкий (100—250 мкм) полимерный слой. Такое двухслойное покрытие отличается хорошей адгезией к металлу, оно практически не содержит пор и поэтому надежно защищает металл от разрушения.

Напыление в псевдооживленном слое. Разновидностями этого метода являются вихревой, вибрационный, вибровихревой, пневмовибрационный методы напыления.

Вихревой метод напыления. При вихревом напылении в специальных ваннах или сосудах за счет продувания воздуха образуется псевдокипящий (взмученный) слой полимерного порошкового материала, в который опускают предварительно очищенное и нагретое изделие. Для некоторых изделий с развитой поверхностью после нанесения покрытия требуется последующий дополнительный нагрев для обеспечения лучшего растекания расплавленного полимера, а следовательно, для получения однородного, равномерного по толщине покрытия [16, 19].

Взвешенный слой порошка образуется вследствие давления на него газа (воздуха, азота и др.), поступающего снизу через пористую перегородку. Когда перепад давления по высоте слоя становится достаточным для поддержания всего слоя порошка во взвешенном состоянии, начинается псевдооживление — образуется турбулентный кипящий слой, создающий гидростатический напор. Равномерность кипения псевдооживленного слоя в большой мере зависит от однородности порошка [22]. Чтобы воздух свободно не прорывался сквозь слой порошка, толщина слоя должна быть не менее 100 мм. Чем мельче порошок, тем больше будет степень его разбухания.

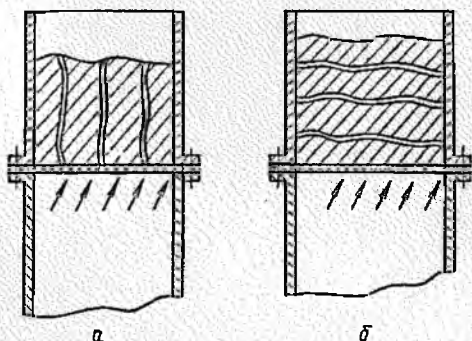
Обычно порошок переходит в псевдооживленное состояние с появлением воздушных каналов и прослоек (рис. 11.10), образующихся в результате прохождения через зазоры между частицами слишком большого количества воздуха, оказывающего оживляющее действие, и при применении влажного порошка или мелких частиц, склонных к агломерации [20, 24]. С увеличением размера частиц от 60 до 370 мкм интенсивность каналаобразования повышается на 45 % [24]. Слой, состоящий из частиц меньшего размера, переходит в псевдооживленное состояние при меньшей скорости продувки воздуха.

Изделия перед нанесением покрытия нагреваются; в них создается запас тепла, необходимый для расплавления и растекания полимера [39]. Качество покрытия, его сцепляемость с металлической поверхностью, толщина слоя и другие характеристики в значительной степени зависят от температуры предварительного нагрева изделия. Изделие нагревается равномерно по всей поверхности. Повышение температуры улучшает качество покрытия, способствует более полному оплавлению частиц, но оно ограничивается термической деструкцией полимера, приводящей к значительному уменьшению прочности, эластичности, износостойкости, адгезии к металлу. Температура нагретой детали к моменту нанесения покрытия должна не менее чем на 300—385 К превышать температуру растекания пластмассы.

Нагрев изделий производят в электрических нагревательных печах, в высокочастотных установках или инфракрасными лучами. Установки для нагрева снабжены аппаратурой для автоматического поддержания требуемой температуры. С целью предотвращения окисления поверхности изделия при подогреве и оплавлении целесообразно применять сушильные шкафы с вакуумом или нейтральными средами.

Толщина напыленного слоя при прочих равных условиях зависит от продолжительности нахождения нагретого изделия в псевдооживленном слое [40, 41]. Так, для получения покрытия из полиамида П-68 толщиной 0,2—0,3 мм изделие должно находиться во взвешенном слое 2—5 с. Толщина покрытия увеличивается при повышении температуры нагрева изделия, причем это увеличение происходит до определенного предела.

Рис. П. 10. Образование каналов (а) и воздушных прослоек (б) при переходе неподвижного слоя полимерного порошка в псевдооживленное состояние



При быстром охлаждении покрытий из поликапролактама образуется аморфная фаза, которая обуславливает эластичность покрытий, их гибкость и высокую ударную вязкость.

При медленном охлаждении создаются условия для кристаллизации покрытия, что повышает их разрывную прочность, жесткость, твердость и износостойкость [20, 24]. Медленное охлаждение покрытий уменьшает вероятность их отслаивания от металлического основания и способствует снятию внутренних напряжений, возникающих в слое из-за различия коэффициентов термического линейного расширения пластмассы и металла.

Преимуществом вихревого напыления является то, что этот метод прост, в несколько раз производительнее, чем газопламенный и другие струйные методы. Так, при напылении внутренней части трубы газопламенным методом производительность процесса нанесения покрытия без учета времени на предварительный нагрев и последующее охлаждение составляет 1,2—1,5 м²/ч при толщине покрытия 0,5 мм, а при вихревом методе процесс напыления покрытия (нахождение изделия в верхней части вихревого аппарата) продолжается максимум 50 с независимо от площади и габаритов изделия. Весь процесс, за исключением операций по предварительной очистке поверхности изделия (т. е. нагрев изделия в нагревательном устройстве, перенос его в вихревой аппарат, выдержка в нем, выемка из аппарата и оплавление), продолжается 30—50 мин [20].

Метод позволяет наносить покрытия на детали сложной геометрической формы при 100 %-м использовании порошкового материала. Так, для получения покрытия толщиной 0,25 мм на поверхность, равную 1 м², требуется примерно 0,25—0,35 кг порошка. Процесс легко автоматизируется и механизуется. Возможно получение покрытий толщиной 100—500 мкм за один технологический прием, а также более толстых покрытий путем повторения операций напыления — оплавления [20, 22, 42].

Основными недостатками вихревого метода напыления являются необходимость создания громоздкого оборудования для крупногабаритных изделий, а также технологические трудности, возникающие при покрытии деталей, имеющих неодинаковую толщину в разных сечениях или малую толщину (менее 1 мм). К недостаткам данного метода можно отнести также необходи-

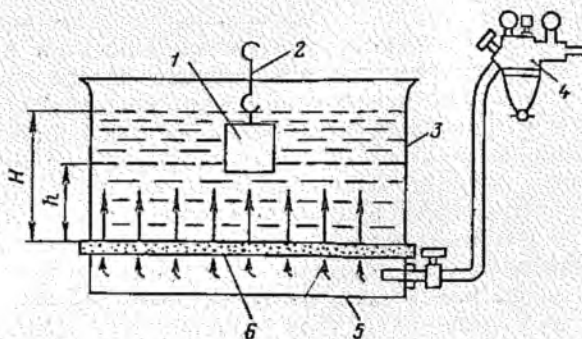


Рис. 11.11. Схема установки для вихревого напыления:

1 — нагретая деталь; 2 — подвеска для погружения детали в сосуд; 3 — сосуд (ванна); 4 — регулятор давления; 5 — нижнее днище; 6 — пористая перегородка

мость применения порошков с хорошей сыпучестью и сравнительно узким распределением гранул по размерам, трудность создания псевдооживленного слоя из многокомпонентных порошков и трудность получения покрытий толщиной менее 100 мкм [20, 24].

Вихревое напыление порошковых полимерных материалов (рис. 11.11) производится в специальных сосудах (ваннах) различной конфигурации. В комплект установки для нанесения покрытий вихревым способом помимо сосуда входят: источник сжатого воздуха или азота, регулятор давления, маслоотделитель, механизм для передвижения детали (транспортировки, опускания и подъема детали из сосуда), электродаль, конвейер, тельфер, печь для нагрева детали и печь для оплавления покрытия [24, 40, 42].

Сосуд (ванна) круглого или прямоугольного сечения имеет два днища (см. рис. 11.11) [16]. Нижнее днище 5 сплошное, а верхнее 6 изготавливается из микропористого материала. Сосуд можно изготавливать из листовой стали или другого воздухонепроницаемого материала (стекла, пластмассы, древесины). На верхнее днище, которое называют перегородкой-фильтром, укладывают слой порошка напыляемого материала высотой h . В пространство между верхним и нижним днищами подается под давлением воздух или азот. Сжатый воздух проникает через поры перегородки в лежащий на ней порошок и взмучивает его. За счет этого над перегородкой образуется слой взвешенного порошка высотой H . Высоту слоя взвешенного порошка регулируют путем изменения давления сжатого воздуха регулятором 4. Деталь 1, на которую наносится покрытие, вводится в сосуд на специальной подвеске 2. Камеры разделяются пористой перегородкой-фильтром, которая сверху и снизу защищена металлической решеткой, предотвращающей продавливание пористой перегородки сжатым воздухом или случайные повреждения сверху при напылении пластмасс на

тяжелые изделия. Камеры плотно соединены болтами между собой, чтобы воздух не проходил между ними. Пористая перегородка ванны должна обеспечивать равномерное распределение подаваемого воздуха по сечению ванны и выдерживать давление до 0,5 МПа. Изготавливают перегородки из микропористого винилпласта толщиной 2—3 мм, из стеклоткани, пористой фильтрующей керамики, войлока толщиной 30—40 мм, из мелких металлических сеток, сложенных в несколько слоев, и т. д. Для предохранения нор от засорения пористые перегородки обертывают плотной тканью. Засорившиеся пористые перегородки можно очищать, пропуская через них воздух. Защитные металлические решетки изготавливают из листовой стали толщиной от 3 до 6 мм (в зависимости от размера ванны) с большим числом отверстий диаметром от 6 до 10 мм и с шагом 15×15 мм [16, 20, 22, 24, 40]. В нижнюю закрытую камеру подается сжатый воздух или азот от воздушной магистрали или компрессора через масловодоотделитель и калорифер. Верхняя часть ванны, как было сказано, предназначена для образования псевдооживленного слоя порошка. Необходимое давление воздуха колеблется от 0,01 до 0,5 МПа в зависимости от габаритов сосуда и определяется суммой сопротивлений подводящих трубок, воздушной камеры, пористой перегородки и взвешенного слоя порошка.

Подача воздуха регулируется так, чтобы создать в аппарате взвешенный слой, примерно в 1,2—1,7 раза превышающий по высоте насыпанный слой порошка. Перепад давления в псевдооживленном слое численно равен весу столба взвешенного порошка, приходящегося на единицу площади поперечного сечения слоя.

Высота аппарата обуславливается габаритными размерами изделий и при необходимости может быть увеличена дополнительными надставками.

Для улавливания пластмассовой пыли и уменьшения потерь порошка целесообразно применять бортовой отсос, для чего в верхней части сосуда закрепляют кольцевую насадку, соединенную с пылесосом. Для отсоса пыли в аппарате предусмотрены специальные отсеки с козырьками. Отсасываемый вентилятором воздух, проходя через матерчатые фильтры, очищается от пыли и вновь подается в аппарат [20, 22].

Вибрационное напыление осуществляется двумя способами. Сущность первого заключается в том, что предварительно очищенное и нагретое изделие контактирует с порошкообразным полимером, находящимся в псевдооживленном состоянии, достигнутом в результате вибрации. Переход порошкообразного полимера в псевдооживленное состояние происходит за счет сообщаемых сосуду (ванне) с порошком вибрационных колебаний соответствующей частоты (50 или 100 Гц) и ускорения.

