

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТУРИЗМА И СЕРВИСА»
(ФГБОУ ВПО «РГУТиС»)

На правах рукописи

Иванов Вячеслав Александрович

**Методы восстановления технологического и вспомогательного
оборудования износостойкими композиционными материалами.**

05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы
(лёгкая промышленность).

**Диссертация на соискание ученой степени
Кандидата технических наук**

Научный руководитель
доктор технических наук
профессор Тулинов А.Б.

МОСКВА – 2014

Оглавление

Введение	4
Раздел 1. Состояние вопроса и постановка задачи исследования	11
1.1 Объекты исследования, дефекты оборудования и способы их устранения	11
1.2 Композиционные материалы и их применение для восстановления различных видов оборудования	22
1.3 Износ оборудования систем жизнеобеспечения и выбор композиционных материалов для его устранения	35
1.4 Выбор композиционных ремонтных материалов и задачи исследования	44
Раздел 2. Теоретические методы определения адгезии и износостойкости ремонтных композиционных материалов	48
2.1 Адгезия полимерных композитов к металлическим поверхностям	48
2.2 Методы исследования адгезионной прочности	52
2.3 Влияние технологических и эксплуатационных факторов на прочность адгезионных соединений	60
2.4 Износостойкость ремонтных композиционных материалов	69
Раздел 3. Экспериментальные исследования механических характеристик износостойких композитов	82
3.1 Исследование адгезионной прочности износостойких композиционных материалов	82
3.2 Результаты испытаний по определению адгезионной прочности износостойких композитов	91
3.3 Исследование эксплуатационных характеристик износостойких композиционных материалов	101

3.4 Исследование влияния коррозии на прочность соединений металл-компазит	111
Раздел 4. Технологические методы восстановления оборудования с использованием ремонтных композитов	116
4.1 Технологические основы применения композиционных материалов при восстановительных работах	116
4.2 Методы устранения основных видов дефектов композиционными материалами	133
4.3 Эффективность технологических методов восстановления оборудования с использованием композитных материалов	139
Заключение	154
Библиографический список	155
Приложения	166

Введение

Актуальность темы. Технологическое и вспомогательное оборудование в различных отраслях промышленности и сфере коммунального хозяйства в процессе эксплуатации постоянно подвергается различным видам износа. Особенно интенсивному износу подвержены системы водо- и теплоснабжения предприятий. Они как правило находятся в сфере деятельности Главного технолога либо Главного механика. Основными видами дефектов в водораспределительных системах являются абразивное, коррозионное и кавитационное изнашивание оборудования и устройств типа перекачивающих насосов, заслонок, задвижек, фитингов различных конструкций и размеров.

В настоящее время степень износа подобного оборудования носит глобальный характер. Так по официальным данным износ оборудования систем водо- и теплоснабжения в скором времени может достигнуть 70%.

Традиционными методами устранения таких дефектов являются сварка, наплавка и напыление. Указанные методы восстановления дорогостоящи, требуют значительных энергозатрат и не всегда эффективны.

Необходимость в ремонтных технологиях технологического и вспомогательного оборудования, не требующих существенных финансовых затрат, трудовых и материальных ресурсов, существуют постоянно. Именно таким требованиям отвечают технологии ремонта с использованием износостойких композиционных материалов. Рациональное использование их физико-химических свойств позволит существенно снизить себестоимость и трудоемкость ремонта и сократить расход энергоресурсов и материалов на их проведение не только в лёгкой промышленности и системах жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), но и при восстановлении оборудования в промышленном производстве.

В последние годы на рынке появляются новые материалы различного назначения, но зачастую для восстанавливаемого оборудования требуются высококачественные материалы с высокими физико-механическими характеристиками. Поэтому разработка новых прогрессивных композиционных

материалов и технологических методов их использования, является особенно актуальной.

Появление на рынке подобных высококачественных и доступных по цене ремонтных композиционных материалов позволит значительно повысить возможности и эффективность их применения при проведении ремонтных работ по новым энергосберегающим технологиям вспомогательного оборудования лёгкой промышленности, различного производственного и теплофикационного оборудования, сетей ЖКХ, повысить оперативность и качество этих работ.

Композиционные материалы на полимерной основе обладают высокими физико-механическими и химическими свойствами, использование которых приводит к значительному снижению трудоемкости ремонта вспомогательного оборудования легкой промышленности, различных трубопроводов, теплонагревательного оборудования, бытовых устройств, водяных и газовых магистралей и т.п., что основывается на следующих особенностях их применения:

- ремонтная технология на основе подобных материалов не требует сложного оборудования и высокого уровня подготовки рабочих;
- при ремонт с использованием композитов отсутствует необходимость в разборке узлов и агрегатов;
- применение композиционных материалов чаще всего позволяет не только исключить сварку, наплавку или пайку, но и выполнять ремонтные работы таких изделий и узлов, которых невозможно восстановить с помощью других известных методов, а так же в опасных условиях;
- использование полимерных композитов дает возможность проводить восстановление деталей, исключая сложные технологические процессы нанесения материалов и последующей обработки.

Применение композиционных материалов с металлическими наполнителями знаменует совершенно новый подход к технологии ремонтных

и сборочных работ. Без использования энергии, механических способов соединений решается одна из главных задач в ремонтном и сборочном производстве. Данная ремонтная технология носит название «холодная сварка» и обладает следующими основными достоинствами:

- проведение ремонта возможно проводить в производственных и полевых условиях без подведения энергии;
- ремонтно-восстановительные работы возможно выполнять в труднодоступных и неудобных местах;
- отсутствует необходимость в применении специальной оснастки и инструмента при восстановлении фрагментов деталей;
- металлополимеры ускоренного отверждения позволяют произвести срочный (аварийный) ремонт в течение короткого времени (3-4 мин);
- высокая технологичность и простота приготовления смеси не требует дополнительного обучения пользователя;
- возможность осуществлять соединения разнородных материалов между собой и в различных сочетаниях между ними;
- использование металлополимеров в качестве конструкционных материалов.

