

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)
ПРИВОЛЖСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) МАДИ**

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Методические указания
для выполнения курсовой работы
для студентов специальности 23.05.01 Наземные
транспортно-технологические средства

Чебоксары, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ	6
1.1. Понятие полимерных композиционных материалов.....	6
1.2. Классификация ПКМ, применяемых при производстве и ремонте машин.....	7
1.3. Области применения ПКМ в машиностроении	7
Глава 2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	10
2.1. Цели и задачи курсовой работы	10
2.2. Содержание и объем выполнения курсовой работы	10
2.3. Общие сведения о технологической документации, разрабатываемой в курсовой работе	12
2.4. Исходные данные к курсовой работе	12
2.5. Порядок выполнения курсовой работы	12
Глава 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ ИЗ ПКМ	14
3.1. Анализ технологичности конструкции.....	14
3.2. Выбор компонентов ПКМ и определение их свойств при производстве деталей машин	14
3.3. Проектирование технологического процесса производства детали из ПКМ	20
3.3.1. Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих волокнистые наполнители.....	21
3.3.2. Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих дисперсные наполнители	23
3.3.2.1. Технологические методы производства деталей машин из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих	24
3.3.2.2. Технологические методы производства деталей машин из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих	25
3.4. Выбор методов механической обработки деталей машин, изготовленных из ПКМ	25
3.5. Выбор оборудования и оснастки для реализации технологического процесса.....	31
3.6. Разработка технической документации на производство деталей машин из ПКМ	49

Глава 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

С ПРИМЕНЕНИЕМ ПКМ.....	50
4.1. Выбор компонентов ПКМ для восстановления деталей машин	50
4.2. Проектирование технологического процесса восстановления деталей машин с применением ПКМ.....	53
4.2.1. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе тканого наполнителя.....	53
4.2.2. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе непрерывного волокна.....	54
4.2.3. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе дисперсного наполнителя	55
4.2.4. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе гибридного наполнителя	56
4.2.5. Очистка и подготовка поверхности для нанесения полимерного покрытия	56
4.3. Оборудование для восстановления деталей машин полимерными материалами.....	59
4.4. Разработка технической документации на восстановление деталей машин.....	60

Глава 5. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЛИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ

С ПРИМЕНЕНИЕМ ПКМ.....	61
-------------------------------	-----------

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	66
-------------------------------	-----------

ПРИЛОЖЕНИЯ	67
-------------------------	-----------

ВВЕДЕНИЕ

Достижения химии в области синтеза новых полимерных материалов позволили широко применять их в самых различных областях машиностроения. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) удовлетворяют таким противоречивым требованиям, как надежность, простота процесса производства и возможность автоматизации процесса. Одним из важнейших условий конкурентоспособности полимерных композиционных материалов является оптимальное сочетание их технологичности в производстве и применении с высокими эксплуатационными характеристиками (прочностью, жесткостью, износостойкостью) и низкой стоимостью.

Производство и ремонт деталей машин с применением полимерных композиционных материалов позволяет достичь высоких показателей качества изделий, снижения веса деталей и конструкции машины в целом при одновременном увеличении их надежности и ресурса.

Тенденции замещения металлических деталей машин на детали, изготовленные из ПКМ, обусловлены как экономическими, так и социальными факторами. Экономические факторы определяют тенденцию повышения топливной экономичности как легковых, так и грузовых автомобилей, что в настоящее время стало одним из ведущих направлений современного машиностроения. Социальные факторы определяют тенденцию повышения безопасности автомобилей и дорожно-строительных машин (для людей и окружающей среды).

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в машиностроительном производстве является одним из наиболее перспективных путей повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Снижение металлоемкости изделий и, как следствие, массы машины, оказывает существенное влияние не только на экономию материалов, но и энергозатраты на этапе эксплуатации наземных транспортно-технологических средств. Современные методы прочностных расчетов позволяют смоделировать и более точно определить нагрузки на проектируемую деталь, снизить трудоемкость процесса разработки изделий и повысить качество машиностроительной продукции в целом.

1.1. Понятие полимерных композиционных материалов

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) – это гетерогенные системы, состоящие из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу, физико-механическими характеристиками и разделенных в материале четко выраженной границей, причем одни из компонентов являются армирующими составляющими, а другие – связующими их матрицами [1].

Наполнитель предназначен для упрочнения матрицы (армирования) и позволяет придавать материалу требуемые свойства и уменьшать стоимость детали. Свойства наполнителя оказывают влияние на предел прочности при растяжении, модуль упругости, твердость, коэффициент трения, износостойкость, теплопроводность, а также акустические и электрические свойства. Наполнитель должен обладать большим модулем упругости и хорошей адгезией к используемому связующему ($\tau_{сд} > 20$ МПа) [1].

Связующее в композиции обеспечивает монолитность материала и передачу (распределение) напряжений за счет связывания между собой компонентов наполнителя и связующего, а также обеспечения совместной работы всех моноволокон (или частиц, если используется дисперсный наполнитель). К связующему предъявляются требования

хорошей адгезии к наполнителю ($\tau_{\text{сд}} > 20$ МПа), достижения относительно большого модуля упругости ($E > 2000$ МПа), при этом деформационные свойства должны быть не ниже чем у наполнителя [1].

1.2. Классификация ПКМ, применяемых при производстве и ремонте машин

Классификация ПКМ осуществляется по различным критериальным признакам: по типу связующего, по типу используемого материала, по типу ориентации армирующих компонентов, по назначению, по эксплуатационным свойствам [1].

По типу используемого связующего ПКМ подразделяются на *термопластичные* и *термореактивные* [1].

По типу используемого наполнителя ПКМ подразделяются на *дисперсно-* и *волокнуисто-наполненные*. В качестве дисперсных наполнителей в машиностроительном производстве часто применяются алюминиевые, чугунные, железные порошки и пудра, газовая сажа, молотая слюда, графит и пр. Волокнистые наполнители могут быть как в виде тканей, лент, нитей, жгутов (углеволокно, стекловолокно, углеткани, стеклоткани и пр.), так и рубленых волокон (ровинги) [1].

По типу ориентации армирующих компонентов композиционные материалы подразделяют на изотропные (обладают одинаковыми свойствами во всех направлениях – ПКМ с порошкообразными наполнителями), анизотропные (свойства ПКМ зависят от направления армирующего материала – однонаправленные, слоистые и трехмерно-направленные) и квазиизотропные (обладают изотропными свойствами в объеме всего изделия, но в микрообъемах имеют анизотропные свойства – ПКМ, армированные короткими (дискретными) волокнами).

ПКМ иногда классифицируют по эксплуатационным свойствам: термостойкие, фрикционные, антифрикционные и пр. [1].

1.3. Области применения ПКМ в машиностроении

В настоящее время в области машиностроения для изготовления подшипников скольжения, манжет, уплотнительных колец, прокладок гидравлических систем, скользящих опор, дисков сцепления для точных механизмов, деталей системы нейтрализации газа и пр.

широко применяются ПКМ на основе *фторопласта* [1]. К фторопластам относятся политетрафторэтилен, политрифторхлорэтилен, поливинилиденфторид, а также сополимеры фторпроизводных этилена с фторолефинами, этиленом и др. Широкое применение фторопласта в машиностроении объясняется его термостойкостью (от -70 до $+270^{\circ}\text{C}$), устойчивостью к трению и к воздействию агрессивных сред.

Также широкое распространение среди неметаллических материалов особенно для производства деталей пар трения получил *капролон* – материал конструкционного и антифрикционного назначения. С применением капролона изготавливаются втулки, подшипники скольжения, направляющие и вкладыши узлов трения, работающие при нагрузке до 20 МПа, шкивы, блоки, колеса и ролики грузоподъемных механизмов с тяговым усилием до 30 т, корпуса, кронштейны для различных приборов и автоматов, ступицы колес тележек, шестерни, звездочки и червячные колеса, детали уплотнения (вместо фторопласта) для дозаторов, манжеты для систем высокого давления (до 500 атм.) [1].

Среди ПКМ на основе термопластичных связующих, наиболее часто применяемых в различных областях промышленности, можно выделить следующие материалы: *полиэтилен низкой плотности* (применяется при изготовлении шлангов, заглушек, листов, пленки для упаковки, бочек и пр., а также деталей бытового назначения), *полиэтилен высокой плотности* (применяется при производстве мебельной фурнитуры, вентиляционных коробов, крышек и деталей с повышенными механическими свойствами), *поливинилхлорид* (применяется при производстве труб и шлангов строительного назначения, вибропоглощающих прокладок, уплотнителей широкого назначения), *поликарбонат* (применяется при изготовлении деталей светотехнических приборов, конденсаторной пленки, деталей экстерьера), *полиамиды* (применяются при производстве антифрикционных и электроизоляционных изделий, подшипников, муфт, шестерен, электроустановочной арматуры), *полипропилен* (применяется при изготовлении ручек, гаек и корпусов аппаратуры, фильтровальных тканей, канатов, корпусов аккумуляторов) [1].

Среди ПКМ на основе термореактивных связующих выделяют: *фенопласты* (для производства изделий с повышенными диэлектри-

ческими свойствами, работающих в условиях повышенной влажности, циклических температур и вибраций), *аминопласты* (используется при производстве дуго- и крекингостойких деталей, применяемых в узлах зажигания автомобилей), *стеклопластики* (используются в корпусных деталях), *органопластики* (применяется при производстве изделий с повышенными требованиями устойчивости к воздействию ударных нагрузок), *углепластики* (применяются при производстве конструкционных деталей и изделий самого широкого назначения) [1].

Применение ПКМ в области машиностроения позволяет решить ряд инженерных задач, направленных на снижение металлоемкости изделий и, как следствие, их массы, вибрации, шума, динамических нагрузок, рабочей температуры при повышении коррозионной стойкости и надежности изделий. Возможность создания ПКМ с заранее заданными физико-механическими свойствами обеспечивает оптимальные эксплуатационные свойства деталей машин и позволяет повысить их безотказность и долговечность. В зависимости от поставленных задач можно подобрать ПКМ, отвечающие требованиям условий эксплуатации и обладающие, например, такими свойствами, как высокая эластичность или механическая прочность, относительно низкая удельная масса, термическая и химическая стабильность, оптическая прозрачность или непроницаемость и т.п. [1].

Кроме этого использование в качестве конструкционных материалов ПКМ обеспечивает значительную экономическую эффективность за счет снижения массы изделий, что в свою очередь ведет к снижению энергетических и эксплуатационных затрат на всех этапах жизненного цикла машины, в том числе на этапе утилизации. Особенности строения, структуры и производства ПКМ позволяют выявить резервы по снижению затрат на их утилизацию после завершения этапа эксплуатации [1].

Следует отметить высокую технологичность ПКМ за счет хорошей обрабатываемости неметаллических материалов, их пластичности и более низкой температуры, следовательно, требуются меньшие трудовые и энергетические затраты, уменьшается количество производственных циклов [1].

Глава 2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. Цели и задачи курсовой работы

Целью курсовой работы является изучение методики и приобретение практических навыков решения инженерных задач, связанных с применением интеллектуальных и полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте деталей машин. Курсовое проектирование способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины «Интеллектуальные и композиционные материалы в машиностроении».

В процессе выполнения курсовой работы обучающийся должен разработать единое конструкторско-технологическое решение (КТР), реализуемое в проекте посредством разработки технологического процесса производства или ремонта изделия машиностроения с использованием ПКМ и с учетом требований нормативной и технической литературы. КТР разрабатывается обучающимся на основании выполненного анализа технологичности конструкции производимой или ремонтируемой детали, сведений о свойствах компонентов и конечных характеристиках ПКМ, применяемых технологических методах и оборудования.

В соответствии с действующим учебным планом и программой курсовой проект выполняется на тему «Разработка технологического процесса производства детали (указать наименование детали) из полимерных композиционных материалов» или «Разработка технологического процесса ремонта детали (указать наименование детали) с применением полимерных композиционных материалов».

2.2. Содержание и объем выполнения курсовой работы

Курсовая работа выполняется обучающимся по индивидуальным или комплексным заданиям на бумажном и (или) электронных носителях. Он оформляется в виде расчетно-пояснительной записки (ПЗ) и графической части с инженерными решениями по разработке технологического процесса производства или ремонта деталей машин с применением ПКМ.

Расчетно-пояснительная записка включает в себя следующие элементы:

1. Содержание.
2. Введение.
3. Анализ технологичности конструкции производимой (ремонтимой) детали.
4. Определение свойств ПКМ.
5. Разработка технологического процесса производства (ремонта) детали с применением ПКМ (включает разработку маршрутной и операционных карт технологического процесса).
6. Принятие единого конструкторско-технологического решения (включает обоснование выбора ПКМ и его состава, технологии производства (ремонта) детали и технологического оборудования).
7. Организация контроля качества детали из ПКМ (отремонтированной с применением ПКМ детали).
8. Список используемых источников.
9. Приложения.

В расчетно-пояснительной записке приводятся все необходимые расчеты по определению свойств ПКМ и дается обоснование выбора компонентов ПКМ, технологии производства или ремонта детали с применением ПКМ, технологического оборудования.

Объем расчетно-пояснительной записки курсового проекта составляет 25–40 страниц печатного текста. Графическая часть проекта оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСТД и соответствующих государственных стандартов.

Состав графической части проекта:

1. Рабочий чертеж детали (формат А1, А2, А3, А4) или ремонтный чертеж – при разработке технологического процесса ремонта детали (формат А1, А2, А3, А4).
2. Карты эскизов (формат А4, А3).

Графическая часть проекта, маршрутная и операционные карты технологического процесса размещаются в приложении к пояснительной записке.

Объем комплексного курсового проекта рассчитывается с учетом количества обучающихся, выполняющих проект. Комплексные проекты могут защищаться одновременно двумя группами по тожде-

ственным заданиям (при наличии) в виде деловых игр. Оценка за проект выставляется индивидуально каждому обучающемуся.

2.3. Общие сведения о технологической документации, разрабатываемой в курсовой работе

Маршрутная карта (МК) предназначена для описания технологического процесса, включая контроль и перемещение по всем операциям в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, трудовых и других нормативов в соответствии с установленными формами, и используется для планирования производства [2].