Сущность второго метода состоит в том, что порошок в сосуде неподвижен, а изделие, погружаемое в него, вибрирует. В резуль-

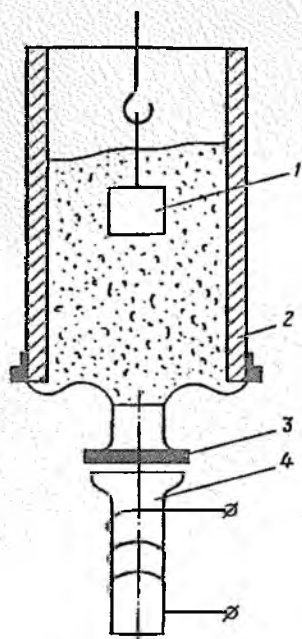


Рис. 11.12. Аппарат для вибрационного напыления:

1 — изделие; 2 — рабочая камера; 3 — якорь; 4 — упругая мембрана

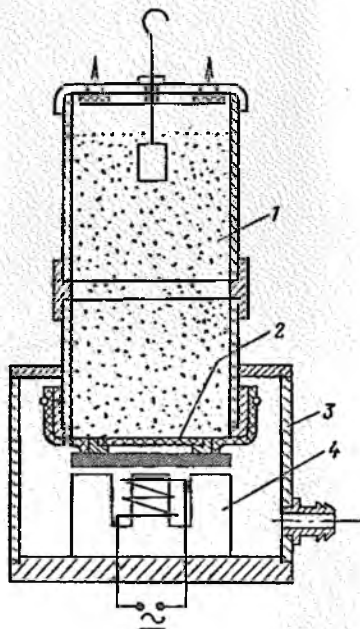


Рис. 11.13. Аппарат для вибровихревого напыления:

1 — рабочая камера; 2 — пористое вибрирующее дно; 3 — воздушная камера; 4 — вибратор

тате достигается эффект псевдооживленного слоя. Однако качество покрытия в этом случае получается неудовлетворительным [20].

При вибрационном напылении применяются в основном два варианта аппаратов. В первом варианте аппарат для вибрационного нанесения покрытий (рис. 11.12) [22] устанавливается стационарно. Под действием вибратора дно камеры колеблется, вследствие чего порошок переходит в псевдооживленное состояние [22]. Во втором варианте аппарат с жестким дном монтируется на амортизаторах, и псевдооживленное состояние порошкового материала достигается в результате вибрации всего аппарата.

При вихревом и вибрационном способах нанесения покрытий не удастся достичь равномерного распределения частиц порошка различных фракций в объеме псевдооживленного слоя, что не позволяет получать равномерные по толщине покрытия. Это объясняется тем, что при вихревом способе нанесения покрытий наиболее мелкие частицы выносятся в верхнюю часть псевдооживленного слоя, а крупные остаются в нижней части. При вибрационном нанесении картина обратная: более крупные частицы,

приобретая большую кинетическую энергию, попадают в основном в верхнюю часть слоя, а частицы с меньшей массой остаются внизу [27].

Метод вивровихревого напыления разработан в институте механизации металлополимерных систем АН БССР академиком В. А. Белым и его сотр. [24, 26]. Этот метод имеет преимущества перед вихревым и вибрационным методами, так как, осуществив одновременное воздействие на порошкообразный материал вибрации и восходящего потока газа, удастся избежать недостатков, присущих каждому из этих методов в отдельности.

Сущность вивровихревого метода напыления заключается в том, что псевдооживление достигается за счет одновременного воздействия на порошкообразную пластмассу сжатого воздуха или газа и вибрации. При этом мелкодисперсный полимерный порошок засыпается в аппарат (рис. II.13) [22] и под действием восходящего потока сжатого воздуха, подаваемого через пористую перегородку под давлением, и вибрации переходит в псевдооживленное состояние. Затем предварительно обработанную и нагретую деталь опускают в сосуд. Порошок оседает на поверхности детали, расплавляется на ней и растекается, образуя ровное и гладкое покрытие. В этом случае используются полимерные порошки различного гранулометрического состава, а также комкующиеся и плохосыпучие полимерные порошки. Изменяя величину вибрации и расход газа, удастся почти для всех полимерных материалов получить хорошее псевдооживление [20, 22, 24].

Вивровихревой метод имеет следующие преимущества перед вихревым и вибрационным методами: равномерность напыляемого покрытия по всей поверхности изделия; возможность получения больших толщин покрытия; стопроцентное использование порошкообразного полимерного материала; хорошая оживаемость смеси полимерного порошка с наполнителями; возможность работы в различных режимах напыления и получения сплошного покрытия.

Пневмовибрационный метод предоставляет возможность плавного изменения частоты и амплитуды колебаний. Его достоинства заклю-

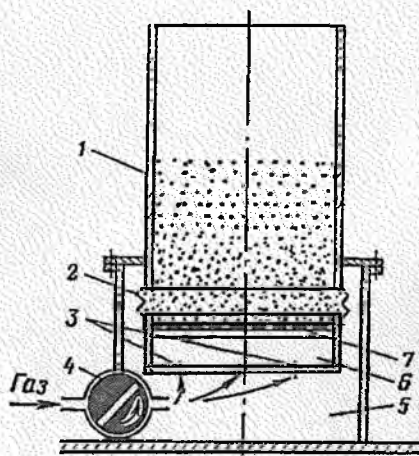


Рис. II. 14. Аппарат для пневмовибрационного напыления:

1 — рабочий резервуар; 2 — сифон; 3 — дросселирующие отверстия; 4 — пневмопрерыватель; 5 — камера пульсирующего давления; 6 — газовая камера; 7 — пористое дно

чаются также в отсутствии электрооборудования, простоте конструкции, надежности и безопасности в работе.

В институте механики металлополимерных систем АН БССР разработан пневмовибрационный аппарат (рис. II.14) [22]. В этом аппарате порошок переводится в псевдооживленное состояние путем продувания через него газа, подаваемого через пневмопрерыватель 4, что вызывает пульсирующее изменение давления газа под пористым дном 7 и соответственно его вибрацию. Оптимальный режим псевдооживления наблюдается при давлении газа у пневмопрерывателя около 0,05 МПа и частоте вибрации 50 Гц.

Таким образом, создание псевдооживленного слоя порошка вихревым и пневмовибрационными методами дает возможность получать качественные покрытия из порошкообразных полимерных материалов. Но этими методами невозможно наносить порошкообразный полимер на поверхность холодного изделия. Это осуществляется только при нанесении покрытия в электростатическом поле. Для нанесения полимерных покрытий на изделия погружением последних в псевдооживленный слой используются конвейерные установки, которые нашли широкое распространение на машиностроительных и вагоностроительных заводах [40, 42].

На рис. II.15 [22] показана принципиальная схема установки для вихревого напыления. Установка позволяет наносить антифрикционные и декоративно-защитные покрытия на изделия размером $400 \times 400 \times 1100$ мм (подшипники, маховики, кронштейны,

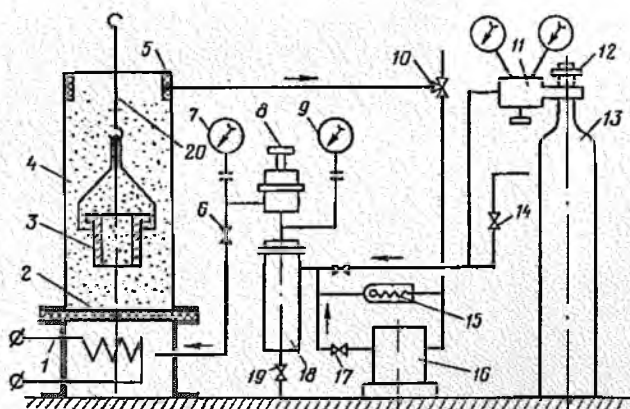
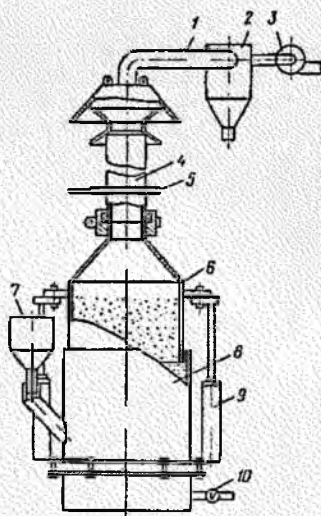


Рис. II. 15. Схема установки для вихревого напыления пластмассовых покрытий:

1 — газоподогреватель; 2 — пористая перегородка; 3 — нагреваемая деталь; 4 — сосуд для напыления; 5 — кольцевая микропористая перегородка; 6 — вентиль подачи воздуха в напылительную камеру; 7, 9 — манометры соответственно до давления 0,4 и 1 МПа; 8 — регулятор давления воздуха; 10 — вентиль всасывания; 11 — регулятор давления; 12 — запорный вентиль; 13 — баллон с азотом; 14 — вентиль воздушной магистрали; 15 — перепускной клапан; 16 — компрессор; 17 — вентиль подачи воздуха из компрессора; 18 — масловодоотделитель; 19 — вентиль для продувки; 20 — механизм для подачи детали в сосуд

Рис. II. 16. Схема установки для вихревого нанесения покрытий на внутреннюю поверхность труб:

1 — воздуховод для отсоса порошка; 2 — циклон; 3 — вентилятор; 4 — труба, на которую наносится покрытие; 5 — кольцевой нагреватель; 6 — верхняя часть камеры; 7 — приемник с патрубком для загрузки порошка; 8 — нижняя часть камеры; 9 — пневмоцилиндр; 10 — вентиль подачи сжатого воздуха



трубы, втулки, муфты и др.). Для нагрева изделий установка оборудована несколькими электрическими печами различной мощности с автоматическим регулированием температуры. Печь размещена непосредственно над отодвигающимся аппаратом напыления и оборудована тельфером для перемещения деталей.

Вибровихревой метод напыления широко применяется для защиты наружной и внутренней поверхности труб. Для защиты внутренней поверхности труб используются в основном эпоксидные порошковые композиции. Для защиты наружной поверхности труб, укладываемых в грунт, применяются полиэтиленовые покрытия.

По расположению трубы установки для нанесения покрытий на трубы разделяются на горизонтальные и вертикальные. Горизонтальное расположение предпочтительнее, так как позволяет наносить покрытия на трубы большой длины (10—12 м). Трубы длиной более 6 м в вертикальном положении покрывать вибровихревым методом нецелесообразно из-за большой высоты установки. Установки для нанесения покрытий на трубы различаются в основном только методом нагрева трубы.

На рис. II. 16 [22] показана установка для вихревого нанесения покрытий на внутреннюю поверхность трубы. Труба 4 закрепляется на горловине вихревой камеры 6, на верхний конец трубы надевается конусная крышка, соединенная гибким воздуховодом 1 с пылеуловителем-циклоном 2. Принцип работы установки заключается в следующем. При уменьшении объема камеры за счет изменения ее высоты порошок, находящийся в камере в псевдоожиженном состоянии, устремляется в покрываемую трубу. Изменение высоты камеры осуществляется пневмоцилиндрами 9, которые перемещают верхнюю часть камеры 6 вниз. Высоту камеры можно изменять также движением пористой перегородки. Труба нагревается кольцевым нагревателем 5, который может быть, например, индукционного типа [24, 27, 39].

Напыление в электростатическом поле. Сущность напыления в псевдоожиженном слое порошка в условиях электростати-

ческого поля заключается в том, что холодное изделие погружают в слой порошка, находящегося под воздействием коронного разряда электрического тока высокого напряжения. Частицы полимера заряжаются, под действием электрических сил перемещаются к противоположно заряженному изделию и осаждаются на его поверхности ровным слоем. После этого изделие перемещается в печь, где происходит оплавление полимера. В результате на поверхности обрабатываемой детали образуется равномерное покрытие [20, 27].

Частицы порошка, попавшие на изделие, испытывают электростатическое притяжение к поверхности металла в течение нескольких дней, поэтому изделие можно переносить в печь для оплавления, не опасаясь, что порошок ссыплется с изделия. Длительное сохранение заряда частицами порошка позволяет наносить их на деталь без предварительного ее нагрева [31]. Частицы порошка удерживаются на холодной поверхности с силой, пропорциональной величине заряда.