Экономический эффект от применения металлополимеров может быть довольно значительным. Он достигается за счет, прежде всего, экономией энергетических и материальных ресурсов:

- за счет неиспользования сварочного оборудования;
- за счет ликвидации брака из-за литейных дефектов, обнаруженных как непосредственно после литья, так и после механической обработки корпусных деталей.

Все эти преимущества подтверждают целесообразность широкого использования ремонтных композиционных материалов службами Главного технолога и Главного механика на предприятиях легкой промышленности и в городском коммунальном хозяйстве.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего диссертационного исследования является разработка методов восстановления вспомогательного оборудования лёгкой промышленности, а так же оборудования систем водо-, теплоснабжения на базе применения износостойких композиционных материалов. Для осуществления поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести систематизацию и анализ износа, дефектов технологического и вспомогательного оборудования в промышленности и в ЖКХ.
2. Исследовать различные виды износа в системах водо- и теплоснабжения и причины их возникновения.
3. Провести анализ ремонтных композиционных материалов, дать предложения по их применению при проведении ремонтно-восстановительных работ технологического и вспомогательного оборудования легкой промышленности и в ЖКХ.
4. Провести исследование существующих на рынке композиционных материалов и выделить из всей номенклатуры наиболее подходящие для ремонтно-восстановительных работ.
5. Исследовать основные физико-механические характеристики композиционных материалов «ChesterMolecular».
6. Разработать методологию восстановления оборудования с использованием ИРКМ и определить экономическую эффект предлагаемых технологических методов.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке новых технологических методов проведения ремонтно-восстановительных работ и продления жизненного цикла технологического и вспомогательного оборудования легкой промышленности и оборудования систем ЖКХ на базе применения износостойких ремонтных композиционных материалов (РКМ). На основе проведения комплекса теоретических, экспериментальных и технологических исследований:

- разработан метод восстановления технологического и вспомогательного оборудования легкой промышленности и оборудования инженерных сетей ЖКХ и его защиты от различных видов износа на основе использования износостойких РКМ;
- проведен анализ номенклатуры композиционных материалов и экспериментально определены наиболее подходящие композиции с характеристиками, удовлетворяющими условиям работы оборудования;
- экспериментальным путем определены износостойкость и адгезионные характеристики данных материалов, а так же определены зависимости свойств композитов от режимов работы вспомогательного оборудования легкой промышленности оборудования систем ЖКХ;
- дано теоретическое обоснование технологии устранения дефектов оборудования легкой промышленности с учетом условий его работы, что в результате приводит к значительному уменьшению материальных и трудовых затрат.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Методы использования износостойких композиционных материалов службами главного механика на предприятиях промышленности, в том числе легкой и в сфере ЖКХ способствуют дальнейшему распространению предлагаемой технологии.

Разработаны и внедрены новые технологические методы восстановления и защиты от коррозионного, кавитационного и абразивного износа деталей и узлов оборудования с использованием композиционных материалов.

Ремонтно-восстановительная технология с использованием износостойких композитов не требует энергетических и значительных материальных затрат, а так же имеет широкую область применения, что приводит к обеспечению высокого экономического эффекта.

На ряде предприятий осуществлено практическое внедрение разработанных технологий.

Личное участие автора заключается в постановке и решении задач по разработке методов восстановления технологического и вспомогательного оборудования легкой промышленности и оборудования систем водо-, теплоснабжения износостойкими композиционными материалами; в исследовании адгезионных и износостойких характеристик композиционных материалов; в создании методов выбора износостойких композитов и прогнозировании долговечности их работы; в разработке технологии нанесения защитных покрытий из износостойких композиционных материалов.

Основные положения диссертации, которые выносятся на защиту:

- результаты исследований адгезионной прочности соединений, выполненных с использованием износостойких композиционных материалов;
- результаты исследований композиционных материалов с керамическими наполнителями на износостойкость;
- методы восстановления оборудования систем водо-, теплоснабжения износостойкими композиционными материалами;
- результаты внедрения методов восстановления промышленного оборудования и систем ЖКХ износостойкими композиционными материалами.

Достоверность полученных результатов обеспечивается согласованием теоретических и экспериментальных исследований, использованием современных методов исследований, новейших лабораторных установок для исследования физико-механических и износостойких свойств композиционных материалов, необходимым объемом экспериментальных исследований, выполненных автором, базируется на использовании методов математической статистики и внедрением предложенных методов восстановления.

Апробация работы. Основные положения, результаты исследований и их практическое применение неоднократно докладывались на научно-технических

конференциях и выставках, таких как 8-я межвузовская студенческая научно-практическая конференция «Молодежь, наука, сервис -XXI век» - 2009, научно-практическая конференция «Актуальные проблемы материаловедения» - 2009, конкурс «УМНИК» - 2009, выставка «Пятый фестиваль науки» - 2010, интернет-конференция «Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии» - 2010, Форум Селигер-2010 «Инновации и техническое творчество», Всеукраинская научно-практическая конференция «Современные технологии в легкой промышленности и сервисе» - 2011, XVII Международная научно-практическая конференция «Наука-Сервису» - 2012, конкурс-фестиваль студенческого творчества «Студенческая весна Подмосковья-2012», пленарное заседание на Всероссийской научной конференции аспирантов и молодых учёных «Современные проблемы туризма и сервиса» - 2013, международный научный симпозиум «Неделя горняка – 2012, 2013, 2014».

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 12 публикациях в журналах, сборниках научных статей, в том числе 3 из них в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, библиографического списка и приложений. Диссертация изложена на 195 страницах, содержит 111 рисунков, 25 таблиц. Список литературы включает 111 наименований. Приложения представлены на 29 страницах.