Операционная карта (ОК) предназначена для описания операций технологического процесса изготовления (восстановления) изделий с разделением операций на переходы, с указанием режимов обработки, данных о средствах оснащения, расчётных норм и трудовых нормативов и используется как инструкция в виде карты для случаев анализа приемов работы и норм времени. Формы операционных карт определяются видом выполняемых работ [2].

Карта эскизов (КЭ) предназначена для графической иллюстрации технологического процесса и его элементов. На ней выполняются эскизы, схемы, дополняющие или поясняющие содержание операций, включая контроль и перемещение [2].

2.4. Исходные данные к курсовой работе

Исходные данные к проектированию (ремонту) изделия машиностроения с применением ПКМ представлены в Приложении 1.

Чертеж детали обучающемуся выдает преподаватель.

Исходные данные к курсовому проекту вносятся в задание к курсовому проекту.

2.5. Порядок выполнения курсовой работы

Одним из результатов выполнения курсовой работы является разработка единого конструкторско-технологического решения (КТР).

Единое конструкторско-технологическое решение заключается в генерировании множества вариантов и выборе из этого множества оптимального КТР. Критерием оптимальности является одна (или несколько) основных технических и экономических характеристик (чаще всего, себестоимость, надежность, масса и ряд специальных требований).

Признаками КТР являются: материалы, типы соединений, конструктивно-силовая схема, технологическое оборудование, оснастка и технология формования (при этом каждая из составляющих дополняет и определяет другую).

В конечном итоге на выбор оптимального КТР оказывают влияние два фактора:

- эксплуатационная надежность соединения, которая характеризует качество;
- экономическая целесообразность, которая оценивается через себестоимость.

Глава 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ ИЗ ПКМ

3.1. Анализ технологичности конструкции

Разработка технологического процесса производства детали начинается с анализа назначения и технологичности. Для этого необходимо изучить имеющиеся чертежи, спецификации и технические требования.

Анализ технологичности включает:

- а) описание назначения данной детали (механизма);
- б) возможность и целесообразность упрощения конструкции и замены материала на ПКМ;
- в) возможность применения высокопроизводительных методов формования изделий из ПКМ.

3.2. Выбор компонентов ПКМ и определение их свойств при производстве деталей машин

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) – это гетерогенные системы, состоящие из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу, физико-механическим характеристикам и разделенных в материале выраженной границей, причем один из компонентов является армирующим, а другой связующим (матрицей) [3].

Полимерные композиционные материалы классифицируются по типу используемого армирующего наполнителя или связующего, по схеме армирования, назначению и эксплуатационным свойствам [1]. Наибольшее распространение получили следующие связующие: полиэфир, фенолы, эпоксидные компаунды и смолы, силиконы, алкиды, меламиды, полиамиды, фтороуглеродистые соединения, поликарбонат, акрилы, ацетали, полипропилен, полиэтилен и полистирол [4].

Связующие делятся на *термопласты* (материалы, способные размягчаться и затвердевать при изменении температуры) и *реактопласты*, или *термореактивные смолы* (связующие, в которых при нагревании происходят необратимые структурные и химические

превращения). В настоящее время наибольшее распространение для производства изделий из полимерных композиционных материалов в различных отраслях промышленности получили термореактивные связующие [4].

Наполнители подразделяются на *волоконистые* и *дисперсные*. Волоконистые наполнители, используемые при производстве деталей машин из ПКМ, в зависимости от формы выпуска, условно можно разделить на три группы: ткани различного плетения, непрерывные волокна и рубленое волокно.

Из волоконистых наполнителей при производстве деталей машин наибольшее применение находят стеклянные и углеродные волокна различных марок, которые отличаются оптимальным сочетанием значений прочности при растяжении и модуля упругости. К перспективным волоконистым наполнителям можно отнести кевларовые и базальтовые волокна.

Дисперсные наполнители представляют собой частицы различной формы и размеров органической и неорганической природы. По форме частиц дисперсные наполнители условно можно разделить на следующие группы: пластинчатые (чешуйчатые), кубические (призматические), игольчатые (волоконистые), сферические (капсулы), нерегулярные. По размеру частиц все дисперсные наполнители можно разделить на пять групп: крупные (около 100 мкм), средние (около 10 мкм), мелкие (около 1 мкм), тонкодисперсные (около 0,1 мкм), наночастицы (менее 100 нм).

При выборе дисперсных наполнителей для создания ПКМ следует учитывать следующие свойства: форма и размер частиц (а также разброс частиц по размерам); объемные свойства (плотность, удельная поверхность и др.); диспергируемость в различных средах; химическая стойкость, содержание примесей; физико-механические свойства (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, твердость и др.); теплофизические свойства (коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, коэффициент линейного термического расширения); специальные свойства (оптические, электрические).

Создание ПКМ для изготовления деталей машин наиболее целесообразно проводить в следующей последовательности:

1. Выбор связующего.

2. Выбор предварительного варианта технологии формования.
3. Выбор наполнителя и определение его концентрации.
4. Оптимизация конструкции будущей детали и повторное уточнение типа связующего, наполнителя и технологии формования.

Выбрав компоненты (табл. 3.1–3.4), которые будут использоваться для создания детали, необходимо определить при каком соотношении наполнителя и связующего характеристики изготавливаемого материала получатся наиболее оптимальными.

Наиболее простым способом определения некоторых характеристик ПКМ является так называемое правило смесей (или закон аддитивности). Согласно правилу смесей некая характеристика ПКМ определяется как сумма произведений данной характеристики матрицы на ее объемную долю и данной характеристики наполнителя на его объемную долю.

$$X_K = X_M V_M + X_H V_H, \quad (3.1)$$

где X_K , X_M , X_H – некоторая характеристика ПКМ, матрицы и наполнителя соответственно; V_M и V_H – объемная доля матрицы (связующего) и наполнителя соответственно.

При определении модуля упругости E_K , плотности ρ_K или напряжений σ_K правило смесей будет иметь следующий вид:

$$E_K = E_M V_M + E_H V_H, \quad (3.2)$$

$$\rho_K = \rho_M V_M + \rho_H V_H, \quad (3.3)$$

$$\sigma_K = \sigma_M V_M + \sigma_H V_H. \quad (3.4)$$

Правило смесей выполняется для определения:

- продольного модуля упругости;
- модуля сдвига однонаправленного материала в плоскости волокон;
- прочности при продольном растяжении;
- плотности.

Правило смесей НЕ выполняется для определения:

- поперечного модуля упругости (он определяется жесткостью матрицы и ее объемным содержанием);
- прочности при поперечном растяжении (она определяется прочностью матрицы);

– прочности при продольном сдвиге, когда сдвиговая нагрузка приложена параллельно волокнам (она определяется адгезионной прочностью системы матрица-волокно);

– при низких концентрациях коротких волокон.

Для двухкомпонентных эпоксидных связующих (которые необходимо готовить непосредственно перед использованием), количество отвердителя определяется по формуле (3.5). Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик необходимо соблюдать пропорции отвердителя и смолы.

$$X = k \cdot C, \quad (3.5)$$

где k – стехиометрический коэффициент отвердителя (табл. 3.5); C – содержание эпоксидных групп в смоле, %; X – количество отвердителя в масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидной смолы.

Таблица 3.1

Характеристики связующих при «холодном» отверждении

№	Марка ЭП	Плотность, ρ кг/м ³	Разрушающее напряжение (прочность) при сжатии, $\sigma_{сж}$ МПа	Разрушающее напряжение (прочность) при растяжении, σ_p МПа	Теплостойкость (температура размягчения), t °С	Содержание эпоксидных групп, C %
1	Эпоксидный диановый олигомер ЭД-22	1165	105	58	125	22
2	Эпоксидный диановый олигомер ЭД-20	1165	120	85	140	20
3	Эпоксидный диановый олигомер ЭД-8	1165	115	72	120	8
4	Эпихлоргидрин (ЭХГ)	1165	110	70	100	46
5	Триглицидиловый эфир (ТГЭ)	1165	105	63	100	35
6	Диглицидиловая производная анилина (ЭА)	1165	100	50	90	30
7	Фенилглицидиловый эфир (ФГЭ)	1165	100	55	90	28

Таблица 3.2

Характеристики связующих при «горячем» отверждении

№	Марка ЭП	Плотность, ρ кг/м ³	Разрушающее напряжение (прочность) при сжатии, $\sigma_{сж}$ МПа	Разрушающее напряжение (прочность) при растяжении, σ_p МПа	Теплостойкость (температура размягчения), t °C	Содержание эпоксидных групп, С %
1	Эпоксидный диановый олигомер ЭД-22	1165	153	80	240	22
2	Эпоксидный диановый олигомер ЭД-20	1165	150	110	270	20
3	Эпоксидный диановый олигомер ЭД-8	1165	145	100	165	8
4	Эпихлоргидрин (ЭХГ)	1165	140	100	160	46
5	Триглицидовый эфир (ТГЭ)	1165	134	84	160	35
6	Диглицидовая производная анилина (ЭА)	1165	130	76	140	30
7	Фенилглицидовый эфир (ФГЭ)	1165	130	78	135	28

Таблица 3.3

Характеристики волокнистых наполнителей

№	Наименование наполнителя	Плотность, ρ кг/м ³	Разрушающее напряжение (прочность) при растяжении, σ_p МПа	Теплостойкость (температура размягчения), t °C	Модуль упругости при растяжении, ε МПа
1	2	3	4	5	6
1	Кевлар	1300			
2	Арамидные волокна	1300	600		38000
3	Углеродные карбонизированные волокна	1760		1500	

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6
4	Углеродные графитизированные волокна	1940		2800	
5	Стекланные волокна, тип <i>E</i> (с бором)	2500	3200	860	77000
6	Стекланные волокна, тип <i>E</i> (без бора)	2600	3200	916	80000
7	Стекланные волокна, тип <i>S</i>	2500	4500	1056	90000
8	Стекланные волокна, тип <i>AR</i>	2600	3300	900	72000
9	Стекланные волокна, тип <i>ECR</i>	2700	3000	880	81000
10	Базальтовые волокна	2670		1200	
11	Борные волокна	2100	1300		250000

Таблица 3.4

Характеристики дисперсных наполнителей

№	Наименование наполнителя	Плотность, ρ кг/м ³	Разрушающее напряжение (прочность) при растяжении, σ_p МПа	Теплостойкость (температура размягчения), t °C	Модуль упругости при растяжении, ε МПа
1	Технический углерод (сажа)			1800	
2	Графит природный		30	2000	
3	Графит синтетический		70	2000	
4	Шунгит необработанный	2200	120	1800	0,4
5	Шунгит обработанный	2500	120	1800	100
6	Карбонат кальция CaCO_3				
7	Гидрооксид кремния Si(OH)_3				
8	Гидрооксид алюминия Al(OH)_3	2400			
9	Нитрид бора (BN)	2300			
10	Волластонит ($\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$)	2800		1500	
11	Слюда $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$				
12	Микросферы	380		200	

Таблица 3.5

Характеристики отвердителей для эпоксидных смол

№	Тип отвердителя	Стехиометрический коэффициент, k	Тип отвердителя	Стехиометрический коэффициент, k
«Холодные» отвердители			«Горячие» отвердители	
1	ПЭПА (сорт Б)	0,65	ДДФСД	1,39
2	ДЭТА	0,48	ДДФС	1,44
3	ТЭТА	0,57	бензам АБА	1,53
4	Л-20	2,27	УП-607	4,34
5	С-19	3,86	ФА	3,45
6	Т-19	3,86	МГТФА	3,86

Пользуясь формулой 3.1, необходимо определить, при каком соотношении компонентов (минимум двух составов) получаемые характеристики будут оптимальными. Полученные значения сводятся в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Значения показателей составов ПКМ

Наименование параметра	Процентное соотношение компонентов наполнитель/связующее, %									
	40/60	50/50	55/45	60/40	65/35	67/33	70/30	73/27	75/25	80/20
	Полученные значения									
Плотность										
Разрушающее напряжение при растяжении, ГПа										
Относительное удлинение, %										

По полученным результатам необходимо построить графики зависимости плотности, разрушающего напряжения и относительного удлинения материала от процентного соотношения компонентов.

3.3. Проектирование технологического процесса производства детали из ПКМ

Проектирование технологического процесса производства деталей машин с применением ПКМ включает:

- выбор способа формования;
- выбор способа отверждения;
- определение порядка выполнения технологических операций;

- определение перечня оборудования для выполнения технологического процесса производства деталей машин с применением ПКМ;
- разработку технологической документации производства.

3.3.1. Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих волокнистые наполнители

Процессы производства деталей машин из ПКМ, содержащих волокнистые наполнители, имеют много специфических отраслевых особенностей.

Процессы производства деталей машин из ПКМ, содержащих волокнистые наполнители, существенно образом зависят от формы выпуска наполнителя и типа используемого связующего.

Технологические методы производства деталей из ПКМ на основе волокнистых наполнителей подразделяются на следующие методы:

- методы производства деталей из непрерывных волокон: пултрузия, намотка;
- методы производства деталей из тканых наполнителей: контактное формование (ручное), пропитка под давлением (RTM), вакуумная инфузия, пропитка пленочным связующим (RFI);
- методы производства деталей из рубленых (коротких) волокон: напыление, *GMT (Glass Mat Thermoplastic* – технология получения листового стеклопластика с термопластичным связующим).

При использовании тканых наполнителей, в зависимости от технологии нанесения связующего, значения свойств ПКМ могут отличаться в несколько раз. Выбор технологии зависит от конструкции изделия, условий его эксплуатации, объема изготовления и имеющихся производственных ресурсов.

Волокнистые наполнители имеют ряд поверхностных и структурных дефектов, которые препятствуют хорошему смачиванию связующим. Поэтому волокнистые наполнители перед началом технологического процесса необходимо подвергнуть предварительным операциям по устранению данных дефектов.

При формовании деталей из препрегов (представляющих собой полуфабрикаты – листы тканых или нетканых волокнистых материа-

лов, пропитанных неотвержденными полимерными связующими) первоначально изготавливают препрег, из которого далее методом выкладки на оснастку собирают пакет заданной толщины из тканей с заданной схемой армирования. В заключение проводят процесс отверждения при заданной температуре, давлении и времени.