Последующее оплавление порошка необходимо производить при следующих температурах (K):

Полиэтилен низкой плотности	473—493
Полиамид (капрон)	493—523
Поливинилбутираль	483—498
Полипропилен	443—453
Пентапласт	503—513

Обычно покрытие наносят на изделие в несколько слоев до получения требуемой толщины покрытия [34]. После оплавления первого слоя полимера на него наносят второй, более плотный, который при нагреве также оплавляется, и т. д.

Кроме заряжения частиц полимера в поле коронного разряда существуют заряжение путем механической электризации порошков при распылении, ударе и трении (трибоэлектризация) и заряжение путем электростатической индукции, которая осуществляется при наличии внешнего источника высокого напряжения [19, 20, 24].

Электризация порошков при распылении и ударе о поверхность, или статическая электризация, охватывает процессы, приводящие к образованию электрических зарядов в результате механических воздействий, возникающих при столкновении и трении (контакте) поверхностей двух тел, а также при разрыве (разделении) поверхностей твердых тел. Электризацию механическим воздействием (удар, трение), или трибоэлектризацию, правильнее называть контактной электризацией. Трибоэлектрический заряд появляется в месте контакта поверхностей двух тел, при соприкосновении которых создается двойной электрический слой вследствие перехода зарядов от одного тела к другому, т. е. на двух контактных поверхностях образуются слои электрических зарядов противоположных знаков.

Наиболее вероятным при контакте двух твердых тел является перенос заряда электронами, причем трибозаряд может появляться как при контакте металл — металл, так и в парах металл — диэлектрик и диэлектрик — диэлектрик. В технологических процессах напыления полимерных покрытий осуществляется контакт, как правило, в парах металл — диэлектрик и диэлектрик — диэлектрик. Для определения знака заряда при контакте между различными материалами обычно используются так называемые трибоэлектрические ряды, в которых предыдущий материал заряжается положительно при контакте с любым последующим материалом ряда: асбест, стекло, слюда, воск, эбонит, сера и т. д.

В промышленности применяются различные аппараты для напыления, принцип действия которых основан на трибоэлектрическом эффекте [19, 43]. Например, используется электризация порошка в зазоре между двумя вращающимися коаксиально расположенными металлическими цилиндрами, а также при продувании газопорошковой смеси через трубу с вращающимся внутри ротором.

При нанесении покрытий из порошковых материалов в электрическом поле можно получать равномерные по толщине покрытия на изделиях сложной конфигурации; можно наносить покрытия на изделия, изготовленные из материала, обладающего некоторой электропроводностью (в том числе на дерево, пластмассы, стекло, бумагу и т. д.), можно получать покрытия с толщиной слоя от 50 до 500 мкм. При этом отсутствует необходимость в предварительном нагреве; потери порошкового материала в процессе напыления сведены к минимуму. Достоинствами метода являются также его универсальность, высокая производительность процесса и возможность его автоматизации [20, 22, 26].

Электропроводность — основное свойство, определяющее поведение порошкового материала в электростатическом поле. Известны три вида электропроводности: электронная, ионная и молионная. При электронной (металлической) электропроводности носителями тока являются элементарные заряженные частицы — электроны. При ионной (электролитической) электропроводности носителями тока служат ионы, прохождение тока сопровождается явлением электролиза. При молионной (электрофоретической) электропроводности носителями тока являются заряженные группы молекул — молионы, прохождение тока сопровождается явлением электрофореза. Для диэлектриков наиболее характерна ионная проводимость [22, 36].

На электропроводность полимерных диэлектриков большое влияние оказывает также степень кристаллизации полимера и введение в систему различных добавок (пластификаторов, стабилизаторов, поверхностно-активных веществ и т. д.). В этом случае появляется возможность модифицировать исходный полимер и получать покрытия с заранее заданными физико-механическими и защитными свойствами [30, 32, 36].

Применяемые для нанесения покрытий в электростатическом поле полимеры и полимерные материалы, такие, как поливинилбутираль, поликапролактан, полиформальдегид, полиэтилен высокой и низкой плотности, фторопласт-3, полипропилен, порошковые эпоксидные композиции и др., обладают малой электропроводностью. Удельное объемное электрическое сопротивление указанных выше полимерных материалов составляет от 10^{10} до 10^{16} Ом·см. В процессе напыления электрический заряд, приобретенный частицей порошка, не способен полностью «стечь» на противоположно заряженное изделие, поэтому напыленный слой порошка за счет электрического притяжения и молекулярных сил удерживается на поверхности длительное время, достаточное для перемещения изделия в нагревательное (плавильное) устройство, где производится термообработка напыленного слоя. Метод напыления в электростатическом поле позволяет расширить область применения порошковых полимерных композиций за счет низкотемпературного формирования пленки, что имеет существенное значение для изделий радиоэлектронной, электротехнической, деревообрабатывающей промышленности и др. [33, 43].

Для нанесения покрытий в псевдооживленном слое под воздействием электрического поля применяют также электрофоретический метод, который основан на известном явлении электрофореза [36]. Метод часто называют напылением в ионизированном псевдооживленном слое. Электрофорез как метод нанесения полимерных покрытий наиболее распространен в практике электроосаждения. Слой осажденного полимера при таком способе нанесения получается однородным по всему изделию, равномерно покрывает острые грани и углы, отверстия, впадины, выступы и другие элементы деталей сложной конфигурации. Метод обеспечивает высокую скорость процесса, позволяет контролировать толщину слоя, осаждать полимер вместе с пигментом и получать плотные сплошные покрытия толщиной от нескольких микрометров до нескольких миллиметров.

Электрофорез в основном используется для нанесения покрытий из полимеров, пленки которых обладают высокой химической стойкостью, а нанесение их традиционными методами сложно [19, 24, 36]. Например, после нанесения покрытия политетрафторэтилена требуется термообработка при температуре спекания частиц полимера. Электроосаждением из органических сред производят нанесение покрытий из полистирола, полиметилметакрилата, полибутилметакрилата, нитроцеллюлозы, поливинилхлоридных пластиков, мочевиноформальдегидных смол и др. Указанные полимеры наносят отдельно или в композиции с другими полимерами, например полиизобутиленом, полиметилметакрилатом, водорастворимыми смолами [18, 21, 23, 29].

Для нанесения антифрикционного покрытия, в состав композиций вводят фторсодержащий полимер и некоторые металлы (медь, золото, серебро, никель) [31, 34].

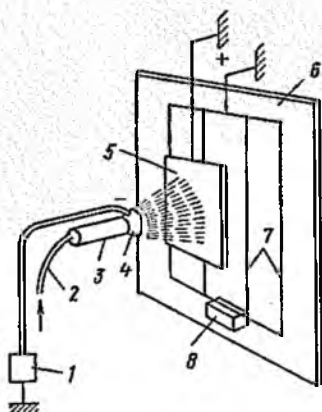
Особенно ценна возможность получения методом электрофореза однослойных утолщенных химически стойких лакокрасочных покрытий. Можно получать покрытия из окисленного полиэтилена, эфиров метакриловой кислоты, поливинилацетата, полимеризационных высыхающих и полувсыхающих масел и ненасыщенных кислот, смесей полиэфиров, эпоксидных смол, ароматических поликарбоновых кислот, смесей фенолоформальдегидных и меламиноформальдегидных смол, обработанных малеиновой кислотой, ненасыщенных жирных кислот, виниловых мономеров и смесей углеводородных смол с ненасыщенными кислотами. В качестве порошковых смол применяют эпоксидные, полиэфирные и полиуретановые смолы. При нанесении этих материалов легко получают пленки толщиной 100—130 мкм. Преимуществом применения указанных материалов является также пониженный расход энергии в процессе электроосаждения [33, 34, 36].

Электрофорез широко применяют для осаждения на металлах (преимущественно на стали) лакокрасочных материалов на основе водоразбавленных полимерных связующих. Такая композиция представляет собой смесь из водорастворимого полимерного пленкообразователя и нерастворимой части (пигментов, наполнителей и пр.), которая при разбавлении водой дает эмульсии и суспензии. Именно эта нерастворимая часть и претерпевает электрофоретическое осаждение, в то время как водорастворимый полимер выделяется на электроде в результате нейтрализации макроионов [27, 28, 36].

Помимо пленкообразователей в ванне обязательно присутствуют пигменты, органические растворители и другие добавки. К пигментам, используемым в ваннах электроосаждения, предъявляются весьма жесткие требования. Пигмент, входящий в состав пленки, влияет на параметры электроосаждения и свойства покрытия: увеличивает выход по току эмали, изменяет сопротивление и толщину пленки, воздействуя тем самым на рассеивающую способность. Введение проводящих пигментов (например, технического углерода) снижает сопротивление пленки настолько, что позволяет получать методом электроосаждения двухслойные покрытия [28, 36, 38].

Основным дефектом покрытий, получаемых методом электроосаждения, являются так называемые кратеры. Причиной образования кратеров служит выделение пузырьков кислорода, которые образуются при электролизе воды. Чем интенсивнее происходит электролиз, тем больше выделяется пузырьков и тем больше вероятность образования кратеров, т. е. пор в покрытии. Повышение температуры, напряжения и плотности тока способствует образованию кратеров. Этому же благоприятствует и высокая жесткость пленкообразователей, в связи с чем в рецептуры водоразбавляемых составов включают органические растворители, которые пластифицируют осажденный материал, понижают его жесткость и способствуют коалесценции частиц [36, 42, 44].

Рис. 11. 17. Схема струйного напыления пистолетом в электростатическом поле



Разрабатываются следующие разновидности технологических процессов напыления полимерных покрытий в электростатическом поле: 1) с помощью пистолетов-распылителей — струйное напыление в электростатическом поле; при этом частицы порошка могут заряжаться либо на коронирующей кромке распылительной части пистолета (внешнее заряджение), либо (что менее эффективно) при пневматическом распылении порошка в межэлектродном пространстве (коронирующие электроды — изделие); 2) напыление пистолетами-распылителями без подведения высокого напряжения (трибоэлектрическими пистолетами); 3) с помощью электрофореза (в ионизированном псевдоожигненном слое); 4) напыление во взвеси («облаке») порошков над псевдоожигненным слоем с применением электростатического поля (в облаке заряженных частиц) [19, 20, 24, 40].

На рис. 11.17 показан принцип работы пистолета для электростатического напыления. От высоковольтного генератора 1 напряжение по кабелю подводится к диффузору 4 распылителя, а по шлангу 2 подается воздушно-порошковая смесь. Проходя через

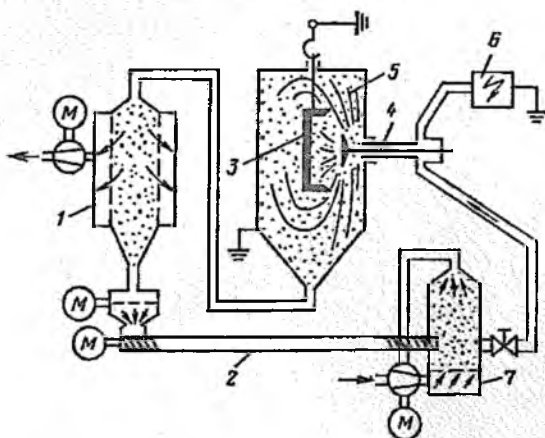


Рис. 11. 18. Схема установки для напыления в электростатическом поле с непрерывной циркуляцией порошка:

1 — бункер с порошком; 2 — пневмотранспорт; 3 — изделие; 4 — пистолет; 5 — камера; 6 — генератор напряжения; 7 — аппарат для приготовления воздушно-порошковой смеси

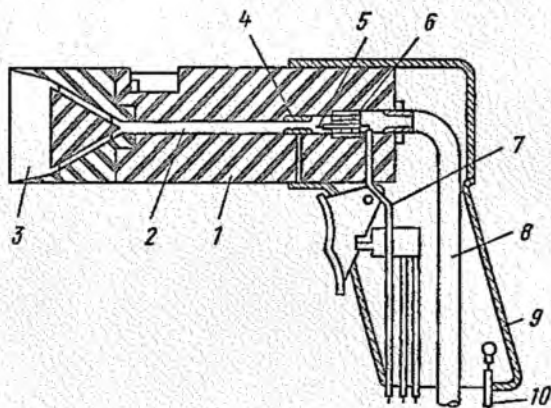


Рис. II. 19. Ручной пистолет с электрогазодинамическим генератором для напыления в электростатическом поле:

1 — корпус из диэлектрика; 2 — канал; 3 — распылительная насадка; 4 — кольцевой электрод; 5 — коронирующий электрод; 6 — центрирующая изоляционная втулка с отверстиями; 7 — кабель; 8 — трубка; 9 — рукоятка; 10 — проводник

ствол 3 распылителя, порошок заряжается на выходе из диффузора и распыляется на деталь 5. За деталью расположены экран 6 и проволочные электроды 7 с вибратором 8, имеющие одинаковый потенциал и улавливающие избыточный порошок [19].

