

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Пермский государственный технический университет**

КУРС ЛЕКЦИЙ

**Проектирование технологических процессов производства
изделий из композиционных материалов**

Автор:

доцент кафедры Механика композиционных
материалов и конструкций, кан. техн. наук
Бабушкин

А.В.

Пермь, 2007 г

Проектирование технологических процессов производства изделий из ВКМ

1. Введение и основные понятия

Технология - наука ремесла (греч). Наука о способах и методах переработки сырья, широко использующая для совершенствования производственных процессов положения физики, химии, механики, теплотехники, кибернетики, экономики, организации и планировании производства;

- наука, изучающая способы и процессы получения и переработки продуктов природы в предметы потребления и средства производства.

Обычно конкретную технологию принято расшифровывать следующим образом: "технология . . . чего либо". Однако, число производств и видов продукции неуклонно возрастает. И изложение всех видов отраслей промышленности и всех видов продукции становится невозможным, поэтому в настоящее время в технологии как в науке выявляются общие закономерности для большинства технологических процессов, применяемых в промышленности.

При всей сложности и специфичности методов переработки сырья современное многоотраслевое промышленное производство характеризуется использованием часто повторяющихся типовых технологических приемов и операций:

1. Дробление и сортировка исходного сырья по классам;
2. Процессы нагревания и охлаждения;
3. Химическое взаимодействие;
4. Сушка материалов;
5. Механическая обработка и формообразование;
6. Изготовление неразъемных соединений;
7. Сборка;

8. Контроль качества и др.

Обычно технологические процессы производства делятся на: процессы, базирующиеся на химической технологии (металлургия, отрасли химической промышленности, многие отрасли производящие строительные материалы, отрасли пищевой промышленности и др.) и процессы, базирующиеся на механической технологии (машиностроение, текстильные отрасли, трикотажная промышленность, деревообработка и др.).

Для выявления наиболее эффективных направлений внедрения прогрессивных технологических процессов прежде всего необходимо уяснить и увязать понятия технология и отрасль промышленности.

Основным признаком промышленной отрасли является применение в основном производстве единых типовых методов обработки исходного сырья и материалов (технологий). Таким образом, отрасль промышленности определяют как совокупность промышленных и производственных предприятий, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, изготавливающих продукцию, сходную по своему назначению и сырью, применяющих в основном производстве сходную технологию, использующих для ее (продукции) производства специально подготовленные кадры работников.

Принято подразделять промышленность в целом на 2 группы:

I(A) - производство средств производства;

II(B) - производство предметов потребления.

По принципу воздействия на предмет труда все отрасли делятся на добывающую и перерабатывающую промышленность. К важнейшим отраслям народного хозяйства принято относить машиностроение и приборостроение, химическую и нефтехимическую промышленность, металлургию, энергетику, легкую и пищевую промышленность, текстильную промышленность и т.д. Отрасли промышленности определяют общее направление производства. Само же производство происходит в рамках так называемого производственного процесса.

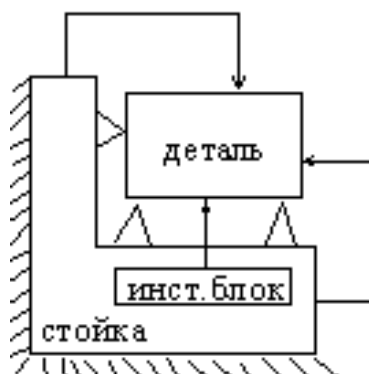
Производственный процесс - совокупность действий, в результате которых исходный материал (сырье или полуфабрикат) превращается в готовую продукцию, соответствующую своему назначению.

Различают основные и вспомогательные производственные процессы, при этом, вспомогательные производственные процессы обеспечивают изготовление продукции или оказание услуг, используемых для обслуживания основного производства. Обычно основной производственной единицей, осуществляющей производственный процесс, является предприятие (фабрика, завод). А элементарной производственной единицей, осуществляющей однотипные действия по отношению к сырью или полуфабрикату, является цех (участок, отдел).

Таким образом, как правило, производственный процесс завода или предприятия разбит на части, выполняемые в отдельных его цехах. При этом степень дискретизации производственного процесса на разных (но однотипных) предприятиях может быть различной (цех стеклопластика может быть разбит на пропиточный, намоточный и термический цехи). Часть производственного процесса, которая непосредственно связана с изменением качественного состояния объекта производства (формы, размеров, физического состояния, механических свойств материала или детали), называется технологическим процессом.

2. Понятие о технологических процессах и принципы их классификации

Каждый технологический процесс может быть расчленен на определенное число типовых технологических звеньев (операций) и представлен в виде некой технологической схемы. В технологических схемах способ производства излагается в форме последовательного описания операций, протекающих в соответствующих аппаратах, машинах или ином оборудовании.



Таким образом, чтобы выявить закономерности, обуславливающие соответствующие технологические взаимосвязи между звеньями технологического процесса, существует дифференциация последнего на составляющие элементы. Часть технологического процесса, выполняемая одним (или несколькими) рабочим над определенным изделием (или совокупностью нескольких одновременно изготавливаемых изделий) непрерывно и на одном рабочем месте, называется операцией. Так как операция характеризуется неизменностью объекта производства, оборудования (рабочего места), и самого рабочего, - и именно эти факторы лежат в основе производственного планирования, организации и учета, то все планово-технические действия и документация ориентированы именно на операцию.

Часть операции, выполняемая при одновременном закреплении изделия или группы изготавливаемых изделий, называется установкой.

При одном закреплении изменение рабочего положения изделия на станке может осуществляться, например, механическим поворотом оправки, шпиндельного блока, шпулярника и т.д. Тогда каждое рабочее положение детали на станке при одном ее закреплении называется позицией.

Часть операции, выполняемая над определенной поверхностью (или объемом материала) при неизменных технологических режимах и рабочих органах станка, называется переходом. Если переход осуществляется одним рабочим органом (агрегатом), то такой переход называется простым, когда переход выполняется одновременно несколькими налаженными рабочими элементами, то переход называется сложным.

Часть технологического перехода, выполняемая при одном перемещении рабочего агрегата станка (или комплекса агрегатов) относительно поверхности объекта производства в направлении подачи, называется **проходом**.

Таким образом, каждый переход состоит из одного или нескольких одинаковых проходов, а также рабочих приемов. Рабочие приемы, относящиеся к операции в целом - независимые.

Рабочие приемы и проходы не имеют характеристик (не несут признаков) технологического процесса, а являются его простейшими этапами, не приводящими к законченному технологическому решению. Поэтому элементарным (конечным) звеном технологического процесса является переход.

3. Принципы классификации технологических процессов

В основе разнообразных способов переработки сырья лежат физические, механические и химические процессы, различающиеся между собой характером качественных изменений и превращений вещества. Такое деление само по себе является классификационным признаком и в то же время оно является весьма условным. Несмотря на условность такой классификации деление процессов способствует типизации процессов технологического производства и облегчает выбор наиболее эффективного способа переработки сырья. Такой выбор зависит от многих факторов: доступность сырья, виды используемой энергии, степени сложности аппаратного оформления, затрат на производственные здания, сооружения и т.д.

В связи с этим классификация основных процессов промышленного производства может быть произведена на основе различных признаков:

1. Способа организации;
2. Вида сырья;
3. Способов и кратности его переработки.

Целью такой классификации является выявление характерных черт, общих закономерностей, основных достоинств, недостатков и путей совершенствования отраслевых технологических процессов.

Так по способу организации технологические процессы делятся на:

1. Периодические (выплавка стали, литье в формы, формование ручной выкладкой в формах) проводятся на оборудовании, которое загружается исходными материалами через определенные промежутки времени, после их обработки полученный продукт выгружается. Недостатки: простой оборудования, нестабильность технологических параметров.

2. Непрерывные (производство цемента, переработка нефти, экструзионное формование) - осуществляются в аппаратах, где поступление сырья и выпуск готового продукта осуществляется непрерывно. Причем, одновременно (параллельно) разные части процесса могут происходить как в разных частях одного аппарата, так и на разных аппаратах.

3. Комбинированные (полунепрерывные) являются сочетанием стадий периодических и непрерывных процессов (поточные линии механической обработки, работа доменных печей, автоматизированные способы формования изделий из полимеров).

Тенденции таковы, что прерывистые процессы переходят в непрерывные.

По кратности обработки сырья различают

- процессы с разомкнутой (открытой) схемой, в которой сырье подвергается однократной обработке;

- и процессы с замкнутой (круговой, циркуляционной, циклической) схемой, в которой сырье или вспомогательные материалы неоднократно возвращаются в начальную стадию процесса для повторной обработки, а иногда и регенерации (восстановления потерянных свойств);

- комбинированные процессы (со смешанной схемой).

Примером процесса с открытой схемой является конвертерный (кислородноконвертерный) способ получения стали, способы получения изделий из ПКМ при использовании термореактивного связующего. Процессы

с замкнутой схемой более компактны чем процессы с разомкнутой схемой, требуют по сравнению с ними большего расходного сырья, вспомогательных материалов и энергию на транспортировку. Примером процесса с замкнутой схемой могут служить циркуляция СОЖ в токарном станке, восстановление активности катализатора при химической обработке нефти. Технологические процессы с замкнутой схемой являются основой для создания безотходных, энергосберегающих и экологичных производств, однако, на сегодня чаще в промышленности применяют комбинированные процессы, являющиеся сочетанием процессов с открытой и закрытой схемой. В таких процессах одни промежуточные продукты получают по открытой схеме, другие по закрытой (мартеновский процесс получения стали - сталь получают по открытой схеме, а доменные газы - по закрытой).

4. Структура технологического процесса изготовления изделий из ВКМ

Структура технологического процесса определяется задачами, для решения которых он проектируется, при этом, при проектировании производства изделий из ВКМ, необходимо решать не только чисто технические, но и экономические задачи. Для проектирования технологических процессов производства изделий из ВКМ в распоряжении технолога должны находиться следующие исходные данные:

1. Рабочий чертеж изделия, в котором должны быть указаны размеры и соотношения, характеризующие геометрию и точность взаимного расположения всех основных и свободных поверхностей;
2. Материал и его основные структурные характеристики (схема армирование, число слоев);
3. Технические требования на ВКМ и развернутая его характеристика (составляющие компоненты, их относительное содержание, структурные

параметры, текстурные характеристики, характеристики исходных мат-лов, их технологические свойства и др.);

4. Технические требования на исходные материалы;

5. Технические требования на готовое изделие и его испытание;

6. Справочные сведения о технологических методах переработки ВКМ и характеристики их технологических возможностях;

7. Данные об оборудовании и технологической оснастке (каталоги, паспорта, альбомы и пр.);

8. Типовые технологические процессы;

9. Производственное задание (программа выпуска) и характер производства;

10. Общая производственная обстановка (наличие оборудования и его состояние, собственные производственные возможности).

Таки образом при проектировании технологических процессов перед технологом стоит ряд задач, решение которых должно обеспечить:

1. Получение ВКМ в готовом изделии с заданными физико-механическими и специальными свойствами;

2. Точность и качество основных поверхностей изделия и точность их относительного расположения(координацию относительно друг друга);

3. Точность, качество и координация относительно друг друга свободных поверхностей изделия;

4. Точность систем поверхностей(основных и свободных);

5. Неизменность(стабильность) геометрии и размеров основных и свободных поверхностей и их взаимной координации с течением времени;

6. Стабильность физико-механических и других свойств ВКМ в заданный период времени;

7. Производство с минимальными затратами и максимальной технико-экономической эффективностью.