В машиностроении для удаления поверхностных дефектов используется *технология расшлихтовки* (удаление шлихты и части естественных примесей – процесс термического прокаливания для удаления адсорбированной влаги из тканого наполнителя) и отжига (как правило, используется при производстве ответственных деталей из ПКМ). Кроме того, при подготовке тканых наполнителей для производства деталей из ПКМ, в машиностроении широко используется *технология площения* – технология расплющивания волокна с увеличением его ширины. Данная технология позволяет уменьшить количество волокон в ткани, что приводит к уменьшению стоимости наполнителей. В результате изделия, изготовленные из площеных тканей, имеют меньшую массу.

Основным недостатком данных технологий является необходимость использования специального дорогостоящего оборудования.

Для увеличения адгезионной прочности ПКМ используют *аппреты*. Аппреты представляют собой специальное покрытие (задающее структуру, свойства и протяженность граничного слоя). Аппреты подбирают в зависимости от свойств используемого наполнителя и связующего.

В машиностроении широкое применение в качестве аппретов нашли *органофункциональные силаны*.

Эксплуатационные свойства деталей из ПКМ, помимо типа используемого наполнителя и технологии формования, во многом определяются технологией отверждения связующего.

Технологические методы отверждения деталей машин, выполненных из волокнистых ПКМ, можно условно разделить на четыре группы:

1. *Отверждение при повышенных температурах (горячее отверждение)* в печи или сушильном шкафу. Основным преимуществом данного способа отверждения является простота реализации технологического процесса, однако данный технологический процесс является достаточно энергоемким, требующим применения дорого-

стоящего оборудования, а также существуют ограничения на габаритные размеры детали.

2. *Отверждение при повышенных температурах и давлении в автоклаве.* При данном способе отверждения получают изделия высокого качества, однако данный способ является еще более энергоемким по сравнению с предыдущим, необходимо применение дорогостоящего оборудования и существуют ограничения на габаритные размеры.

3. *Отверждение при повышенных температурах, значения которых в различных частях изделия разные.* Данный способ отверждения позволяет проводить процесс отверждения не полностью, что позволяет на следующих сборочных операциях приформовывать детали друг к другу. Данная технология, как и предыдущие, обладает недостатками: высокая энергоемкость, необходимость наличия дорогостоящего оборудования и ограничения на габаритные размеры.

4. *Отверждение при комнатной температуре (холодное отверждение).* Данный способ отверждения отличается низкой стоимостью и отсутствием ограничений на габаритные размеры. Недостатками данной технологии является длительное время отверждения (около 24 ч) и относительно низкое качество изделий.

Наиболее целесообразный способ получения изделий из ПКМ, содержащих волокнистые наполнители, определяется типом наполнителя и связующего, эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к готовому изделию, степенью оснащенности производства и размером партии деталей.

3.3.2. Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих дисперсные наполнители

При изготовлении деталей машин можно выделить два основных принципа создания дисперсно-наполненных ПКМ.

В первом случае дисперсный наполнитель используется, как вспомогательный материал, который позволяет:

- снизить стоимость получаемых деталей;
- создавать материалы с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Во втором случае наполнитель может выступать в роли основного материала, а полимер используется как вспомогательный, только в качестве связующего (это характерно для высоконаполненных материалов). Это также позволяет создавать материалы с заданным комплексом эксплуатационных свойств (например, абразивные материалы).

Выбор технологии изготовления деталей машин из дисперсно-наполненных ПКМ зависит от:

- 1) свойств используемого связующего (физическое состояние, вязкость (или индекс текучести расплава), влажность, температура плавления, термостабильность расплавов (растворов), усадка и др.;
- 2) типа производства (единичное, мелкосерийное, среднесерийное, массовое);
- 3) габаритов и геометрических особенностей изготавливаемой детали;
- 4) оснащенности производства (имеющегося технологического оборудования);
- 5) экономических факторов.

Технологические методы производства деталей машин из ПКМ, содержащих дисперсные наполнители, определяются в первую очередь химической природой связующего. Различный характер процессов, протекающих при получении изделий из ПКМ на основе термопластичных и термореактивных полимеров, обуславливает отличия в требованиях к технологиям изготовления деталей из данных полимеров.

Свойства изделий, изготовленных из одинакового сырья, могут существенно отличаться в зависимости от используемой технологии формования.

При использовании дисперсных наполнителей каждая система полимер-наполнитель имеет свои особенности, что не позволяет разработать общие рекомендации по разработке типовых технологических процессов производства из них деталей.

3.3.2.1. Технологические методы производства деталей машин из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термопластичных связующих

При использовании термопластичных связующих наибольшее применение находят следующие методы:

- литье под давлением;

- штамповка;
- экструзионно-выдувное формование;
- ротационное формование;
- пневмоформование;
- вакуумформование.

Термопластичные дисперсно-наполненные материалы, используемые при производстве деталей машин, можно условно разделить на несколько классов:

- пластмассы общетехнического и инженерного назначения;
- конструкционные пластики;
- пластики специального назначения.

3.3.2.2. Технологические методы производства деталей машин из дисперсно-наполненных ПКМ на основе термореактивных связующих

При использовании термореактивных связующих наибольшее применение находят следующие методы:

- литье под давлением;
- прессование литьевое (тансферное прессование);
- прессование компрессионное.

Кроме того, в некоторых случаях методы пневмо- и вакуумформования также могут быть использованы при изготовлении деталей машин из ПКМ на основе термореактивных связующих.

ПКМ на основе термореактивных связующих и дисперсных наполнителей можно условно разделить на несколько классов:

- фенопласты;
- эпоксипласты;
- ненасыщенные полиэферы;
- кремнийорганические материалы.

3.4. Выбор методов механической обработки деталей машин, изготовленных из ПКМ

Механическая обработка полимерных композиционных материалов (ПКМ) значительно отличается от механической обработки металлов. В отличие от металлических деталей, изделия из ПКМ механиче-

ски обрабатывают крайне редко. Это связано с тем, что современные способы производства деталей из ПКМ позволяют свести к минимуму необходимость механической обработки (даже отверстия в деталях из ПКМ в ряде случаев можно получать на этапе производства).

Но полностью избежать механической обработки деталей из ПКМ невозможно, особенно при проведении ремонтных работ. Как правило, механическая обработка используется для удаления облоя, подрезки торцов и фланцев, либо при изготовлении резьбовых и крепежных отверстий.

Механическая обработка деталей из ПКМ связана со следующими их особенностями:

1) наполнитель, входящий в состав ПКМ, например, стеклянное волокно, оказывает сильное абразивное воздействие на режущий инструмент, что приводит к его интенсивному износу;

2) относительно невысокая прочность ПКМ при межслоевом сдвиге может привести к расслаиванию под действием сил резания;

3) малая теплопроводность большинства ПКМ приводит к интенсивному разогреву режущего инструмента.

Наиболее распространенными методами обработки ПКМ является *механическая (лезвийная) обработка*. Следует учитывать, что ПКМ на основе различных типов связующих и различных наполнителей существенно различаются между собой по своим свойствам и должны обрабатываться с учетом индивидуальных особенностей состава и структуры. Именно поэтому ПКМ относятся к группе труднообрабатываемых материалов.

Немеханические методы (гидравлическая струйная, электрофизическая, лазерная и др.) при обработке деталей машин из ПКМ в настоящее время практически не используются. Одной из основных причин ограниченного применения немеханических методов обработки деталей из ПКМ является негативное влияние на ПКМ используемых технических жидкостей (в том числе воды) в сочетании с повышенными температурами.

Также при обработке ПКМ по возможности не применяют охлаждающие жидкости, так как они, проникая через поверхностные трещины вглубь материала, могут вызывать возникновение структурных

дефектов и приводить к снижению прочностных свойств ПКМ и существенно ухудшают теплофизические свойства ПКМ. Для охлаждения обрабатываемых деталей из ПКМ, как правило, используют сжатый воздух. При этом струю воздуха направляют в зону резания таким образом, чтобы одновременно обеспечить отвод стружки.

Режимы механической обработки деталей из ПКМ резанием существенно зависят от типа используемого связующего, используемого оборудования, допустимой продолжительности непрерывной обработки и требований к качеству обработанной поверхности. Режимы резания (скорость, подача) устанавливаются в зависимости от обрабатываемого материала.

По уровню обрабатываемости стекло- и углепластики близки по свойствам к малоуглеродистым сталям. В табл. 3.7 для некоторых типов ПКМ приведены рекомендуемые режимы резания и значения получаемой шероховатости (при использовании инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали). Если материал режущего инструмента будет иным, то изменятся и режимы резания.

Таблица 3.7

Режимы резания при механической обработке ПКМ

Химическая природа связующего	Режимы резания		Шерохова- тость R_a , мкм
	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об при точении и свер- лении и мм/зуб при фрезеровании	
1	2	3	4
Точение			
Полиэтилен	90–130	1–10	2,5–8
Фторопласт	25–300	0,25–1	0,8–2
Поливинилхлорид	300–1000	5–10	0,8–2
Эпоксидное связующее + стекловолокно (стеклопластик)	200–400	1–3	8–16
Эпоксидное связующее + углеволокно (углепластик)	300–450	0,5–2	8–16
Фрезерование			
Полиэтилен	300–900	0,15–0,5	2,5–8
Фторопласт	200–250	0,2–0,5	0,8–2
Поливинилхлорид	200–1000	0,1–0,2	0,8–2
Эпоксидное связующее + стекловолокно (стеклопластик)	150–800	0,1–1	8–16
Эпоксидное связующее + углеволокно (углепластик)	300–1000	0,05–1	8–16

Окончание табл. 3.7

1	2	3	4
Сверление			
Полиэтилен	50–100	0,2–0,3	3,2–12
Фторопласт	100–200	0,2–0,4	2,5–8
Поливинилхлорид	12–50	0,3–0,5	2,5–8
Эпоксидное связующее + стекловолокно (стеклопластик)	30–60	0,08–0,25	8–12
Эпоксидное связующее + углеволокно (углепластик)	30–60	0,05–0,1	8–12

При сверлении деталей из ПКМ на основе термореактивных матриц могут иметь место как процессы усадки, так и наоборот (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Влияние размеров деталей на величину их усадки при сверлении отверстий в различных типах ПКМ на основе термореактивных матриц

Материал ПКМ	Усадка, %, при сверлении деталей толщиной, мм		
	1–3	3–5	5 и более
Органопластик	8–18	10–12	8–10
Стеклопластик	15–20	10–15	7–10
Углепластик	6–8	6–8	5–7

Эффект усадки в деталях из ПКМ наблюдается только в том случае, если при сверлении используется кондуктор или накладка. При сверлении без кондуктора, вследствие разбивки отверстий, происходит его увеличение на 0,1–0,2 мм больше номинального диаметра.

На точность обработки при сверлении и развертывании очень существенное влияние оказывает сочетание материалов. Для однородных пакетов (ПКМ-ПКМ) точность выше, чем для смешанных (ПКМ-металл).

Особую сложность представляет механическая обработка деталей из ПКМ на основе термопластичных связующих. Основным ограничением при обработке деталей из термопластов является теплоустойчивость обрабатываемого материала.

При точении термопластов износ режущего инструмента минимальный и с целью увеличения производительности на производстве часто увеличивают скорость резания. Но увеличение скорости резания приводит к увеличению температуры в зоне резания, и если она превосходит допустимую для данного ПКМ, то качество обработанной поверхности снижается, что зачастую приводит к браку.

Инструмент и оснастка, используемые при резании ПКМ, также существенно отличаются от инструмента, используемого для резания металлов.

Основным требованием при резании композитов является острота режущей кромки инструмента, задача которой минимизировать трение между инструментом и заготовкой. Это связано с тем, что во время механической обработки ПКМ резанием, режущая кромка не образует стружку за счет сдвига, как это происходит с большинством металлов, она ломает ПКМ, обычно срезая матрицу и при этом разрушая армирующие волокна (или вызывая их отслаивание).

Из всех методов обработки ПКМ резанием наибольшее распространение получили операции точения (обтачивание, растачивание, подрезание, разрезание и др.), фрезерования и сверления (рассверливание, зенкование, развертывание и др.).

Токарная обработка деталей из ПКМ производится как на стандартных универсальных металлорежущих станках, так и на специальном высокопроизводительном полуавтоматическом и автоматическом оборудовании (в зависимости от типа производства). Более низкая плотность и меньшая прочность на сдвиг и на срез деталей из ПКМ по сравнению с металлами обуславливают при точении небольшие силы резания и малую потребляемую мощность даже при относительно больших сечениях заготовки. Для точения литых и прессованных заготовок, а также стержневых и цилиндрических деталей из ПКМ применяются простые токарные станки с цанговым креплением заготовки и набором зажимных цанг различных конструкций. При массовом выпуске изделий из пластмасс точение осуществляется на прутковых токарно-револьверных полуавтоматах и автоматах, а также на специальном автоматическом оборудовании.

При фрезеровании и обработке кромок деталей из ПКМ оптимальное сочетание качества и производительности позволяет получать использование фрез с пластинами из поликристаллического алмаза (*PCD*-пластинами или твердого сплава с алмазным напылением).

При сверлении отверстий в деталях из ПКМ особую сложность представляет предотвращение скалывания или отслаивания материала при входе и выходе сверла из отверстия. При сверлении отверстий в деталях из ПКМ, помимо получения отверстия с заданными требованиями по точности и шероховатости, необходимо избегать повреждения поверхности около отверстия.

Повышение эффективности операций сверления отверстий в деталях из различных ПКМ может быть достигнуто за счет применения специализированных сверл, соответствующих типу материала. Геометрия сверл должна учитывать специфические требования и особенности обработки различных типов ПКМ. Оптимизация геометрии сверл осуществляется за счет использования различных значений передних углов и углов при вершине. Наилучшее качество отверстий в высокопрочных ПКМ позволяют получать твердосплавные сверла с алмазным напылением, а также со вставками из поликристаллического алмаза. Сверла для сверления отверстий в слоистых ПКМ должны иметь малый угол наклона винтовой канавки, а также полированные канавки на сверле, с подточкой поперечной кромки. При сверлении отверстий в ПКМ следует применять малую подачу, использовать малое усилие подачи сверла и контролировать стойкость сверл (своевременно заменять при затуплении).