На рис. II.18 приведена схема установки для напыления в электростатическом поле с непрерывной циркуляцией порошка. Изделие 3 помещается в специальной камере 5, в которую встроен пистолет 4, питаемый от генератора 6 напряжением 80 кВ. Воздушно-порошковая смесь приготавливается в аппарате 7, в который порошок поступает по транспортеру 2 из бункера 1. Неиспользованный (неосаженный на изделие) порошок направляется пневмотранспортером в бункер 1, откуда снова по циркуляционной системе трубопровода подается в пистолет 4. Давление воздуха в системе контролируется манометрами М. Установка позволяет использовать порошок практически на 100 %.

В последнее время разработаны методы нанесения тонкослойных покрытий (толщиной около 20 мкм). Это стало возможным благодаря применению тонкодисперсных порошков с частицами круглой формы и специальной системы внутреннего заряжения в распылителе. В результате применения в схеме зарядного устройства полупроводниковых приборов резко сократились габариты и масса установок, повысились их качество и надежность [34].

Отличительной особенностью таких распылителей является то, что зарядное устройство встроено в ствол пистолета и возбуждается напряжением 10 кВ при частоте тока 10 кГц. Номи-

нальное напряжение на выходе составляет от 70 до 100 кВ $\pm 5\%$ при токе короткого замыкания 0,1 мА. Пистолеты со встроенным генератором высокого напряжения характеризуются минимальной вероятностью искрообразования [24, 40].

На рис. 11.19 показан пистолет-распылитель с электрогазодинамическим генератором для напыления в электростатическом поле [19].

Для автоматического напыления покрытий на крупногабаритные изделия пистолетами применяются роботы, способные передвигать пистолеты вертикально на расстояние 2,1 м.

Для напыления изделий с труднодоступными полостями и глухими отверстиями могут использоваться специальные распылители, обеспечивающие путем перемещения рефлектора сужение сечения факела вплоть до тонкой турбулентной струи. При расширении сечения факела скорость струи падает, что позволяет за счет улучшения условий осаждения получать покрытия повышенной толщины. По такому же принципу, но в автоматическом режиме работают «саморегулирующиеся» распылители, в которых сечение факела изменяется в зависимости от толщины напыляемого слоя. Для обеспечения безопасной работы используются специальные блокирующие устройства, снижающие опасность искрообразования и обеспечивающие практически одновременную подачу порошковой струи и напряжения к распылителю [19, 33, 43].

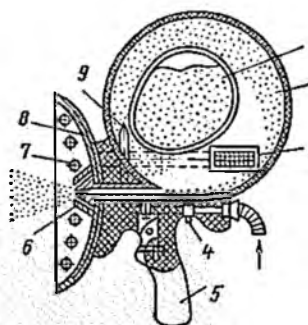
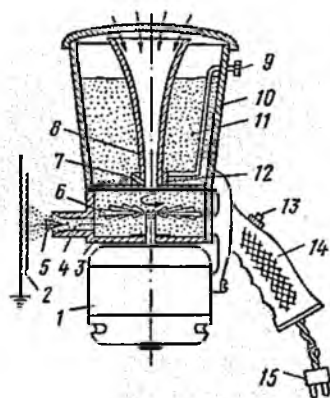


Рис. 11.20. Трибоэлектрический распылитель:

1 — микрореле; 2 — изделие; 3 — камера воздушно-порошковой смеси; 4 — сопло; 5 — рефлектор; 6 — вентилятор; 7 — калиброванные отверстия; 8 — диффузор; 9 — рычаг; 10 — двухстенный резервуар; 11 — порошок; 12 — кольцевая заслонка; 13 — кнопка; 14 — рукоятка; 15 — вила

Рис. 11.21. Электростатический распылитель с трибоэлектрическим устройством:

1 — бункер для порошка; 2 — циркуляционная камера; 3 — канал подачи газа из охлаждающего рефлектора; 4 — регулятор подачи газа; 5 — корпус; 6 — распылительное сопло; 7 — нагревательный элемент; 8 — отражатель; 9 — сопло подачи газа в диффузор

Распылитель, продольный разрез которого показан на рис. II.20, работает без подведения к нему высокого напряжения. Работа распылителя основана на струйном методе напыления, а заряджение частиц осуществляется за счет трибоэлектризации. На валу высокоскоростного микроэлектродвигателя 1 имеется многолопастная крыльчатка 6. На переднем щите двигателя укреплена камера воздушно-порошковой смеси 3, в которой вращается вентилятор. Над камерой 3 вертикально укреплен двухстенный резервуар 10 с глухим дном. Наружная стенка резервуара выполнена в виде конуса, а внутренняя 8 образует диффузор в виде гиперболоида вращения, полость которого свободно сообщается с камерой воздушно-порошковой смеси 3. По окружности наименьшего сечения диффузора 8 расположены отверстия 7. Там же установлена кольцевая заслонка 12 с рычагом 9. Диаметрально противоположно распыляющему соплу 4 с рефлектором 5 укреплена рукоятка 14 с выключателем 13 и шнуром и вилкой 15 [19].

Распылитель работает следующим образом. В резервуар 10 загружают порошкообразный материал и включают в сеть вилку 15. Нажатием на кнопку 13 выключателя приводится во вращение вентилятор, который всасывает атмосферный воздух через диффузор 8 в камеру воздушно-порошковой смеси 3. За счет ускоренного движения воздушной струи по диффузору и разности давлений в камере воздушно-порошковой смеси 3 и в резервуаре 10 частицы порошка 11 из резервуара 10 через калиброванные отверстия 7 стекают в полость диффузора 8 и попадают в камеру воздушно-порошковой смеси 3. Вследствие трения частицы приобретают заряд; через сопло 4 в виде струи они нагнетаются на поверхность изделия 2. Вместимость резервуара в исходном состоянии рассчитана на 0,5 л, но практически не ограничена из-за возможности загрузки в процессе напыления. Описанный распылитель обеспечивает получение покрытий толщиной от нескольких микрометров до 1 мм и более в зависимости от марки применяемого порошка и режима напыления.

На рис. II.21 показана другая оригинальная конструкция электростатического распылителя с трибозарядным устройством [19].

Несомненным преимуществом оборудования, в котором используется эффект трибоэлектризации, является отсутствие необходимости в специальном генераторе высокого напряжения.

На основе электрофореза и контактной электризации частиц порошка полимера в Институте механики металлополимерных систем АН БССР [20, 24] разработан струйно-электрофоретический метод напыления, который позволяет проводить процесс напыления при более низких напряжениях (10—20 кВ). Схема устройства для нанесения покрытия струйно-электрофоретическим методом приведена на рис. II.22. Сущность этого метода заключается в том, что частицы полимера, находящиеся во взвешен-

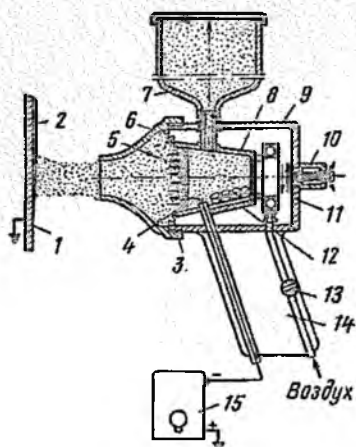


Рис. 11. 22. Схема устройства для нанесения покрытия струйно-электрофоретическим методом:

1 — изделие, на которое наносится покрытие; 2 — полимерное покрытие; 3 — подвеска; 4 — электродная сетка; 5 — иглоподобные эмиттеры; 6 — соплообразная насадка; 7 — бункер; 8 — внутренний рабочий резервуар; 9 — пистолет-распылитель; 10 — перепускной клапан; 11 — вибратор шарикового типа; 12 — микропористый фильтр; 13 — край для подачи сжатого воздуха; 14 — рукоятка; 15 — высоковольтный выпрямитель

ном состоянии, заряжаются на электродной сетке 4 и преодолевают сопротивление мелкоячеистого фильтра 12 лишь при возникновении электрического поля между электродом и деталью 1. На электродной сетке 4 расположены зарядные иглы-эмиттеры 5, что позволяет снизить напряжение источника питания. Это устройство работает следующим образом. Заполнив рабочий резервуар 8 и питательный бачок порошкообразным полимером, подают высокое напряжение на электродную сетку 4; включают подачу газа, и он, поступая в шариковый вибратор 11, заставляет вибрировать внутренний рабочий резервуар 8. Избыточный газ выходит через клапан 10 в атмосферу. Пистолет 9 подносят к детали 1, которая обычно заземляется, т. е. имеет знак, обратный электродной сетке. Вибрация рабочего резервуара 8 вызывает некоторое движение частиц материала через электродную сетку 4. Частицы полимера, контактируя с заряженной поверхностью сетки и игл-эмиттеров, получают электрические заряды и увлекаются электрическим полем к поверхности детали. Взаимодействуя между собой и с деталью, частицы образуют покрытие, которое, не осыпаясь, продолжительное время удерживается на поверхности, что позволяет в дальнейшем оплавить его любым из известных способов [20, 36].

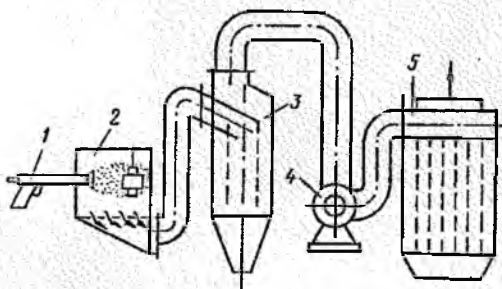
В качестве высоковольтных генераторов могут использоваться любые источники, позволяющие получать напряжение 10—20 кВ.

Струйные методы нанесения покрытия в электростатическом поле успешно применяются для крупногабаритных изделий и изделий со сложной конфигурацией в различных отраслях промышленности и народного хозяйства.

Недостатком всех струйных методов является то, что даже при наличии электростатического поля в зависимости от площади напыления (габарита детали) мимо «цели» пролетает от 30 до 75 % порошка. Для экономии порошка и выполнения требований

Рис. II. 23. Схема рекуперации порошка при струйном методе напыления:

1 — пистолет-распылитель; 2 — камера напыления; 3 — центробежный отделитель порошка (циклон); 4 — вентилятор; 5 — камера рекуперации с рукавными фильтрами



производственной санитарии и техники безопасности применяются специальные устройства для сбора и повторного использования (рекуперации) порошка. Эти устройства весьма эффективны, но их применение связано со значительным увеличением габаритов оборудования и занимаемой производственной площади [19].

