**Введение**

В настоящее время предусматривается дальнейшее улучшение обслуживания населения страны всеми видами транспорта, в том числе и железнодорожным транспортом. Решение этой проблемы возможно не только путем создания новых видов подвижного состава, в которых наравне с техническими показателями учитываются требования экономики, технологичности, технической эстетики и т.д., но также путем повышения эффективности технического обслуживания транспорта, обязательным условием которого является обеспечение быстрого и качественного ремонта подвижного состава. В настоящее время к отремонтированному подвижному составу предъявляются новые, современные требования. Одним из условий их обеспечения является повышение качества покрытий наносимых на детали и узлы салонов подвижного состава. До настоящего времени на железнодорожном транспорте в качестве защитно-декоративных покрытий применялись хромоникелевые покрытия, наносимые гальваническим способом. Эти покрытия дороги, для их создания необходимы дефицитные материалы (медь, никель, хром), технология их нанесения сложна и энергоемка, для ее осуществления необходима организация специального производства гальванических цехов. Кроме того, антикоррозийная стойкость таких покрытий недостаточна: практикой установлено, что ко времени капитального ремонта этот вид покрытий имеет до 25-30% разрушений, что портит эстетический вид подвижного состава железнодорожного транспорта. Предпринимались попытки создания и других видов защитно-декоративных покрытий. Применялись эмалевые и лакокрасочные покрытия. Однако в условиях эксплуатации они не показали преимуществ перед хромоникелевыми. Эмалевые покрытия не обладают достаточной стойкостью в эксплуатации, быстро истираются и выкалываются при периодических нагрузках. Лакокрасочные покрытия при разовом нанесении получаются слишком тонкие (10-20 мкм), поэтому их приходится наносить в несколько слоев, что требует дополнительных затрат материалов и рабочего времени. Отсутствие удовлетворительного технического решения в части создания и ремонта защитно-декоративных покрытий, работающих в специфических условиях салонов пассажирского подвижного состава, стимулировали поисковые работы в этой области. Изучение отечественного и зарубежного опыта применения покрытий на подвижном составе показывает, что наблюдается тенденция отхода от использования в качестве покрытий дорогостоящих дефицитных материалов. В связи с быстрым и эффективным развитием производства полимерных материалов в России и в ряде зарубежных стран в последние годы значительные усилия были направлены на создание защитно-декоративных покрытий из полимеров и композиций на их основе. Покрытия из этих материалов по ряду технико-эксплуатационных показателей превосходят гальванические хромоникелевые покрытия, имеют по сравнению с ними низкую стоимость и отвечают повышенным требованиям эксплуатации на железнодорожном транспорте.

**1. Технология изготовления полимерных материалов**

Технологический процесс переработки включает контроль качества исходного материала или его компонентов, подготовительных операции, в ряде случаев формирование заготовки изделия, собственно формование изделия, последующие механические и различного рода обработки, обеспечивающие улучшение или стабилизацию свойств материала или изделия, нанесение покрытий на изделие, контроль качества готового изделия и его упаковку.

Основные параметры процессов переработки - температура, давление и время. Нагревание П.м. приводит к увеличению податливости материала при формовании путем перевода его в вязкотекучее или эластическое состояние, к ускорению диффузионных и релаксационных процессов, а для реактопластов - к последующему отверждению материала. Давление обеспечивает уплотнение материала и создание изделий требуемой конфигурации, оказывает сопротивление внутренним силам, возникающим в материале при формовании вследствие температурных градиентов и градиентов фазовых переходов. способствует выделению летучих продуктов. Временные параметры процесса переработки выбираются с учетом протекающих в материале физ. и хим. процессов. Оптимальные параметры рассчитывают или выбирают по результатам анализа технологических свойств полуфабрикатов и изделий, физические модели формования с учетом накопленного статистического опыта.

Переработка термопластов основана на их способности при нагревании выше температуры стеклования переходить в эластическое, а выше температуры текучести и температуры плавления - в вязкотекучее состояние и затвердевать при охлаждении ниже температуры стеклования и температуры плавления. При переработке реактопластов и резиновых смесей происходит химическое взаимодействие между молекулами (соотвенно *отверждение* и *вулканизация*)с образованием нового, высокомолекулярного материала, находящегося в термостабильном состоянии и практически не обладающего растворимостью и плавкостью (см. *Сетчатые полимеры.* а также *Пластические массы).* В некоторых случаях (главным образом при переработке резиновых смесей) для облегчения смешения с ингредиентами и дальнейшего формования изделий проводят предварит. *пластикацию полимеров.*

Деформирование полимерных материалов в эластическом состоянии и при течении расплава сопровождается ориентацией макромолекул и надмолекулярных образований, а после прекращения деформирования полимерных материалов и течения расплава идет обратный процесс-дезориентация. Степень сохранения ориентации в материале изделия зависит от скоростей протекания обоих процессов. В направлении ориентации некоторые физико-механические характеристики материала (прочность, теплопроводность) возрастают; при этом структура материала оказывается неравновесной и напряженной, что приводит к снижению формоустойчивости изделия, особенно при повышенной температуре. Длительное воздействие повышенной температуры, а в случае реактопластов и значительное выделение теплоты, сопровождающее отверждение, может приводить к термоокислительной деструкции материала, а большие скорости течения материала - к его механодеструкции. Отверждение ряда реактопластов по реакции поликонденсации сопровождается выделением низкомолекулярных продуктов, вызывающих образование вздутий и трещин в изготовляемых деталях.