Особую сложность представляет сверление отверстий в слоистых композитах с металлическими слоями (например, с титановыми). Используемый режущий инструмент должен быть способен обработать оба типа материалов, используемых в слоистых ПКМ. Переход от полимера к металлу требует корректировки режимов резания для того, чтобы металлическая стружка формировалась и транспортировалась, не повреждая поверхность композита.

Наибольшее влияние на параметры шероховатости и точность механической обработки ПКМ резанием оказывают следующие факторы:

- геометрия обрабатываемой поверхности;
- режимы резания (см. табл. 3.7). Наибольшее влияние на качество и шероховатость готовых деталей оказывает скорость резания и подача: чем больше подача, тем выше шероховатость и наоборот, чем выше скорость вращения заготовки (при точении) тем шероховатость меньше;
- соответствие геометрии инструмента типу обрабатываемой детали. Инструмент следует подбирать таким образом, чтобы его геометрия позволяла обеспечить легкое ненагруженное резание с минимальными силами резания;
- износ инструмента. Режущая кромка инструмента должна быть острозаточенной. Резец должен не мять материал, а резать его. Острота режущего инструмента обеспечивается большими значениями переднего и заднего углов, которые при точении различных материа-

лов определяются экспериментально. При правильно выбранных углах направление равнодействующей силы резания точно совпадает с направлением резания. В этом случае деформации обрабатываемого материала сводятся до минимума, что обеспечивает наилучшее качество обработки и наибольшую точность деталей;

- погрешности станка (в том числе погрешности наладки станка);
- погрешности установки обрабатываемой заготовки на станке.

Наиболее часто данные погрешности возникают при установке тонкостенных деталей. С целью предотвращения деформации тонкие детали необходимо зажимать равномерно по окружности (вместо традиционного зажима их в трех точках).

Таким образом, в условиях единичного и мелкосерийного производства точность обработки обеспечивают индивидуальной выверкой устанавливаемых на станок заготовок и последовательным снятием стружки пробными проходами, сопровождаемыми пробными промерами. Заданный размер получается методом последовательного приближения. В этом случае, как правило, используется «легкое» оборудование с большим диапазоном скоростей, бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и продольных подач, оснащенное устройствами для быстрого разгона и торможения. Точность обработки при единичном и мелкосерийном производстве существенным образом зависит от квалификации рабочего.

В условиях серийного и массового производства точность обеспечивается методом автоматического получения размеров на предварительно настроенном станке. Установку заготовки производят без выверки в специальном приспособлении на заранее выбранные базовые поверхности. Точность обработки в этом случае зависит в значительной мере от квалификации наладчика.

Механическая обработка отвержденных полимеров должна выполняться на рабочем месте, оборудованном местным отсосом [5].

3.5. Выбор оборудования и оснастки для реализации технологического процесса

Механизированную пропитку и сбор тканого наполнителя в многослойные пакеты общей толщиной 4–5 мм осуществляют при помощи пропиточных машин.

Часто для повышения производительности технологического процесса, снижения вероятности ошибки вследствие человеческого фактора применяют метод напыления. Так, напыление приформовочных угольников, осуществляемое механизированным путем, позволяет обеспечить более высокую производительность труда по сравнению с ручным формованием приформовочных угольников вручную из полосок тканого наполнителя. Методом напыления можно получить наружную обшивку, полотнища переборок и другие конструкции с применением в качестве наполнителя ПКМ рубленого волокна.

Для получения деталей вращения (трубчатых изделий) применяют установки для автоматизированной намотки и выкладки волокнистых и тканых наполнителей ПКМ. Первый «робот», предназначенный для укладки сухой ткани рулонного типа, был продемонстрирован американской компанией *Magnum Venus Plastech*. Впервые в России подобное оборудование внедрено на ОАО «ВАСО». Данное оборудование позволяет изготавливать композитные детали длиной до 8 м и диаметром до 3 м [6].

Для облегчения ручной выкладки ткани и сокращения отходов применяются раскройные машины для автоматической резки ткани/препрега, лазерные проекторы *LAP* и *LPT* для контурной проекции при выкладке препрега на технологическую оснастку. Модуль лазерного проецирования позволяет автоматически генерировать данные для проецирования непосредственно из 3D-модели изделий из ПКМ, что значительно сокращает временные издержки, увеличивает эффективность процесса, снижает вероятность дефектов и ошибок и делает управление данными проще. Комплекс «ПО – раскройный станок – проекционный лазер» по сравнению с традиционной выкладкой снижает трудоемкость раскроя примерно на 50%, трудоемкость выкладки – примерно на 30%, повышает коэффициент использования материалов, то есть можно сэкономить от 15 до 30% материала [6].

В табл. 3.9 представлено некоторое оборудование и его характеристики для реализации наиболее распространенных технологий формования изделий из ПКМ.

Таблица 3.9

Примерный перечень оборудования для производства деталей машин из ПКМ

Оборудование	Назначение	Характеристики	Примечание
1	2	3	4
Оборудование для напыления гелькоута			
Оборудование для напыления гелькоута Graco	Установка для нанесения гелькоута с внутренним смешением 16R002	– Производительность насоса материала до 5,7 л/мин – Установка катализатора непрерывно от 0,5 до 3% – Потребление воздуха 800 л/мин, 8 бар	
Установки Graco для напыления стеклопластика	Установка для нанесения стеклопластика внутреннего смешения 16R004	– Производительность насоса материала до 5,7 л/мин – Установка катализатора непрерывно от 0,5 до 3% – Потребление воздуха 800 л/мин	
Оборудование для реализации RTM технологии			
Spartan II	Оборудование с пневматическим приводом и средней производительностью, предназначено для точного смешивания и нагнетания полиэфирной смолы в форму.	– Требования к пневмомагистрали: 7 Бар, 500 л/мин – Производительность: до 9,5 л/мин – Соотношение катализатора: от 0,5% до 4,5% – Установка подогрева материала, оснащение тележкой и мачтой, увеличение длины шлангов	Базовая установка для технологии Light RTM. Установка оснащена: – счетчиком ходов поршня насоса материала для контроля за количеством инжектируемого материала; – системой ACCU-PRESSURE activesensor – эта система исключает возможность превышения давления в форме и гарантирует быстрое и эффективное заполнение формы; – системой промывки ацетоном/продувки воздухом смесительной камеры и инжекционных магистралей.

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
Spartan II Deluxe		– Требования к пневмомагистрали: 7 Бар, 500 л/мин – Производительность: до 9,5 л/мин – Соотношение катализатора: от 0,5% до 4,5% – Установка подогрева материала, оснащение тележкой и мачтой, увеличение длины шлангов	Spartan II Deluxe включает в себя функциональность системы Spartan II, и оснащена: – системой ACCU-SHOT – системой установки перед заливкой инжектируемого количества материала; – системой ACCU-FLUSH – системой автоматической промывки ацетоном/системой автоматической продувки воздухом; – временной системой гелеобразования. Сигнал подается после окончания инъекции через заранее выставленное время, во избежание не промывки инъекционной магистрали.
Spartan II PLC	Оборудование с пневматическим приводом и средней производительностью, предназначено для точного смешивания и нагнетания полиэфирной смолы в форму. Установка Spartan II PLC предназначена для автоматизированного процесса Light RTM с программируемым интерфейсом и сенсорным дисплеем.	– Требования к пневмомагистрали: 7 Бар, 500 л/мин – Производительность: до 9,5 л/мин – Соотношение катализатора: от 0,5% до 4,5% – Установка подогрева материала, оснащение тележкой и мачтой, увеличение длины шлангов	Spartan II PLC/PAC включает в себя функциональность системы Spartan II Deluxe, и имеет: – программируемый интерфейс с сенсорным дисплеем; – возможность программирования до 30 инъекционных программ; – программируемый гель-таймер; – программируемую цифровую настройку промывки ацетоном/продувки воздухом.

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
Spartan II PLC/PAC/RFID	Оборудование с пневматическим приводом и средней производительностью, предназначено для точного смешивания и нагнетания полиэфирной смолы в форму. Установка Spartan II PLC/PAC/RFID предназначена для изготовления большого числа изделий при использовании множества форм. Использование данной установки предлагает производителям наибольшую автоматизацию процесса Light RTM.	– Требования к пневмомагистрали: 7 Бар, 500 л/мин – Производительность: до 9,5 л/мин – Соотношение катализатора: от 0,5% до 4,5% – Установка подогрева материала, оснащение тележкой и мачтой, увеличение длины шлангов	Spartan II PLC/PAC/RFID включает в себя функциональность системы Spartan II PLC/PAC. Использование системы радиочастотной идентификации (RFID) позволяет оборудованию автоматически определять параметры технологического процесса для каждой формы. Каждая форма получает уникальную метку (чип), которая программируется параметрами техпроцесса (количество инжектируемого материала, процентное соотношение катализатора и др.). Эта метка сканируется установкой и автоматически настраивает параметры, исключая ошибки.
Оборудование для реализации вакуумной инфузии			
Мобильная вакуумная станция для вакуумной инфузии TLS100-20	Централизованная вакуумная система для использования на медицинских и промышленных объектах	– Перекачиваемая среда: атмосферный воздух – Температура рабочая: от 5 до 40°C – Температура максимальная: 50°C – Степень фильтрации: < 7мкм – Максимальная скорость откачки (производительность): 18 м³/час – Предельное остаточное давление: 20 мбар – Рабочий диапазон разряжения 10–850 мбар – Нижнее пороговое значение вакуума: 50 мбар – Верхнее пороговое значение вакуума: 250 мбар	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Объём ресивера: 100 л – Максимальная потребляемая мощность системы: не более 0,55 кВт – Параметры сети (напряжение/частота/фазы): 380/50/3 – Уровень шума (приведенный к 1кГц в полосе 1 Гц): не более 69 дБ (А) – Вибрационная скорость: 1,2–1,4 м/сек – Размеры системы центрального вакуума (ДхШхВ), max: 1400х600х1250 мм – Вес системы: 50 кг	
Оборудование для реализации технологии намотки			
Станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели РПН-600ФЗ	Станок предназначен для радиально-перекрёстной намотки стеклопластиковых и металлокомпозитных баллонов и изделий сложной формы.	– Диаметр наматываемых изделий, max: 600 мм – Диаметр наматываемых изделий, min: 100 мм – Длина наматываемых изделий, max: 1500, 2000, 2500 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 500 кг – Дисбаланс оправки с наматываемым изделием, max: 10 кг·м – Количество шпинделей: 1 шт – Количество положений шпинделя: 1 шт – Ход каретки станка, max: 2000, 2500, 3000 мм – Скорость перемещения каретки при намотке, max: 45 м/мин – Скорость перемещения каретки установочная: 60 м/мин – Пределы частоты вращения шпинделя при намотке: 75 об/мин – Пределы частоты вращения шпинделя установочная: 90 об/мин	Намотка возможна на толстостенный металлический или полимерный лейнер. Для намотки длинных изделий, имеющих в основе тонкостенный, предварительно подкачанный лейнер, базовый узел задней бабки заменяется узлом с электропневматической следящей системой растяжения лейнера.

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Скорость намотки (диаметр оправки более 180 мм), max: 70 м/мин – Углы намотки: 7...90 град – Количество независимо управляемых координат (штатное исполнение): 4 шт – Точность геодезической укладки ленты: ± 1 мм – Цена импульса по вращению оправки (ось C): 0,01 град – Цена импульса по перемещению каретки (ось Z): 0,01 мм – Цена импульса по перемещению суппорта (ось X): 0,01 мм – Цена импульса по вращению раскладчика (ось A): 0,01 град – Ширина ленты, max: 40 мм – Натяжение ленты, max: 60 кг – Количество жгутов в шпулярнике: 14 шт – Количество шпулярников: 1 шт – Температура связующего в ванне: 35...70°C – Точность поддержания температуры связующего в ванне: $\pm 5^\circ\text{C}$ – Мощность нагревателя устройства пропиточного: 1,35 ($\pm 5\%$) кВт – Объем ванны пропиточной: • максимальный (пропитка окунанием) 12,5 л • минимальный (пропитка печатным барабаном) 3,6 л – Высота центров бабки шпиндельной и бабки задней от уровня пола: 1200...1450 мм – Габариты станка (ДхШхВ), max: 4500х2000х2200 мм – Масса станка, max: 3000 кг	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
Станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели 400ЛФЗ	Станок предназначен для радиально-перекрёстной намотки стеклопластиковых и металлокомпозитных баллонов и изделий сложной формы.	– Диаметр наматываемых изделий, max: 400 мм – Диаметр наматываемых изделий, min: 100 мм – Длина наматываемых изделий, max: 4000, 3000, 2500, 1500 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 500 кг – Дисбаланс оправки с наматываемым изделием, max: 10 кг·м – Количество шпинделей: 1 шт – Количество положений шпинделя: 1 шт – Ход каретки станка, max: 4500, 3500, 3000, 2000 мм – Скорость перемещения каретки при намотке, max: 45 м/мин – Скорость перемещения каретки установочная: 60 м/мин – Пределы частоты вращения шпинделя при намотке: 81 об/мин – Пределы частоты вращения шпинделя установочная: 100 об/мин – Скорость намотки (диаметр оправки более 180 мм), max: 70 м/мин – Углы намотки: 7...90 град – Количество независимо управляемых координат (штатное исполнение): 3 шт – Точность геодезической укладки ленты: ±1 мм – Цена импульса по вращению оправки (ось C): 0,01 град – Цена импульса по перемещению каретки (ось Z): 0,01 мм – Цена импульса по перемещению суппорта (ось X): 0,01 мм – Ширина ленты, max: 40 мм	Намотка возможна на толстостенный металлический или полимерный лейнер. Для намотки длинных изделий, имеющих в основе тонкостенный, предварительно подкачанный лейнер, базовый узел задней бабки заменяется узлом с электропневматической следящей системой растяжения лейнера.