В качестве примера отдельной рекуперационной системы может служить установка, схема которой приведена на рис. II.23. Она может быть состыкована с любыми распылительными камерами различных установок струйного напыления. Рекуператор рассчитан на максимальный расход порошка 18 кг/ч при расходе воздуха 2000 м³/ч, так что возможность образования взрывоопасной концентрации пыли исключается. В установке применены центробежный циклон 3 типа ЦН-15 диаметром 400 мм и вентилятор 4 искрозащищенный во взрывобезопасном исполнении среднего давления. Очистка всей системы в случае необходимости смены цвета порошка занимает около 1,5 ч (с заменой рукавных фильтров на новые). Исследование фракционного состава рекуперированного порошка показало, что по сравнению с исходным

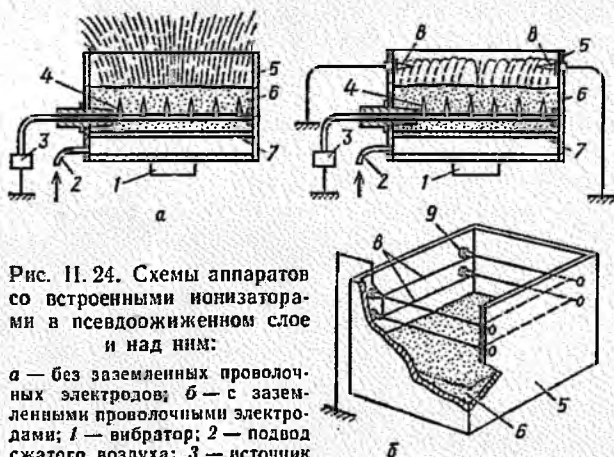


Рис. II. 24. Схемы аппаратов со встроенными ионизаторами в псевдооживленном слое и над ним:

а — без заземленных проволочных электродов; б — с заземленными проволочными электродами; 1 — вибратор; 2 — подвод сжатого воздуха; 3 — источник высокого напряжения; 4 — ионизаторы; 5 — рабочая камера; 6 — псевдооживленный слой; 7 — газораспределительная решетка; 8 — проволочные электроды; 9 — изоляторы

в нем преобладают крупные и средние частицы, причем основная масса порошка (75 %) оседает в циклоне 3. При некотором изменении фракционного состава порошка при повторном его использовании могут измениться условия осаждения в электростатическом поле, что вызовет необходимость их корректировки [19].

Напыление пластмасс в электростатическом поле во взвеси частиц порошка псевдооживленного слоя осуществляют в вихре-вихревых аппаратах [22, 39]. Пример использования этого метода показан на рис. II.24 [5]. Такой метод дает особенно хорошие результаты при напылении тонкослойных покрытий (толщиной до 200 мкм), но легко могут быть получены и покрытия большей толщины. Высокое напряжение от генератора (40—80 кВ) подводят к специальным ионизаторам, встроенным в камеру в слое порошка. Для увеличения плотности облака и предотвращения уноса частиц за пределы камеры над уровнем слоя порошка встраиваются проволочные заземленные электроды. В целях интенсификации осаждения порошка на деталь и получения равномерных покрытий применяется вращение деталей электродвигателем в искрозащитном исполнении (рис. II.25). Для этой цели используют импульсное включение постоянного электрического поля с продолжительностью импульсов 1,5—2,5 с и паузами 0,5—1,5 с [19]. Кроме того, применяют переключение полярности, т. е. послойно осаждается противоположно заряженный порошок.

В Ташкентском автодорожном институте разработана установка с применением электрофоретического метода напыления пластмасс в псевдооживленном слое под воздействием электри-

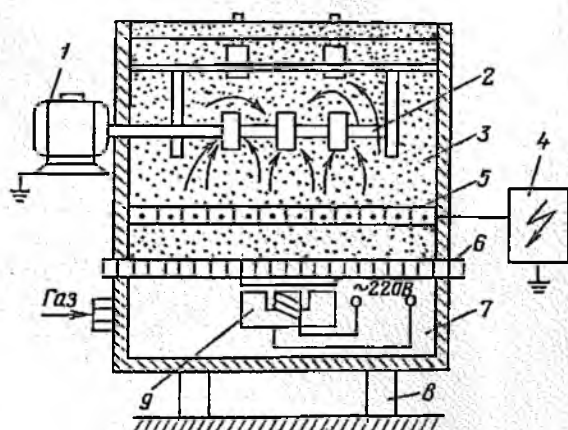
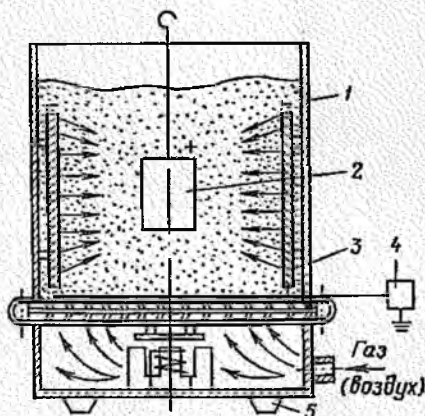


Рис. II. 25. Схема установки для напыления порошка на малогабаритные изделия в облаке частиц:

1 — электродвигатель; 2 — оправка с изделиями; 3 — облако (зона напыления); 4 — источник высокого напряжения; 5 — ионизаторы; 6 — распределительная решетка; 7 — подрешетчатая камера; 8 — изолирующие стойки; 9 — электромагнитный вибратор

Рис. II. 26. Принципиальная схема электрофоретической установки для нанесения покрытий в псевдоожигенном слое:

1 — вибровихревая установка; 2 — изделие; 3 — ионизирующие электроды; 4 — источник высокого напряжения; 5 — изоляционная стойка



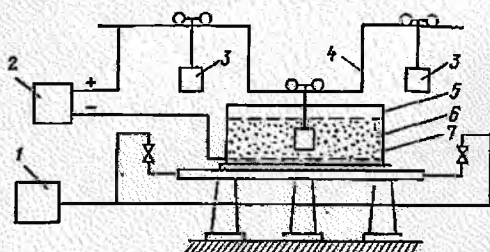
ческого поля (рис. II.26) [20, 36]. Псевдоожигение слоя порошка в этом случае можно осуществлять вихревым, вибрационным и вибровихревым методами. После получения оптимального псевдоожигенного слоя к электродам подается (от генератора высокого напряжения) отрицательный заряд высокого потенциала. Затем заземленное изделие погружают в псевдоожигенный слой. При этом частицы порошка, соприкасаясь с электродами, заряжаются контактным способом, приобретая отрицательный заряд, и под влиянием сил электрического поля перемещаются и оседают на изделии. Изделие, покрытое слоем порошка, перемещают в печь для оплавления полимерного покрытия.

Электрофоретическим способом можно произвести напыление и тогда, когда изделие находится над поверхностью псевдоожигенного слоя. В этом случае заряженные частицы притягиваются к изделию и образуют вокруг него облако, в котором и происходит напыление [20, 36, 43].

Для автоматического напыления в ионизированном псевдоожигенном слое разработана конвейерная установка (рис. II.27) [20, 22]. Среднегабаритные изделия массой до 10 кг, предназначенные для напыления, помещают в ванну 5 с полимерным порошком 6. На ионизаторы, введенные внутрь псевдоожигенного слоя, подается отрицательный потенциал высокого напряжения. Конвейер 4 с изделием 3 заземляется. Покрытие можно наносить на холодное изделие с последующим оплавлением его в печи. Толщина напыленного слоя определяется временем пребывания изделия в ванне и напряженностью электрического поля.

Рис. II. 27. Схема установки для нанесения покрытий в ионизированном псевдоожигенном слое:

1 — компрессор; 2 — высоковольтный генератор постоянного тока; 3 — детали; 4 — конвейер; 5 — ванна; 6 — полимер в псевдоожигенном состоянии; 7 — сетка-электрод



Время пребывания и напряженность подбираются с учетом электрических свойств подложки и распыляемого материала. Для оплавления напыленного слоя применяются электрические безынерционные печи с большой отражательной способностью (например, из полированного алюминия). При использовании таких печей пропускная способность установки увеличивается примерно в 2 раза за счет сокращения времени нагрева изделий, а расход энергии уменьшается в 3—4 раза [22, 40].

Для напыления порошковых полимерных материалов в облаке заряженных частиц применяются механизированные установки; схема одной из них показана на рис. 11.28 [20, 22]. В таких установках ионизаторы 6 подняты почти до поверхности псевдооживленного слоя 5 полимерного порошка, поэтому для достижения необходимой толщины покрытия на поверхности заземленного изделия 2 достаточно, чтобы последнее прошло сквозь облако заряженных частиц. Во избежание электрического пробоя установка имеет изоляционную стойку 9. Используя такие установки, можно полностью автоматизировать процесс напыления, проводимый с большими скоростями, и добиться исключения потерь порошка. Этот процесс применяется для напыления полимерного покрытия на проволоку, сетку, арматуру и металлические листы [20, 22, 24, 37].

Неравномерность покрытия по высоте на изделиях высотой более 150 мм может быть обусловлена сепарацией частиц порошка в межэлектродном пространстве. Толщина покрытия в верхней части изделия может оказаться в 2 раза меньше, чем в нижней. Чтобы избежать этого и получать равномерное покрытие по всей поверхности крупногабаритных изделий, применяется установка, изображенная на рис. 11.29 [20, 22, 27]. Напыляемый порошковый материал загружается в камеры вибровзвешенного слоя 7 и по шлангам, соединенным с эжекторами 8, подается в верхнюю часть распылительно-зарядной камеры 2. Порошок при этом, проходя через систему ионизаторов 4, распыляется и свободно осаждается на изделии 3 в камере псевдооживленного слоя. В момент прохождения заземленного изделия через зоны напыления

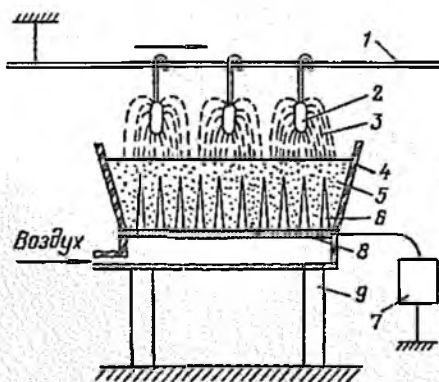
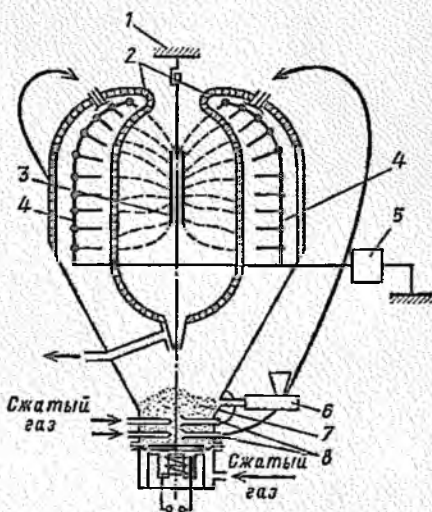


Рис. 11. 28. Схема установки для нанесения порошковых материалов в облаке заряженных частиц:

1 — конвейер; 2 — изделие; 3 — силовые линии электростатического поля; 4 — ванна; 5 — псевдооживленный слой; 6 — ионизаторы; 7 — генератор; 8 — пористая перегородка; 9 — изоляционная стойка

Рис. 11.29. Устройство для напыления порошковых материалов в электростатическом поле:

1 — конвейер; 2 — распылительно-зарядная камера; 3 — изделие; 4 — ионизаторы; 5 — источник высокого напряжения; 6 — порошковый дозатор; 7 — камера вибровзвешенного слоя; 8 — эжектор



тонкодисперсное облако заряженных частиц, и под действием сил электрического притяжения осаждаются на его поверхности [39, 43].

После оплавления создается слой, равномерный по толщине. Часть порошка, не осевшая на изделии, засасывается фильтр-отсосом в камеру вибровзвешенного слоя 7 и может быть использована вновь [24].