Охлаждение кристаллизующихся полимерных материалов сопровождается образованием кристаллов. скорость роста, размеры и структура которых зависят от интенсивности охлаждения материала. Регулируя степень кристалличности и морфологию кристаллов. можно направленно изменять эксплуатационные характеристики изделия.

Полуфабрикаты полимерных материалов (или компоненты), предназначенные для формования, могут быть в виде жидкостей (компаунды на основе мономеров и олигомеров. растворы и дисперсии полимеров и олигомеров., паст (резиновые смеси, премиксы на основе полиэфирных и эпоксидных связующих), порошков (наполненные и ненаполненные полимеры. твердые смолы и олигомеры), гранул (ненаполненные полимеры. смолы, олигомеры или полимеры. наполненные дисперсными частицами или армированные короткими волокнами), пленок, листов, плит, блоков (пластмассы и резиновые смеси), рыхловолокнистых композиций (спутанноволокнистые материалы, пропитанные связующим), препрегов на основе непрерывных волокнистых наполнителей (нити, жгуты, ленты, ткани, бумага. маты, пропитанные связующим, шпон). По технологическим возможностям ненаполненные, наполненные дисперсными частицами или армированные волокнами полимерные материалы идентичны и перерабатываются в изделия одинаковыми методами.

**1.1 Методы формования изделий из ненаполненных** **и наполненных полимерных материалов. Формование под давлением**

Прямое прессование применяют для изготовления изделий разнообразных форм, размеров и толщин преим. из реактопластов, выпускаемых в виде порошков, гранул, волокнитов. слоистых заготовок из армированных полимерных материалов, а также заготовок из резиновой смеси. Полимерные материалы перед прессованием подвергают подготовке (сушка, таблетирование. предварительный нагрев), улучшающей их технологические свойства и качество получаемых изделий. Подготовленные материалы перед прессованием обычно дозируют. Заданное кол-во перерабатываемого полуфабриката помещают в установленную на прессе нагретую прессформу, конфигурация оформляющей полости которой соответствует конфигурации детали (рис. 1). Прессформу смыкают. Материал нагревается, переходит в вязкотекучее состояние, под давлением 7-50 МПа заполняет оформляющую полость и уплотняется. В прессформе материал выдерживают под давлением до завершения отверждения полимерных материалов или вулканизации сырой резиновой смеси, чем обеспечивается фиксация приданной материалу конфигурации. Готовое изделие выталкивают или извлекают из прессформы, как правило, при температуре прессования.

В процессе прессования для повышения качества изделий применяют подпрессовки (попеременные подача и снятие давления) и задержку подачи давления. Подпрессовки способствуют удалению из реактопластов летучих веществ (продуктов реакции, адсорбированной влаги, остатков растворителей). Эта же цель достигается предварительным вакуумированием материала в оформляющей полости прессформы (прессование с вакуумированием). Задержку подачи давления применяют для снижения текучести реактопластов, имеющих при температуре формования очень низкую вязкость. с тем, чтобы предотвратить их вытекание через зазоры прессформы в процессе уплотнения.

При переработке термопластов прессование применяют для изготовления деталей толщиной >10-15 мм, если при температуре переработки материал имеет слишком высокую вязкость. а также если температура текучести полимерных материалоа близка к температуре его деструкции.

Литьевое (трансферное) прессование применяют главным образом для переработки реактопластов. Формование осуществляют в прессформах, оформляющая полость которых отделена от загрузочной камеры и соединяется с ней литниковыми каналами (рис. 2). В процессе прессования материал, помещенный в загрузочную камеру нагретой прессформы, переходит в вязкотекучее состояние и под давлением 60-200 МПа по литниковому каналу перетекает в оформляющую полость прессформы, где материал дополнительно прогревается и отверждается.

Преимущество литьевого прессования - возможность изготовления изделий сложных форм с глубокими сквозными отверстиями малого диаметра или с малопрочной внутренней (внешней) арматурой. Изделия, полученные этим методом, характеризуются меньшим напряжением, чем при прямом прессовании, так как процесс отверждения в оформляющей полости идет одновременно по всему объему детали, а при заполнении формы создаются условия, обеспечивающие удаление из материала летучих продуктов.

Литье под давлением применяют преимущественно для изготовления изделий из термопластов. Осуществляют под давлением 80-140 МПа на литьевых машинах поршневого или винтового типа, имеющих высокую степень механизации и автоматизации (рис. 3). Литьевые машины осуществляют дозирование гранулир. материала, перевод его в вязкотекучее состояние, впрыск (инжекцию) дозы расплава в литьевую форму, выдержку в форме под давлением до его затвердевания или отверждения, размыкание формы и выталкивание готового изделия. При переработке термопластов литьевую форму термостатируют (температура ее не должна превышать температуры стеклования или температуры кристаллизации), а при переработке реактопластов нагревают до температуры отверждения. Давление литья зависит от вязкости расплава материала, конструкции литьевой формы, размеров литниковой системы и формуемых изделий. Литье при сверхвысоких давлениях (до 500 МПа) уменьшает остаточные напряжения в материале, увеличивает степень ориентации кристаллизующихся полимеров, что способствует упрочнению материала и обеспечивает более точное воспроизведение размеров деталей.