1. Состояние вопроса и постановка задачи исследования.

1.1 Объекты исследования, дефекты оборудования и способы их устранения.

Основной производственной задачей при эксплуатации оборудования легкой промышленности и инженерных сетей является обеспечение надежного, бесперебойного водо- и теплоснабжения потребителей с заданными технологическими параметрами. Эта задача остается актуальной и окончательно не решенной до сих пор. Реальное состояние подобного оборудования таково, что и в начале XXI в. происходят повреждения, которые сопровождаются не только временным отключением потребителей, но и травмированием людей и материальным ущербом третьим лицам.

Поскольку вспомогательное оборудования легкой промышленности по своему составу, функциям и условиям работы схоже с оборудованием водо- и теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), дальнейшее исследование будет основываться на нем.

В связи с кризисным состоянием, деятельность предприятий в этой сфере характеризуется высокими затратами, отсутствием экономических стимулов снижения издержек на производство услуг, неразвитостью конкуренции. Все это приводит к высокой степени износа основных фондов, неэффективной работе предприятий, большим потерям энергии, водных и других ресурсов.

В таблице 1.1 представлены показатели физического износа основных фондов (ЖКХ) в целом по России, характеризующие состояние систем водо- и теплоснабжения [71].

Таблица 1.1

Степень износа фондов ЖКХ

№№	Фонды ЖКХ	Степень износа, %
1.	Котельные	54,5
2.	Центральные тепловые пункты	50,1
3.	Коммунальные сети водопровода	65,3

4.	Тепловые сети	62,8
5.	Водопроводные насосные станции	65,1
6.	Канализационные насосные	57,1
7.	Тепловые насосные станции	52,3

Степень износа объектов коммунального хозяйства по отдельным муниципальным образованиям достигает 70-80%, при этом темпы нарастания износа продолжают составлять 1,5-3% в год.

Преодоление высокой степени износа и аварийности, низкого коэффициента полезного действия мощностей и значительных потерь энергоносителей является необходимым условием изменения качества жилищно-коммунального обслуживания, обновления основных фондов и сохранения конкурентных позиций на рынке.

Сегодня приоритетами проводимой государственной технической политики при решении задачи модернизации основных фондов является: внедрение новых технологий и экологически безопасного, надежного и высокопроизводительного оборудования; энергосбережение и развитие малой энергетики в коммунальной сфере.

Предварительный анализ показывает, что разработка и применение современных технологий и материалов, конструкций и оборудования в ЖКХ обеспечивает прогнозируемое увеличение энергоэффективности в 2-3 раза, а снижение затрат на ЖКУ до 30% [71, 62]. Для эффективной работы систем водо- и теплоснабжения необходимо разработать комплекс мер по предотвращению возникновения дефектов и их своевременному обнаружению и устранению. В настоящее время большинство конструктивных элементов тепловых сетей ремонтными службами не ремонтируются, а заменяются на новые, что приводит к значительному увеличению стоимости ремонта.