Методы напыления полимеров насыпанием. Все методы напыления насыпанием — полная и частичная засыпка, посыпание, центробежный метод, погружение, насыпание в электростатическом поле — применяются в основном для получения разовых покрытий. Все перечисленные процессы легко автоматизируются. Метод насыпания в электрическом поле характеризуется повышенной производительностью (не менее $200 \text{ м}^2/\text{ч}$), возможностью регулирования толщины слоя покрытия, небольшими потерями порошка и возможностью использования высоконаполненных порошковых композиций и порошков с низкой текучестью при оплавлении [19, 20, 24].

Этот метод применяется в основном для получения покрытий на внутренних поверхностях деталей и изделий с глухим дном (типа стакана). С этой целью порошковый материал насыпают в емкость (покрываемую деталь), стенки которой предварительно нагреты. Через несколько секунд порошок высыпают или отсасывают. Оставшийся на стенках порошок оплавляется и образует покрытие. Метод насыпания не позволяет получать покрытия точно заданной толщины. В то же время он чрезвычайно прост и не требует применения специального оборудования. Насыпанием через сито могут быть получены также покрытия на небольших площадях различных поверхностей, когда к толщине и равномерности покрытий не предъявляются строгие требования [19, 20, 24].

На рис. 11.30 представлена установка для нанесения порошкообразных полимеров методом вибронасыпания в электрическом поле. Установка работает следующим образом. Порошок поли-

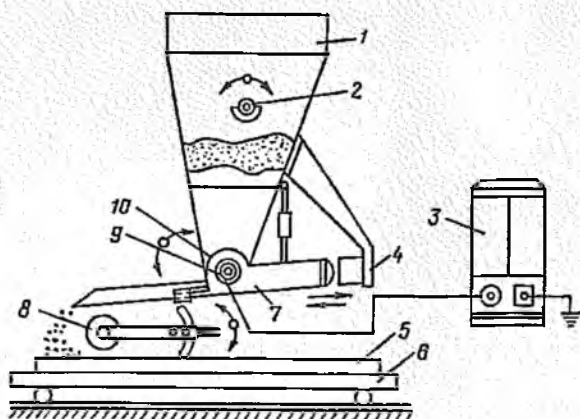


Рис. II. 30. Установка для напыления порошкообразных полимеров методом вибронасыпания в электрическом поле:

1 — бункер; 2 — опоры; 3 — генератор высокого напряжения; 4 — вибраторы; 5 — изделие; 6 — стол; 7 — лоток; 8 — ролик; 9 — коронирующий электрод; 10 — шарниры

мера из бункера 1 через регулируемую щель поступает на лоток 7. Под действием вибрации порошок равномерно распределяется по лотку и по его наклонной плоскости ссыпается на движущееся изделие. Толщина нанесенного слоя зависит от величины щели между передней стенкой бункера и подом лотка, угла наклона лотка, интенсивности вибрации и скорости перемещения изделия; нанесенный на нагретую поверхность изделия слой порошка прикатывается роликом 8. Усилие, прижимающее ролик к поверхности, регулируется пружинами. Такая прикатка увеличивает сплошность покрытия и усиливает его адгезию к изделию. Электрический заряд сообщается частицам порошка коронирующим проволочным электродом 9, натянутым между шарнирами 10, соединяющими бункер с лотком. Одновременно электрод играет роль рыхлителя порошка у выхода его из щели. Амплитуда и частота колебаний вибраторов регулируются. Тележка, на которую устанавливается изделие, имеет регулируемый реверсивный привод. Такие установки применяются в домостроительных комбинатах для получения покрытий на листовых материалах шириной от 1 до 1,5 м (толщина полимерного покрытия — до 2 мм) [20, 24, 27, 42].

Нанесение расплава методом литья под давлением. Этим методом можно наносить покрытия как на новые, так и на изношенные поверхности деталей. Он отличается высокой производительностью и не требует применения последующей механической обработки покрытий, что является основным преимуществом метода [20].

Технологический процесс нанесения полимерных покрытий литьем под давлением (рис. II.31) заключается в следующем.

В рабочий цилиндр 1 литьевой машины загружают полимерный материал в гранулированном виде. Под влиянием тепла от нагревателя 2 он переходит в пластическое состояние. Движением вперед плунжера 3 продавливается свежая порция полимерного материала в зону нагрева, и одновременно расплавленная масса выталкивается через сопло запорного крана 4 в пресс-форму 5, в которой установлена покрываемая деталь. После заполнения пресс-формы расплавленным полимером его некоторое время выдерживают под давлением для уплотнения, отвердевания и охлаждения слоя покрытия 7. Дальнейшее охлаждение производится на воздухе или в инертной среде [20, 24]. На качество покрытия влияет температура детали и расплава. С увеличением температуры текучесть полимерного материала повышается и увеличивается адгезионная прочность покрытия. Оптимальное значение адгезионной прочности, например, поликапроамида наблюдается при температуре детали и расплава поликапроамида, соответственно равной 543 и 523 К. Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению адгезионной прочности, что связано с деструкцией полимера.

Литьевое нанесение полимерного покрытия на поверхности деталей широко применяется в легкой и электротехнической промышленности (нанесение покрытий на различные валы, шпиндели, шестерни, оси, скобы, диски, опоры и т. д.) [20].

Плакировка металла. Плакировка заключается в покрывании листов металла в процессе горячей или холодной прокатки тонким слоем какого-либо другого материала (пластмасс, металла), более устойчивого к коррозии, для предохранения основного металла от разрушения и улучшения его внешнего вида. При плакировке возможно также применение клея. В этом случае на поверхность листового или пленочного материала и изделия предварительно струйным методом или методом намазывания наносится слой клея, далее дается так называемая открытая выдержка для его высыхания; затем полимерный материал и изделие прижимаются друг к другу и выдерживаются до отверждения клеящего состава [20]. Клеи, не содержащие растворителей, не требуют предварительной открытой выдержки.

Для плакировки используют листы или пленки из следующих полимерных материалов: поливинилхлорида, полиэтилена высо-

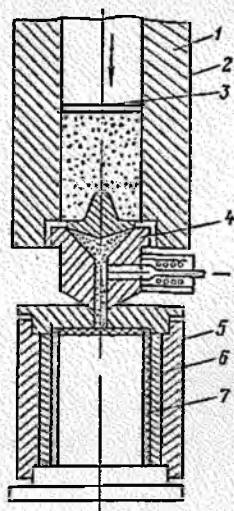


Рис. 11.31. Схема установки для нанесения покрытия из расплава полимеров методом литья под давлением: 1 — рабочий цилиндр; 2 — нагреватель; 3 — плунжер; 4 — сопло запорного крана; 5 — пресс-форма; 6 — деталь; 7 — нанесенный слой

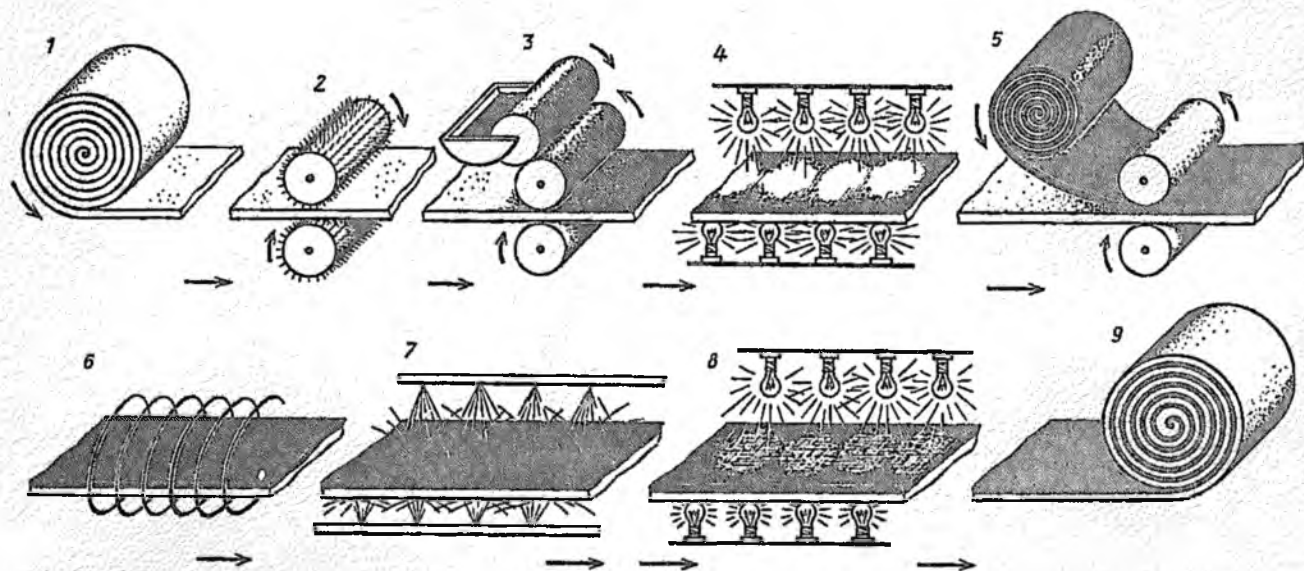


Рис. II.32. Процесс получения металлопласта:

1 — рулон стальной полосы; 2 — подготовка поверхности; 3 — нанесение клея; 4 — сушка и отверждение клеевого слоя; 5 — нанесение и обжатие полимерной пленки; 6 — термообработка; 7 — охлаждение; 8 — сушка; 9 — намотка металлопласта в рулон

кой и низкой плотности, полиизобутилена, фторопласта, полипропилена, полистирола, полиэфира, полиамида, резины на основе натурального и синтетического каучуков. Листы выпускаются толщиной 1—2 мм, шириной 40—1730 мм и длиной до 3 м, а пластмассовые пленки — толщиной 0,15—0,4 мм и большой длины [22, 37].

При наложении листовых и пленочных полимерных материалов на поверхность изделий применяются специальные приспособления или прижимные устройства, спроектированные с учетом конфигурации конкретных деталей, которые удерживают их вместе при сборке и отверждении клея, создают необходимое давление, а иногда передают тепло или служат источником тепла.

Одной из основных предпосылок для достижения прочной адгезионной связи является также выбор наиболее подходящего клея для данной пары полимерный материал — изделие. Применяются стандартные клеи БФ-2, БФ-4, ЭД-5, ЭД-6, ВК-1 до ВК-8, ПУ, К-153, СБМ и др. Помимо стандартных клеев во многих случаях целесообразно пользоваться клеями, приготавливаемыми смешением двух или трех компонентов, например эпоксидных, полиуретановых и полиэфирных смол с наполнителями, ускорителями и отвердителями [24, 43, 45].

Клей наносят кистью, окунанием, роликами, валками, а также применяют автоматические устройства для нанесения клеев на поверхности листовых и пленочных материалов. Для обеспечения максимальной адгезионной прочности и долговечности клеевого соединения толщина клеевого слоя должна быть минимальной, но все же достаточной для заполнения зазоров между соединяемыми поверхностями [33].

В промышленности материалы, полученные нанесением покрытий на поверхности металлических листов или фольгу, называют металлопластами, а на бумагу, фольгу и т. д. — комбинированными материалами (тетрапак, полиэтилен + целлофан — ПЦ-2, полиэтилен + лавсан, полиамид + полиэтилен и т. д.).

Металлопласт и комбинированные материалы в большинстве случаев получают методом плакировки и дублирования полимерных пленок (из поливинилхлорида, полиэтилена, полиамидов) с листовым металлом (малоуглеродистой сталью, алюминием, магниевыми сплавами и др.) или другими материалами. Плакировка производится на полуавтоматических и автоматических конвейерных линиях.