Давление в литьевой форме при заполнении расплавом полимера повышается постепенно (в конце выдержки под давлением достигает 30-50% от давления литья) и распределяется по длине оформляющей полости неравномерно вследствие высокой вязкости расплава и быстрого ее нарастания при охлаждении или отверждении.

Литье под давлением позволяет изготовлять детали массой от долей грамма до нескольких килограммов. При выборе машины для формования изделия учитывают объем расплава, необходимый для его изготовления, и усилие смыкания, требующееся для удержания формы в замкнутом состоянии в процессе заполнения расплавом оформляющей полости.

Для выравнивания давления и улучшения условий заполнения формы применяют литье под давлением с предварительным сжатием расплава, инжекционное прессование, литье под давлением с наложением механических колебаний и другие методы.

Литье под давлением с предварит. сжатием расплава осуществляют на литьевой машине, сопловый блок которой снабжен краном. При закрытом кране производят сжатие расплава полимера в нагревательном цилиндре машины до давления литья. После открытия крана расплав под высоким давлением с большой скоростью заполняет полость литьевой формы и дополнительно нагревается за счет работы сил трения. Для предотвращения механодеструкции полимерных материалов скорость течения расплава по литниковым каналам иногда ограничивают. Предварительное сжатие расплава позволяет в 1,5-2 раза уменьшить время заполнения формы и увеличить путь течения расплава до момента его застывания, что позволяет отливать длинномерные тонкостенные детали.

Инжекционное прессование отличается от обычного литья под давлением тем, что впрыск дозы расплава П.м. производят в не полностью сомкнутую форму. Уплотнение материала осуществляют при окончат. смыкании формы (прессование). Метод позволяет получать как очень тонкостенные, так и толстостенные детали из термо- и реактопластов. Изделия, изготовленные этим методом, имеют меньшую анизотропию механических свойств и меньшую усадку.

Литье под давлением с наложением механических колебаний применяют для изготовления изделий из полимерных материалов, расплавы которых обладают ярко выраженными свойствами псевдопластичных жидкостей. Воздействие механических колебаний вызывает резкое снижение вязкости таких расплавов, в результате чего уменьшается время заполнения формы и происходит более равномерное распределение давления по длине оформляющей полости.

Интрузия-метод формования толстостенных изделий на винтовых литьевых машинах, объем впрыска которых м. б. значительно меньше объема формуемого изделия. В процессе заполнения формы литьевая машина работает в режиме экструдера (см. ниже), нагнетая расплав полимера через широкие литниковые каналы в оформляющую полость при сравнительно невысоком давлении; после заполнения формы винт под действием гидроцилиндра движется как поршень вперед и подает в форму под более высоким давлением кол-во расплава, необходимое для оформления детали и компенсации усадки материала.

Экструзию (шприцевание, выдавливание) применяют для формования из термо- и реактопластов разл. длинномерных изделий-волокон, пленок, листов, труб, профилей разнообразного поперечного сечения. Переработка термопластов осуществляется на поршневых и винтовых машинах (экструдерах) путем выдавливания материала, переведенного в нагревательнгом цилиндре экструдера в вязкотекучее состояние, через формообразующую головку проходного типа (рис. 4). Выходящее из головки изделие охлаждается, отводится тянущим устройством и сматывается в бухты или разрезается на отрезки необходимой длины. Скорость отвода изделия может быть больше скорости выхода из головки, тогда происходит ориентация материала в направлении оси изделия. С помощью спец. устройств возможна поперечная ориентация материала. Методом экструзии можно также наносить на провода и кабели полимерную изоляцию.

Экструзию термопластов можно совмещать с др. методами формования, например, раздуванием (т. наз. экструзионно-раздувное формование), в результате чего из экструдированной заготовки получают крупногабаритные тонкостенные полые изделия (рис. 5).

Формование экструзией деталей из наполненных реактопластов осуществляют главным образом на поршневых машинах (штранг-прессование), т. к. расплав материала имеет слишком высокую вязкость. Конструкцию головки и распределение температуры по ее длине выбирают таким образом, чтобы материал был достаточно уплотнен и на выходе из головки имел степень отверждения, обеспечивающую формуемому изделию товарный вид и технологическую прочность. Окончательное отверждение материала может быть проведено в трубчатых печах.

Центробежное формование применяют для изготовления изделий, имеющих форму тел вращения (втулки, трубы, полые сферы и др.), под действием центробежных сил. Таким способом перерабатывают вязкотекучие термореактивные компаунды, расплавы полимеров и пластизоли, как ненаполненные, так и содержащие порошкообразные и волокнистые наполнители. При центробежном формовании расплав полимера или термореактивный компаунд заливают в нагретую форму, закрепленную на валу центрифуги, которую приводят во вращение. Под действием центробежных сил перерабатываемый материал распределяется равномерным слоем по оформляющей поверхности формы и уплотняется. После охлаждения формы ее останавливают и извлекают готовое изделие. Для изготовления невысоких втулок и изделий, имеющих геометрию параболоида вращения, применяют форму с вертикальной осью вращения; длинные трубы получают в формах с горизонтальной осью вращения, полые сферы - одновременным вращением формы вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Величина развивающегося в процессе формования давления определяется частотой вращения формы и радиусом ее оформляющей полости и достигает 0,3-0,5 МПа. Этим методом получают обычно тонко- и толстостенные изделия, изготовление которых др. методами затруднительно или невозможно.