Классификация объектов систем водо- и теплоснабжения представлена на рис.1.1

Классификация элементов систем водо- и теплоснабжения

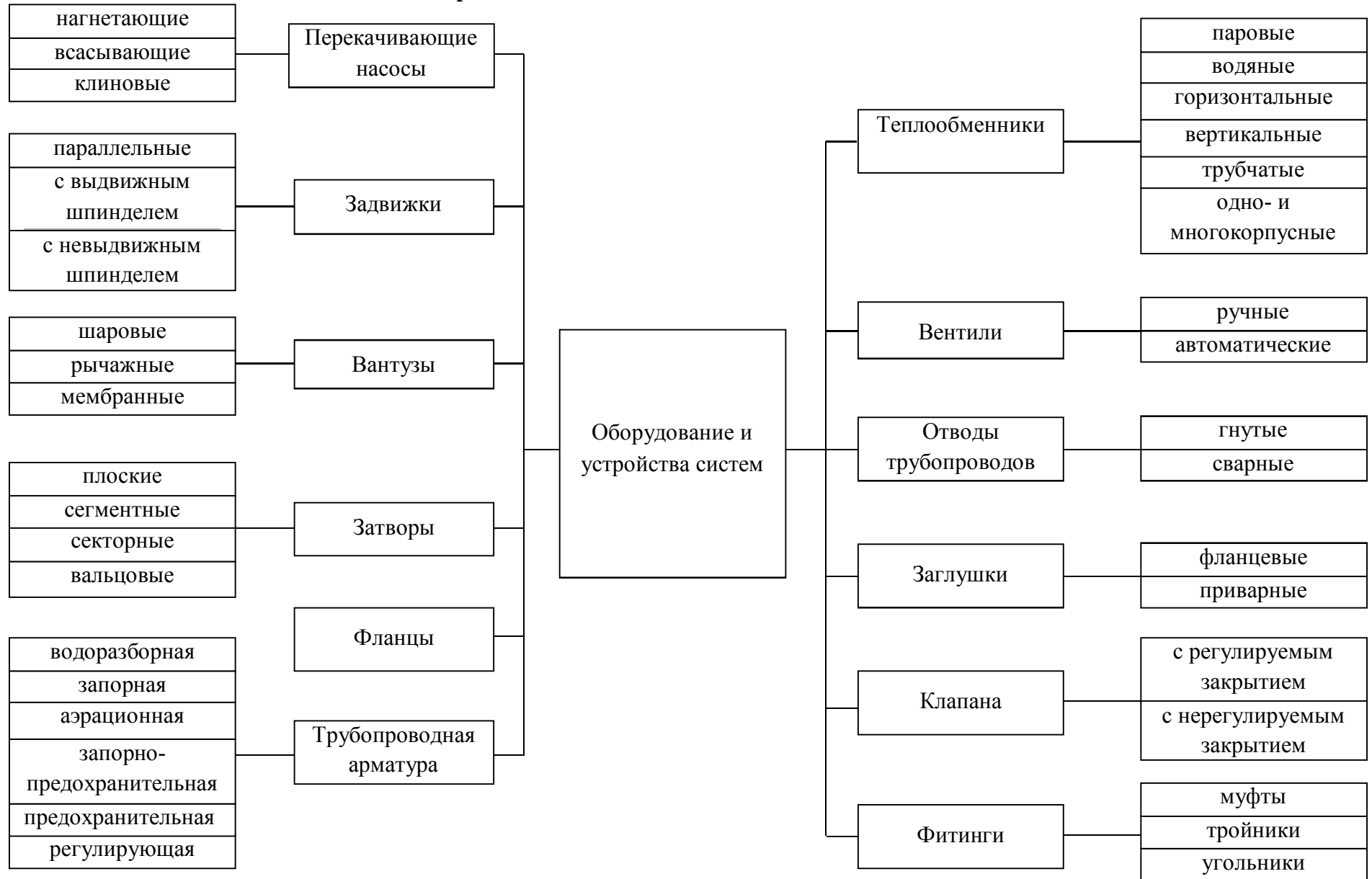


Рис. 1.1. Схема оборудования водо- и теплоснабжения

Их функционирование осуществляется при постоянно изменяющихся условиях, к которым относятся перепады давления и температур, различные виды износа, коррозионные разрушения. В соответствии с представленной классификацией на схеме выделены двенадцать основных элементов, обеспечивающих функционирование систем водо- и теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства. Среди рассматриваемых объектов наибольшему износу подвержены насосы и задвижки, которые в процессе эксплуатации испытывают максимальные гидравлические нагрузки (рис. 1.2-1.3).

Насос представляет собой устройство для камерного перемещения (всасывания, нагнетания) главным образом жидкости в результате сообщения ей кинетической или потенциальной энергии (рис.1.2).

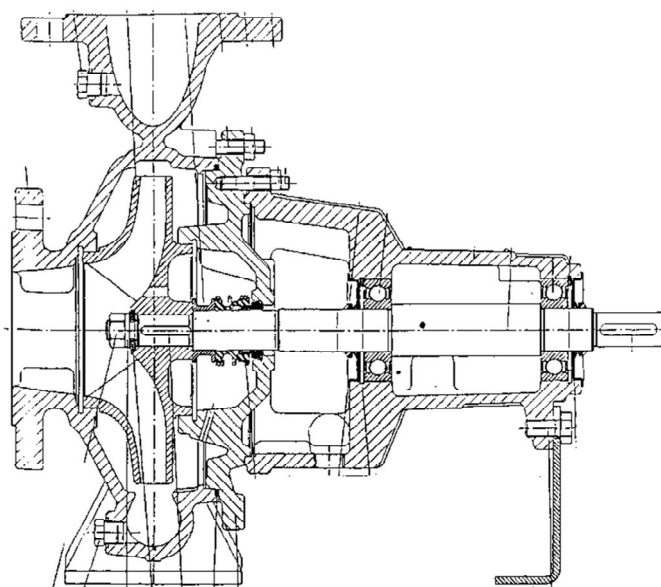


Рис. 1.2. Насос

Задвижки обеспечивают перекрытие основных каналов воды на магистральных трубопроводах. По конструктивному исполнению они подразделяются на клиновые и параллельные, с выдвижным или не выдвижным шпинделем. Выдвижной шпиндель при вращении совершает поступательное движение, невыдвижной – только вращательное. Задвижки выпускаются на давление 0,25-6,4 МПа в диапазоне диаметров 50-800мм (рис. 1.3).