Итак, техническая часть вопросов разбивается на 2 группы технологических задач: одна связана с формированием и получением ВКМ, а другая – с формированием системы основных и свободных поверхностей, соответствующей геометрии и точности с заданными характеристиками и качеством. Решение этих технологических задач можно осуществить методом технологической автономности (технологической независимости), либо методом совмещения.

Принцип технологической автономности состоит в том, что сначала обеспечивается получение конструкционного материала с требуемыми физико-механическими и специальными свойствами, а затем из этого материала формируется деталь или изделие (данный принцип часто является основным при производстве изделий из металлов).

Принцип технологического совмещения – процессы получения готового ВКМ из готового изделия технологически совмещены и протекают одновременно, это позволяет существенно сократить технологический цикл и резко удешевить производство, а также часто повысить качество продукции. Этот метод является основным для производства ВКМ.

Основные достоинства метода технологической автономности:

- исключительно высокая точность получаемых основных размеров и соотношений;
- универсальность и маневренность;
- использование универсального оборудования. Метод применим для производства малогабаритных деталей в условиях опытного и мелкосерийного производства.

При использовании того или иного технологического принципа получаются технологические процессы с разными структурами, однако развернутая технологическая цепь (линеаризированная структура) производства изделий из ВКМ имеет яркую общность. Наиболее общая пооперационная линеаризированная структура технологических процессов изделий из ВКМ выглядит следующим образом:

1. Контрольная операция(контроль сырья);
2. Аппретно-термическая операция(например, покрытие с целью пропитки или снятие замасливания выжиганием);
3. Химическая;
4. Пропиточная;
5. Термическая(технологическое отверждение). Предварительное отверждение препрега или отдельных элементов. Операция не является окончательной.
6. Подготовительная. Используется для вспомогательных действий(подготовка оправки, нанесение каких-либо анти-адгезионных слоев, подготовка связующего);
7. Формовочная;
8. Механическая(предварительная);
9. Монтажно-приформовочная;
10. Термическая (отверждение);
11. Слесарно-демонтажная;
12. Механическая (финишное формование);
13. Монтажно-клеевая;
14. Термостабилизационная(кондиционирование);
15. Контрольная;
16. Восстановительная(лакировка).

5.5 Структура технологического процесса в документах

В инженерно-прикладном понимании, в отличие от инженерно-теоретического, технологический процесс – это совокупность инженерных и технических решений системы технологических задач, раскрытых в технологических документах(картах, эскизах, технических условиях, материальных ведомостях, спецификациях и др.) в виде инструкции и технологического регламента, реализация которого обеспечивает безусловное

получение соответствующих изделий с заданными характеристиками качества при минимальных затратах труда для конкретных производственных и эксплуатационных условий. Таким образом под технологическим процессом понимается техническое воплощение поставленных технологических задач, оформленное определенным образом в виде технологической документации в соответствии со структурой данного технологического процесса. Структурой технологического процесса теперь будем называть взаимосвязь и взаимообусловленность переходов и операций, диктуемое определенным решением конкретных технологических задач, оформленное в технологических документах.

В технологической практике находят широкое применение 3 типа документов:

1. Планово-операционная карта(маршрутная карта)
2. Технологическая карта
3. Инструкционно-операционная карта

Планово-операционная карта.

Маршрутная карта составляется на объект производства(конкретный вид продукции детали) и к ней обязательно прикладывается рабочий чертеж детали. В ней дается пооперационный план изготовления детали, то есть показана пооперационная структура технологического процесса с краткой, но достаточной характеристикой необходимых условий его реализации: характеристика цеха, участка, типа и модели оборудования, технологической оснастки, разряда работ, основных технологических режимов, трудоемкости, норм выработки. В планово-операционной карте операции нумеруются в порядке их выполнения кК правило римскими цифрами, а форма записи их наименования – прилагательная. Таким образом, планово-операционная карта содержит все необходимые и достаточные требования для плановых и проектных работ, так как планово-проектные расчеты производятся на операцию, на единицу оборудования, на рабочего, на квадратный метр производственной площади. Планово-операционная карта локальна и емка, не

содержит физико-технологических основ операций технологического процесса,- представляет собой как бы структуру технологического маршрута, поэтому ее часто называют маршрутной картой.

Технологическая карта.

Отражает развернутую структуру технологического процесса(содержит не только операционный план обработки, но также структуру и план каждой операции по элементам выписывается на объект производства(конкретные детали, к ней прилагается рабочий чертеж детали и ее технологические эскизы облегчающие понимание сущности выполняемых технологических элементов(операций, приемов, переходов) для подготовки производства; полностью отражает картину взаимосвязей и взаимозависимости элементарных звеньев технологического процесса(независимых рабочих приемов, проходов и операций). В технологической карте имеются полные сведения о цехе, участке, рабочем месте, оборудовании и оснастке, о разряде работ, нормах времени и выработки по каждой операции а также попереходный план каждой операции, приведены независимые рабочие приемы и их режимы, указано количество проходов, даны основные технологические режимы на эти простейшие элементы технологического процесса и все они нормированы. Технологическая карта применима как для проектных и организационных работ по запуску новых производств, так и для конкретной(практически ежедневной) реализации технологических процессов. Такая универсальность технологической карты накладывает отпечаток на форму записи в ней структуры технологического процесса. Так, для того чтобы в общей схеме технологического процесса просматривался планово-операционный маршрут(то есть то что имеется в планово-операционной карте) запись операций в технологической карте выполняется на тех же началах что и в планово-операционной карте:

1. Операции нумеруются римскими цифрами(перед каждой операцией ставится номер технологического процесса), а наименование операции имеет прилагательную форму;

2. Запись структуры каждой операции производится в повелительном наклонении: “установить оправку”, “нанести адгезионный слой”, “намотать стенку” и прочее. Внутреннее обозначение в операциях(переходах, проходах) такое же как и в инструкционно-операционной карте.

Инструкционно-операционная карта.

Этот документ составляется путем дифференциации технологической карты на систему операционных карт. На каждую операцию технологического процесса выписывается самостоятельный индивидуальный документ, содержащий исчерпывающие сведения об этой и только об этой операции. Он необходим в таком виде для того чтобы:

1. Упростить и ускорить подготовку и запуск технологической операции;
2. Снизить требуемую квалификацию рабочих за счет упрощения чтения технологической документации;
3. Обеспечить жесткую технологическую дисциплину организационными средствами.

Основное назначение – четкая инструкция по реализации конкретной операции с применением конкретной технологической системы(СПИД_станок-приспособление-инструмент-деталь, СПОН_станок-приспособление-оправка-нить и т.д.)

Совокупность инструкционно-операционных карт, предоставленная в порядке их технологического исполнения(альбом) – есть полная структура технологического процесса с развернутым технологическим регламентом, нормированным по элементам, то есть представляет собой как бы написанную на нескольких отдельных листах технологическую карту.

Порядок операционных карт отражает существо планово-операционной карты то есть технологический маршрут.

1. Каждая операция имеет наименование в прилагательной форме;
2. Номер операции(римскими цифрами); наименование и номер операции записывается в так называемой “головке” операционной карты и

представляет собой внешний отличительный маршрутный признак, а внутренним отличительным признаком является попереходная структура операции или ее содержание;

3. Переходы нумеруются арабскими цифрами;
4. Независимые рабочие приемы формируются прописными буквами русского алфавита;
5. Маркировка рабочих приемов и операций переходов сквозная в рамках одной операции;
6. Запись независимых рабочих приемов и переходов выписывается в повелительном наклонении в ясной однозначной форме исключая разночтения;
7. Каждая инженерно-операционная карта имеет самостоятельный операционный эскиз, на котором даются размеры и другие технологические указания, касающиеся только одной этой операции.

Инструкционно-операционные карты – есть производственные рабочие документы, являясь практически единственными на рабочих местах (серийном и крупно-серийном производстве). Таким образом структура технологического процесса в документах представляет собой взаимовложенный набор из трех документов.

5.8 Основные принципы проектирования технологических процессов изделий из композиционных волокнистых материалов

Накопленный практический опыт и теоретические достижения технологии композиционных волокнистых материалов позволили сформулировать ряд основных принципов при проектировании технологических процессов композиционных волокнистых материалов:

1. Принцип структурно-силовых сочетаний:

- исходя из требований технического задания, устанавливаем класс композиционных волокнистых материалов;

- исходя из требований прочности и жесткости и возможных вариантов структуры определяются характеристики армирующей (системы) основы и ряд характеристик технологического процесса (скорость намотки, скорость пропитки и т.п.).

2. Принцип совмещения силовых полей:

- совмещение (по возможности) направления волокон в текстурных слоях материала с направлением силовых линий конструкции. Это позволяет существенно упростить определение многих технологических параметров.

3. Принцип геометрических сочетаний:

- определяются оптимальные геометрические сочетания нескольких систем нитей композиционных волокнистых материалов, при которых удовлетворялись бы как физико-механические, так и конструктивно-технологические качества формируемого изделия.

4. Принцип непрерывности армирования:

- определяет выбор технологического метода намотки нити и формирования законцовок (обрыв нити не должен находиться в зоне краевого эффекта - законцовки).

5. Принцип трансверсального уплотнения композиционных волокнистых материалов:

- уплотнение и прижим формируемой волокнистой стенки к рабочей поверхности технологической оснастки может быть осуществлен одним из перечисленных методов:

- a) Технологического натяжения (нити, ленты);
- b) Метод локального прижима;
- c) Метод гидростатического формования;
- d) Метод интегрального прижима.

6. Принцип силового замыкания:

- принятие технологических мер по сохранению усилия трансверсального уплотнения на этапах технологии, последующих за этапом формования.

7. Принцип равных нагрузений:

- создание тонких конструктивно-технологических условий, при которых все волокна в применяемом композиционном волокнистом полуфабрикате на всех стадиях производства были бы равномерно нагружены (применение крученых нитей, тканей, уменьшение толщины композиционного волокнистого полуфабриката, совмещение метода вытяжки волокна с процессом формирования изделия намоткой и т.д.)

8. Принцип резервирования:

- при проектных разработках (как конструкционных так и технологических) следует стремиться к полнодисперсности структуры и уменьшению толщины “автономного” текстурного слоя. (увеличивая таким образом количество “резервных”-без технологических дефектов-текстурных единиц).

9. Принцип псевдожижения:

- для улучшения формируемости композиционных волокнистых полуфабрикатов и повышения технологических возможностей формирования изделий сложного профиля.

Эффект трансверсального псевдожижения возникает при мокрой намотке, а также при сухой – в случае применения высоких температур для быстрого расплавления связующего в зоне формирования, и при формировании в водном растворе.

10. Принцип скоростной намотки:

- определяет выбор сухого или мокрого способа формирования и метода технологического отверждения композиционного волокнистого полуфабриката.

11. Принцип повышения жизнеспособности композиционного волокнистого полуфабриката:

- позволяет специализировать оборудование и производство;
- расширяет технологические возможности при формировании крупногабаритных изделий;
- позволяет аргументировать метод формирования.

12. Принцип пропитки композиционного волокнистого полуфабриката

- “Необходимо предусмотреть технологические меры для обеспечения стопроцентной пропитки волокнистой структуры” (актуально для растворов компаунда, когда возможна фильтрация компаунда на поверхность волокна, а пропитка – за счет растворителя).

13. Принцип инверсионного копирования:

- точность поверхностей и их взаимного расположения обеспечивается контактным способом (способом инверсионного копирования) и зависит от совокупности силовых факторов формования, внутренних технологических натяжений в композиционных волокнистых полуфабрикатах и матрице, температурно-временных факторов, точности и жесткости технологической оснастки.