Вальцевание применяют для смешивания компонентов сырых резиновых смесей и пластических масс на стадии их приготовления или улучшения технологических свойств материала перед формованием изделий, а также для изготовления полуфабрикатов (листов, пленки). Вальцевание осуществляют в зазоре между валками (охлаждаемыми или нагреваемыми), вращающимися навстречу друг другу с различных скоростью. В зависимости от аппаратурного оформления метода материал с вальцов может сниматься в виде листа или узкой непрерывной ленты.

Каландрование применяют для непрерывного формования различных пленочных или листовых полимерных материалов, нанесения на поверхность листовых материалов рельефного рисунка, дублирования предварительно отформованных ленточных заготовок, армирования полимерных материалов тканями или сеткой при температуре выше температуры текучести или температуры плавления. Осуществляют на агрегатах непрерывного действия, основной частью которых является многовалковый каландр (рис. 6). Полимерная или резиновая композиция непрерывно поступает на каландр с питательных вальцов или экструдера. В отличие от вальцевания при каландровании материал проходит через зазор между парой валков только один раз. Для получения листа заданной толщины и с гладкой поверхностью каландр делают многовалковым, что позволяет последовательно пропускать материал через два или три зазора разного размера. В процессе каландрования полимерных материалов в зазоре между валками подвергается интенсивной деформации сдвига, в нем в направлении движения развиваются значительные эластические деформации, которые фиксируются в изделии последующим охлаждением. Продольная ориентация обусловливает значительную анизотропию свойств материала (каландровый эффект).

Каландровые агрегаты могут быть снабжены дополнительными устройствами для одно- или двухосной ориентации пленки.

Прокатку применяют для обработки листовых термопластичных полуфабрикатов с целью придания им требуемых размеров поперечного сечения или повышения механических свойств в направлении прокатки. В отличие от каландрования ее осуществляют на валковых машинах, валки которых вращаются навстречу друг другу с одинаковой скоростью, при температурах, не превышающих температуры стеклования и температуры плавления. В зазоре между валками происходит уплотнение материала и ориентация его в направлении прокатки вследствие развивающихся в материале вынужденных эластических деформаций.

Для формования монолитных тонкостенных изделий из заготовок термопластов (листов, труб и др.) применяют штамповку (штампование) и ее разновидности (механо-пневмоформование, пневмоформование, вакуум-формование и др.).

Штамповку используют преимущемственно для формования крупногабаритных объемных изделий из заготовок, получаемых литьем, прессованием, литьем под давлением или экструзией и переведенных нагреванием в эластическое состояние. Нагретая заготовка под действием давления изменяет форму, заполняя оформляющую полость штампа, имеющего температуру ниже температуры стеклования полимерных материалов. Для фиксации полученной конфигурации отформованное изделие охлаждают под давлением. При штамповке можно совмещать операцию изготовления заготовки и получения из нее изделия. Заготовку в этом случае получают литьем под давлением или экструзией и, не давая ей охладиться ниже температуры стеклования, подвергают штамповке. В зависимости от конструкции применяемого оборудования и оснастки, формы и размеров заготовки и изделий применяют различные виды штамповки.

Детали со стенками переменной толщины или с рельефом на поверхности изготовляют из сравнительно толстостенных заготовок в жестких штампах, имеющих пуансон и матрицу и устанавливаемых на гидравлических или пневматических прессах (рис. 7). Из всех видов штамповки этот метод наиболее дорог, т.к. требует сопряженных друг с другом пуансонов и матриц.

Механическую штамповку пуансоном (рис. 8, *а*) через протяжное кольцо и механопневмоформование (рис. 8,б) применяют для изготовления изделий с резко выраженной разнотолщинностью, например, если дно изделия должно быть значительно толще стенок. При получении изделий, на одну из поверхностей которых необходимо нанести рисунок с мелкими элементами, применяют главным образом штамповку в матрицу эластичным пуансоном, выполненным из губчатой или мягкой монолитной резины.

Вакуум-формованием через протяжное кольцо (рис. 9, *а*) из листовых заготовок получают изделия, имеющие форму тел вращения. Заготовку защемляют между прижимным и протяжным кольцом, закрепленными на торце герметичной емкости, в которой создают разряжение. Под действием атм. давления заготовка деформируется внутрь емкости, а при создании в емкости избыточного давления-в обратную сторону. Форма и размеры получаемого изделия определяются конфигурацией в плане протяжного кольца и степенью (глубиной) вытяжки заготовки, характеризующейся отношением высоты изделия к его ширине. Вакуум-формованием в матрицу (рис. *9,б*)при давлении формования до 0,09 МПа получают изделия из тонкостенных заготовок. Если такого давления для оформления изделий недостаточно, применяют пневмоформование в матрицу (рис. 10). Этот метод позволяет также получать изделия более сложной конфигурации.

В процессе штамповки-вырубки производят изготовление плоских изделий различных конфигурации, имеющих в плоскости детали отверстия различного диаметра. Вырубка изделий осуществляется в штампах, оснащенных режущими элементами (для отделения изделия от заготовки по контуру), прижимом, удерживающим заготовку в необходимом положении, пуансоном и матрицей, производящими пробивку отверстий в заготовке.