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Натяжение ленты, max: 60 кг – Количество жгутов в шпулярнике: 14 шт – Количество шпулярников: 1 шт – Температура связующего в ванне: 35...70°C – Точность поддержания температуры связующего в ванне: $\pm 5^\circ\text{C}$ – Мощность нагревателя устройства пропиточного: 1,35 ($\pm 5\%$) кВт – Объем ванны пропиточной: • максимальный (пропитка окунанием): 12,5 л • минимальный (пропитка печатным барабаном): 3,6 л – Высота центров бабки шпиндельной и бабки задней от уровня пола: 900...1000 мм – Габариты станка (ДхШхВ): 6000x1900x2200 мм – Масса станка, max: 3200 кг	
Двухшпиндельный станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели РПН2-500Ф3	Станок предназначен для серийного производства стеклопластиковых и металлокомпозитных баллонов методом радиально-перекрестной намотки.	– Диаметр наматываемых изделий, max: 500 мм – Диаметр наматываемых изделий, min: 50 мм – Длина наматываемых изделий, max: 4000, 3000, 2500 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 500 кг – Количество шпинделей: 2 шт – Диаметр патрона шпинделей: 315 мм – Отверстие шпинделя: Морзе № 5 – Отверстия пинолей бабки задней: Морзе № 5 – Ход каретки станка, max: 4500, 3500, 3000 мм – Скорость перемещения каретки при намотке, max: 45 м/мин – Скорость перемещения каретки установочная: 60 м/мин – Частота вращения шпинделя при намотке: 0...60 об/мин – Частота вращения шпинделя установочная: 0...90 об/мин	Станок имеет единый нитепропитывающий тракт с отдельными узлами пропитки, формирования и раскладки жгута. Управление шпинделями отдельное, т.е. каждый шпиндель имеет свой независимый сервомотор, являющийся отдельной осью станка. Таким образом, намотка возможна как на один шпиндель, так и на оба сразу. В случае обрыва жгута на станке предусмотрена возможность обратной отработки программы по одному или обоим шпинделям. Намотка в базовой комплектации возможна на толстостенный металлический или полимерный лейнер. Для намотки длинных изделий, имеющих в основе тонкостенный, предварительно подкачанный лейнер, базовый узел задней бабки заменяется узлом с электропневматической следящей системой растяжения лейнера.

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Скорость намотки (при диаметрах оправки 300 мм), max: 45 м/мин – Углы намотки: 6...90 град – Количество независимо управляемых координат: 4 шт – Точность геодезической укладки ленты: ± 1мм – Цена импульса по вращению оправок: 0,01 град – Цена импульса по перемещению каретки: 0,01 мм – Цена импульса по перемещению суппорта: 0,01 мм – Ширина ленты при перекрестной намотке: 4...40 мм – Натяжение ленты, на каждый раскладчик: 5...60 дан – Количество жгутов в шпулярнике: 20 шт – Количество шпулярников, размотка внешняя: 1 шт – Количество нитетрактов: 1 шт – Температура связующего в ванне: 35...70°C – Точность поддержания температуры связующего: $\pm 5^\circ\text{C}$ – Мощность нагревателя устройства пропиточного: 1,35 ($\pm 5\%$) кВт – Объем ванны пропиточной, без учета барабана: 12 л – Максимальная потребляемая мощность: 7,5 кВт – Габариты станка (ДхШхВ), max: 6000х2700х2000 мм – Масса станка, max: 2700 кг	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
Трехшпиндельный станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели РПНЗ-400ФЗ	Трехшпиндельный станок portalного типа предназначен для серийного производства стеклопластиковых и металлокомпозитных баллонов методом радиально-перекрестной намотки.	– Диаметр наматываемых изделий, max: 400 мм – Диаметр наматываемых изделий, min: 50 мм – Длина наматываемых изделий, max: 2500,1500 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 200 кг – Количество шпинделей: 2 шт – Диаметр патрона шпинделей: 315 мм – Отверстие шпинделя – Морзе № 5 – Отверстия пинолей бабки задней – Морзе № 5 – Ход каретки станка, max: 3000,2000 мм – Скорость перемещения каретки при намотке, max: 45 м/мин – Скорость перемещения каретки установочная: 60 м/мин – Частота вращения шпинделя при намотке: 0...60 об/мин – Частота вращения шпинделя установочная: 0...90 об/мин – Скорость намотки (при диаметрах оправки 300 мм), max: 45 м/мин – Углы намотки: 6...90 град – Количество независимо управляемых координат: 4 шт – Точность геодезической укладки ленты: ± 1 мм – Цена импульса по вращению оправок: 0,01 град – Цена импульса по перемещению каретки: 0,01 мм – Цена импульса по перемещению суппорта: 0,01 мм – Цена импульса по вращению раскладчиков: 0,01 град	Станок имеет отдельные нитепропитывающие тракты на едином неподвижном основании. Синхронизация вращения шпинделей и раскладчиков электромеханическая, на основе электромагнитных муфт. Таким образом, намотка возможна на один шпиндель, на два и на три сразу. В случае обрыва жгута на станке предусмотрена возможность обратной обработки.

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Ширина ленты при перекрестной намотке: 4...24 мм – Натяжение ленты, на каждый раскладчик: 5...30 дан – Количество жгутов в шпулярнике: 21 шт – Количество шпулярников, размотка внешняя: 1 шт – Количество нитетрактов: 3 шт – Температура связующего в ваннах: 35...70°C – Точность поддержания температуры связующего: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ – Мощность нагревателя устройства пропиточного: 1,35 ($\pm 5\%$) кВт – Объем ванны пропиточной, без учета барабана: 7 л – Максимальная потребляемая мощность: 9,5 кВт – Габариты станка (ДхШхВ), max: 4000x1500x2000 мм – Масса станка, max: 2400 кг	
Станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели РПН-800ТФ3	Станок предназначен для радиально-перекрёстной намотки стекло-пластиковых труб.	– Диаметр наматываемых изделий, max: 800 мм – Диаметр наматываемых изделий, min: 90 мм – Длина наматываемых изделий, max: 12000,9000,6000 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 3200 кг – Масса оправки с наматываемым изделием при консольном креплении оправки с вылетом центра масс относительно опорной плоскости до 1500 мм (по бабке шпиндельной), max: 400 кг	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Масса оправки с наматываемым изделием при консольном креплении оправки с вылетом центра масс относительно опорной плоскости до 540 мм (по бабке задней), тах: 450 кг – Дисбаланс оправки с наматываемым изделием, тах: 9 кг·м – Количество шпинделей: 1 шт – Количество положений шпинделя: 1 шт – Диаметр патрона шпинделя: 400 мм – Отверстие шпинделя - Морзе № 6 – Отверстия пинолей бабки задней – Морзе № 6 – Ход каретки станка, тах: 12700, 9700, 6700 мм – Скорость перемещения каретки при намотке, тах: 45 м/мин – Скорость перемещения каретки установочная: 54 м/мин – Пределы частоты вращения шпинделя при намотке: 81 об/мин – Пределы частоты вращения шпинделя: 90 об/мин – Скорость намотки (при диаметрах оправки более 180 мм), тах: 45 м/мин – Углы намотки: 6...90 град – Количество независимо управляемых координат (вращение оправки – координата «С», продольное перемещение каретки с нитеукладчиком – координата «Z»): 2 шт – Точность геодезической укладки ленты: ±1мм – Цена импульса по вращению оправки: 0,01 град – Цена импульса по перемещению каретки: 0,01 мм	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Ширина ленты, max: 100 мм – Натяжение ленты, max: 90 дан – Количество жгутов в шпуляльнике: 20 шт – Количество шпуляльников: 1 шт – Температура связующего в ванне: 35...70°C – Точность поддержания температуры связующего в ванне: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ – Мощность нагревателя устройства пропиточного: 1,35 ($\pm 5\%$) кВт – Объем ванны пропиточной: • максимальный (пропитка кунанием): 12,5 л • минимальный (пропитка печатным барабаном): 3,6 л – Диаметры опорных цапф оправки: • 1-й ряд (при массе оправки до 500 кг): 45 мм • 2-й ряд (при массе оправки до 1000 кг): 60 мм • 3-й ряд (при массе оправки до 1500 кг): 90 мм • 4-й ряд (при массе оправки до 3600 кг): 160 мм – Высота центров бабки шпиндельной и бабки задней от уровня пола: 900...950 мм – Габариты станка (ДхШхВ), max: 14400х2500х2200 мм – Масса станка, max: 5400 кг	
Станок ЧПУ радиальной намотки с лентопротяжным трактом РПН-800ФЗ	Станок предназначен для радиальной намотки изделий предварительно пропитанной лентой (препрегом). Применяется для намотки цилиндрических и конусных изделий.	– Диаметр наматываемых изделий, max: 800 мм – Диаметр наматываемых изделий, min: 20 мм – Длина наматываемых изделий, max: 4000, 3000, 2500, 1500 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 900 кг – Количество шпинделей: 1 шт – Количество положений шпинделя: 1 шт – Отверстие шпинделя – Морзе № 4	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Отверстия пинолей бабки задней – Морзе № 4 – Ход каретки станка, max: 4200, 3200, 2700, 1700 мм – Ход суппорта станка, max: 400 мм – Скорость перемещения каретки при намотке, max: 7,5 м/мин – Скорость перемещения каретки установочная: 12 м/мин – Пределы частоты вращения шпинделя при намотке: 75 об/мин – Пределы частоты вращения шпинделя при смотке: 140 об/мин – Диапазон скорости намотки: 0.1...90 м/мин – Углы намотки: 70...90 град – Усадка полимерного материала после полимеризации: 3...7% – Количество независимо управляемых координат: 3 шт – Цена импульса по вращению оправки: 0,001 град – Цена импульса по перемещению каретки: 0,001 мм – Цена импульса по перемещению суппорта: 0,001 мм – Точность геодезической укладки ленты: $\pm 0,5$ мм – Ширина ленты, max: 100 ± 5 мм – Натяжение ленты, max: 5...200 кг – Точность поддержания натяжения ленты: ± 5 кг – Температура щелевой печи: 280...340°C – Точность поддержания температуры печи: $\pm 10^\circ\text{C}$ – Мощность нагревателя щелевой печи: 1,5 ($\pm 5\%$) кВт	

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4
		– Высота центров бабки шпиндельной и бабки задней от уровня пола: 900...950 мм – Габариты станка (ДхШхВ), max: 5100x1800x2000 мм – Масса станка, max: 2200 кг	
Станок ЧПУ радиальной намотки с лентопротяжным трактом для намотки отводов РНО-1000Ф3	Станок предназначен для намотки лент шириной от 30 мм до 100 мм на оправки-отводы, имеющие угол перегиба 5–90 градусов.	– Расстояние между пиковыми координатами наматываемых изделий по оси X, max: 1100 мм – Расстояние между пиковыми координатами наматываемых изделий по оси X (при использовании доп. оси X), min: 400 (20) мм – Длина устанавливаемых изделий, max: 4500, 3500, 2500 мм – Масса оправки с наматываемым изделием, max: 600 кг – Количество независимо управляемых координат (опционально): 3 (4) + 2 шт – Количество шпинделей: 1 шт – Количество положений шпинделя: 1 шт – Вид патрона шпинделя бабки передней – 4-кулачковый – Вид патрона шпинделя бабки задней – 4-кулачковый – Размер патрона бабки передней: 315 мм – Размер патрона бабки задней: 315 мм – Ход каретки станка (ось Z), max: 4000, 3000, 2000 мм – Ход суппорта станка (опциональная ось X), max: 500 мм – Угол поворота тракта (ось B), max: 180 град – Скорость перемещения каретки при намотке, max: 30 м/мин – Скорость перемещения суппорта (опционально), max: 48 м/мин	В зависимости от применяемого тракта, станок имеет возможность намотки препрега, бинта из стеклоткани или резиновой ткани. 4 координаты, управляемых системой ЧПУ, обеспечивают возможность слежения за профилем изделия в процессе намотки. Станок имеет встроенную систему автоматического поддержания натяжения. Тормозная муфта с аналоговым управлением осуществляет торможение барабана с лентой. Величина натяжения ленты задается оператором станка на программируемом терминале и поддерживается контроллером на основе показаний тензометрического датчика. Величина натяжения так же может задаваться напрямую в управляющей программе ЧПУ.