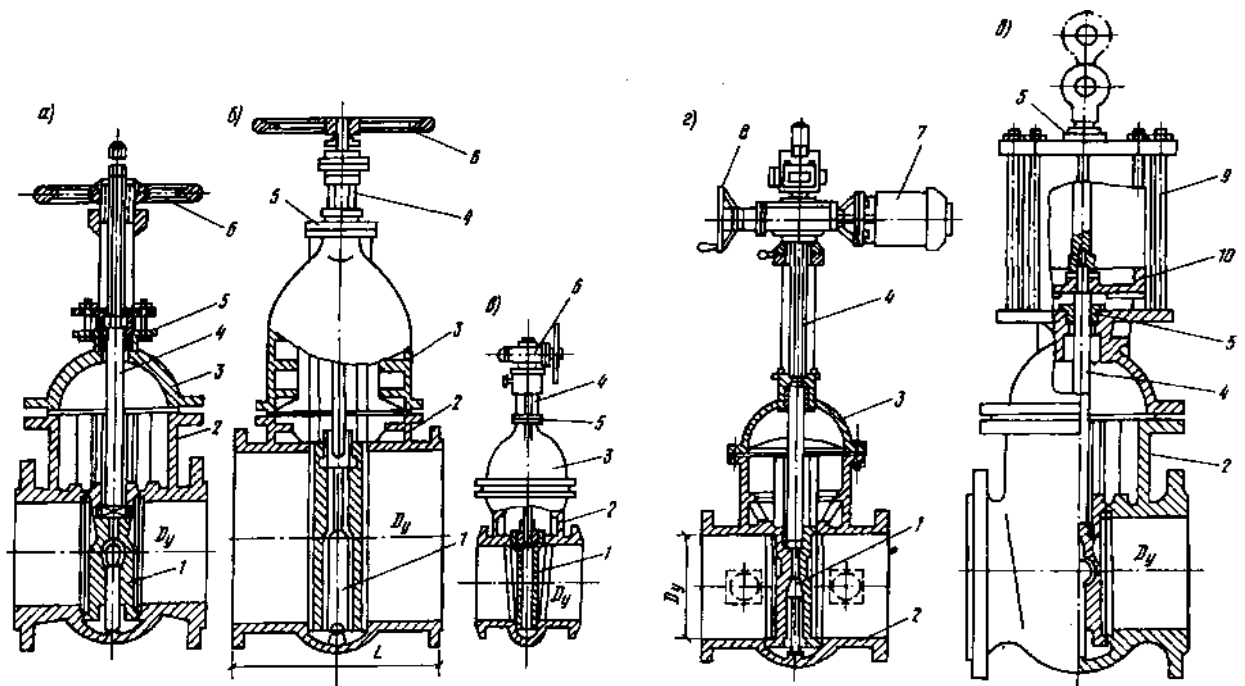


Рис. 1.3. Схемы задвижек

а, б — параллельные с ручным приводом с выдвижным и невыдвижным шпинделем;
 в — клиновая с ручным приводом и невыдвижным шпинделем; г, д — параллельные с
 электрическим и гидравлическим приводом

Другие виды оборудования, представленные в классификации, так же подвергаются различным видам износа. Их описание см. в Приложении №1.

Анализ дефектов, возникающих при эксплуатации выше названных элементов, показывает общность и позволяет утверждать, что их износ может быть устранён сходственными методами, что и является одной из основных задач настоящего исследования. Перечисленные выше оборудования и устройства с течением времени подвергаются различным видам износа под действием динамического напора водной среды и теплоносителей, ударного действия находящихся в них абразивных частиц (песка и др.), коррозионных и кавитационных процессов. Это приводит к появлению различного вида дефектов в виде раковин, трещин, утончения стенок устройств и нередко их разрушениям и, как следствие, к разгерметизации и утечкам жидкостей из систем жизнеобеспечения (рис.1.4) [62,73].

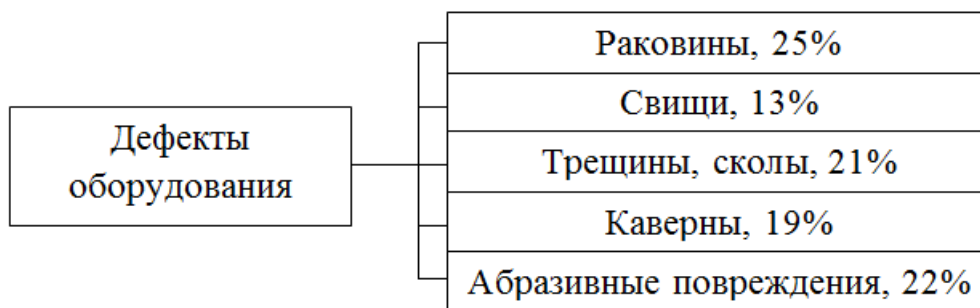


Рис. 1.4. Дефекты оборудования

В результате утончения стенок, возникающих в результате износа, изменяются проходные сечения, что приводит к потерям давления в системах водо- и теплоснабжения (рис.1.5).



Рис. 1.5. Износ внутренней поверхности улитки центробежного насоса

Основными мероприятиями по восстановлению изношенного оборудования и устройств, устранения возникающих дефектов является либо его замена, что дорогостояще и не всегда возможно ввиду отсутствия необходимого оборудования и устройств, либо проведения восстановительных работ с использованием энергоёмких технологических процессов таковыми является сварка, наплавка, напыление (рис.1.6).

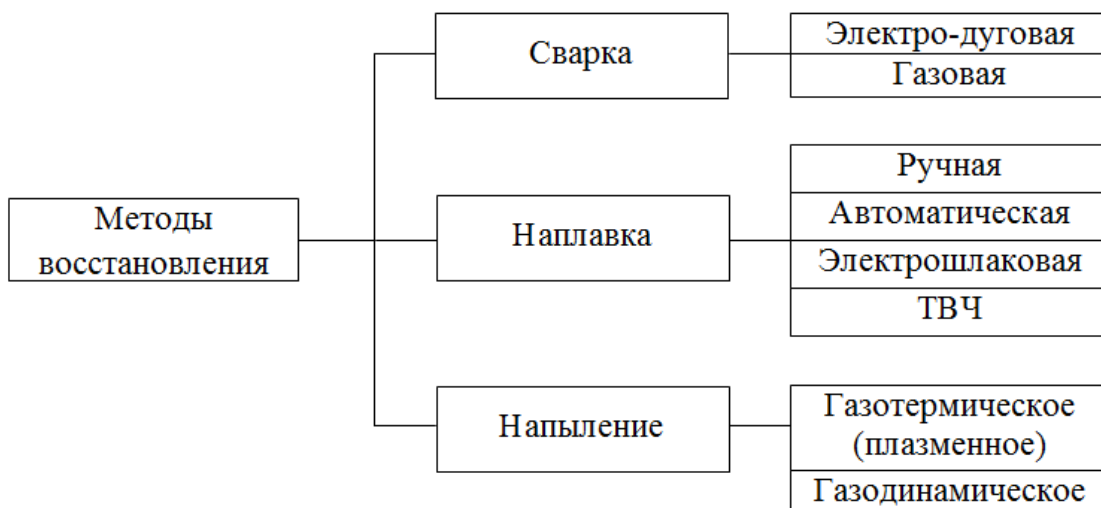


Рис. 1.6. Классификация методов восстановления изношенных поверхностей

Техпроцесс сварки, хотя и приведёт к устранению трещин, раковин, прорывов, однако, высокотемпературный нагрев в месте возникновения дефектов приводит к изменению структуры и изменению кристаллической решётки в близлежащей к месту сварки зоне. При этом пластичность в околошовной зоне снижается, возникает хрупкость материала, что в дальнейшем может привести к разрушению.