Формование без давления. В этом случае уплотнение материала и формование изделия осуществляется под действием силы тяжести и сил поверхностного натяжения.

Методом литья изготовляют изделия из отверждающихся компаундов на основе мономеров, олигомеров. смол, полимер-мономерных композиций или расплавов полимеров, имеющих консистенцию вязкой жидкости. Компаунд при нормальной или повышенной температуре заливают в технологическую оснастку (форму), в которой происходит его отверждение или затвердевание. Для обеспечения извлечения изделия из формы стенки формы покрывают слоем антиадгезива, например отверждающейся силиконовой смазкой. Литьем изготовляют листы, плиты, блоки, различного рода машиностроительные детали (шестерни, шкивы, кулачки, шаблоны), технологическую оснастку для штамповки, литья под давлением и др. методов формования.

При капсулировании компаундом заливают какой-либо элемент, который фиксируют в форме. После отверждения компаунда элемент, покрытый с поверхности слоем полимера, извлекают из формы.

Метод заливки подобен литью; отличается тем, что компаунд заливают в оболочку (кожух, корпус), в которую предварительно помещают различного рода узлы или элементы (трансформаторы, индуктивные катушки, электронные или электрические системы и т. п.). Внутреннюю поверхность оболочки тщательно обезжиривают для обеспечения ее прочного сцепления с компаундом.

При герметизации заливаемый элемент плотно вставляют в оболочку, а компаундом покрывают только его поверхность. Так же, как и в методе заливки, необходимо обеспечить прочное сцепление компаунда с заливаемым узлом и поверхностью оболочки.

Методом полива изготовляют тонкие пленки или пленочные клеи из компаундов или растворов полимеров, например на плоской подложке или установке непрерывного типа (рис. 11). Компаунд из емкости через фильеру наносится на гибкую ленту транспортера, проходит через камеру сушки и (если необходимо) отверждения, отделяется от ленты и сматывается в рулон.

Во всех перечисленных методах во избежание образования в изделиях газовых включений компаунд предварительно нагревают или вакуумируют, а отверждение материала ведут в вакуумированной форме. В случае введения порошкообразных или волокнистых наполнителей компаундам придают тиксотропные свойства.

Методы окунания и декантации применяют для изготовления тонкостенных деталей разнообразной формы из вязких компаундов, а также для нанесения на поверхность изделий электроизоляционных, антифрикционных, антикоррозионных или декоративных покрытий. При изготовлении деталей окунанием применяют оснастку по форме изделия позитивного типа (пуансоны), которую окунают в компаунд, залитый в к.-л. емкость. Слой компаунда, оставшийся на поверхности оснастки, отверждают и, если его толщина мала, окунание повторяют; полученную деталь снимают с оснастки. Декантацией изготовляют детали в оснастке негативного типа (матрица). В матрицу наливают необходимое кол-во компаунда и наклоняют (кантуют) ее так, чтобы все оформляющие поверхности были покрыты слоем компаунда. Излишки компаунда выливают, а оставшуюся пленку охлаждают. Форму размыкают и извлекают готовое изделие. Для предотвращения стекания вязкого компаунда с наклонных стенок пуансонов и матриц применяют тиксотропные или быстроотверждающиеся компаунды.

Методом ротационного формования изготовляют тонкостенные полые изделия, а также наносят покрытия на внутренней поверхности различных емкостей из порошкообразных полимеров и пластизолей. Порцию полимерных материалов загружают в полую металлическую форму, герметично закрывают ее и в зависимости от конфигурации детали вращают форму вокруг одной или двух взаимно перпендикулярных осей. Одновременно форму нагревают, для того чтобы полимер расплавился или набух в пластификаторе. Во время вращения расплав смачивает оформляющую поверхность формы и распределяется по ней равномерным слоем. Частоту вращения подбирают так, чтобы линейная скорость движения точек, лежащих на оформляющей поверхности, была равна скорости стекания расплава с этой поверхности под действием сил тяжести. Такой режим вращения обеспечивает получение равнотолщинных изделий. В отличие от центробежного формования полимер удерживается на стенках преим. силами адгезии и инерции. После охлаждения вращающейся формы и затвердевания полимера вращение прекращают и извлекают из формы готовое изделие.

Напыление порошкообразных полимерных материалов на поверхность форм применяют для изготовления тонкостенных изделий или нанесения полимерных покрытий на детали различного назначения. Процесс состоит в нанесении порошка на поверхность оснастки и последующего спекания образовавшегося слоя при нагревании его выше температуры плавления или температуры текучести полимерных материалов. Порошок полимера на поверхность формы наносят в псевдоожиженном ("кипящем") слое или струйным методом с помощью пистолета-распылителя.

При изготовлении изделий методом засыпки в ограничительную оснастку засыпают порошок или гранулы термопласта. Загрузочное отверстие закрывают теплоизолирующей крышкой; оснастку нагревают выше температуры текучести или температуры плавления полимера и выдерживают до тех пор, пока у ее стенок не расплавится слой полимера нужной толщины; извлекают из термостата, охлаждают и высыпают нерасплавившиеся гранулы. В дальнейшем производят окончат. оплавление слоя, нагревая материал в оснастке без теплоизолирующей крышки. Методом засыпки изготовляют сравнительно тонкостенные крупногабаритные изделия (прогулочные лодки, бидоны для хранения и транспортировки жидкостей и др.).