1	2	3	4
		– Пределы частоты вращения шпинделя при намотке: 0...10 об/мин – Пределы частоты вращения шпинделя при смотке: 0...10 об/мин – Скорость разворота тракта, max: 5400 град/мин – Диапазон скорости намотки: 1...20 м/мин – Углы намотки: 30...90 град – Цена импульса по вращению оправки: 0,001 град – Цена импульса по перемещению каретки: 0,01 мм – Цена импульса по вращению тракта: 0,001 град – Цена импульса по перемещению суппорта (опционально): 0,01 мм – Точность геодезической укладки ленты: ± 1 мм – Диапазон ширины применяемых лент, max: 30...100 мм – Диапазон натяжения ленты, max: 10...180 кг – Точность поддержания натяжения ленты: ± 10 кг – Мощность привода оси оправки (ось C): 5 кВт – Мощность привода оси каретки (ось Z): 4,4 кВт – Мощность привода оси суппорта (опциональная ось X): 3 кВт – Мощность привода оси разворота тракта (ось B): 3 кВт – Мощность привода устройства смотки ленты: 2 кВт – Момент на валу тормозной муфты устройства натяжения ткани: 170 Нм – Общая потребляемая мощность станка, max: 15 кВт – Высота центров бабки шпиндельной и бабки задней от уровня пола: 900...950 мм – Габариты станка (ДхШхВ), max: 5500х1800х2000 мм – Масса станка, max: 3200кг	



а)



б)

Рис. 3.1. Оборудование для напыления гелькоута Graco:
 а) установка для нанесения гелькоута с внутренним смешением 16R002;
 б) установка для нанесения стеклопластика внутреннего смешения 16R004



Рис. 3.2. Оборудование
 для реализации технологии
 RTM (Spartan II PLC/PAC/RFID)



Рис. 3.3. Мобильная вакуумная
 станция для вакуумной инфузии
 TLS100-20

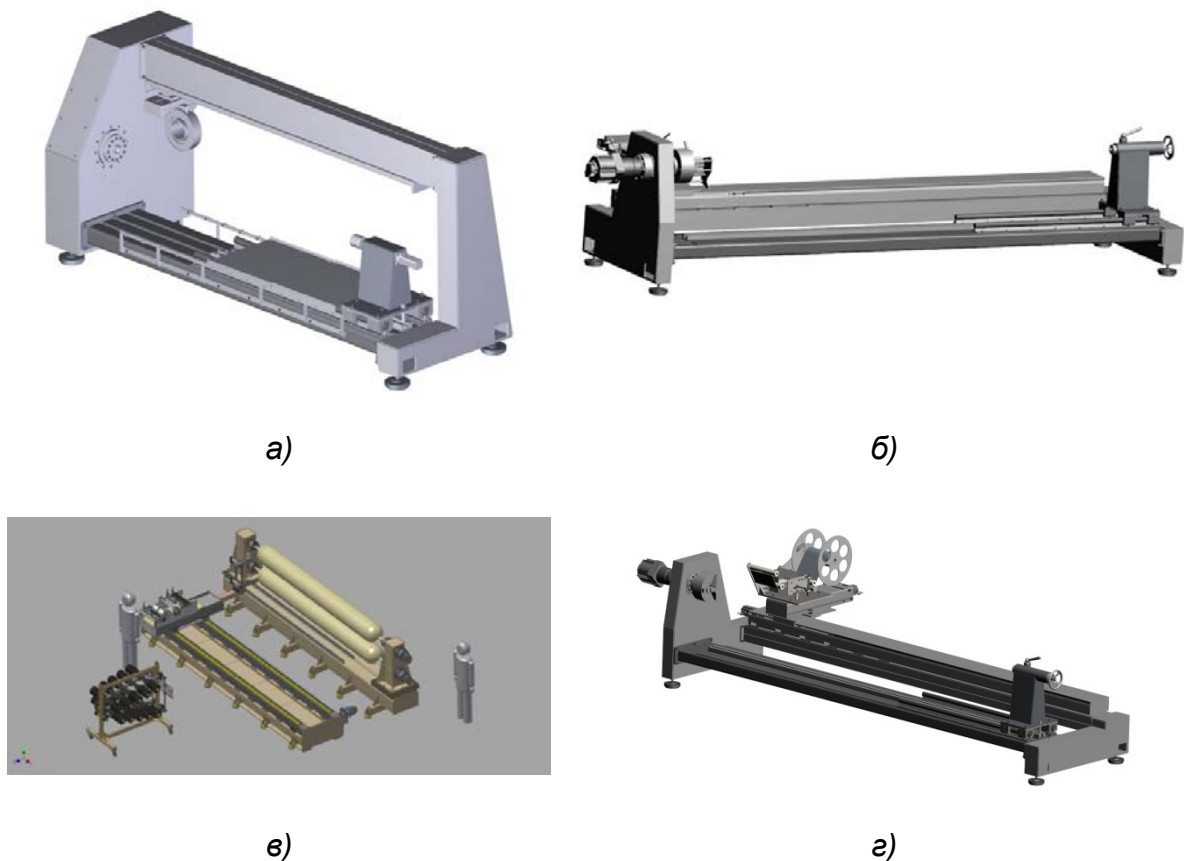


Рис. 3.4. Оборудование для реализации технологии намотки: а) станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели РПН-600ФЗ; б) станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели 400ЛФЗ; в) двухшпиндельный станок ЧПУ радиально-перекрестной намотки модели РПН2-500ФЗ; г) станок ЧПУ радиальной намотки с лентопротяжным трактом РПН-800ФЗ

3.6. Разработка технической документации на производство деталей машин из ПКМ

Разработка технологической документации, в частности маршрутных карт, операционных карт и карт эскизов оформляется в соответствии с ГОСТ 3.1102-2011 [7]. Правила оформления маршрутных карт представлены в ГОСТ 3.1118-82 [8] и Приложении 2 настоящих методических указаний.

В настоящий момент нормативных документов, регламентирующих правила оформления документов на технологические процессы (операции) по изготовлению изделий из полимерных композиционных материалов, не существует, однако можно использовать ГОСТ 3.1409-86 [9].

Глава 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ПКМ

Применение полимерных материалов при ремонте деталей машин по сравнению с традиционными способами позволяет снизить трудоемкость восстановления на 20–30%, себестоимость ремонта – на 15–20%, расход материалов – на 40–50% [10].

ПКМ применяют для восстановления размеров деталей, заделки трещин и пробоин, герметизации и стабилизации неподвижных соединений [10].

Восстановление деталей – технологический процесс возврата им материала вместо изношенного и доведения до нормативных значений их геометрических параметров и эксплуатационных свойств, изменившихся во время длительной эксплуатации.

Эффективное использование физико-механических и химических свойств полимерных материалов позволяет значительно снизить трудоемкость ремонта деталей машин, что обусловлено следующими особенностями их использования:

- технологии с использованием полимерных материалов не требуют сложного оборудования и высокой квалификации работающих;
- при использовании полимерных материалов появляется возможность производить ремонт без разборки узлов и агрегатов;
- использование полимерных материалов во многих случаях позволяет не только заменить сварку или наплавку, но и производить ремонт таких деталей, которые другими известными способами отремонтировать невозможно или опасно с точки зрения безопасности труда;
- применение полимерных материалов позволяет восстанавливать детали, минуя сложные технологические процессы нанесения материала и его обработку.

Наиболее широко при ремонте автомобилей используют анаэробные полимеры и композиционные материалы.

4.1. Выбор компонентов ПКМ для восстановления деталей машин

Для ремонтных целей наиболее подходят матрицы из эпоксидных олигомеров, которые являются основой многих композиционных материалов, как отечественных, так и зарубежных. В технической и

научной литературе эпоксидными олигомерами называют эпоксидные смолы в неотвержденном состоянии. Для композиционных материалов, применяемых при ремонте деталей машин, наиболее подходят эпоксидно-диановые смолы ЭД-16, ЭД-20 и ЭД-22.

В производственной практике ремонта деталей машин наибольшее распространение получили многочисленные композиции на основе эпоксидных смол ЭД-16 и ЭД-20, в которых как пластификатор используется дибутилфталат с отвердителем полиэтиленполиамином (ПЭПА) (ароматические амины (АФ-2), низкомолекулярные полиамины (Л-18, Л-19 и Л-20). Составы применяемых эпоксидных композиций приведены в табл. 4.1. Рекомендации по применению указанных составов приведены в табл. 4.2 [4].

Пластификаторы вводят в состав для повышения эластичности и ударной прочности.

Таблица 4.1

Составы эпоксидных композиций

№ состава	Количество компонентов, массовые доли				
	Эпоксидная смола дибутилфталат		Пластификатор полиэтилен-полиамином	Отвердитель	Наполнитель
	ЭД-16	ЭД-20			
1	2	3	4	5	6
1.	100	–	10-15	10	–
2.	100	–	20	10	–
3.	100	–	15	10	алюминиевый порошок – 25
4.	–	100	20-25	11-12	алюминиевая пудра – 7-10
5.	100	–	15	10	алюминиевая пудра – 25
6.	100	–	10-15	10	цемент – 120
7.	100	–	20	10-11	молотая слюда – 50
8.	100	–	20	10-11	молотая слюда – 40
					алюминиевая пудра – 5
9.	100	–	20	10-11	молотая слюда – 30
					чугунный порошок – 50
10.	100	–	15	10-11	графит – 50
11.	100	–	15	10-11	чугунный порошок – 150
					молотая слюда – 20
12.	100	–	15	10-11	оксид железа – 150
					молотая слюда – 20
13.	–	100	25	10-12	железный порошок – 150-200
					алюминиевый порошок – 10
14.	–	100	20-25	11-12	железный порошок – 70
					молотая слюда – 80
					алюминиевый порошок – 7-10
15.	–	100	25	11-12	чугунный порошок – 60
					молотая слюда – 30
					газовая сажа – 30

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
16.	–	100	20–25	11–12	молотая слюда – 100–120
17.	100	–	15	10–11	железный порошок – 160
18.	100	–	20	11	железный порошок – 150 графит – 20
19.	–	100	20–25	11–12	молотая слюда – 80–100 алюминиевый порошок – 15–25
20.	100	–	60	10–11	газовая сажа – 35
21.	100	–	50	10–11	молотая слюда – 70–80

Таблица 4.2

Рекомендации по применению эпоксидных композиций

Восстанавливаемые детали	Устраняемые повреждения	Рекомендуемые композиции*
1	2	3
Блок цилиндров двигателя	Трещины различной длины, пробоины	9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18
Головка цилиндров	Трещины, пробоины, коррозия по контуру отверстий рубашки охлаждения	11, 12, 13, 14, 17
Поддон картера двигателя	Трещины и пробоины	11, 13, 17
Картеры сцепления, коробки передач	Трещины и пробоины	9, 17, 14
Кузов	Вмятины, пробоины	20, 21
Масляный радиатор	Трещины и пробоины на стенках баков	9, 11, 19
Радиатор системы охлаждения	Трещины и пробоины на стенках баков	16, 19
Топливный бак	Течь в местах сварки, трещины, пробоины, сквозная коррозия	3, 4, 7
Посадочное место подшипника качения (вал, корпус)	Износ поверхности до зазора: не более 0,1 мм более 0,1 мм	1, 2, 4 11, 13, 18
Пластмассовые детали электрооборудования	Трещины, сколы	1, 2, 7, 19

* Номера композиций указаны согласно табл. 3.1.

Технология приготовления эпоксидных композиций включает следующие операции:

– эпоксидную смолу разогревают в термошкафу или емкости с горячей водой до жидкого состояния (60–80°C);

– проводят отбор необходимого количества жидкой эпоксидной смолы;

- добавляют небольшими порциями пластификатор (дибутилфталат);
- перемешивают смеси в течение 5–8 мин;
- вводят в состав необходимые наполнители;
- перемешивают смеси в течение 8–10 мин.

Полученная композиция (состав) сохраняется длительное время. Непосредственно перед ее применением добавляют отвердитель и тщательно перемешивают в течение 5–7 мин. Время использования полученного состава составляет 20–30 мин.

4.2. Проектирование технологического процесса восстановления деталей машин с применением ПКМ

4.2.1. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе тканого наполнителя

Тканые наполнители (ткани, маты, ленты) используются для устранения повреждений значительных размеров (более 30 мм). Технологический процесс восстановления деталей машин с использованием ПКМ, содержащих тканые наполнители, включает следующие этапы:

1. Выполнение стандартных операций по предотвращению дальнейшего распространения повреждения (например, засверливание и разделка концов трещины).
2. Подготовка поверхности.
3. Раскрой тканого наполнителя. Тканый наполнитель наносится на поврежденный элемент внахлест. Поэтому при раскрое наполнителя необходимо оставлять зазор не менее 10...15 мм.
4. Пропитка тканого наполнителя связующим. На данном этапе необходимо обеспечить равномерное смачивание наполнителя связующим и отсутствие воздушных включений.
5. Нанесение пропитанного наполнителя на поврежденный элемент.
6. При необходимости выполняется дополнительное нанесение связующего по границе тканого наполнителя. Также на данном этапе удаляются излишки связующего и обеспечивается равномерный (без лишних включений) слой связующего.
7. Отверждение ремонтного материала.

8. Механическая обработка.

9. Контроль качества ремонта.

При необходимости многослойного соединения этапы с 3-го по 7-й могут быть повторены. Причем последующие слои пропитанной ткани накладываются поверх предыдущей так, чтобы они частично перекрывали предыдущий слой.

4.2.2. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе непрерывного волокна

Непрерывные волокна (нити, жгуты) используются для восстановления повреждений цилиндрических деталей машин. При ремонте цилиндрических деталей машин наибольшее распространение получил метод многослойной намотки волокна (углеродного или стекловолокна) сравнительно тонкими слоями с последующим отверждением каждого слоя.

Технологический процесс ремонта деталей машин методом намотки непрерывного волокна включает следующие этапы:

1. Выполнение стандартных операций по предотвращению дальнейшего распространения повреждения (например, засверливание и разделка концов трещины).

2. Очистка и обезжиривание поверхности. Для удаления остатков загрязнений поверхность обдувают сжатым воздухом.

3. Нанесение связующего на границы дефекта.

4. Формирование ремонтного бандажа. При формировании бандажа намотку волокна осуществляют с небольшим перекрытием места расположения дефекта. Намотка может производиться вручную или на специальном намоточном станке. Каждый следующий виток наматывается на уже предварительно отвержденный слой, поэтому давление кольца на оправку постоянно растет с каждым намотанным и отвержденным витком. Увеличение натяжения волокна благоприятно сказывается на прочности получаемой конструкции. При намотке следует обеспечить хорошую смачиваемость арматуры связующим. Количество слоев бандажа зависит от размеров повреждения. Для получения нужной толщины намотку производят сравнительно малыми толщинами (толщина одного слоя не должна превышать 1 мм) с их последующим отверждением.

5. Дополнительное нанесение связующего на сформированный бандаж и удаление воздушных включений.

6. Полное отверждение бандажа.

7. Механическая обработка отвержденного бандажа (при необходимости).

8. Контроль качества ремонта.

Такая намотка позволяет не только получить прочные бандажи, но и увеличить натяг бандажа на цилиндрическом элементе. В случае, когда в силу конструктивных особенностей необходима намотка до относительно больших толщин, рекомендуется производить предварительный расчет толщины бандажа с учетом его анизотропии. Расчет оптимальной толщины бандажа проводится по критерию обеспечения гарантированного натяга, который позволяет получить область толщин, не приводящих к отслоению бандажа от оправки.

4.2.3. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе дисперсного наполнителя

Дисперсные наполнители (частицы различной формы) используются для заделки незначительных повреждений (менее 30 мм). Технологический процесс ремонта деталей машин с использованием ПКМ, содержащих дисперсные наполнители, включает следующие этапы:

1. Выполнение стандартных операций по предотвращению дальнейшего распространения повреждения (например, засверливание и разделка концов трещины).

2. Подготовка поверхности.

3. Приготовление дисперсно-наполненного ПКМ: дозировка, совмещение и перемешивание компонентов. Способ совмещения и перемешивания компонентов (ручное, механическое, с использованием УЗ) выбирается в зависимости от типа связующего и наполнителя.