14. Принцип получения размеров при свободном формовании:

3 принципиальных разновидности получения размеров:

1) Цепной принцип

Каждый размер – звено последовательной цепи (каждый раз новая базовая поверхность, независимость погрешности звена от других);

2) Координатный принцип

Размеры на операции измеряются от единичной базовой поверхности – погрешность каждого координатного звена не зависит от погрешностей других координатных звеньев;

3) Комбинированный принцип

Сочетает в себе цепной и координатный принципы.

15. Принцип компенсации при формовании:

- используя те или иные методы компенсации и расхода нити (геометрическая, упругая, кинематическая, технологическая) при намотке композиционного волокнистого полуфабриката сложной формы, осуществляют правильный выбор исходного полуфабриката, метода намотки, технологической оснастки и режимов, гарантирующих получение заданных характеристик качества композиционного волокнистого материала при минимальных затратах.

16. Принцип обеспечения точности конфигурации изделий:

- рассматривая конструкцию изделия как синтетический образ, состоящий из совокупности элементарных геометрических поверхностей, задачу обеспечения точности решают в 2 этапа:

- 1) Конструкционные и технологические мероприятия по обеспечению точности формования топологических элементов конструкции;
- 2) Вопросы обеспечения точности “стыковки” элементов.

17. Принцип последовательных уточнений

- изделия сколько-нибудь усложненной формы невозможно качественно изготовить за одну операцию, используя одну СПОН (станок-приспособление-оправка-нить), иначе на каждом шагу есть возможность уточнить ту или иную характеристику качества.

18. Принцип расчленения процесса на технологические стадии

- изредка бывает целесообразно разделять изготовление композиционного волокнистого материала и изделия из него, при этом возможны 2 варианта:

- 1) Изготовление готового композиционного волокнистого материала затем формование изделия;
- 2) Формование волокнистого полуфабриката – затем заполнение каркаса связующим (то есть изготовление композиционного волокнистого материала).

19. Принцип решающей операции:

- в первую очередь при формовании изделия необходимо выполнять ту операцию, на которую наиболее вероятно появление брака.

20. Принцип технологической предпочтительности:

- в первую очередь выполняются те операции и переходы, которые создают при прочих равных условиях наиболее благоприятные технологические условия для выполнения последующих операций.

21. Принцип технологической дифференциации (операции должны быть наиболее простыми)

Метод расчленения операций на несколько более простых

- должен быть рациональным;

- отвечает на вопрос - на какое число операций должен быть разбит технологический процесс (например, намотка толстых оболочек осуществляется послойно; операция термоотверждения - нагрев, отверждение, медленное охлаждение)

22. Принципы концентрации операций и переходов:

- обратный принцип дифференциации (повышаются требования к квалификации рабочих, усложняется технологическая система и её обслуживание)

Существует 3 типа:

1) организационная концентрация – объединение без изменений технологического принципа обработки (например, нагрев в одной теплоизолированной камере);

2) Механическая концентрация – замена нескольких установок позициями, применение более сложных приспособлений, станков и т.п. (ей предшествует организационная концентрация).

3) Технологическая концентрация – совмещение перехода. Меняется технологический принцип, режимы и т.д. (например, продольно-поперечная намотка осуществляется одновременно и т.д.)

23. Принцип приемственности

- использовать опыт

Материальные, энергетические и технико-экономические балансы.

Себестоимость – это выражение в денежном виде затрат, произведенных при изготовлении продукции (на средства производства, оплату труда рабочих, услуг других предприятий, расходы по реализации продукции), а также затрат по управлению производством и его обслуживанию. Различают основные затраты, непосредственно связанные с процессом производства:

- расходы на основные материалы;
- технологическое топливо;
- технологическую энергию;

- покупные полуфабрикаты;
- зарплата основных рабочих;

Также в себестоимость входят и расходы, связанные с обслуживанием процесса производства и управлением. Соотношение и состав отдельных элементов и статей расходов характеризует структуру себестоимости продукции той или иной отрасли, например:

Структура затрат на производство в отраслях промышленности.

Структура себестоимости изменяется под влиянием технического прогресса и совершенствования производства. За счет использования возможностей научно – технического прогресса увеличиваются производственные мощности повышается производительность труда, изменяется структура производства, а стало быть, и структура расходов в себестоимости производства. Однако, в каждый конкретный момент соотношение долей отдельных элементов затрат в себестоимости промышленной продукции дает возможность группировать все отрасли промышленности:

- 1) трудоемкие отрасли (добывающие);
- 2) материалоемкие производства (текстильная, трикотажная, швейная, пищевая промышленность);
- 3) энергоемкие производства (цветная металлургия, ряд отраслей химической промышленности);
- 4) отрасли с большой долей затрат на амортизацию основных фондов (нефтедобыча, электроэнергетика и др.)

Далее заранее определив и наконец из «типов» производств относится процесс можно предполагать структуру затрат. При определении экономической эффективности различных вариантов технологических процессов и выборе оптимального, расходы относящиеся к технологической себестоимости продукции, делят на две группы:

- 1) к первой группе относятся затраты, связанные с выполнением данного технологического процесса и зависящие от технологии производства (расходы на сырье и материалы, зарплату, расходы на амортизацию, ремонт, наладку);
- 2) ко второй относятся затраты, не зависящие от особенностей выполнения данного технологического процесса, следовательно, не влияющие на технологическую себестоимость продукции.

После определения всех затрат, составляющих технологической себестоимости их подразделяют в свою очередь еще на две группы:

1) затраты, зависящие от программы выпуска (количества продукции), группа А.

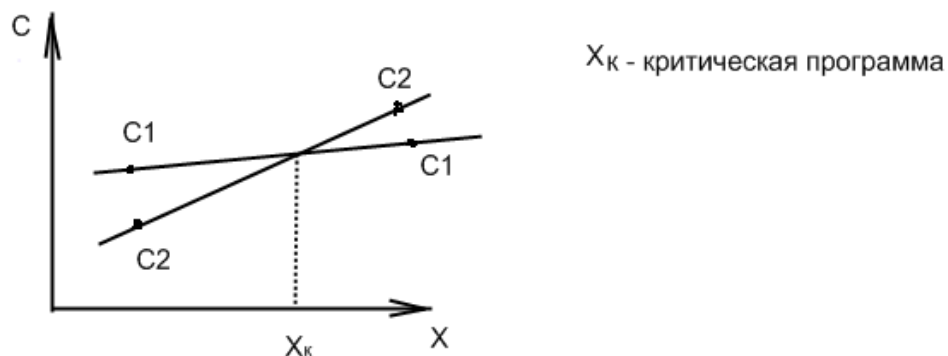
2) затраты, не зависящие от программы выпуска, группа В.

Тогда при годовой программе «х» технологическая годовая себестоимость единицы продукции «С» определится из выражений:

$$C = Ax + B; C_{ед} = A + B/x$$

При оптимизации по параметру себестоимости (т.е. при сравнении вариантов С1 и С2) очевидной является зависимость:

Первый процесс лучше, если $C1 < C2$ или наоборот второй процесс лучше, если $C1 > C2$. Но часто тот или иной вариант технологии (с экономической точки зрения) перестает быть оптимальным (или неоптимальным) при изменении «годовой программы х».



Под технологическим балансом подразумевают результаты расчетов (выражение в виде уравнений, таблиц или диаграмм), отражающих количество введенных и полученных в производственном процессе материалов, энергии и других затрат (их приход и расход). Важнейшим технико-экономическим показателем любой технологии и работы предприятия является себестоимость продукции. Совокупность материальных и трудовых затрат предприятия в денежном выражении, необходимых для изготовления и реализации продукции, называется полной себестоимостью. Соотношение между различными видами затрат, составляющих себестоимость, представляет собой структуру себестоимости. В основе составления материальных и энергетических балансов лежат законы сохранения материи и энергии. В отличие от технико-экономических балансов (себестоимости), материальные и энергетические балансы называют технологическими. Составление технологических балансов производится в две стадии. Сначала составляется материальный, а затем на его основе — энергетический (или тепловой), баланс. Материальный баланс является количественным выражением закона

сохранения массы и применительно к отдельным стадиям производственного процесса означает, что масса веществ, поступившая на технологическую операцию (приход), равна массе полученных веществ (расход). В зависимости от применяемой технологии для расчета материального баланса используются различные соотношения (уравнения суммарных химических реакций; физические законы движения, изменения формы и др.) При этом, в большинстве случаев определение массы вещества производится отдельно для твердой, жидкой и газообразной фазы по выражению

$M_t + M_{ж} + M_{г} = M_t' + M_{ж}' + M_{г}'$, где M_t , $M_{ж}$, $M_{г}$ - твердые, жидкие и газообразные приходы, а M_t' , $M_{ж}'$, $M_{г}'$ - выходы. В практических расчетах используются, как правило, более (изошренных) зависимости. Это обусловлено тем, что на практике часто не всегда присутствуют все три фазы, но зато присутствуют не вступающие во взаимодействие вещества, присутствуют отходы и т.д. Например:

$M_a + M_b = M_c + M_d + M_{\Delta a} + M_{\Delta b} + \dots + M_{\Delta e} + M_{\Delta f} + M$, где M_a , M_b - массы веществ, введенных в процесс, M_c , M_d - массы продуктов, получившегося в результате процесса; $M_{\Delta a}$, $M_{\Delta b}$ - не вступившая во взаимодействие часть; $M_{\Delta e}$, $M_{\Delta f}$ - масса побочных продуктов; M - масса отходов. Уравнения материального баланса составляются в пересчете на единицу готовой продукции, на единицу массы сырья или на единицу времени. Как правило, после проведения расчетов составляют специальные таблицы прихода и расхода, где статьи баланса выражаются не только в весовых или объемных долях, но и в процентах. По этим данным можно рассчитать расход сырья для получения единицы основного или промежуточного продукта, определить фактический выход продукта.

Тепловой (энергетический) баланс является количественным выражением закона сохранения энергии. Равенство прихода и расхода теплоты выражается уравнением общего вида:

$Q_{ф} + Q_{э} + Q_{в} = Q_{ф}' + Q_{п}$, где $Q_{ф}$ - физическая теплота, введенная в процессе с исходными веществами; $Q_{э}$ - теплота экзотермическая и физических переходов из одного агрегатного состояния в другое; $Q_{в}$ - теплота внешних носителей, не принимающих участия в процессе; $Q_{ф}'$ - физическая теплота получаемых продуктов; $Q_{п}$ - потери теплоты в окружающую среду. Слагаемые теплового баланса определяются различными зависимостями (известными), но всегда в этих зависимостях присутствуют масса, например: $Q_{ф} = M \cdot c \cdot t$ - физическая теплота, введенная с исходными веществами или выделенная с продуктами прихода. где M - масса исходного вещества; c - средняя

теплоемкость веществ при температуре их поступления, t – температура исходных веществ. Таким образом, тепловой баланс составляется на основании материального баланса, рассчитывается и оформляется также в виде таблиц. При составлении материального и теплового балансов и технико – экономическом анализе рациональное использование теплоты нередко оказывается решающим фактором при оценке и выборе оптимальных технологий. Вообще, зачем все это надо, материальные и тепловые балансы используются для анализа и эффективного осуществления производственных процессов. С их помощью устанавливают:

- 1) фактический выход продукции;
- 2) коэффициент полезного использования энергии;
- 3) расходы и потери сырья, топлива и др. материалов.

Балансы необходимы для составления рациональных схем технологического процесса; установления оптимальных размеров, мощность и производительности оборудования; а также для принятия решений по совершенствованию работы оборудования, утилизации и регенерации материальных и энергетических ресурсов и т.д. Данные технологических и технико – экономических балансов и выводы из их анализа широко используются (во всяком случае должны) технологии при проектировании новых и улучшений существующих производств.

Типизация, унификация и стандартизация Т.П.