**1.2 Методы переработки армированных полимерных материалов**

Особенностью изготовления изделий из армированных полимерных материалов является то, что материал и изделие в большинстве случаев изготовляются из исходных компонентов одновременно. Для создания изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами выбранные методы и режимы переработки должны обеспечивать необходимую монолитность материала, требуемое содержание, ориентацию и равнонапряженность армирующего наполнителя.

Подготовительные операции включают подготовку наполнителя (сушка, различные виды энергетической и химической обработки для улучшения совмещения со связующим), формообразующей и формующей оснастки и оборудования, а в ряде случаев - приготовление связующего и его нанесение на наполнитель. Структура и форма используемого армирующего наполнителя во многом определяют выбор метода изготовления заготовки изделия.

Получение заготовки изделия выбранным методом осуществляют путем укладки армирующего наполнителя в заданной последовательности на оснастке, определяющей форму будущей детали. При этом ориентация волокнистого наполнителя выдерживается в соответствии с эпюрой напряжений, что обеспечивает требуемую анизотропию свойств материала в изделии.

Изготовление заготовки детали может производиться с использованием препрега - предварительно пропитанного связующим наполнителя, высушенного или подотвержденного (т. наз. сухой способ намотки, выкладки), с пропиткой наполнителя в процессе его выкладки или намотки (т. наз. мокрый способ намотки, выкладки), с чередованием слоев непропитанного или частично пропитанного наполнителя со слоями связующего в виде плавкой пленки или с использованием наполнителей, в которых армирующие волокна чередуются с волокнами матричного материала (волоконная технология).

Получение заготовки изделия из полимерных материалов, армированных непрерывными волокнистыми наполнителями (главным образом нитями, жгутами, ровингами, лентами, тканями, трикотажными материалами), осуществляют методами послойной выкладки, намотки, методом плетения или ткачества, а также комбинированным методом.

Методом послойной выкладки с наполнителями из непрерывных волокон изготовляют заготовки листов, плит, обшивок, а также изделий сравнительно простых геометрических форм. При послойной выкладке слои препрега или непропитанного армирующего наполнителя последовательно, соблюдая заданную ориентацию, собирают на жесткой форме (пуансоне), повторяющей форму изделия, в пакет до требуемой толщины. В процессе выкладки производят послойное уплотнение пакета с помощью ролика или др. инструмента. При серийном производстве применяют специальные выкладочные установки или комплексы с применением робототехники и программного управления.

Метод намотки широко применяют для изготовления заготовок изделий, имеющих форму тел вращения. При использовании однонаправленных непрерывных армирующих наполнителей в виде нитей, жгутов, лент, ровницы применяют окружную, продольную, спиральную (геликоидную) или комбинированную намотку.

Спиральную намотку применяют для изготовления оболочек совместно с днищами, деталей конической формы, изделий переменного сечения. При комбинированной намотке сочетают в любых вариантах спиральную, продольную или окружную намотку для достижения требуемой анизотропии свойств материала. Простейший вид комбинированной намотки - продольно-поперечная. Применение многокоординатных намоточных станков с программным управлением позволяет автоматизировать процесс намотки и сделать его высокопроизводительным.

При использовании армирующих наполнителей в виде тканей, холстов, бумаги, лент с перекрестным расположением волокон применяют окружную намотку с прикаткой, например при изготовлении труб, цилиндров, оболочек конической формы. Если уплотнение материала вследствие натяжения наполнителя или при прикатке является достаточным для обеспечения необходимой плотности материала при последующем отверждении изделия, то намотка представляет собой и метод формования.

Комбинированные методы создания заготовок изделий включают несколько различных методов при сборке одной детали, например сочетание послойной выкладки и намотки.

Указанные выше методы позволяют ориентировать наполнитель в одной или двух плоскостях изделия. При необходимости получения объемного армирования в трех и более плоскостях применяют метод плетения или ткачества заготовки из жгутов или нитей. Направление армирования и содержание наполнителя в каждом из направлений определяются условиями эксплуатации детали. Метод плетения применяется также для создания многослойных заготовок деталей, в которых слои механически связаны между собой.

Изготовление заготовки детали из полимерных материалов, армированных короткими волокнами, производят методом послойной выкладки с использованием рулонных наполнителей в виде матов, холстов, войлока, бумаги, как предварительно пропитанных, так и пропитываемых в процессе изготовления заготовки, а также методами напыления, насасывания и осаждения рубленых волокон. При изготовлении заготовок изделия методом напыления в качестве наполнителей используют отрезки жгутов (30-60 мм), которые с помощью спец. установок напыляют потоком воздуха совместно со связующим на форму до достижения требуемой толщины. Этим методом производят крупногабаритные изделия, например корпуса лодок и катеров, элементы легковых и грузовых автомобилей, контейнеры различного назначения, плавательные бассейны, покрытия полов, облицовки бетонных конструкций.

Метод насасывания применяют при производстве изделий сравнительно небольших размеров. Изготовление заготовки осуществляют главным образом в камере насасывания, в верхней часть которой подается рубленое волокно (рис. 12); в нижней части камеры на вращающемся столе смонтирована перфорир. форма, через которую с помощью мощного вентилятора просасывается (прокачивается) воздух.

Распыленное волокно, увлекаемое потоком воздуха, насасывается на форму до обеспечения требуемой толщины.