Наплавку применяют при ремонте и восстановлении геометрии изношенных деталей, а также для обеспечения особых свойств на поверхности, а именно, твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и др. Наплавка представляет собой процесс, при котором на поверхность детали наносится слой металла требуемого состава. Масса наплавленного металла обычно не превышает несколько процентов от общей массы изделия, но при этом устраняются потери металла на поверхности деталей. Проплавление основного

металла и перемешивание основного и проплавленного металлов должны быть минимальными для сохранения механических свойств основного металла. Толщина наплавленного слоя лежит в пределах от 0,5 до 20мм. Способы расплавления части основного металла и наплаваемого материала аналогичны сварочным процессам. К таковым следует отнести:

- ручную дуговую наплавку металлическими электродами;
- автоматическую наплавку под флюсом;
- многоэлектродную наплавку с одновременным плавлением нескольких электродных проволок, подключенных к одному источнику тока;
- электрошлаковую наплавку при условии плавления большого количества металла;
- наплавку токами высокой частоты с помощью индукционного нагрева с присадочным материалом, предварительно нанесенным на поверхность ремонтируемого изделия в виде смеси порошков;
- дуговую наплавку неплавящимся электродом для твёрдых зернистых и порошковых сплавов

Также существует много разновидностей наплавки с использованием плазменной дуги, газового пламени, плавящегося электрода в защитном газе, порошковой проволоки и пластинчатого электрода.

В настоящее время особенно популярным становится плазменное напыление, которое осуществляется с использованием малогабаритных плазмотронов типа «Мультиплаз», предназначенного для резки, сварки, пайки металлом и нанесения защитных покрытий.

Процесс осуществляется с помощью технологии получения плазмы из водяного пара. Это абсолютно безопасный и экологически чистый метод обработки металлов.

Суть процесса, происходящего в плазмотроне, следующая. Внутри ствола горелки, между соплом – анодом и катодом, контактным способом зажигается электрическая дуга, которая превращает находящуюся там воду сначала в парообразное, а затем в плазменное состояние. При этом водяной пар

конизируется и под естественно-образованным давлением выходит из сопла горелки в виде плазменной струи $\approx 8000\text{ }^{\circ}\text{C}$, с помощью которой и происходят процессы резки, сварки, напыления. Рабочей жидкостью является либо вода, либо растворы спиртов. Расход энергии минимален. Наибольшие габариты плазмотрона позволяют легко перемещать его в требуемое место [19].

Процесс напыления (металлизации) выполняется за счёт нанесения металлического покрытия на поверхность методом осаждения на ней жидкого металла, распыляемого газовой струей. В результате подачи к источнику нагрева металлической проволоки она разогревается до расплавленного состояния, и при этом жидкий металл вылетает с высокой скоростью из сопла металлатора в виде распыленных капель под давлением газовой струи, которые в свою очередь ударяются о поверхность детали и, соединившись с ней, создают слой покрытия. В зависимости от вида напыляемого материала (порошок или проволока) газотермическое напыление выполняется плазменной дугой или плазменной струей. (рис. 1.7)

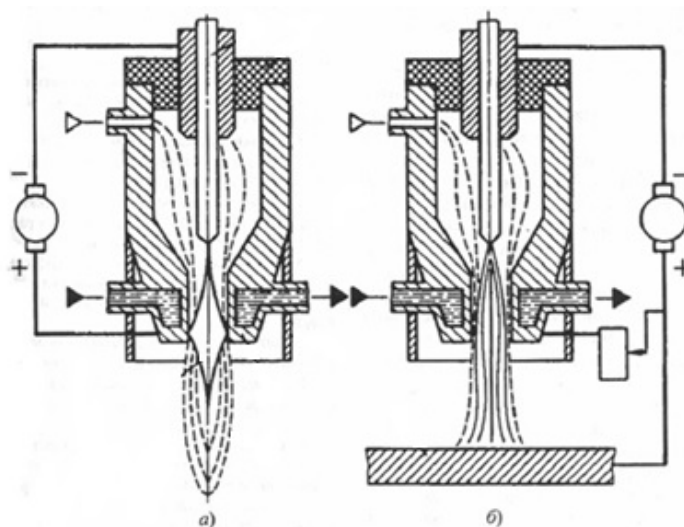


Рис. 1.7. Плазменные источники нагрева: а) плазменной струи, выделенной из дуги;
б) плазменной дуги, совмещённой с плазменной струей

В первом случае в зону плазменной струи под давлением транспортирующего газа подают материал в виде порошка, во втором - используют проволоочный материал.

Преимуществом плазменного напыления является возможность применения широкого спектра материалов и проведение процесса, как в атмосфере, так и в защитных камерах. Недостатком является высокая стоимость способа, относительно низкая производительность, высокий уровень шума.

Сравнительно недавно отечественными учеными был разработан метод «холодного» сверхскоростного напыления покрытий на поверхность ремонтируемых объектов, названный газодинамическим [19, 66]. Этот метод является относительно новым и в настоящее время начинает внедряться в производственную практику, находя всё новые области применения. Метод заключается в нанесении на обрабатываемую поверхность металлических порошков или их смесей, в том числе с керамическими материалами, ускоренных с помощью сверхзвукового газового потока, который создаётся подачей газа с высоким давлением на вход сверхзвукового сопла.

Газодинамический метод основан на эффекте закрепления движущихся со сверхзвуковой скоростью твердых частиц на поверхности деталей при контактном взаимодействии.

При этом порошкообразный материал подаётся в сверхзвуковое сопло, где с помощью воздуха разгоняется до необходимой скорости. Воздушно-порошковая струя направляется на обрабатываемую поверхность и на ней происходит наращивание металла.