Технология нанесения поливинилхлоридной пленки на поверхность металлических листов методом плакировки показана на рис. П.32 [20]. Предварительно очищенную и фосфатированную стальную полосу 1 при помощи валков покрывают клеем (3). Один из валков вращается в ванночке с клеем, захватывая его оттуда. Дозирующий валок передает порцию клея на следующий валок, покрытый резиной, который переносит клей на проходящую полосу. Регулировка валков позволяет довести толщину клеевого слоя до 11—12 мкм. Металлическая полоса, покрытая клеем,

подается в индукционную печь. В индукционной печи клеи начинают отверждаться (4). Поливинилхлоридную пленку прижимают к полосе тотчас после выхода ее из индукционной печи, пока она не успела остыть. Прижимающие валки создают давление в пределах 0,2—0,4 МПа и запрессовывают пленку в металл (5). Затем стальная полоса и пленка охлаждаются сначала воздухом, а затем водой (7), сушатся в специальной камере (8) и, наконец, сматываются в рулон при помощи наматывающего механизма (9). Общая продолжительность получения металлопласта при скорости 60 м/мин составляет 60 с. Снятый с наматывающего механизма рулон металлопласта выдерживают при температуре 290 К от 30 мин до 9 ч (в зависимости от материала и толщины наносимых полимерных покрытий), после чего металлопласт может поступать на переработку, из него могут изготавливаться различные детали [20, 22, 24].

Металлопласт является ценным конструкционным материалом, отличается высокой экономической эффективностью, достаточными прочностью и жесткостью, хорошими декоративными, а также антикоррозионными и звукопоглощающими свойствами. Из него изготавливают корпуса приборов, бензобаки, электроаппараты, воздухопроводы, защитные кожухи, трубы. Во многих случаях его целесообразно использовать взамен листового металла. Металлопласт можно гнуть, сверлить, подвергать глубокой вытяжке, штамповать и т. д.

В настоящее время применяются преимущественно механические методы соединения частей металлопласта с помощью заклепок и завальцовки по различному профилю. Используются и методы контактной рельефной сварки, но при этом возникает необходимость в предварительной зачистке соединяемых поверхностей, что вызывает снижение производительности процесса.

В лаборатории сварки МВТУ им. Н. Э. Баумана разработан способ ультразвуковой сварки металлопласта [45, 46]. Сущность этого способа заключается в том, что через две пластины металлопласта (поливинилхлорид внутри) пропускают при соответствующем давлении ультразвук, который, проходя через металлические пластины, воздействует на поливинилхлоридную пленку, расплавляя ее и образуя сварное соединение. Возможна сварка металлопласта ультразвуком путем соединения металлической полосы [46, 47].

ТРЕБОВАНИЯ К НАПЫЛЯЕМЫМ ИЗДЕЛИЯМ

Изделия и детали, подлежащие напылению, необходимо тщательно подготавливать. Они должны выполняться таким образом, чтобы покрываемые поверхности были доступны для напыления и чтобы их удобно было обрабатывать. Острые кромки и углы на изделиях необходимо скруглять. Радиус скругления должен быть не менее 3 мм. В противном случае из-за усадки

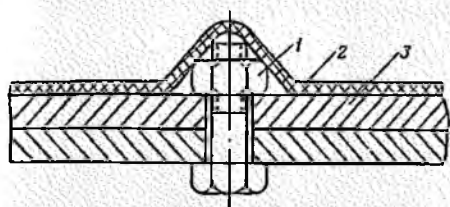


Рис. II. 33. Пустоты под покрытием в местах резких переходов поверхности изделий сложной формы:

1 — болтовое соединение; 2 — напыленный слой; 3 — изделие



Неправильно



Правильно



Правильно

Рис. II. 34. Конструкции сварных швов под напыленным слоем

покрытия из термопластов толщина его слоя на острых кромках значительно уменьшается. Покрытия предпочтительнее наносить на сварные конструкции и соединения, чем на конструкции с клепаными и болтовыми соединениями. Дело в том, что выступающие головки болтов и заклепок трудно защитить покрытием. Воздух, находящийся в зазорах между элементами клепаных и болтовых соединений, при нагревании расширяется и может вызвать образование пузырей в покрытии; в местах резкого перехода формы изделия в результате усадки полимера под напыленным слоем образуются пустоты (рис. II.33) [16, 26, 44].

При напылении покрытий на сварные соединения швы должны быть плотными и без пор. Швы с V-образной разделкой кромок нужно выполнять со стороны напыляемой поверхности. Если же это невозможно, то корень шва необходимо подварить. В том случае, если корень шва не подварен, напыление производить нельзя, так как под покрытием в зоне корня шва может оставаться некоторый объем воздуха, что приводит не только к образованию пузырей на покрытии, но и к созданию благоприятной атмосферы для протекания нежелательных реакций. Рациональная конструкция стыковых швов под напыленным слоем показана на рис. II.34 [16]. Изделия и конструкции, подвергающиеся напылению, не должны иметь резких переходов по диаметру и по толщине в поперечном сечении. Это связано с тем, что при предварительном подогреве изделий в местах, где толщина конструкции больше, еще не будет достигнута необходимая температура подогрева, в то время как участки с меньшей толщиной могут оказаться перегретыми [16].

ДЕФЕКТЫ И МЕРЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

К числу дефектов напыленных поверхностей относятся отслоение или вздутие покрытия, трещины, сколы, сплошная пористость, низкая твердость и неоднородность структуры покрытия, несоответствие толщины покрытия заданной, а также разложение материала [16, 20, 24].

Отслоение или вздутие обусловлено плохой адгезией покрытия к основному материалу. Причиной плохой адгезии полимерного материала к поверхности изделия является либо недостаточный, либо чрезмерно высокий нагрев изделия, а также заниженная или завышенная мощность пламени распылительного аппарата. Плохая адгезия может быть также при недостаточной шероховатости и плохой зачистке напыляемой поверхности [27].

Причиной образования трещин и сколов в покрытиях являются большие внутренние напряжения, возникающие при усадке материала в процессе охлаждения. На образование трещин влияет подготовка изделий (они не должны иметь острых углов). Чтобы избежать возникновения трещин, необходимо по возможности уменьшать скорость охлаждения изделия после напыления, предотвращать перегрев покрытия, приводящий к деструкции полимера, а также следить, чтобы отдельные участки покрытия не подвергались даже частичному разложению, снижающему пластические и прочностные характеристики и повышающему склонность к трещинообразованию [16].

Образование пористости в основном обусловлено плохой подготовкой поверхностей. Поры возникают при напылении пластмасс на недостаточно тщательно очищенные и обезжиренные поверхности [16].

Неоднородность структуры покрытия является следствием плохой очистки изделия перед напылением, а также загрязнения порошка и плохой фильтрации сжатого воздуха.

Несоответствие толщины покрытия заданной является следствием низкой квалификации оператора, нарушения параметров режима технологического процесса напыления, а также неисправности оборудования [16].

Для исправления дефектов можно применять газопламенный, тепловый или плазменный методы напыления. При тепловом напылении имеет место сравнительно небольшая деструкция полимера [22].

При обнаружении дефектов в покрытии необходимо произвести вторичное напыление. В этом случае покрытие с дефектных участков полностью удаляется вплоть до поверхности основного материала и производится полный цикл обработки, включая очистку поверхности и предварительную ее обработку для придания шероховатости. После окончания реставрации проводят нагрев по всей поверхности покрытия для выравнивания температуры, а затем изделие медленно охлаждают [35].

В том случае, если невозможно удалить старое покрытие различными скребками, металлическими щетками или наждачной шкуркой, применяют механическую обработку или химическое травление (в частности, химическое травление многократным погружением в агрессивную среду с наложением масок на участки, не подлежащие удалению покрытия).

При повторном напылении необходимо соблюдать осторожность, чтобы не расплавить или не нанести какое-либо повреждение старому покрытию на участках стыковки с ним [15, 35].

Исправление дефектов на внутреннем покрытии труб или котлов в недоступных местах практически невозможно. Такие трубы следует браковать, покрытие полностью отжигать и затем повторно его наносить. Для ремонта наружных покрытий применяют липкие ленты. Этот способ применим для полиэтиленовых и поливинилхлоридных покрытий [19, 20].

Исправление брака, связанного с недостаточной или чрезмерной толщиной покрытия, может осуществляться различными способами. Например, при завышенной толщине покрытия напыленное изделие погружают в ацетон или смесь метилхлорида и изопропилового спирта (соответственно 90 и 10 масс. ч.) и выдерживают в течение 24—26 ч, после чего размягченное покрытие механически удаляют и затем напыляют новое. При недостаточной толщине покрытия может применяться повторное напыление [19, 22].

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ

Визуальный контроль осуществляют пооперационно: после напыления каждого слоя и после отверждения (для термореактивных) или оплавления (для термопластичных материалов) [19].

Покрытие подвергается визуальному осмотру для обнаружения пузырей, трещин, вздутий и других видимых дефектов. Покрытие должно быть равнотолщинным и глянцевым; цвет его должен соответствовать эталону, а толщина — размерам, указанным в чертеже детали [34].

Контроль толщины полимерных покрытий осуществляется микрометрическими, магнитными, оптико-электрическими, оптическими, электронными и ядерными методами. Для контроля толщины готовых покрытий в зависимости от габаритов и конфигурации изделий применяют микрометры, нутромеры, штангенциркули, толщиномеры, калибры и микрометрические индикаторы.

Для определения толщины покрытий получили применение толщиномеры типов ТПН-1, МТ-30-Н и МИП-10. Для измерения толщины покрытий на немагнитных материалах (цветных металлах, керамике, древесине) применяют оптико-электрические и оптические методы с использованием двойного микроскопа

МИС-11. Для более точного контроля качества покрытий применяются электронисковые (типа ЭД-5) или электролитные (тип ЛКД-1) дефектоскопы [19].

Электронисковой дефектоскоп состоит из источника тока высокого напряжения и щупа, к которому подводится ток. При прохождении щупом по напыленной поверхности в местах пор, трещин и других дефектов наблюдается искрение за счет замыкания электрического тока на металлическую поверхность [24].

Принцип действия электролитных дефектоскопов основан на проникновении электролита в открытые дефекты покрытия. При прохождении электролита сквозь поры до металлической поверхности происходит замыкание электрической цепи, фиксируемое прибором [20, 24].

Для определения прочностных характеристик полимерных покрытий проводятся испытания на удар и изгиб. Испытание на удар основано на определении деформаций, возникающих на поверхности полимерного покрытия, нанесенного на тонкую пластинку, при ударе падающего груза, а испытание на изгиб связано с определением деформации покрытия при изгибе. Результаты испытаний на удар позволяют судить об адгезии и твердости покрытий, а на изгиб — об эластичности, разрывной прочности и адгезии. Прочность покрытия при испытании на удар в основном определяется приборами У-1 и У-2, а на изгиб — по шкале гибкости ШГ-1 [20, 24].

Для определения адгезионной прочности и ее природы существуют различные методы: нормального отрыва, скручивания штифтов, отслаивания материала от покрытия, пневмогидравлический, сдвига, срезания, оптический и др. В зависимости от характера покрытия и его назначения выбирают тот или иной метод [20, 27, 36].

Оценка твердости полимерного покрытия производится по его макро- и микротвердости. Под микротвердостью понимают твердость напыленного слоя в микроскопических объемах. Микротвердость определяют в испытаниях по вдавливанию и царапанию [31]. Под макротвердостью понимают твердость материала, определяемую по сопротивлению пластической деформации больших объемов материала, когда не сказывается различие в действительной твердости отдельных микрообъемов [32].

В последнее время широко применяют метод определения микротвердости для изучения процесса отверждения полимерных покрытий, а также для установления некоторых свойств адгезивов. Для определения микротвердости применяется прибор ПМТ-3, который представляет собой окулярный микроскоп, сопряженный с устройством для вдавливания индентора в испытуемое покрытие под нагрузкой от 0,02 до 2 Н [20].

Для определения закономерностей возникновения и изменения внутренних напряжений широко применяются оптические, механические и аналитические методы.