4. Нанесение ПКМ на место повреждения. При использовании дисперсно-наполненных ПКМ ремонтный состав наносится с некоторым излишком, так как в процессе отверждения происходит его усадка.

5. Полное отверждение композиции.

6. Механическая обработка (удаление излишков отвержденного ПКМ).

7. Контроль качества ремонта.

4.2.4. Технология восстановления деталей машин с использованием ПКМ на основе гибридного наполнителя

Гибридные ПКМ, представляющие собой сочетание дисперсных и волокнистых наполнителей, используют при ремонте деталей, работающих при повышенных вибрационных нагрузках, а также при ремонте повреждений значительных размеров. Технологический процесс ремонта деталей машин с использованием гибридных ПКМ включает следующие этапы:

1. Выполнение стандартных операций по предотвращению дальнейшего распространения повреждения (например, засверливание и разделка концов трещины).
2. Подготовка поверхности.
3. Раскрой тканого наполнителя.
4. Совмещение связующего и дисперсного наполнителя.
5. Пропитка тканого наполнителя дисперсно-наполненным связующим.
6. Заполнение места повреждения дисперсно-наполненным ПКМ.
7. Нанесение пропитанной ткани на место повреждения.
8. Дополнительное нанесение связующего по границе тканого наполнителя.
9. Отверждение.
10. Механическая обработка.
11. Контроль качества ремонта.

Следует отметить, что один и тот же тип дефектов (например, пробоина) может быть устранен с использованием как ПКМ на основе тканых (армирование) или дисперсных наполнителей, так и с использованием их сочетания.

4.2.5. Очистка и подготовка поверхности для нанесения полимерного покрытия

Важным этапом процесса нанесения полимерного материала является очистка и подготовка ремонтируемой поверхности, что оказывает определяющее влияние на качество полимерного покрытия и стабильность его прочностных показателей.

Очистка поверхностей деталей машин, подлежащих ремонту предусматривает комплексное механическое, химическое и физико-химическое воздействие на удаляемое загрязнение с применением синтетических моющих средств.

Все синтетические моющие растворы значительно повышают свою моющую способность при температуре выше 70°C, поэтому моющий раствор желательно перед использованием нагреть до температуры, указанной в табл. 4.3 [4].

Таблица 4.3

Составы травильных растворов и технология их применения

№ состава	Водный раствор		Режим обработки	
	Состав	Концентрация, г/л	Температура, °C	Длительность травления, мин
1.	Серная кислота	50–100	60–80	3–5
	Катопин ПБ-6 или ХОСП	5–10		
2.	Соляная кислота	50–100	15–35	10–35
	Катопин ПБ-6 или ХОСП-10	5–10		
3.	Серная кислота	175–200	15–35	3–30
	Соляная кислота	30–50		
	Катопин ПБ-6 или ХОСП-10	0		
4.	Серная кислота	120–170	65–85	6–8
	Натрий хлористый	140–180		
5.	Фосфорная кислота	50–100	60–80	5–8

После очистки поверхности от загрязнений перед нанесением полимерного покрытия необходима специальная подготовка поверхности. Качество проведения этой операции во многом определяется долговечностью и стабильностью прочностных показателей полимерного материала.

Механический способ подготовки поверхности предусматривает очистку поверхности до металлического блеска. Из механических способов подготовки поверхности хорошие результаты дает только пескоструйная очистка, которая требует специального оборудования, значительных энергетических и трудовых затрат и может быть использована только при специализированном ремонте.

Химические способы подготовки поверхности предусматривают химическое воздействие на поверхность металла различными химикатами, что снижает трудоемкость работ. При обработке химикатами, содержащими кислоту, их остатки должны быть удалены

с поверхности металла, иначе они будут способствовать развитию коррозии.

В зависимости от механизма взаимодействия химического состава с поверхностью металлов различают следующие химические способы подготовки поверхности: травление, фосфатирование, нейтрализация ржавчины.

Для одновременного обезжиривания и травления используют составы, представленные в табл. 4.4 [4].

Таблица 4.4

Составы растворов и технология их применения для одновременного обезжиривания и травления поверхностей металлов

Водный раствор			Режим обработки	
№ состава	Состав	Концентрация, г/л	Температура, °С	Длительность травления, мин
1.	Серная кислота	50–100	50–60	3–5
2.	Синтанол ДС-10	0,5–1,0	60–70	3–5
3.	Кислота ортофосфорная	50–100	50–60	3–5

Фосфатирование проводится на предварительно очищенной поверхности металла растворами солей фосфатов различных металлов. Так, соли ортофосфорной кислоты, оседая на поверхности металла, образуют нерастворимую в воде мелкокристаллическую пленку фосфата железа с сильно развитой поверхностью и высокой адгезией к металлу. Полимер, нанесенный на фосфатный слой, обладает адгезией к такому металлу в 2,0–2,5 раза большей, чем к металлу, подготовленному механическим способом. Кроме того, фосфатный слой пассивирует поверхность металла, предохраняя ее от проникновения агрессивных сред под полимерное покрытие, что способствует увеличению срока службы полимерного покрытия.

Для фосфатирования используют составы, приведенные в табл. 4.5 [4].

При устранении трещин по концам трещины сверлят отверстия диаметром 2,5–3,0 мм, снимают фаску вдоль трещин под углом 60–70° на глубину 1–3 мм, зачищают поверхность на расстоянии 40–50 мм от трещины шлифовальным кругом, дважды обезжиривают ацетоном с последующей просушкой в течение 8–10 мин [10].

Таблица 4.5

Составы фосфатирующих растворов

Водный раствор			Режим обработки	
№ состава	Состав	Количество компонентов в массовых долях	Температура, °С	Длительность фосфатирования, мин
1.	Азотнокислый натрий, 10%-ный раствор	1,8–2,2	45–50	1,5–2,0
	Концентрат КФ-1	24		
	Натрий едкий, 20%-ный раствор	3,0–3,5		
2.	Азотнокислый натрий	4–8	50–60	1,5–3,5
	Синтанол ДТ-7 или ДС-10, либо ОП-7 или ОП-Ю	0,2–0,5		
3.	Аммоний молибденовокислый	0,1	50–70	1,5–3,0
	Натрий фосфорнокислый однозамещенный	10		
	Танин	0,1		

4.3. Оборудование для восстановления деталей машин полимерными материалами

В табл. 4.6 [10] представлен примерный перечень основного оборудования, применяемого при восстановлении деталей машин полимерными материалами. Данный перечень в зависимости от особенностей технологического процесса ремонта деталей дополняется соответствующим оборудованием.

Таблица 4.6

Спецификация основного оборудования для восстановления деталей машин полимерными материалами

Оборудование	Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Стол рабочий с вытяжным шкафом ОП-2078	0,6	2500x800x2660	285
Вакуумный ВШ-0,035А	2	735x585x700	100
Шкаф сушильный электрический СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3	2	610x645x760	2800
Пресс гидравлический Д2424Б	2,2	1920x1460x3050	
Устройство для полимеризации клеевых соединений ОП-16614	15	950x1000x2000	700
Установка для нанесения композиционных материалов ИМС-223М	0,6	820x445x1150	75
Сушильная передвижная оптического излучения	19	1080x1430 (излучающая панель)	240

4.4. Разработка технической документации на восстановление деталей машин

Техническая документация на ремонт техники включает нормативные, конструкторские, организационные и технологические документы.

Конструкторские документы включают ремонтные чертежи и каталоги деталей.

Первичный конструкторский документ, который определяет устройство, материал и размеры, устраняемые повреждения и требования к качеству восстанавливаемой детали, – это ее ремонтный чертеж. Его разрабатывают в соответствии с ГОСТ 2.604-2000 [11] на основании рабочего чертежа новой детали.

На ремонтном чертеже восстанавливаемой детали приводят ее изображение и материал, условия, при которых деталь не принимается на восстановление, таблицу повреждений и технические требования к детали. При необходимости приводят данные по базированию и таблицы ремонтных (категорийных и пригоночных) размеров. Приводят лишь те размеры, которые описывают восстанавливаемые элементы детали.

Таблицу повреждений располагают на поле ремонтного чертежа. Она содержит сведения, при которых деталь подлежит восстановлению, виды, размеры, коэффициенты повторяемости и возможные сочетания повреждений, основной и допускаемые способы их устранения.

На ремонтном чертеже детали допускается указывать несколько вариантов восстановления одних и тех же элементов детали. На каждый принципиально отличный вариант восстановления выполняют отдельный ремонтный чертеж. В обозначении этих чертежей добавляют через тире римскую цифру I, II, III (соответственно для первого, второго и последующего вариантов восстановления). При этом первый вариант является основным. При использовании ремонтных заготовок указывают марку применяемого материала.

В технических требованиях к детали указывают: размеры, параметры, формы, расположения элементов и их допустимые отклонения, шероховатость восстановленных поверхностей, их твердость и разброс значений, допустимое наличие пор, раковин, отслоений, прочность соединения покрытия с основой и другие параметры, обусловленные применением конкретного способа восстановления детали.

Ремонтные чертежи восстанавливают в две стадии: для опытного восстановления (литера РО) и серийного восстановления (литера РА).

Глава 5. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЛИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПКМ

В данном подразделе пояснительной записки необходимо, исходя из анализа условий работы детали, а также способа формования изделия (ремонтного бондажа, армирования повреждения и пр.) из ПКМ, привести список возможных дефектов и предполагаемую вероятность их появления; составить таблицу с указанием возможных дефектов, способов их распознавания, допустимых значений дефектов.

В настоящее время в различных отраслях промышленности при контроле качества изделий широкое распространение получили неразрушающие методы контроля.

Неразрушающий контроль (НК) – область науки и техники, охватывающая исследования физических принципов, разработку, совершенствование и применение методов, средств и технологий технического контроля объектов, не разрушающего и не ухудшающего их пригодность к эксплуатации [12].

Неразрушающий контроль изделий, изготовленных или восстановленных с применением ПКМ, осуществляется в соответствии с положениями ГОСТ 56787-2015 [13] следующими методами: акустической эмиссией, компьютерной томографией, течеисканием, радиографией, радиоскопией, шерографией, термографией, измерением деформаций, ультразвуковой дефектоскопией, а также при помощи визуально-измерительного контроля.

Выбор метода неразрушающего контроля изделий из ПКМ осуществляется в зависимости от вида распознаваемого дефекта (табл. 5.1 [13]).

Метод акустической эмиссии (АЭ) относится к пассивным методам НК и основан на регистрации упругих волн, возникающих в результате АЭ. Это явление состоит в образовании акустических волн при динамической внутренней локальной перестройке структуры материала объекта контроля (ОК). Акустические (обычно ультразвуковые) волны возникают в процессе появления и развития трещин в ОК. Для обнаружения волн АЭ, образующихся в результате прикладываемой внешней механической (сжатие, кручение и т.д.) или тепловой

нагрузки, используют специальные датчики (преобразователи). АЭ используется для оценки структурной целостности композитных труб, патрубков, резервуаров, сосудов высокого давления и других композитных деталей [13].

Таблица 5.1

Дефекты, выявляемые методами НК

Дефект	Акустическая эмиссия	Компьютерная томография	Течеиснаие	Радиография, радиоскопия	Шерография	Измерение деформации	Термография	Ультразвуковой контроль	Визуально- измерительный контроль
Загрязнение		х		х				х	х
Повреждение нитей	х	х		х					
Расслоение	х	х			х		х	х	х
Изменение плотности		х		х			х	х	
Деформация под нагрузкой					х	х			
Нарушение связей		х			х		х	х	х
Нарушение связей между волокнами	х	х					х	х	
Нарушение соосности волокна		х		х			х		
Разрывы	х	х		х			х	х	х
Включения		х		х			х	х	х
Утечки	х		х					х	
Незакрепленные или подвижные части	х								
Микротрещины	х	х		х	х			х	
Влага		х		х			х		
Пористость	х	х		х			х	х	
Изменение толщины		х		х	х		х	х	
Недоотверждение								х	
Объемные включения		х							
Пустоты	х	х	х	х			х	х	

С помощью метода АЭ могут быть обнаружены недоступные дефекты или неоднородности и определено их местоположение, кроме этого АЭ может применяться для обнаружения утечек, а также оценки качества производственных процессов с использованием образцов или как 100% контроль при приложении напряжения в процессе производства (например, наплаивание, обмотка, прессование, вулканизация и т.д.), испытаний на герметичность после завершения

производства путем контроля интересующих областей или участков, вызывающих беспокойство, и повторной проверки в соответствии с интервалами обслуживания. АЭ хорошо подходит для оценки целостности клеевых соединений и контроля роста трещин [13].

Радиационные методы НК основаны на регистрации и анализе проникающего сквозь ОК ионизирующего излучения. Для контроля ОК из ПКМ используют рентгеновское излучение, позволяющее выявить дефекты, расположенные как внутри, так и на его поверхности. Первичным информативным параметром является экспозиционная доза излучения, величина которой в местах дефектов отличается от экспозиционной дозы в бездефектных зонах ОК. Рентгеновский метод не выявляет плоскостные дефекты: расслоения между волокном и матрицей, ударные и усталостные повреждения, трещины и другие дефекты, размеры которых в плоскости, перпендикулярной оси пучка излучения менее 0,5 мм и вдоль пучка излучения менее 3% от просвечиваемой толщины объекта [13].

Течеискание – вид испытаний на герметичность, основанный на регистрации веществ, проникающих через течи. Течеискание относится к НК проникающими веществами [13].

Шерография или сдвиговая спекл-интерферометрия – разновидность интерферометрических методов НК, с помощью которых дефекты ОК определяются посредством измерения и анализа поверхностных нанодетформаций. Деформации образуются как ответная реакция внутренней структуры на некоторое внешнее незначительное тепловое или вакуумное нагружение. Путем накладывания показываемых изображений ОК в ненагруженном состоянии с изображением, взятым в нагруженном состоянии, определяют изменение любой заданной точки изображения [13].