Последовательность подготовки производства определяется комплексом работ, проводимых на традиционно сложившихся этапах: НИР, конструкторская подготовка производства, технологическая подготовка производства. Необходимость сокращения времени на подготовку производства ставит задачу выполнить эти работы не поэтапно, а по возможности параллельно. Так, в частности, необходимо еще на ранних стадиях разработки конструкции изделия иметь ввиду стандартные технологические решения (процессы и операции, схемы базирования, выбор заготовки, типовых маршрутов и т.п.) Зачем это нужно:

— Использование стандартных технологических решений позволяет существенно сократить сроки освоения новой техники при обеспечении высокой стабильности качества произвольных процессов.

— Стандартизация способствует увеличению доли серийного производства, что, в свою очередь, снижает себестоимость производств.

— Применение стандартов на типовые технологические процессы освобождает технологические службы от необходимости заново их разрабатывать, конструировать и изготавливать технологическую оснастку и инструменты.

— Активно разрабатывается САПРы на основе применения ЭВМ.

Единые методические принципы разработки технологических процессов начали внедрять в СССР в восьмидесятых годах, реализуя программу, ЕСТ ПП (единая система технологической подготовки производства). Стандартизация технологических процессов должны предшествовать:

— классификация деталей, методов обработки элементов технических процессов и материальных средств оснащения Т.П,

— конструкторно – технологическая унификация деталей сборочных единиц и технических приемов;

— типизация технологических процессов и их элементов;

Одним из важнейших этапов стандартизации технологических процессов является их типизация – накопление работ, включающий:

— систематизацию и анализ возможных технологических решений при изготовлении изделий каждой классификационной группы (имеется ввиду предварительная классификация изделий);

— проектирование оптимального для данных производственных условий типового процесса изготовления изделий при одновременном решении всего комплекта технологических задач.

Основная особенность типового Т.П. является, общи для группы деталей, имея при этом единый план обработки по основным операциям, однотипное оборудование и оснастку. При разработке типового Т.П, как правило, за основу берется действующий Т.П изготавливается конкретной детали, наиболее полно отвечающий требованиям выбора оптимального варианта для типового представления. В общем случае технология изготовления конкретной детали (изделия) будет отличаться от типового Т.П. В связи с этим типовой Т.П является лишь основой для частных (конкретных) Т.П, - с одной стороны, с другой, - основа для стандартизации.

1) классификация объектов производства;

2) количественная оценка групп объектов производства;

3) анализ конструкций типовых представителей объектов производства по чертежам и техническим условиям, программе выпуска и типу производства;

4) выбор заготовки и методов ее изготовления;

- 5) выбор технологических баз;
- 6) выбор вида обработки (литье, намотка, обработка давлением и т.п.);
- 7) составление технологического маршрута обработки;
- 8) разработка технологических операций;
- 9) расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов типовых Т.П.;
- 10) оформление типовых Т.П.

Таким образом, основными особенностями типовых Т.П. является необходимость классификации изделий и «подгонки» решений Т.П. Частным случаем типизации технологических процессов изготовления изделий является разработка групповых Т.П., которые занимают значительное место в комплексе работ по совершенствованию технологической подготовки производств на принципах ЕСТПП. Документация группового ТП разрабатывается на комплексное условное изделие, которое характеризует группу изделий, различают конфигурацию и обладает их основными конструкционными и технологическими признаками.

Унификация.

Одним из важнейших средств технологической подготовки производства и этапов стандартизации является унификация Т.П. Унификация Т.П. реализуется в основном как разработка и внедрение нормативно технической документации на технологию. В соответствии с положением, установленными ЕСТПП, унификация Т.П. может осуществляться в следующих взаимосвязанных направлениях:

— унификация комплексных технологических процессов изготовления изделий, предусматривающая типизацию процессов повсем видам работ, используемых для изготовления изделия в конкретных производственных условиях (например, литье, пропитка, перемещение намотка, сушка и т.п.);

— унификация технологических производств выполнения отдельных видов работ (например, типизация продуктов намотки для группы изделий);

— унификация отдельных операций обработки изделий.

Основные технологические процессы.

Основные технологические операции определены выше в линейрезированном (унифицированном) списке. В целом их можно сгруппировать и представить в виде набора процессов:

1. Входной контроль исходных материалов на соответствии технологии и ГОСТам.
2. Подготовка армирующего наполнителя к переработке.
3. Приготовление связующего.
4. Совмещение армирующего наполнителя со связующим.
5. Сборка и ориентация слоев армирующего наполнителя по форме деталей.
6. Уплотнение.
7. Отверждение и термообработка.
8. Механическая обработка.
9. Контроль качества изделия.

Входной контроль исходных компонентов.

Играет особую роль в технологическом процессе, т. к. даже незначительное отклонение технологических характеристик отражается на конечных результатах и качестве изделия.

Необходимость входного контроля диктуется еще и тем, что бы вывести этот фактор из разряда случайных, не поддающихся прямому управлению, учету в разряд систематических, позволяющих производить отбраковку, либо необходимую технологическую корректировку.

При входном контроле по действующей на предприятии методике подвергаются проверке наполнители, все компоненты связующего, растворители, аппреты, др. материалы, предусмотренные технологическим регламентом.

Целью входного контроля является также установление конкретных значений тех или иных свойств, кроме того, позволяет при необходимости производить селективный отбор.

В отличие от контроля последних, финальных операций, где проверку на соответствие параметров выполняется работниками ОТК, входной контроль является чисто технологической операцией и выполняется производственными рабочими.

Подготовка армирующего наполнителя к переработке.

Включает операции, направленные на подготовку поверхности волокон к совмещению и последующему взаимодействию с полимерными связующими.

К таким операциям относятся:

1. Расшлихтовка.
2. Аpretирование.
3. Вискеризация.
4. Активирование поверхностей.
5. Химическая очистка.
6. Сушка.
7. Подшлихтовка.

Расшлихтовка – это удаление излишнего количества замесливателя с поверхности наполнителя путем прокаливанию при температуре 200 – 400 °С, или пропусканием через растворитель. Для интенсификации и отливки часто применяют ультразвук.

Аpretирование – заключается в нанесении на волокна специальных покрытий, обеспечивающих их переработку в изделия, гидрофобность волокон и химическое взаимодействие с полимерной матрицей.

Вискеризация – выращивание на активных....., нитевидных кристаллов.

Активирование поверхностей - применяется чаще всего для углеродных волокон и приводит к окислению и стравливанию поверхностных слоев волокон.

Химическая очистка – применяется для борных волокон и производится в растворителях или кислотах.

Подшлихтовка – заключается в нанесении на жгуты, ровенги, нити тонкого слоя полимера для защиты от повреждений при переработке (поливиниловый спирт служит чаще всего для этого).

Сушка – производится для удаления влаги отсорбированной на поверхности волокон.

Изготовление связующего.

Связующее, как правило, представляет собой сложный КМ, состоящий из полимерной смолы или смесей, отвердителя, пластификатора, разбавителя или растворителя и др. компонентов.

Применяемые для связующего смолы в исходном состоянии представляют собой либо твердые вещества, либо жидкости, вязкость которых зависит от природы полимеров и, главным образом, его молекулярного веса. Для придания необходимой вязкости в полимер входят растворитель или разбавитель, в зависимости от природы полимеров. Также для достижения необходимой вязкости используют нагревание до определенной температуры.

В ряде случаев, для повышения технологической вязкости связующего композиции добавляют нелетучие жидкости, которые в последствии присушки (отверждения) не могут быть экстрагированы и остаются связующим.

Такие композиции в зависимости от раствора называются компаундами.

С течением времени вязкостные характеристики растворов, расплавов, компаундов меняются. Период, в течении которого технологические свойства связующего остаются в допустимых пределах, называется жизнеспособностью.

Для оптимизации технологических процессов не желательно применять как высоколетучие (ацетон), так и труднолетучие (толуол – дибутил), как правило, не применяют смеси (спиртоацетоновую, толуол – спиртовую).

Совмещение наполнителя со связующим.

Производятся следующими способами:

1. Нанесением раствора или расплава связующего на поверхность армирующих волокон при прохождении их через жидкое связующее.
2. Нанесение связующего с помощью пульверизатора.
3. Пропитка под вакуумом или давлением, когда связующее продавливается или просасывается через наполнитель.
4. Напыление на поверхность порошка связующего и последующая пропитка расплава при прокатке горячими роликами.

Для улучшения пропитки связующего применяют принудительные приемы: например, наложение ультразвука или с помощью роликов.

Если используемые связующие обладают достаточной жизнеспособностью, то после совмещения с армирующим материалом, полученный материал (препрег) подвергают тепловой обработке для удаления растворителей, летучих, и приданию материалу липкости для дальнейших технологических операций.

Сборка и ориентация слоев наполнителя по форме деталей.

Зависит от геометрии деталей и формы текстильной наполнителя. При использовании тканей широких лент или при формировании деталей сложной формы применяют ручную выкладку.

Для изготовления изделий из препрегов используют специально выкладочные станки-автоматы с программным управлением.

Для изготовления деталей, имеющих форму вращения применяют намотку жгутом, ровенгом, лентой.

Уплотнение. Отверждение. Термообработка.

Уплотнение КМ, обеспечивающее заданное соотношение компонентов осуществляется прессовыми методами. При изготовлении листовых материалов это осуществляется либо между плоскими плитами, как правило, подогреваемыми, либо специально подогреваемыми пресс-формами. При выкладке и намотке уплотнение осуществляется подогреваемыми роликами.

При изготовлении профилей различной формы сечения ориентация осуществляется протяжкой или пультрузией.

Ориентация и уплотнение лент различного профиля осуществляется ролтрузией.

При изготовлении крупногабаритных деталей сложной формы применяют методы, обеспечивающие равномерную передачу давления по всей поверхности деталей:

К ним относятся:

1. Вакуумное формование.
2. Автоклавное.
3. Гидроклавное.
4. Пресскамерное.

При этих методах формования давление воздуха и жидкости на уплотняемый материал передается через специальный эластичный мешок. Для достижения температуры необходимой для отверждения связующего наряду с нагревом применяют нагревание токами высокой частоты, инфракрасный нагрев, радиационное отверждение потоками ускоряемых электронов. Длительность, температура и режим определяются типами связующего.

Механическая обработка.

Технология изготовления деталей из КМ строится таким образом, что бы избежать механической обработки, которая неизбежно приводит к перерезанию волокон, а, следовательно, к снижению несущей способности конструкции.

В отличие от метода обработки при механической обработке КМ необходимо учитывать:

1. Анизотропию механических свойств.
2. Низкую, как правило, сдвиговую прочность.
3. Низкую, как правило, трансверсальную прочность.
4. Образивное действие КМ на основе углеродных, борных волокон, а также и стеклянных.
5. Низкую теплопроводность органоволокнитов, затрудняющих отвод тепла из зоны волокнитов.

Волокнистые КМ обрабатывают алмазным инструментом или инструментом со вставками из сверхтвердых материалов. Перспективной является гидроструйная и лазерная обработка, особенно при раскройных операциях бороволокнитов.

Склеивание сборочных узлов.

Является контролируемым и управляемым процессом соединения.

Преимущества:

1. Возможность соединения разнородных материалов.
2. Высокая удельная прочность соединения.
3. Высокое сопротивление усталости.
4. Высокая виброустойчивость.
5. Низкая масса.
6. Высокое сопротивление и знакопеременным нагрузкам.
7. Низкая стоимость изготовления.

Недостатки:

1. Низкий температурный диапазон эксплуатации.
2. Незначительное сопротивление отслаиванию (УУКМ).
3. Длительное время отверждения клеев.
4. Необходимость специальной подготовки поверхностей склеивания.
5. Сложность соединения поверхностей сложной конфигурации.
6. Быстрое старение клеев.