Поверхностная структура играет важную роль в формировании эксплуатационных свойств покрытий. На нее влияют такие факторы, как влага, коррозионно-активные вещества, ультрафиолетовые лучи, трение, механическая деформация и т. д. Для изучения поверхностных структур покрытия применяются микроскопы ИБС-1, МИС-11, МБИ-6, с помощью которых можно судить о характере поверхности полимерного покрытия (расположении и распределении наполнителей на поверхности покрытия, наличии пузырей и микротрещин), а также — косвенно — о сплошности напыленного слоя [20, 31].

Под атмосферостойкостью полимерных покрытий понимается их способность противостоять совместному действию солнечной радиации, высоких и низких температур, влаги, ветра, различных веществ, содержащихся в окружающей среде, и других факторов. Атмосферную стойкость полимерных покрытий можно определить ускоренным методом при помощи аппарата искусственной погоды [24].

Основной функцией антикоррозионного покрытия является защита поверхности от возникновения и протекания электрохимических и других процессов, приводящих к коррозионному разрушению поверхности изделия. Коррозионная стойкость полимерной пленки определяется химической стойкостью материала пленки, ее проницаемостью по отношению к исследуемой среде, прочностью сцепления пленки с изделием [20].

О коррозионной стойкости полимерного покрытия можно судить по изменению свойств покрытия или металлической поверхности. Антикоррозионные свойства покрытия оцениваются, во-первых, по изменению за определенный период времени цвета и блеска, появлению клейкости, пузырей, отслаивания, коробления, выпотевания пластификатора и миграции красителя; во-вторых, по изменению содержания пластификатора в напыляемой пленке; в-третьих, по изменению удельного поверхностного и объемного электрического сопротивления, тангенса угла диэлектрических потерь, электрической прочности и диэлектрической проницаемости за определенный период времени [20, 22]. Срок службы антикоррозионных полимерных покрытий в основном зависит от диффузии агрессивной среды в массу материала покрытия. Для испытания и определения коррозионной стойкости можно использовать аппараты искусственной погоды [20, 22].

Качество полимерных покрытий в условиях трения определяется их антифрикционными свойствами, которые характеризуются величиной износа, коэффициентом трения, рабочей температурой, возникающей при трении полимерных покрытий о другие тела, и допустимой силовой нагрузкой. Испытания на износ проводятся как со смазкой, так и без нее. Износ образцов определяется по потере массы. Для материалов, поглощающих смазку, такой метод определения износа непригоден, и износ определяется по изменению линейных размеров (микро-

метром). Для определения антифрикционных свойств полимерных покрытий широко применяются машины трения МИ-1М и дисковые машины [20, 22, 24].

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НАПЫЛЕНИИ

При напылении пластмасс используются порошковые смеси, сжатый воздух, горючие газы, высокое напряжение. Монтаж газовых коммуникаций следует проводить в соответствии с «Правилами техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов». Монтаж линии сжатого воздуха следует проводить в соответствии с «Правилами устройства безопасной эксплуатации компрессоров и воздухопроводов». Монтаж и обслуживание установок, работающих под высоким напряжением, производится в соответствии с «Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок и промышленных предприятий» [48].

Чтобы предотвратить насыщение рабочего места порошком при вихревом напылении, необходимо следить за давлением воздуха и уровнем взмученного порошка, который при погружении в него напыляемого изделия должен быть на 200 мм ниже верхней кромки установки. В верхней части установки предусматривается отсос вышедшего за ее пределы порошка. При попадании пыли любых порошковых композиций в глаза следует промывать их теплой водой в течение нескольких минут до полного удаления пыли и затем обратиться к врачу. С кожи пыль композиций удаляется теплой водой с мылом. В целях профилактики рекомендуется во время работы чаще мыть руки и лицо.

Порошки полимеров могут образовывать при соответствующей концентрации взрывоопасные смеси. Поэтому помещения, в которых находятся установки, должны быть снабжены хорошей приточно-вытяжной вентиляцией. Вентиляция является обязательной и весьма эффективной мерой борьбы с загрязненностью воздуха. При работе с порошкообразными материалами должна быть предусмотрена вентиляция двух типов — местная, в виде индивидуальных отсосов у каждого рабочего места, где производится напыление, и общая, приточно-вытяжная, в соответствии с действующими нормами Госстроя СССР и Госсанинспекции СССР. Работы с порошкообразными материалами должны вестись в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.002—75 и ГОСТ 12.3.005—75. Мощные источники воспламенения или открытое пламя нужно располагать на расстоянии не менее 4 м от установки для напыления. Курить вблизи установки на расстоянии менее 4 м запрещается. Температура нагрева напыляемых деталей не должна превышать 678 К, и ее следует строго контролировать [48].

Установки для напыления заземляются, так как порошок тер

мопластического материала имеет склонность заряжаться электростатическим электричеством. Рабочие, допускаемые к выполнению работ по газопламенному и вихревому напылению, должны хорошо изучить оборудование и технику напыления, а также пройти специальный инструктаж [46].

Газопламенное напыление может производиться на открытом воздухе, в закрытых помещениях, а также внутри емкостей, котлов, резервуаров, труб и т. д.

Воздух у рабочих мест насыщен неразложившимися частицами термопластического материала, а также продуктами разложения и испарения компонентов, входящих в состав пластической массы, которые могут попасть в дыхательные пути работающих и вызвать отравление. Поэтому при работе, особенно в закрытых помещениях, внутри котлов и резервуаров, необходимо пользоваться защитными масками с подводом свежего воздуха для дыхания (респираторами). С целью уменьшения концентрации порошка в воздухе аппарат для порошкового напыления не следует включать при выключенном пламени.

Соблюдение требований техники безопасности обязательно для всех инженерно-технических работников и обслуживающего персонала, связанных с эксплуатацией установок для напыления пластмасс [48].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сычев М. М. Неорганические клеи. 2-е изд. Л.: Химия, 1986. 153 с.
2. Гризно М. С., Москалев Е. Ф. Клеи и склеивание. Л.: Химия, 1980. 119 с.
3. Кардашов Д. А. Синтетические клеи. М.: Химия, 1976. 504 с.
4. Ковачиц Л. Склеивание металлов и пластмасс: Пер. со словацк. Под ред. А. С. Фрейдина. М.: Химия, 1985. 239 с.
5. Справочник по клеям/ Под ред. Г. В. Мовсисяна. Л.: Химия, 1980. 304 с.
6. Кардашов Д. А., Петрова А. П. Полимерные клеи. М.: Химия, 1983. 255 с.
7. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений. 2-е изд. М.: Химия, 1981. 272 с.
8. Шестопал А. Н. Сварка и склеивание пластмасс в строительстве. Киев: Будельник, 1983. 93 с.
9. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс/Под ред. А. Н. Шестопала. Киев.: Техника, 1986. 192 с.
10. Клеи и герметики/Под ред. Д. А. Кардашова. М.: Химия, 1978. 200 с.
11. Сборник технических условий на клеящие материалы/Под ред. Д. А. Кардашова. Л.: Химия, 1975. 464 с.
12. Шавырин В. Н., Андреев Н. Х., Цукович А. А. Клеемеханические соединения в технике. М.: Машиностроение, 1968. 230 с.
13. Шавырин В. Н., Рязанцев В. И. Клееварные конструкции. М.: Машиностроение, 1981. 168 с.
14. Калинин М. М. Синтетические клеи и процесс склеивания. Рига: Латв. республ. инст-т науч.-техн. информ. и пропаганды, 1971. 39 с.
15. Хасуй А. Техника напыления: Пер. с яп./Под ред. С. Л. Масленникова М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
16. Гальчинский Л. В., Осмак М. И. Сварка, склеивание и напыление пластмасс. Львов: Львовск. ун-т, 1968. 284 с.
17. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справ. изд./ Под ред. Г. С. Каца и Д. В. Милевски: Пер. с англ. М.: Химия, 1981. 736 с.

18. Гуль В. Е., Акутин М. С. Основы переработки пластмасс. М.: Химия, 1985.
19. Ванденбург А. К., Пилипосян П. М. Электрическая напыленная изоляция. М.: Энергоатомиздат, 1984. 136 с.
20. Негматов С. С. Технология получения полимерных покрытий. Ташкент: Узбекистан, 1975. 232 с.
21. Справочник по пластическим массам. 2-е изд./Под ред. В. М. Катаева, В. А. Попова, Б. И. Сажина. М.: Химия, 1975, т. 1, 448 с.; т. 2, 568 с.
22. Полякова К. К., Пайма В. И. Технология и оборудование для нанесения порошковых полимерных покрытий. М.: Машиностроение, 1972. 136 с.
23. Каменев Е. И., Мясников Г. Д., Платонов М. П. Применение пластических масс: Справочник. Л.: Химия, 1985. 448 с.
24. Белый В. А., Довгало В. А., Юркевич О. Р. Полимерные покрытия. Минск: Наука и техника, 1976. 416 с.
25. Кацнельсон М. Ю., Балаев Г. А. Полимерные материалы: Справочник. Л.: Химия, 1982. 317 с.
26. Генель С. В., Белый В. А., Булгаков В. Я., Гехтман Г. А. Применение полимерных материалов в качестве покрытий. М.: Химия, 1968. 240 с.
27. Яковлев А. Д., Здор В. Ф., Каплан В. И. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе. 2-е изд. Л.: Химия, 1979. 254 с.
28. Бородин В. Ф. Химия красителей. М.: Химия, 1981. 247 с.
29. Гуль В. Е., Кулезнев В. Н. Структура и механические свойства полимеров. 3-е изд. М.: Высшая школа, 1979. 352 с.
30. Перенечко И. И. Введение в физику полимеров. М.: Химия, 1978. 311 с.
31. Бейдер Э. Я., Яковлев А. Д. Свойства покрытий на основе порошковых полимеров. Л.: ЛДНТП, 1976. 24 с.
32. Основы физики и химии полимеров/Под ред. В. Н. Кулезнева. М.: Высшая школа, 1977. 247 с.
33. Макаров К. А., Зытнер Я. Д., Мышленникова В. А. Электрохимические полимерные покрытия. Л.: Химия, 1982. 128 с.
34. Гольдберг М. М., Корюхин А. В., Кондратов Э. К. Покрытия для полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 288 с.
35. Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление: Пер. с яп. В. Н. Попова/Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
36. Полякова В. М., Жаринова Т. А. Электрофоретические покрытия на основе полимеров. Киев: Наук. думка, 1979. 146 с.
37. Полякова К. К., Зельцер Ю. Г. Полимерные покрытия полосового проката. М.: Металлургия, 1971. 120 с.
38. Аппен А. А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. Л.: Химия, 1972. 296 с.
39. Рауэмов И. М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. М.: Химия, 1972. 240 с.
40. Старобинец И. М., Евстюков И. З., Власов С. П., Пайма В. И. Новые аппараты для нанесения полимерных покрытий в кипящем слое/Материалы семинара «Достижения в производстве, переработке и применении порошковых полимерных материалов». Л.: ЛДНТП, 1980. С. 73.
41. Членов В. А., Михайлов Н. В. Виброкипящий слой. М.: Наука, 1972. 341 с.
42. Гоц В. Л. Оборудование цехов по нанесению полимерных покрытий. М.: Машиностроение, 1980. 280 с.
43. Фридман Е. И. Герметизация радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1978. 360 с.
44. Галушко А. И. Внутренние напряжения в герметизирующих компаундах РЭА. М.: Советское радио, 1974. 104 с.
45. Волков С. С., Орлов Ю. Н., Астахова Р. Н. Сварка и склеивание пластмасс. М.: Машиностроение, 1972. 128 с.
46. Волков С. С., Черняк Б. Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1986. 256 с.
47. Зайцев К. И., Мацюк Л. Н. Сварка пластмасс. М.: Машиностроение, 1978.
48. Руководство по технике безопасности, пожарной безопасности и пром. санитарии при нанесении порошковых полимерных красок в электрическом поле. Черкассы: НННТЭХИМ, 1976. 20 с.