Метод позволяет использовать как сухие связующие в виде порошка или плавких полимерных волокон, подаваемых совместно с армирующим волокном, так и жидкие связующие, наносимые на насасываемую заготовку при помощи пистолетов, расположенных по периметру камеры.

После насасывания заготовка вынимается из камеры и формуется одним из перечисленных ниже методов. Насасывание, кроме того, может проводиться из суспензии волокон в жидкой среде по бумагоделательной технологии (см. *Бумага).*

После формирования заготовка детали подвергается формованию различными методами. Метод контактного формования применяют при изготовлении деталей с применением полиэфирных и эпоксидных связующих холодного отверждения преим. в сочетании с созданием заготовки методом выкладки. При этом способе формования пропитанные связующим слои наполнителя уплотняют путем прижатия кистью или прикатки роликом. Отверждение материала производится без приложения постоянного давления в основном при температуре цеха.

При изготовлении крупногабаритных деталей широкое распространение получили вакуумный, вакуумно-автоклавный и пресскамерный методы формования с использованием эластичного мешка (чехла). В этих случаях на оправку по форме изделия наносят разделит. слой (для предотвращения прилипания формуемой детали), выкладывают или наматывают заготовку изделия, на которую последовательно укладывают перфорированный разделительный слой, цулагу (металл, слоистый пластик), дренажный слой (материал в виде войлока, несколько слоев стеклоткани или металлической сетки), защитный слой из ткани или пленки и эластичный мешок из резины, прорезиненной ткани или термостойкой полимерной пленки с большим удлинением, который герметично соединяют с формой (рис. 13). Вакуумным насосом из-под эластичного мешка откачивают воздух. Для отверждения связующего форму с заготовкой помещают в термошкаф (вакуумный способ), а если требуется высокое давление - в пресскамеру или автоклав. Формование осуществляется вследствие разности давлений между внеш. давлением в термошкафу, пресскамере (0,15-0,5 МПа) или автоклаве (0,3-2,5 МПа) и остаточным в эластичном мешке. При вакуумном способе формования давление составляет 0,05-0,09 МПа. Метод широко используют при изготовлении трехслойных конструкций с легким заполнителем, не допускающим высоких давлений при формовании.

При необходимости повышения давления формования для обеспечения требуемого качества детали, а также при серийном производстве изделий из армированных пластиков небольших и средних размеров применяют метод прессования в жесткой прессформе, который изложен выше.

При серийном производстве крупногабаритных деталей сравнительно простой конфигурации, изготовляемых из пропитанных слоистых наполнителей в жесткой прессформе, формование часто осуществляют не на прессах, а в термошкафах, применяя метод формования в болтовой форме. В жесткую форму, имеющую пуансон и матрицу, помещают заготовку детали и форму смыкают с помощью болтов до обеспечения окончательной толщины детали. При необходимости приложения больших усилий для смыкания формы используют пресс с последующей стяжкой болтами. Собранные формы помещают в термошкафы, где осуществляется температурный режим отверждения и формования. Метод позволяет изготовлять сразу большое кол-во деталей одновременно.

При термокомпрессионном формовании заготовку формуемой детали помещают на жесткий пуансон или матрицу, покрывают или обматывают формующим материалом с высоким коэффициентом термического расширения, например термостойкой кремнийорганической резиной, и накрывают ограничит. оснасткой, которую плотно, например с помощью болтов, соединяют с пуансоном или матрицей, создавая начальное давление. В процессе нагрева уплотнение заготовки осуществляется вследствие термического расширения формующего материала, расположенного между заготовкой и жесткой ограничительной формой. Метод позволяет значительно упростить конструкцию прессформы и обеспечить равномерное распределение давления по всей поверхности формуемой детали.

Центробежный метод формования основан на уплотнении материала вследствие возникновения центробежной силы, возникающей при вращении оправки с заготовкой детали. Данный метод применяют при изготовлении крупногабаритных цилиндрических и слабоконических оболочек из композиционных материалов с неориентированным расположением волокон, получаемых главным образом методом напыления. При этом используют полиэфирные и эпоксидные связующие холодного отверждения.

Методом протяжки (пултрузии) изготовляют профильные изделия постоянного сечения (стержни, трубки, профили различного поперечного сечения и др.). Процесс осуществляют по непрерывной схеме: армирующий наполнитель, совмещенный со связующим, собирают в пучок и протягивают через систему формообразующих головок (фильер), в которых осуществляется формование изделия и частичное отверждение связующего. Окончательное отверждение происходит в термокамере или высокочастотной установке. Метод характеризуется высокой производительностью, экономичностью, поддается автоматизации.

Метод прокатки (ролтрузии) аналогичен методу протяжки за исключением того, что формующим элементом здесь является система роликов по форме изготовляемого изделия. Вращающиеся ролики позволяют более эффективно уплотнять заготовку, предотвращать повреждение армирующего наполнителя и изготовлять профили большого сечения.

Формование методом обмотки (викелевки) широко применяют при изготовлении труб и др. деталей, имеющих форму тела вращения или близкую к ней. Заготовку детали, изготовленную методами намотки или послойной выкладки, покрывают разделит. слоем, цулагой и обматывают с натяжением несколькими слоями нити, жгута или др. материала, вследствие чего и происходит уплотнение материала. Усилие натяжения нити и других материалов подбирается экспериментально.