Для склеивания контактирующих поверхностей применяют: эпоксидные клеи, флексоны, фенольные клеи, полиуретановые, пластизольные.

Получило развитие производство высокопрочных пленочных модифицированных клеев. Для конструкций, работающих при температуре до 180 °С в условиях ударных нагрузок и высокой влажности применяют высокотехнологичные клеи на основе эпоксидных олигомеров, модифицированных низкомолекулярным каучуком.

Двух компонентные клеи могут отверждать без нагревания.

Особенность – высокая скорость отверждения.

Флексоны - представляют собой клеи на основе акриловых смол.

Особенность – способность противостоять значительным кратковременным нагрузкам.

Однокомпонентные полиуретановые клеи – способны отверждаться даже при температуре 0°С. Их применение не требует специальной обработки поверхностей. Интервал рабочих температур от -60°С до +120°С.

Клеи на основе полибензолов, полиамидов, обладают повышенной теплостойкостью. Длительная эксплуатация: 250-320°С. Кратковременная: до 540°С.

Недостаток: высокая температура отверждения 260-300°С.

Акриловые и акриловые клеи отверждаются при комнатной температуре, имеют высокую скорость отверждения, не требуют операции перемешивания при приготовлении. К анаэробным клеям тоже самое.

К методам интенсификации процесса склеивания относят:

1. Сшивка исходных материалов под действием теплоты.

2. Сшивка исходных материалов под действием ультрафиолетового излучения.

3. Сшивка исходных материалов под действием рентгеновского излучения.

4. Сшивка исходных материалов под действием гамма – излучения.

5. Сшивка исходных материалов под действием потоков электронов и нейтронов.

При тепловой сшивке часто используют высокую частоту и ультразвук.

Контрольные операции.

При изготовлении деталей включают:

1. Технологический контроль за правильность выполнения операций режимом.

2. Контроль образцов свидетелей, вырезанных из припуска изделия, предназначенный для определения состава КМ и физико-механических свойств.

3. Контроль работы детали неразрушающими методами, позволяющие определить такие дефекты как разориентацию волокон, расслоение, постороннее включение, напроклеи, раковины: рентгеновские, ультразвуковые, люминесцентные.

Важным звеном в технологическом процессе является контроль содержания связующего, температура и давление отверждения.

Производство препрегов.

Препрег – предварительно пропитанный, просушенный материал.

Технологические характеристики препрега.

Препрегу может быть дано следующее определение:

Это предварительно подготовленный, готовый к формованию материал в виде комбинаций.

От загрязнения они с одной или с обеих сторон защищаются легкоудаляемыми пленками.

Для пропитки применяют эпоксидные, полиэфирные, фенольные, кремнийорганические, полиамидные, термопластичные (полисульфоны, полиэфир, эфиркетоны) связующие.

В качестве армирующих материалов применяют стекловолокно, борные, углеродные и высокомодульные арамидные. Они могут быть в виде тканей, лент или тесьмы. Около 80% в мировой практике КМ изготавливаются из препрегов.

Преимущества технологии изготовления на основе препрегов.

1. Возможность массового производства.
2. Получение заранее заданного соотношения наполнителя и связующего.
3. Нет необходимости смешивать смолу с отвердителем и катализатором в процессе формования изделия.
4. Возможность выбирать заранее липкость ленты и ее форму.
5. Увеличение времени хранения при комнатной температуре до нескольких недель, а при температуре до -40°C – 12 месяцев и более.
6. Точное изменение вязкости смолы, что позволяет понизить пористость и обеспечить хорошую связь структуры в целом.
7. Позволяет изменять режимы отверждения и получать необходимые свойства КМ.
8. Понижает опасность токсического воздействия при изготовлении.

Выбор матриц.

Выбор наилучшей матрицы для получения препрега, предназначенного для изготовления детали, может быть сделан только после рассмотрения следующих вопросов:

1. Основные характеристики изделия.
2. Требования к механическим характеристикам.
3. Имеющегося производственного оборудования.
4. Стоимости.

Все связующие, применяемые при изготовлении матриц, разделяют на две группы:

1. Отверждаемые при температуре 170-180°C.
2. Отверждаемые при температуре 120-130°C.

Каждая из этих групп делится на системы с низкой и высокой текучестью.

Смолы первой группы имеют тенденцию к повышенной теплостойкости и устойчивости к действию внешней среды.

Связующие второй группы обеспечивают более низкие производственные издержки из-за большей простоты оборудования.

Типичным представителем матриц второй группы являются эпоксидные смолы. Эпоксидные олигомеры имеют хорошую адгезию к углеродным волокнам, незначительную усадку дают КМ с высокими механическими показателями. Поэтому эпоксидные смолы широко применяются.

Связующие первой группы используют в тех случаях, когда КМ следует придать какие-то определенные характеристики. Чаще всего это требование по термостойкости. Для чего разработана специальная серия полиамидных связующих, позволяющих получить КМ с рабочей температурой 450°C и выше.

Изготовление препрегов.

Препреговая технология – сухой метод формования, предусматривающий пропитку волокнистого материала пластичной матрицей, отверждение ее до состояния, при котором она достаточно стабильна, хранение препрега вместе с

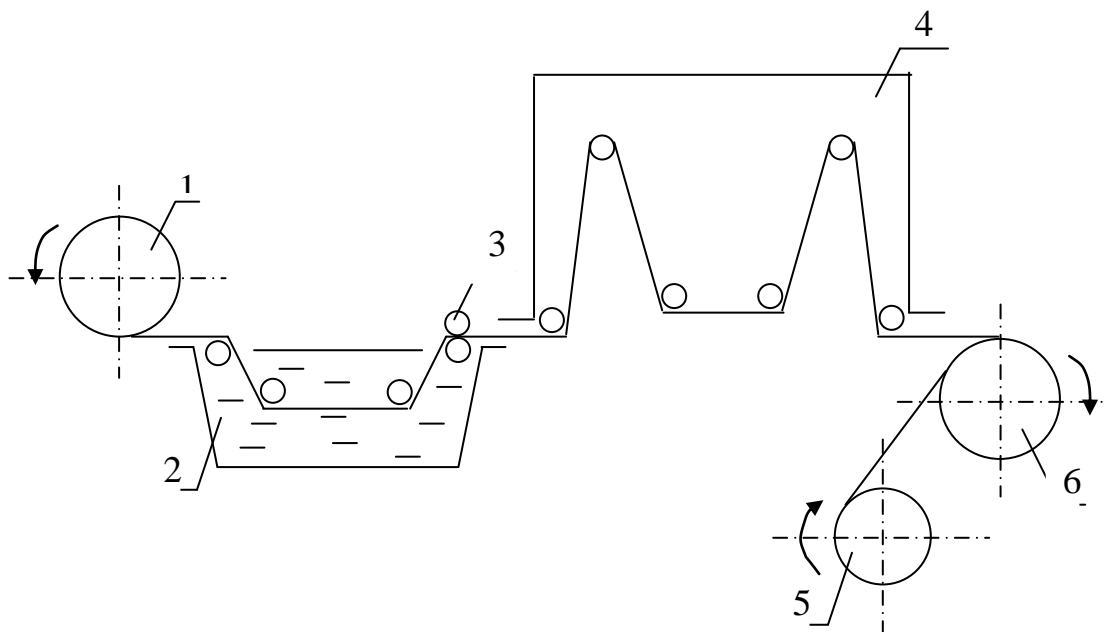
матрицей. При этом, в течение всего срока хранения, препрег должен быть технологичен для переработки изделия.

В препреговой технологии используется разделительная пленка, которая размещается между слоями препрега и должна перемещаться без разрушения волокон, должна приклеиваться к препрегу, но не к кромкам катушки, используемых при хранении.

Поперечная прочность однонаправленного препрега должна быть достаточной, чтобы можно было работать с ним на машине, а также вручную.

Изготовление препрегов осуществляется машинным образом на специальных пропиточных машинах, что позволяет прогнозировать свойства получаемых препрегов.

Схема технологического процесса получения препрега.



1. Катушка с волокнистым наполнителем (лентой).
2. Ванночка со связующим (иногда накладывают ультразвук).
3. Отжимные ролики.

4. Шахта для сушки.
5. Катушка с разделительной пленкой.
6. Устройство для наметки препрега с регулируемой скоростью.

Контроль качества препрегов.

Контролируемые параметры препрегов делятся на две группы:

1. Массовые характеристики.
2. Технологические параметры.

При определении качества препрегов контролируют следующие параметры:

1. Содержание смолы в %.
2. Содержание летучих в %.
3. Липкость.
4. Текучесть.
5. Продолжительность желатинизации.

К массовым характеристикам относится массовое соотношение смолы, армирующих материалов и летучих.

Содержание смолы или армирующих материалов определяется экстракцией растворителя, пиролизом или методом химической идентификации. Содержание летучих определяется неполным пиролизом в стандартных условиях испытания.

Липкость, т.е. величину, характеризующую качество адгезии, определяют экспресс-методом по усилию отдира металлической пластины от поверхности препрега. Уровень липкости можно сформулировать как, при котором препрег остается приклеенным к подложке до определенного заранее усилия отслаивания кг/см^2 .

Если препреги не имеют липкости, значит, что их подготовка доведена до слишком высокой стадии или истек срок хранения. Такие препреги не пригодны для дальнейшего применения.

Исключение составляют кремнийорганические и некоторые полиамидные смолы, которые после подготовки всегда не имеют липкости. Отсутствие липкости в термопластичных препрегах не препятствует их отверждению.

Текучесть определяется количеством смолы, которое можно выдавить из стандартного образца после его отверждения. Результат измерения текучности смолы свидетельствует о ее способности сплавлять последовательные слои, вытесняя газообразные побочные продукты реакции.

Продолжительность желатинизации (время гелеобразования) – это отрезок времени, в течение которого стандартный образец должен находиться между нагретыми плитами, до полного прекращения прилипания смолы к эталонному материалу. Продолжительность желатинизации – показатель, характеризующий степень подготовки препрега.

Состав большинства препрегов позволяет хранить его при нормальных условиях до 80 суток. Срок службы может быть увеличен, если препрег хранить в холодильных установках до температуры -240° .

Основные свойства препрегов.

Например, Препрег, на связующем ЭЛТ 10 характеризуется следующими свойствами:

1. Содержание связующего 40-45%.
2. Содержание летучих 1,5-2%.
3. Содержание растворимой смолы 95%.

Препрег, на связующем ЛБС 4 имеет показатели соответственно: 40-45%; 4-14%; 95%.

Формование изделий из полимерных КМ.

Методы формования и виды применяемых компонентов.

В производстве ПКМ применяют следующие методы формования и виды применяемых при этом компонентов.

1. Выкладка (контактное формование) – ленты, ткани, моты, жидкая смола, а также препреги.

2. Вакуумное формование – препреги, реже сухое волокно и жидкая смола.

3. Автоклавное формование – препреги, реже сухое волокно и жидкая смола.

4. Гидроклавное формование - препреги, реже сухое волокно и жидкая смола.

5. Пресс-камерное формование – только препреги, а так же многослойные конструкции с сотовым наполнителем.

6. Намотка мокрая – сухое волокно и жидкая смола.

7. Намотка сухая – препреги.

8. Термокомпрессионное формование – препреги.

9. Прессование – препреги.

10. Пультрузия – сухое волокно и смола в жидком виде, препреги.

11. Ролтрузия – сухое волокно, жидкая смола, препреги.

12. Инжекционное формование – сухой наполнитель, жидкая смола.

13. Литье под давлением (литьевоe формование) – короткое рубленое волокно, смола в гранулах, пресс-ая//.

14. Центробежное формование – сухое волокно, дискретный наполнитель, смола в жидком состоянии.