Преимущества газодинамического метода:

- покрытие наносится в воздушной атмосфере при нормальном давлении при любой температуре и влажности воздуха;
- при нанесении покрытий оказывается незначительное тепловое воздействие на изделие (до +50 °С)
- не требуется специальной предварительной обработки;
- возможность нанесения любой толщины покрытия;
- экологическая безопасность;
- возможность нанесения многокомпонентных покрытий с переменным

содержанием компонентов по толщине;

- надёжность и простота обслуживания;
- позволяет проводить струйно-абразивную подготовку поверхности

На одном из подмосковных предприятий освоено производство оборудования типа «Димет» трёх моделей, с использованием которого осуществляется газодинамическое нанесение покрытий на ремонтируемые поверхности [37, 53]. Портативное напылительное оборудование серии «Димет» обеспечивает нанесение высококачественных металлических покрытий из порошковых материалов. Оборудование предназначено для нанесения металлов в производстве изделий и при выполнении широкого спектра ремонтно-восстановительных работ.

В перечисленных выше методах наплавки и напыления, обеспечивающих нанесение покрытий на восстанавливаемые поверхности используются высокотемпературные двухфазные потоки, что приводит к плавлению частиц напыляемых порошков и их взаимодействию с газовой средой с образованием различных соединений (окислов, нитридов и т.п.), вызывающих в ряде случаев нежелательное изменение исходных свойств порошков и самого покрытия. К другим существенным недостаткам следует отнести значительный разогрев деталей и их деформацию, вызванную высокими остаточными напряжениями, недостаточную прочность сцепления частиц между собой и с подложкой, высокую пористость покрытия, использование взрывоопасных газов, сложность в обслуживании оборудования, высокую стоимость оборудования и т.п.

Новые возможности в технологии восстановления различных видов оборудования открывает использование ремонтных композиционных материалов, обладающих хорошей адгезионной прочностью и износостойкостью и способных заменить дорогостоящие энергоёмкие технологии. Эти материалы, последнее время, благодаря своим свойствам, находят всё более широкое применение в промышленности, ремонтном производстве и сферах жилищно-коммунального хозяйства.

1.2 Композиционные материалы и их применение для восстановления различных видов оборудования.

В настоящее время в системе ЖКХ городов и населенных пунктов, ремонтными службами, а так же службами главного механика на предприятиях легкой промышленности все большее внимание уделяется перспективным ремонтно-восстановительным технологиям таких важных систем жизнеобеспечения человека и предприятий лёгкой промышленности, как водоснабжение и теплоснабжение. Одними из важнейших составляющих этих систем являются трубопроводы и различное оборудование, которые осуществляют работу в неодинаковых температурных режимах, но имеют сходный характер повреждений и дефектов. Практика последнего времени показывает, что именно новые износостойкие ремонтные композиционные материалы (ИРКМ) и основанные на их использовании технологии дают возможность оперативного устранения дефектов, возникающих при эксплуатации этого оборудования.

В настоящее время существует необходимость в ремонтных технологиях вспомогательного оборудования легкой промышленности и оборудования систем тепло-, и водоснабжения, которые не требуют значительных финансовых, материальных и трудовых ресурсов. Этим требованиям удовлетворяют технологии ремонта с использованием ремонтных компаундов, применение которых не нуждается в сложной и дорогостоящей оснастке и оборудовании, и может служить адекватной заменой наплавке, сварке и пайке. Рациональная эксплуатация физико-химических свойств ИРКМ приводит к значительному снижению трудоемкости и себестоимости ремонтно-восстановительных работ и существенному сокращению расходов материалов на их проведение.

К основным достоинствам данной ремонтной технологии с использованием износостойких композиционных материалов следует отнести возможность их полимеризации в различных температурных режимах и

получения требуемых размеров и формы отвержденного состава. Это позволяет проводить ремонтные работы, исключая сложные технологические операции нанесения и обработки материала [75,63].

В настоящее время использование новых ремонтных технологий с применением композиционных материалов значительно повышает качество работ. Если первоначально номенклатура композитов ограничивалась несколькими типами и в основном это были металлонаполненные компаунды, обладающие низкими, нестабильными физико – механическими характеристиками, то необходимость в расширении сферы применения поставила важную задачу создания новых ИРКМ с более высокими физико-механическими свойствами. И как следствие появилась потребность в изучении, обобщении, систематизации и дальнейшем применении на практике различных видов ремонтных компаундов. Проведенный анализ показал необходимость в разработке методов применения ИРКМ, так как они будут использоваться при восстановлении оборудования лёгкой промышленности и инженерных сетей, что приведет к продлению его жизненного цикла. Именно такая задача решается в данном диссертационном исследовании.

Основным направлением, обеспечивающим своевременное продление жизненного цикла работы оборудования являются ремонтно-восстановительные технологии с использованием износостойких композитов. Это вызвано тем, что традиционные способы восстановления и ремонта поврежденных и изношенных механизмов и узлов на промышленных предприятиях нуждаются в значительных трудовых и финансовых затратах, при этом замена деталей с дефектами на новые не всегда является экономически выгодной [20,63].

На рис. 1.8 показана структурная схема применяемых в настоящее время ремонтных компаундов, а также перспективных типов композитов, в появлении на рынке которых заинтересованы предприятия производственной сферы и ЖКХ.