Измерение деформации заключается в наклеивании на деформируемую поверхность ОК с помощью тонкого слоя эпоксидной смолы металлических тензодатчиков сопротивления, которые состоят из сетки очень тонкой металлической проволоки, фольги или полупроводникового материала. При приложении нагрузки к ОК соответствующую деформацию измеряют относительно электрического сопротивления проволоки или фольги, линейно изменяющегося при увеличении деформации. Металлическая сетка и склеивающее вещество

должны совместно передавать деформацию, но клеящее вещество также должно выполнять функцию диэлектрика между сеткой и поверхностью ОК из ПКМ [13].

Тепловой метод основан на регистрации инфракрасной видеокамерой распределения температуры на всей поверхности ОК во время или сразу после нагрева (или охлаждения) контролируемой области. Изменение интенсивности теплового потока, вызванное расположенными близко к поверхности дефектами, воздействует на получаемое распределение температуры на поверхности ОК. К типичным дефектам, определяемым тепловизионным методом, относятся пустоты, заполнения, трещины, расслоения и присутствие жидких сред. Размер наименьшего обнаруживаемого дефекта ограничен расстоянием между тепловизором и поверхностью детали, а также мгновенным полем обзора тепловизора. Контраст температуры, определяемый на поверхности, экспоненциально падает с увеличением глубины [13].

Ультразвуковые методы НК основаны на регистрации и анализе параметров упругих волн, которые возбуждаются в ОК. Ультразвуковые методы по характеру взаимодействия с ОК относятся к активным методам и основаны на измерении интенсивности пропускаемого или отражаемого объектом ультразвукового сигнала. Различные несплошности способны отражать, рассеивать и ослаблять энергию сигнала [13].

Визуально-измерительный контроль – один из методов НК оптического вида. Он основан на получении первичной информации об ОК при визуальном наблюдении или с помощью оптических приборов и средств измерений. Это органолептический контроль, т.е. воспринимаемый органами чувств (органами зрения). Визуально-измерительный метод обеспечивает оперативный контроль конструкций из ПКМ для подтверждения их соответствия предъявляемым требованиям. Данный метод подтверждает наличие или отсутствие механических повреждений. Этот метод НК дополняют другими методами НК с целью лучшего понимания характера выявленных дефектов [13].

При организации контроля качества изготовленного или восстановленного изделия из ПКМ важно определить соответствие его геометрических форм и размеров требуемым значениям.

При помощи 3D-сканирования можно определить, насколько точно физический образец соответствует компьютерной 3D-модели. Для 3D-сканирования также можно воспользоваться координатно-измерительной машиной (КИМ) типа «рука» или бесконтактной оптической/лазерной системой сканирования. Однако при использовании бесконтактные системы сканирования, как правило, не могут корректно работать с зеркальными и высокоглянцевыми поверхностями. При использовании «измерительных рук» потребуется несколько последовательных переустановов, поскольку рабочее пространство в силу конструкции измерительных рук обычно ограничено сферой радиусом 1,2–3,6 м [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баурова, Н.И.* Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2016. – 264 с.
2. *Зорин, В.А.* Основы технологии производства и ремонта машин: метод. указ. к курсовой работе / В.А. Зорин, А.Ф. Синельников, Е.А. Косенко. – М.: МАДИ, 2017. – 104 с.
3. Восстановление и упрочнение деталей: Справочник / В.П. Иванов, В.С. Ивашко, В.М. Константинов [и др.]. – М.: Наука и технологии, 2013. – 368 с.
4. *Баурова, Н.И.* Механическая обработка деталей машин из полимерных композиционных материалов / Н.И. Баурова, К.А. Макаров // Технология металлов. – 2017. – № 2. – С. 15–19.
5. *Чернышов, Е.А.* Современные технологии производства изделий из композиционных материалов / Е.А. Чернышов, А.Д. Романов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 2. – С. 46–51.
6. ГОСТ 3.1102-2011. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.
7. ГОСТ 3.1118-82. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт.
8. ГОСТ 3.1409-86. Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции) изготовления изделий из пластмасс и резины.
9. *Синельников, А.Ф.* Организация технического обслуживания и ремонта подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования в различных условиях эксплуатации: учеб. / А.Ф. Синельников. – М.: Издательский центр «Академия», 2018. – 336 с.
10. ГОСТ 2.604-2000. Единая система конструкторской документации. Чертежи ремонтные. Общие требования.
11. ГОСТ Р 53697-2009 (ISO/TS 18173:2005). Контроль неразрушающий. Основные термины и определения.
12. ГОСТ Р 56787-2015. Композиты полимерные. Неразрушающий контроль.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Исходные данные к курсовой работе

№ Ва- рианта	Объем выпуска, N	Плот- ность, кг/м^3	Разрушающее напряжение (прочность) при сжатии, $\sigma_{\text{сж}}$ МПа	Разрушающее на- пряжение (проч- ность) при растя- жении, σ_p МПа	Теплостой- кость (темпе- ратура раз- мягчения), t $^{\circ}\text{C}$	Наиме- нова- ние детали
1	2	3	4	5	6	7
1	100	1400	—	—	—	
2	10	—	40	—	—	
3	2000	—	—	20	—	
4	500	—	—	—	1100	
5	10000	1500	—	—	—	
6	700	—	50	—	—	
7	1300	—	—	30	—	
8	5000	—	—	—	500	
9	15000	1600	—	—	—	
10	200	—	60	—	—	
11	20	—	—	40	—	
12	450	—	—	—	800	
13	6000	1700	—	—	—	
14	12000	—	70	—	—	
15	150	—	—	50	—	
16	400	—	—	—	2000	
17	8000	1800	—	—	—	
18	17000	—	65	—	—	
19	2300	—	—	60	—	
20	600	—	—	—	600	
21	230	1900	—	—	—	
22	100	—	55	—	—	
23	10	—	—	70	—	
24	2000	—	—	—	1400	
25	500	2000	—	—	—	
26	10000	—	45	—	—	
27	700	—	—	80	—	
28	1300	—	—	—	2100	
29	5000	2100	—	—	—	
30	15000	—	68	—	—	
31	200	—	—	90	—	
32	20	—	—	—	120	
33	450	2200	—	—	—	
34	6000	—	56	—	—	
35	12000	—	—	100	—	
36	150	—	—	—	80	
37	400	2300	—	—	—	
38	8000	—	42	—	—	
39	17000	—	—	110	—	
40	2300	—	—	—	100	
41	600	1450	—	—	—	
42	230	—	72	—	—	
43	700	—	—	65	—	
44	1300	—	—	—	900	
45	5000	1550	—	—	—	
46	15000	—	75	—	—	
47	200	—	—	55	—	
48	20	—	—	—	1000	
49	450	1650	—	—	—	
50	1000	—	39	—	—	

Приложение 2

Инв. № подл..	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата										
		Маршрутная карта												
					Литера									
МАТЕРИАЛ					Код един. велич.	Масса детали	ЗАГОТОВКА				Ед. норм-мир.	Норма расхода	Коэф. исп. мат.	
Наименование, марка			К о д				Код и вид	Профиль и размер	Кол. дет.	Масса				
ПКМ:УВ(СТ)+ЭДП														
Номер		Наименование и содержание операции				Обозначение документа	Оборудование	Коэф. штучн. врем.	Кол. рабоч.	код тар.	Объем производ. партии	T _{п.з.}		
Цеха	Участка							Операции	Код проф.			Разряд работ	Код. нор.	T _{шт.}
		01	Текстильная						1/2			0,16		
		10	Раскрой наполнителя					Промышленные раскройные ножницы						
								Стол для текстильных работ						
								Ткань углеродная марка УТ-900, стеклоткань Т-11						
		02	Подготовительная						1/2			0,12		
			Подготовка поверхности формы					Очиститель для форм, жесткая щетка, перчатки						
								Разделительный состав, респиратор, очки						
										Разраб.			Лист	
										Провер.			1	
										Т. контр.				
													Листов	
		Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Н. контр.		3

Продолжение прил. 2

Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата																
2																								
				Операционная карта вакуумных работ																				
										Литера														
№ цеха	№ уч.	№ места	№ опер.	Наименование операции										Оборудование (наименование, модель)										
			05	Вакуумная										Вакуумный насос 2НВР-5ДМ										
№ пере-хода	Содержание перехода			Технологический режим				Приспособление (код, наименование)				Инструмент (код, наименование)				То (мин)								
1	Формирование вакуумного мешка							Герметизирующий жгут CCVM-7,6 m-205C								3,84								
								Вакуумная пленка CCVM-VF50-170-1,5М, вакуумный порт																
2	Контроль			Визуальный осмотр												0,75								
3	Вакуумирование			P2 = -100 кПа				Вакуумметр				Вакуумный насос 2НВР-5ДМ Струбцина				3,26								
4	Контроль давления и утечек											Ультразвуковой течеискатель ТИАМ-3				3								
													Разраб.				Лист							
													Провер.				1							
													Т. контр.											
																	Листов							
			Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Н. контр.				2							

Окончание прил. 2

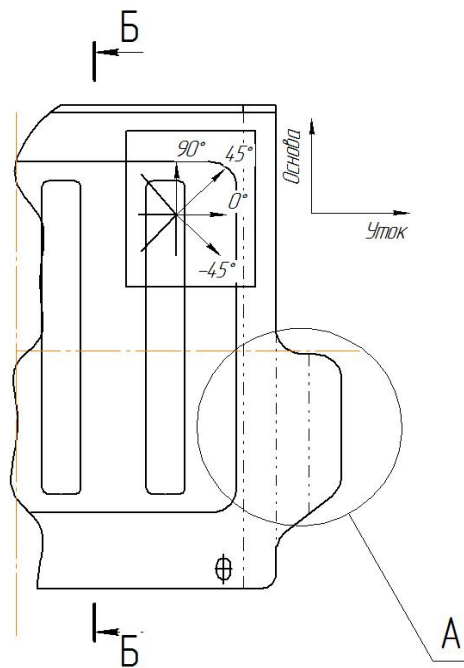
Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата								
				Операционная карта вакуумных работ												
								Литера								
№ цеха	№ уч.	№ места	№ опер.	Наименование операции								Оборудование (наименование, модель)				
				Вакуумная								Вакуумный насос 2НВР-5ДМ				
№ перехода	Содержание перехода								Технологический режим		Приспособление (код, наименование)		Инструмент (код, наименование)		То (мин)	
	Полимерная								t=20...25°C		Эпоксидная смола ЭД-22 + отвердитель ТЭТА		Струбина		5,4	
6	Контроль												Ультразвуковой течеискатель ТИАМ-3		3	
7	Отверждение								Время отверждения 7 часов t = 20...25°C						420	
8	Контроль								Визуальный контроль						0,75	
												Разраб.				Лист
												Провер.				2
												Т. контр.				
																Листов
		Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Н. контр.				

Приложение 3

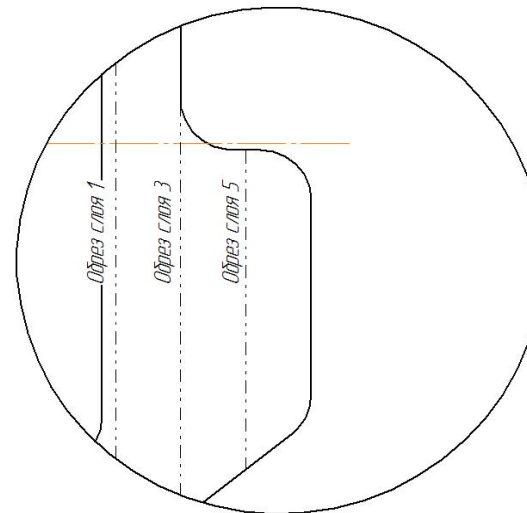
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Карта эскизов

№	Операции
---	----------



$A - A$ (2:1)



Слой	1	2	3	4	5	6
Материал	Стеклоткань Т-11					
Направление укладки	0°	90°	45°	-45°	90°	0°
Размер обрез слоев L(мм)	850	до обрез детали	900	до обрез детали	950	до обрез детали

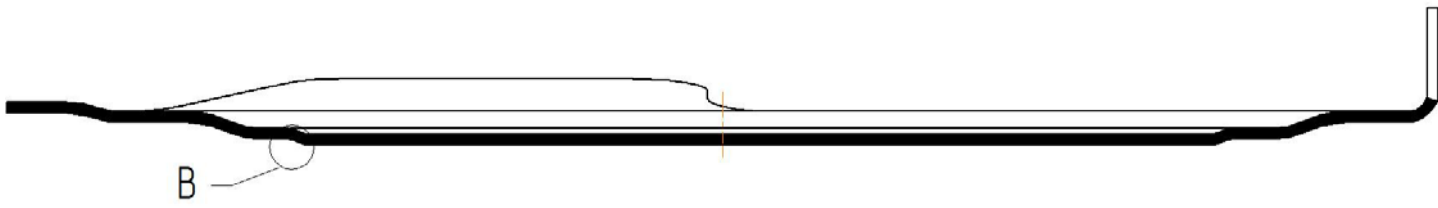
[illegible]

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Карта эскизов	

№ Операции

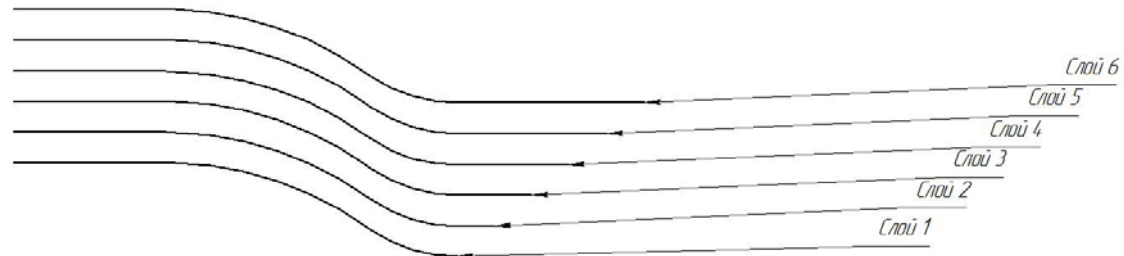
Б-Б (2:1)



В

Б-Б (10:1)

Схема нумерации слоев укладки



Слой 6
Слой 5
Слой 4
Слой 3
Слой 2
Слой 1

1. Произвести акустический контроль на отсутствие утечек воздуха.

												Разраб.				Лист
												Провер.				2
																Листов
																2