15. Формование с помощью спененного слоя – сухой армирующий наполнитель, смола в жидком состоянии.

Из перечисленных методов формирования конструкций из ПКМ в особую группу следует выделить так называемые диафрагменные методы формования, особенностью которых является наличие эластичной диафрагмы или вакуумного мешка, через которые на формируемое изделие передается давление рабочей среды.

Формование эластичными диафрагмами (вакуумными мешками).

Эта особая группа включает в себя следующие методы формования:

1. Автоклавное.
2. Гидроклавное.
3. Вакуумное.
4. Пресскамерное.

В технологическом процессе формования изделий из ПКМ эластичными диафрагмами входят следующие типовые технологические операции:

1. Подготовка поверхности формы путем нанесения противoadгезионного смазочного материала для предотвращения склеивания изделия с формой.

2. Укладка слоев заготовок из сухой ткани, пропитанной смолой, а чаще всего препрега. Число слоев должно обеспечивать нужную толщину изделия.

3. Укладка разделительной ткани для обеспечения разделения вакуумного мешка от формы.

4. Укладка впитывающих дренажных слоев.

5. Укладка эластичной оболочки, герметизирующего жгута по периметру формируемого изделия и установка термопар; проверка мешка на герметичность.

6. Формование (отверждение или полимеризация) при заданных температуре, давлении и выдержки.

7. Управление процессом отверждения с записью на ленте режима термостатирования.

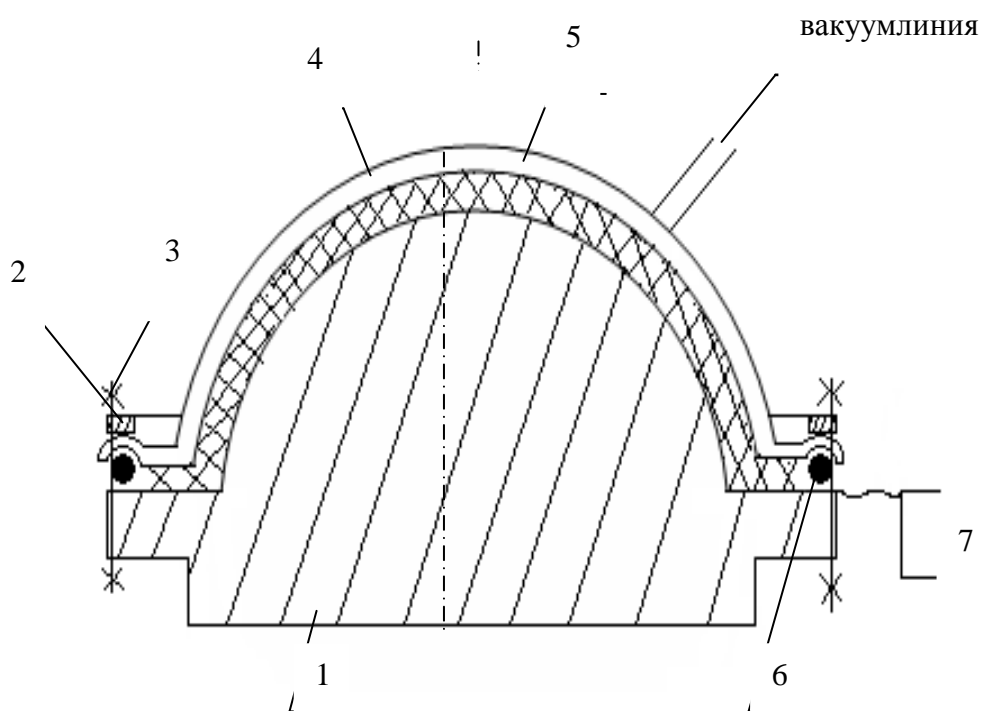
8. Демонтаж вакуумного мешка, снятие изделия с формы и передача на следующие технологические операции:

- обрезка припуска
- контроль
- испытание
- зачистка
- грунтовка
- окраска

- оформление технологического паспорта.

Вакуумное формование.

Сущность: использование внешнего атмосферного давления величиной до 1 атмосферы для получения из препрега монолитного материала.



1. – форма.
2. – прижим.
3. – зажимное устройство (механическое или гидравлическое).
4. – формируемое изделие.
5. – вакуумный мешок.
6. – уплотнительный жгут.
7. – термопара.

Давление формования достигается отсасыванием воздуха, содержащегося в объеме между формирующей поверхностью препрега и вакуумным мешком, прилегающим к форме. Для этой цели используются вакуумные насосы. Для отверждения в этом случае обычно используют печь, хотя можно использовать

и нагреваемую форму. Все зависит от условий. Этот метод особенно эффективен, так как не требует дорогостоящих автоклавов, гидроклавов, и прессов, но качество формуемых изделий из-за низкого давления формования существенно ниже, чем при гидроклавном, автоклавном и пресс-камерном формовании.

Автоклавное формование.

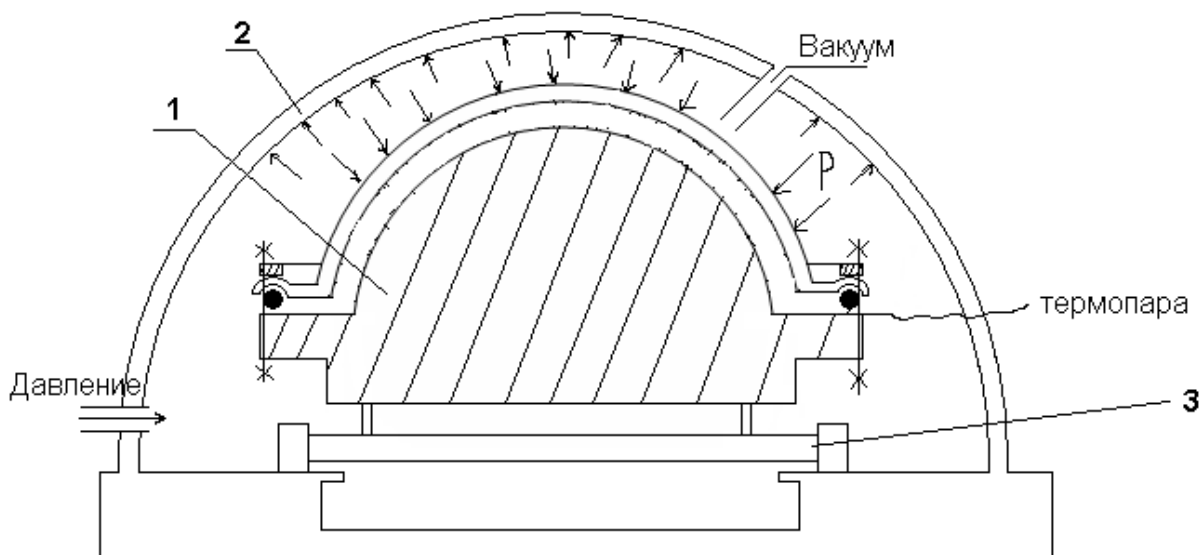
Препрег или многослойный пакет из препрега выкладывают на форму, герметично упаковывают в вакуумный мешок и помещают в автоклав.

Давление прессования создается паром, горячей водой,или сжатым воздухом, если давление прессования передается с помощью жидкости (глицерин), то этот метод называется гидроклавным.

Обогрев осуществляется паром, горячей водой, рабочей жидкостью или обогревателями, расположенными в форме.

Заготовка формуется при всестороннем равномерном давлении $P = 0,5$ - 1 Мпа, в зависимости от имеющегося оборудования.

Давление формования и температурный режим определяются типом ПКМ. Эти два параметра, в конечном счете, определяют качество формуемого изделия. Поэтому они подлежат строжайшему контролю.



1. Форма в сборе с пакетом с формующим изделием и вакуумным мешком по типу вакуумного формования.

2. Автоклав, а в случае использования в качестве рабочей среды глицерина – гидроклав.

3. транспортная тележка, на которой располагается форма.

Способ автоклавного формования отличается тем, что здесь с помощью рабочей среды и через эластичный мешок создается избыточное давление в сочетании с внутренним разряжением. Причем, давление формования распределяется по поверхности формующего изделия равномерно.

Этот способ позволяет проводить процесс отверждения при повышенных температурах, что способствует дополнительному улучшению пропитки за счет вязкости связующего.

Современное автоклавное оборудование позволяет регулировать закон изменения температуры и давления во времени.

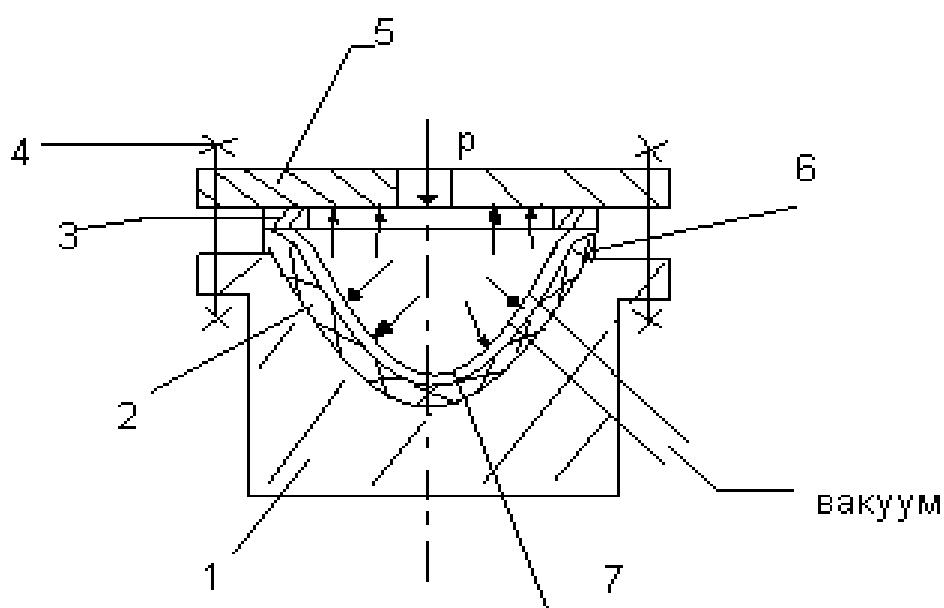
Преимущества:

1. Возможность получения изделия равномерной толщины.
2. Возможность формования крупногабаритных изделий.
3. Высокое качество поверхности изделия.

4. Возможность получения изделия с высокими механическими характеристиками и низкой пористостью.

Необходимо иметь в виду пожароопасность использования вакуумных мешков в случае их разгерметизации, поэтому в качестве рабочей среды применяют инертную газовую среду, в частности азотную, по этой же причине при возможности применяют глицерин.

Пресскамерное формование.



- 1- форма
- 2- формующее изделие
- 3- герметизирующий шнур
- 4- зажимное устройство
- 5- плита прижимная
- 6- термопара
- 7- эластичная диафрагма

При пресскамерном формовании препрег или многослойная заготовка с готовым наполнением располагается в замкнутой полости между жесткой формой и эластичной диафрагмой.

Эластичный чехол передает давление рабочей среды на формуемые изделия. В качестве рабочей среды применяют сжатый воздух, перегретый пар или горячую воду.

Обогрев можно осуществлять также в любом стандартном термошкафу.

В случае применения перегретого пара или горячей воды они являются одновременно и источником давления и термоносителем. Этот способ применяется при изготовлении конструкции с плотной структурой и высокими физико-механическими характеристиками. Особенно он полезен при формовании с сотовым или термопластовым наполнителем (прослойкой).

Этот способ не требует сложного автоклавного оборудования.

Выкладка.