Для изготовления изделий, к которым предъявляют повышенные требования по герметичности и стабильности размеров, применяют метод пропитки под давлением. При этом заготовку детали формируют из непропитанного (или частично пропитанного) наполнителя на пуансоне методами послойной выкладки или намотки. После этого пуансон смыкают с матрицей, а пространство между ними герметизируют. К верхней части замкнутого пространства подсоединяют вакуумную систему для удаления воздуха из непропитанной заготовки, а к нижней-трубопровод, по которому под давлением до 3 МПа подается связующее (рис. 14). Контроль пропитки осуществляют по появлению смолы на выходе из формы. При изготовлении длинномерных деталей в процессе пропитки производят выравнивание давления внутри пропитываемой заготовки, для чего закрывают выходное отверстие и выдерживают связующее под давлением в течение определенного времени; часть связующего затем прокачивается через заготовку. После окончания пропитки выход из формы перекрывают и производят отверждение детали.

**1.3 Методы обработки изделий из полимерных материалов**

Отформованные изделия из всех видов полимерных материалов обычно дополнительно подвергают различным видам обработки. Механическую обработку (точение, фрезерование, сверление) применяют при изготовлении изделий сложной конфигурации из заготовок простой формы, для удаления заусениц (грат, пленки) с деталей, полученных различными методами формования, доведения размеров изделия до требований чертежа.

Термическую обработку применяют для стабилизации структуры и свойств материала изделия, снятия остаточных напряжений, доотверждения изделий из реактопластов, аморфизации кристаллизующихся полимерных материалов, изменения состава полимерных материалов с целью получения изделий с новым комплексом свойств (пиролиз, графитизация). Проводят термообработку на воздухе, в среде инертных газов и жидкостей или в вакууме. Тепло к изделиям подводят конвекционным (в термостатах), контактным (в жидкостных ваннах) способами, излучением с помощью тепловых экранов, токами высокой частоты. Для интенсификации протекающих в материале изделий физико-химических процессов термообработку иногда сочетают с обработкой ультразвуком.

Радиационное облучение применяют для увеличения частоты сетки реактопластов или для придания термопластам сетчатой структуры. В результате такой обработки может быть повышена тепло- и термостойкость изделий, а также улучшены механические свойства материала изделия.

Увеличение габаритов и усложнение конфигурации изделий из полимерных материалов часто делает невозможным их изготовление за один цикл и в одной технологической оснастке. Это приводит к необходимости изготовления отдельных элементов (деталей) изделия и их дальнейшей сборки в единую конструкцию с использованием различных способов неразъемного и разъемного соединения-склеивания, сварки, механической сборки.

Склеивание - создание неразъемных соединений элементов конструкции при помощи клеев. Прочность клеевого соединения определяется когезионной прочностью клея и материала соединяемых элементов, адгезионным взаимодействием клея со склеиваемыми поверхностями, напряженностью клеевого шва, а также технологическими параметрами склеивания.

При сварке элементов конструкций исчезает граница раздела между соединяемыми поверхностями и образуется структурный переходный слой от одного объема полимерных материалов к другому, что обеспечивает создание неразъемных соединений. Сварка полимерных материалов может осуществляться с применением конвекционного нагрева, токов высокой частоты, ультразвука, трения, под действием ИК и лазерного излучения. Прочность соединения зависит от возникающих в переходном слое сил межатомного и межмолекулярного взаимодействия. При сварке термопластов переходный слой образуется при нагреве или при действии растворителя в результате взаимной диффузии макромолекул полимерных материалов, находящихся в вязкотекучем состоянии. При сварке реактопластов соединение осуществляется вследствие химичнеского взаимодействия макромолекул соединяемых материалов между собой или со сшивающим агентом, вводимым в зону сварки (так называемая химическая сварка).

Механическая сборка - способ соединения деталей и элементов конструкций с помощью заклепок, винтов, болтов, шпилек, замков, скрепок и т.д.

**2. Применение полимерных материалов**

Применение полимерных материалов нашло широкое применение при постройке и ремонте вагонов и их узлов. Так при ремонте грузовых вагонов и пассажирских, обращающихся со скоростями движения более 160 км/ч для осуществления тормоза, взамен дорогостоящих, более тяжелых чугунных колодок, применяются тормозные колодки и диски изготовленные из композитных материалов. Данные колодки и диски имеют большую эффективность при торможении и исключают образование искр в процессе торможения.

Кроме того, широкое применение полимерным материалам нашлось при ремонте и изготовлении внутреннего убранства пассажирских вагонов. При ремонте дверей, перегородок, надоконных и подоконных панелей, столиков купе, ящиков и шкафчиков в купе отдыха проводников взамен плит ДВП, окрашенных лакокрасочными материалами, применяется облицовка из бумажно-слоистого пластика. Данный материал обладает более высокими эксплуатационными характеристиками, чем нанесенное на ДВП лакокрасочное покрытие.

При ремонте окон взамен деревянных окон применяются современные оконные блоки, изготовленные из алюмопласта. Данные окна обладают значительной прочностью соединений, обеспечивают сохранение температурного режима в салоне вагона. Данные окна не теряют свои свойства при эксплуатации вагонов, исключают необходимость проведения технического обслуживания в межремонтные сроки эксплуатации.

Применение полимерных материалов дало возможность снизить трудоемкость ремонта вагонов, повысить эксплуатационные характеристики составных частей вагонов.