Иногда контактное формование заключается в послойной укладке заготовок в форму. Этим способом можно изготавливать изделие простой формы любых размеров. Однако выкладка в промышленных конструкциях применения не получила, т. к. сложно получить КМ с равномерным и постоянным содержанием связующего. А также трудно получить высокого объемного содержания волокон.

Металл имеет низкие механические характеристики, т. к. невозможно дать необходимое давление при формовании. Способ требует некоторых затрат ручного труда. Улучшить характеристики можно ручной прикаткой некоторого слоя подогретым роликом.

Намотка.

Представляет собой метод формования изделий из композиционных волокнистых материалов путем наматывания нитей, жгута, ленты или ткани вращающуюся, или не подвижную форму оправку, с последующим отверждением на оправке.

Намотка может проводиться как предварительно пропитанным связующим преимущественно термореактивным волокнистым материалом так и препрегом. В зависимости оттого в каком виде применяется волокнистый наполнитель намотка делится на два вида: сухая (когда используется препрег), мокрая (волокнистый наполнитель пропитывается связующим в процессе намотки).

Сухой метод намотки позволяет получить изделие сравнительным распределением по объему оправки препрега. Материал хорошо удерживается на поверхности оправки, не скользит и с большими скоростями намотки, но отформованный материал обладает повышенной пористостью, т. к. летучие не успевают выделяться из объема материала. Кроме того, в местах пересечения лент возникают порой недопустимые утолщения.

Метод намотки изделий состоит из нескольких этапов:

1. подготовка исходных материалов наполнителя и связующего, установка армирующих материалов; заполнение связующим пропитанной ванны;
2. подготовка оправки и установка ее на намоточный станок;
3. намотка, в зависимости от заданной схемы армирования подбирают соотношение расширения оправки и скорости перемещения траверсы, с нитями или жгутами.
4. отверждение (полимеризация) желательно продолжать вращение оправки в избегании стекания связующего, для этой цели при отверждении оправка размещается на вращающемся станке.
5. извлечение оправки из изделия, способ зависит от конструкции оправки: песчаная – вымывание горячей водой, гипсовая – разбивание.
6. окончательная отделка изделия.

Методы намотки позволяют:

А) выбрать оптимальную структуру материала в зависимости от свойств конечного изделия.

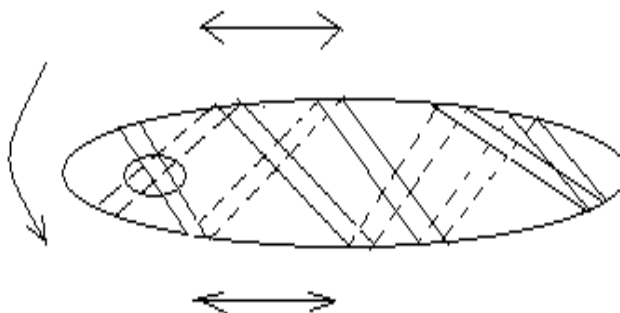
Б) максимально реализовать высокую прочность наполнителя и получить изделия с хорошими характеристиками.

В) автоматизировать процесс формирования и получить изделие со стабильными свойствами.

По способу укладки волокон наполнителя методы формирования намотанных изделий подразделяются:

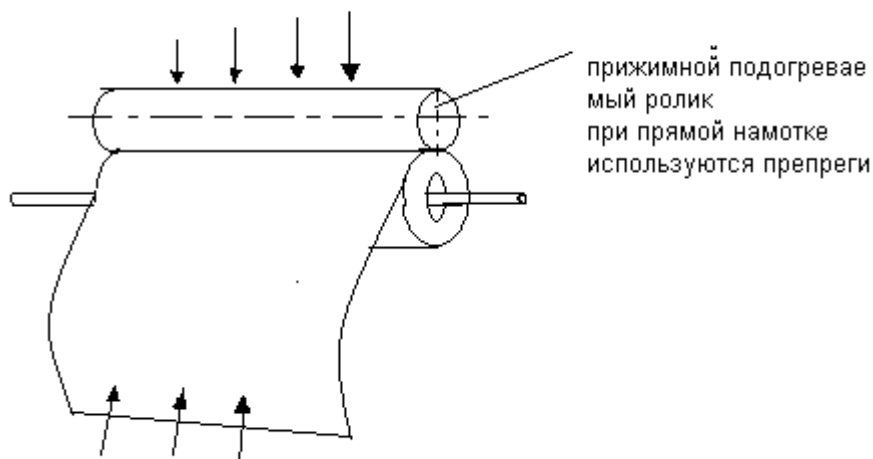
1. прямой метод.
2. спиральную или геодезическую иногда спирально – винтовую намотку.
3. продольно – поперечную.
4. косослойную продольно – поперечную
5. всевозможные сочетания четырех.

В особую группу следует выделить метод трубочных изделий, так называемый метод поворотных столов.



Метод прямой намотки.

Этот метод позволяет формулировать цилиндр оболочки из тканей и других волокнистых наполнителей. Конусные и фасонные оболочки из трикотажно - сетчатого наполнителя. Этот метод применяют, когда длина изделия равна ширине используемого полуфабриката.



Спиральная или геодезическая намотка.



Осуществляется путем укладки армирующего материала, пропитанного связующим, спиральными линиями.

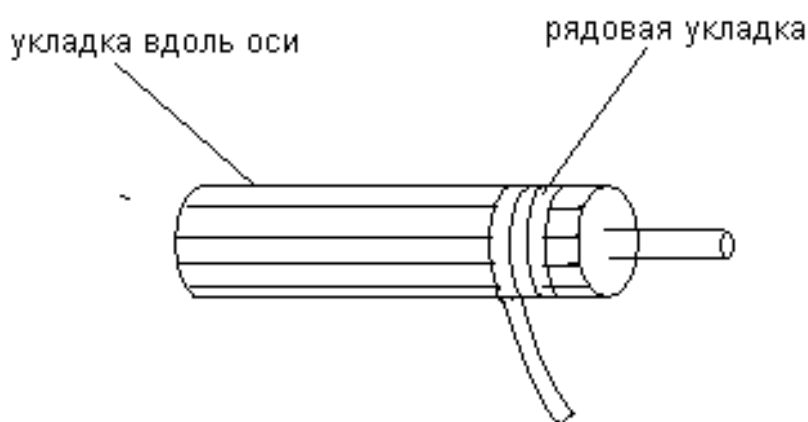
Существуют разновидности спиральной намотки: продольно-спиральная, поперечно-спиральная, выбираются в зависимости от характера нагружения. После первого витка лента наматывается на оправку, образует спиральную или близко к ней линию. Второй виток имеет определенное смещение относительно первого. С помощью точной техники заполняются промежутки между витками.

Нить наматывается под требуемым углом путем смещения оси оправки, или наклона оправки по отношению к оси намотки. Как правило намотку осуществляют лентой, которая перед укладкой на оправку формируется в

формующе-пропитачном тракте. Одним из условий высококачественной намотки является значительное контактное давление ленты, которое зависит от силы натяжения. Сила натяжения корректируется изменением диаметра наматываемой заготовки. Эта зависимость описывается формулой.

$N=(T/R)\sin\alpha$; N- контактное давление, T- сила натяжения, R- текущий радиус, α -угол намотки.

Продольно – поперечная намотка.



ППН осуществляется однонаправленной лентой, реже нитью, жгутом, ровингом. Формуются этим методом цилиндр кон/ и фасонные оболочки.

При ППН однонаправленных лент, чередуют намотку тангенсальных коаксиальных слоев полуфабриката.

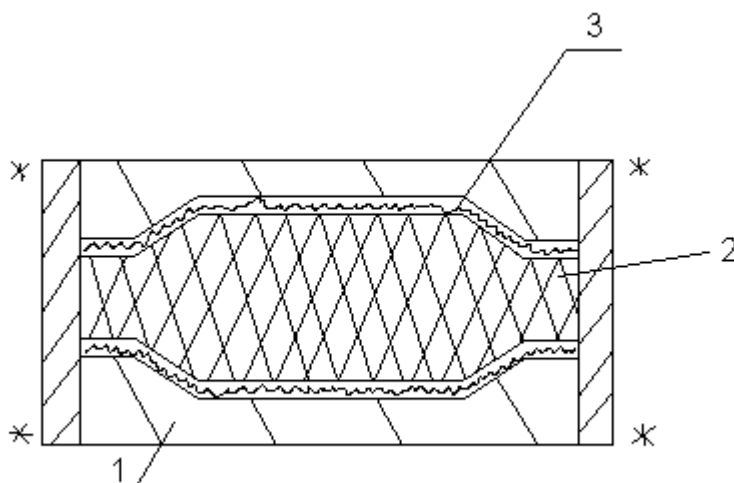
ППН это сочетание кольцевой и полярной намотки.

Метод поперечных столов.

Используются для формования изделий в виде трубок. Однонаправленный или тканевый препрег наматывается на цилиндр между двумя нагревающими столами. Намотка на оправку осуществляется путем относительного смещения столов. В том случае когда требуется изделие формы перемещения столов относительно друг друга. Преимущество этого метода:

1. Простота оборудования .
2. Возможность получать конусные изделия малого диаметра.
3. Использование препрега улучшающего экологию.
4. Простота и высокая производительность технического процесса.

Термокомпрессионное формование.



1. разборная форма
2. рабочий эластичный формующий элемент
3. формируемое изделие

Термокомпрессионный метод формования называют также формованием эластичных элементов или формованием с термическим расширением рабочего тела. Основные элементы оснастки: жесткая форма, эластичный элемент. Свое название метод получил благодаря тому, что в качестве рабочего тела используется силиконовый каучук и другие при нагревании. Вследствие температуры приближенной к деформации и создается давление формования. Применяемые при этом способе формования силиконовые каучуки имеют коэффициент:

При этом способе пакет препрега вместе с эластичным элементом в жесткую оформляющую форму. при повышенных температурах рабочее тело

расширяется в большей степени чем ограничивающая его оснастка, что и дает давление формования.

Преимущество:

1. простота аппаратного обеспечения
2. возможность изготовления изделий сложной формы

Прессование.

Заключается в пластической деформации металла при одновременном воздействии тепла и давления с последующей фиксацией изделия. Проводится в пресс-формах, давление обеспечивается прессами.

Помещается в пресс-форму холодный или разогретый материал, разогревается до нужной температуры в нагреваемых пресс-формах.

Пултрузия.

Процесс, в котором волокна и пластичный материал матрицы одновременно истекают из фильеры, при чем волокна вытягиваются, а пластичный материал матрицы одновременно выдавливается. Этот процесс может быть непрерывным, а поперечное сечение меняется от применения фильеры.

Обычно установка состоит из нескольких модулей, позволяющей объединить следующие стадии этого процесса:

1. пропитка связующим пучка волокон
2. отжим избыточного связующего
3. придание материалу заданного сечения путем протягивания через фильеру
4. отверждение
5. разрезка на элементы заданной длины

Нагрев обычно индукционный, фильер может быть несколько. Для пултрузии используют расплавы смол не содержащих растворителя. Этот процесс прост и полностью автоматизирован.

Недостатки:

1. Скорость процесса ограничена, связано с скоростью отверждения.
2. Трудность обеспечения строго постоянного сечения за исключением простейших форм.
3. В качестве полимерных матриц используют поливиниловые акрилы и эпоксидные смолы.
4. В качестве связующих применяют полисульфоны, полиэфирсульфоны, полиамиды, так как эти связующие обладают высокой термостойкостью.

Наиболее совершенным и перспективным является применением связующим со скрытыми отвердителями полимеризующимися при ультрафиолетовом излучении за доли секунды.

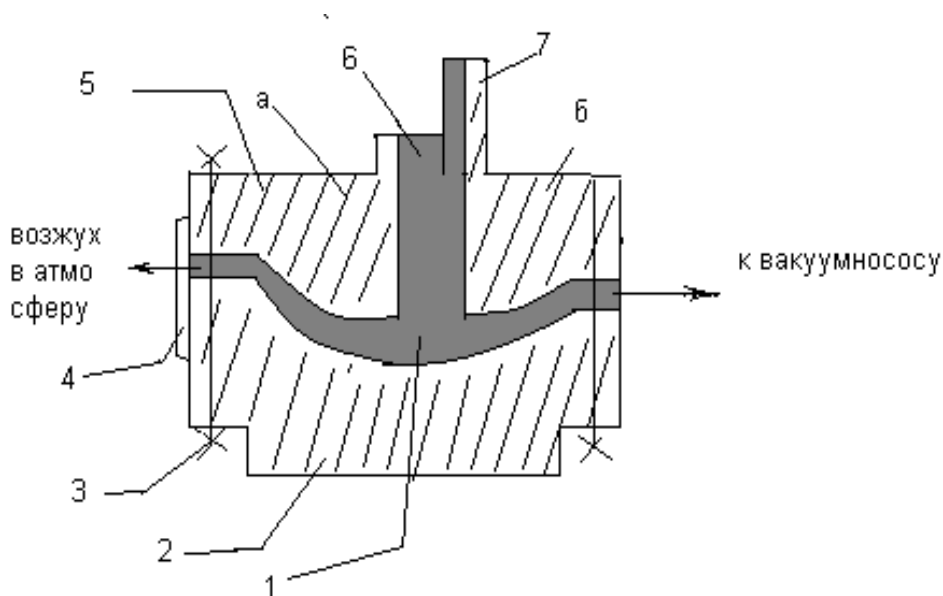
Ролтрузия.

Способ формирования изделия из ПКМ ролтрузией заключается в пропускании препрега между гладкими или фасонными волокнами. При этом способе отверждение и придание необходимой конфигурации в 1 стадию.

Преимущества:

- малая стоимость образцов.
- возможность изготовления крупногабаритных конструкций.
- простота перестройки на произвольной конфигурации.
- высокая производительность (1 м/мин).

При ролтрузии применяются связующие с низкой вязкостью и скоростью отверждения 1.5 мин. Это эпоксидные смолы отверждаются гетероциклическими аминами.



1. формируемое изделие
 2. нижняя форма
 3. зажим
 4. смотровое окно
 5. верхняя форма
 6. патрубок впрыска связующего под давлением
 7. патрубок подачи связующего из резервуара
- (а) метод впрыска
(б) вакуумный метод

Изделие получают предварительно, помещая в форму армирующий материал и впрыскивая затем связующее. Либо методом впрыска (а), либо созданием в рабочей форме вакуума, в этом случае связующем самотеком поступает из резервуара.

Отсюда 2 разновидности: инъекционный – впрыском, инъекционный - вакуумом. Наилучшие результаты когда эти методы совмещены.

Преимущества:

1. сравнительно низкая стоимость пресс-формы и инъекционных устройств.
2. возможность автоматизации прессы
3. экологическая чистота процесса

4. возможность получать крупногабаритные изделия (кузова, корпуса)

Литье под давлением.

Литьевое формование используют для изготовления деталей сложной конфигурации в этой технологии используется исключительно рубленое молоко, как правило предварительно пропитанное связующем пресс-материал. Они занимают среднее место по прочности между изделиями из порошков и изделия с армирующими волокнами. Микронеоднородность структуры вызывает неоднородность свойств(20-30%). В качестве матрицы применяются термопласты. Этот метод используют для получения небольших по размеру, но сложных форм, в которых невысокая степень армирования и произвольная ориентация волокон не препятствует получению требуемых механических характеристик.

1. Выбор пресс - материала зависит от назначения изделия.
2. Степень наполнения отражается на величине усадки и физических характеристик.
3. С дисперсными наполнителями не желательно, так как ведет к низким свойствам.

Центробежное формование (литье).

Сущность метода состоит в том, что полимеры, находятся в вязко-текучем состоянии, подвергаются действию центробежных сил. Под воздействием которых заполняет форму; приобретая конфигурацию и размеры готового изделия.

Этот метод позволяет получать изделия, не содержит пузырьков воздуха и не имеющих пор. В поле центробежных сил, в зависимости от вязкости происходит перераспределение и его миграция к поверхности формы, в результате чего повышается жесткость.

Наличие поля центробежных сил позволяет в наиболее мягких условиях распределять наполнитель по - которому не травмируя его. Это важно для углеродных и борных волокон.

Формование с помощью вспененного слоя (с отжимом связующего)

Процесс проводят следующим образом .

1. С двух сторон пористого полимера (пенопласта) пропитывают полимером, укладывая материал в виде ткани, лент.

2. Пакет помещают в пресс-форму и одновременно с формованием выжимают связующие из пенопласта, который и пропитывает армирующий материал, повышая температуру, отверждают пакет и получают изделия, содержащие в центре слои пенопласта.

Этот процесс характерен простой технологией, позволяет получать легкие трехслойные конструкции. Позволяют получать легкие прочные изделия.

Вспомогательные материалы при формовании ПКМ.

Вспомогательные материалы при формовании ПКМ можно разделить на следующие группы:

1. пленки для создания вакуумных мешков или эластичных диафрагм;
2. герметизирующие материалы из которых изготавливаются жгуты, ленты с двусторонним нанесением липкого слоя для создания контакта пленки вакуумного мешка и поверхностью формы;
3. различные пористые материалы, служащие для создания равномерного давления при вакуумировании мешка обеспечении благоприятной работы;
4. разделительные пленки и смазочный материал, обладающие противoadгезионными свойствами;
5. материалы, применяемые для оформления поверхности в процессе полимеризации сборочного узла (декоративные);

б. материалы для дренажных систем.

Для вакуумных мешков используется специальная резина рабочей температуры до 140 С, ткань, пропитанная смолами для температуры до 180 С, полиамидная пленка для рабочей температуры до 200 С – выполняется на основе синтетических материалов. Для предотвращения искажения элемента в пленки вводят амн. добавки или подвергают поверхность специальной обработке, например коронным разрядом. Термостойкость пленки из нейлона 6-6 до -204 С, из полиамида 6 рабочая температура 200-230 С.

Для герметизации стыков пленок вакуумного мешка при вакуумировании, пресскammerном формовании применяют пленки с двусторонней липкой основой устойчиво работающие при температуре до 170 С, в течении 80 часового цикла.

В качестве формующего материала, создающие равномерное давление в формуемых изделиях, в зонах переходов применяется не отверждаемый синтетический каучук близкий по теплостойкости к силиконовому каучуку. Для уплотнения в углах изделий применяют специальную композицию, вспенивающуюся при температуре автоклавного отверждения.

В качестве разделительной ткани можно применять ткань на лавсановой основе. Для разделения элементов наносят тонкий слой адгезионного вещества например смесь органического воска и поливинилового спирта, может применен в ряде случаях только воск. Перед нанесением противoadгезионного смазывающего слоя поверхность обезжиривают. В производстве для изготовления дренажных систем применяют стеклоткани пропитанные смазочным материалом.

Для оформления наружных поверхностей применяют цулоги, изготавливаемые из алюминиевых $t = 0.5-1.5\text{мм}$ или текстолитовых листов . $t = 0.8-2.5\text{мм}$

Ограничительные рамки, используемые при сборке пакетов, при формовании изготавливают из стеклопластиков и металла.

Конфигурация и высота рамки выбирается в соответствии с формой и размерами изделия. Для вакуумирования при сборке технологических пакетов

используют вакуумные трубки, изготовленные из мягких металлов. Вакуумная трубка перфорируется по всей длине с шагом 10-12 мм, отверстием диаметром 1-4 мм. Термопары для контроля и регулирования режима термостатирования в количестве не менее 2 размещаются технологическом припуске. Концы термопар выводятся через швы вакуумного мешка перед их окончательной склейкой и закрепляются термостойкой липкой лентой.

Оборудование для переработки ПКМ.

Классификация оборудования:

По роду выполняемых технологических операций:

1. оборудование для получения и подготовки материалов и поверхностей;
2. оборудование для формообразования
3. оборудование для отверждения
4. оборудование для контроля
5. оборудование для утилизации
6. оборудование для разделительных операций

Не является строгой, так как оборудование совмещается в едином комплексе, где тот или иной вид оборудования выполняется в виде модуля, осуществляющего операцию в непрерывном технологическом процессе.

Оборудование для подготовки материалов.

Относятся:

1. оборудование для предварительной обработки связующего перед совмещением с наполнителем;
2. оборудование для обработки наполнителя перед совмещением с матрицей;

3. пропитанное оборудование для получения препрегов, для повышения качества используют новые принципы: подготовка связующего, ультразвуковая раскладка наполнителя, сушка с применением физических полей СВЧ, инфракрасный нагрев. Эти установки модульного типа.

Оборудование для формообразования.

Оборудование для формообразования: определяются конструкцией и тиражом выпускаемых изделий. Для изготовления тел, имеющих форму вращения, применяют многокоординатные станки с программным управлением типа СНД, КУ. Для выкладки ленточным препрегом криволинейных и плоских поверхностей применяют выкладочные центры. Выкладочные центры также выполняют операции зачистки обезжиривании нанесение антиадгезионных и клеевых комплексов, механическую обработку поверхностей.

Для непрерывного изготовления труб и профилей различного сечения разработаны установки для получения изделия методом намотки препрегом на термопластическим связующим и пултрузией.

Оборудование для отверждения.

Оборудование для отверждения: применяют печи электрические, аэродинамического нагрева АРП, автоклавы, гидроклавы. Печи электрического нагрева применяют для изготовления изделий небольших размеров. Для изделий больших размеров специально созданы печи аэродинамического нагрева, где рабочая среда нагревается вентилятором. Преимущества: отверждение под давлением атмосферы с одновременным отсосом летучих. Наилучшие результаты получают при отверждение в автоклавах и гидроклавах. Для физических методов отверждения разработаны установки: камеры СВЧ отверждения, установки токовой полимеризации.

Оборудование для разделительных операций.

При обработке готовых изделий традиционным режущим инструментом возможны межслойные разрушения в зоне обработки. При раскромке происходит разламывания краев. Эти проблемы позволяют решить методы основанные на применении лазерного луча, ультразвука, резки водой под давлением. Установки для лазерной резки позволяют производить размерную обработку и раскройную операцию толщиной до 20 мм. Эти станки лазерного типа СЛАП и ЛУР. Установки ультразвуковой резки и комплекса на его основе позволяют резать препреги и пакеты из ПКМ до 4 мм, а готовые конструкции до 15 мм. Для резки хрупких, мягких и липких волокнистых материалов и ПКМ применяют гидроструйную резку. Давление водной струи до 300 атм. Пример: при установке под груз - толщина разрезаемой резины, паролон равна 100 мм.

Оборудование для контроля.

Оборудование для контроля разнообразно, причина предприятие создавало само для своего профиля. В производстве изделий из ПКМ стоят неразрушающие методы контроля качества и физико-механических свойств: контроль сплошности, другие скрытые дефекты осуществляют установками ультразвук и рентгеновского контроля.

Для непроводящих электрический ток применяют СВЧ метод. Преимущество возможность проводить послойное зондирование. Плотность токопроводящих композиций определяют токовихревыми методами. Модули упругости всех родов определяют акустическими методами. Прочность – томографическими методами. Универсальным средством контроля является вычислительный томограф. Для контроля геометрии сложных поверхностей наряду с контактными методами применяют установки с использованием лазерной техники. Применяют автоматизированный комплекс для неконтактного контроля с использованием до 5000 мм с точностью плюс минус 0.05 в любой точке контролируемой поверхности.