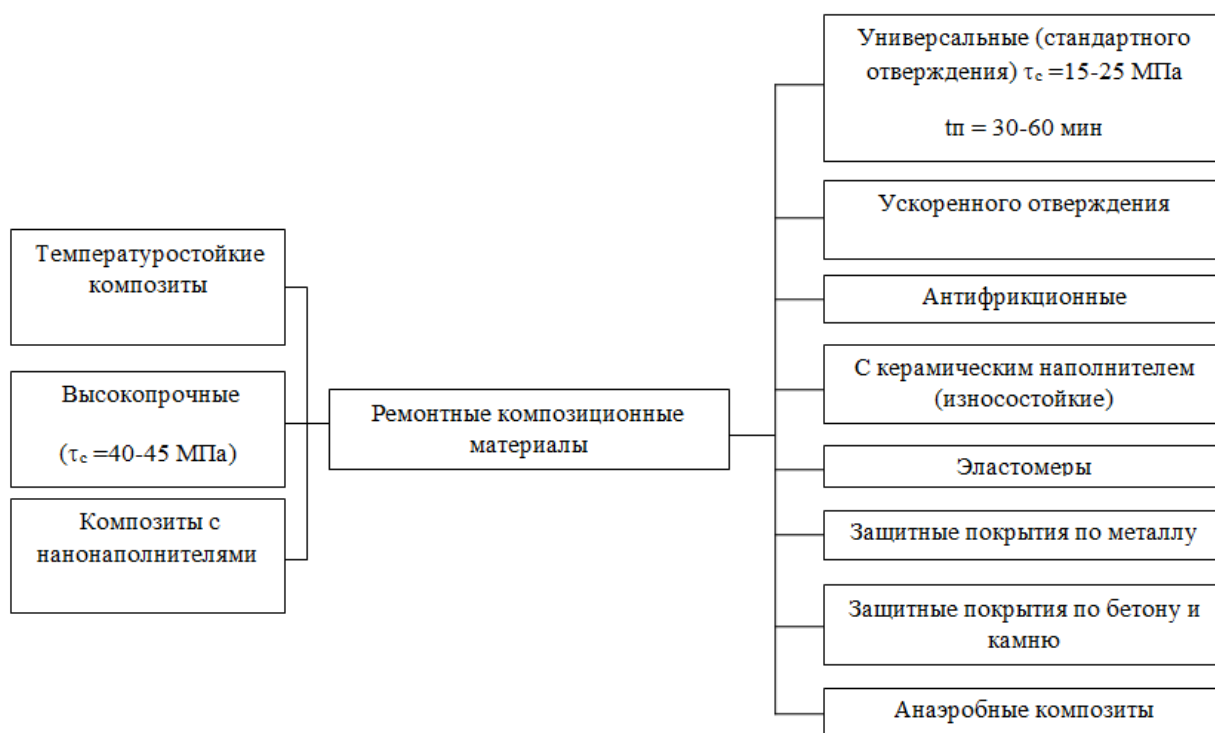


Рис. 1.8. Номенклатура используемых и перспективных ремонтных композиционных материалов.

Ремонтные композиционные материалы, обладающие износостойкими свойствами могут быть использованы при проведении ремонтных и профилактических мероприятий в таких отраслях, как лёгкая промышленность, ЖКХ, энергетика, машиностроение, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, авто и судоремонт, и в других.

Использование ИРКМ приведет к снижению себестоимости ремонтных работ от 3 до 10 раз (в том числе в результате отсутствия необходимости в дорогостоящем демонтаже), а так же к появлению возможности восстановления тех деталей и узлов, которые не возможно ремонтировать с помощью традиционных способов (сварка, наплавка, напыление).

Широкое применение при проведении ремонтно-восстановительных работ вспомогательного оборудования лёгкой промышленности и инженерных сетей ЖКХ нашли ремонтные компаунды на основе модифицированных эпоксидных олигомеров, полимеризующихся без нагревания, в состав которых входят минеральные (в том числе керамические) и металлические наполнители.

Присутствие в составе композита мелкодисперсных порошков приводит к повышению прочностных характеристик в отвержденном состоянии и работоспособности в диапазоне температур от -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$. Применение подобных материалов в ремонтных работах составляет 70% от общего объема всех клеящих материалов. Но по своим прочностным характеристикам ремонтные композиционные материалы уступают металлам, применяющимся при напылении и наплавке, а их использование, как было отмечено ранее, ограничено температурным режимом от -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$. В тоже время в этом диапазоне они составляют серьезную конкуренцию металлам [29,71].

Применение ремонтных компаундов дает возможность осуществлять такие виды работ, как нанесение износостойких покрытий, восстановление геометрии деталей разрушенных в результате воздействия коррозии и эрозии, восстановление и защита корпусных деталей от негативного воздействия окружающей среды, герметизация и заделка различных трещин, пробоин, сколов и вмятин, и др.

Такая актуальность вопросов, касающихся ремонта машин, вызвана наличием в нашей стране большого парка морально и физически устаревшего оборудования, требующего постоянного, а чаще всего и аварийного ремонта при хронической нехватке запасных частей. Главным конструкционным материалом массового машиностроения является металл. Как правило ремонт изделий изготовленных из металла выполняют с использованием металла. Для обеспечения контактного взаимодействия между металлами необходимо применять термическое воздействие, обеспечивающиеся специальным громоздким технологическим оборудованием и высококвалифицированным персоналом. Новые возможности в технологии ремонтных работ открывает применение композитов. За рубежом ремонтные компаунды были созданы в конце 60-х начале 70-х годов двадцатого века. Первым производителем была швейцарская фирма «Durmetall», которая для ремонтных целей, выпустила композит универсального применения «Durmetall-standart». Позднее материалы

создавались другими зарубежными фирмами, освоившими технологию производства и применения уже целой гаммы ремонтных составов.

В России первые работы по разработке и освоению аналогичных ремонтных композиционных материалов (РКМ) относятся к началу 90-х годов прошедшего века. Изучению РКМ были посвящены труды учёных Волкова Г.М. [10,11,12,13], Буравлева Л.Т., Ищенко А.А. [30,31,32,33], Мотовилина Г.В. [48], Тулинова А.Б. [62-85]. Благодаря их усилиям удалось получить первые отечественные ремонтные композиты, а так же был проведен комплекс исследований их свойств и выполнены первые практические восстановительные работы с их использованием, область применения которых в последнее время, постоянно расширяется, охватывая новые отрасли.

Необходимость в ремонтных технологиях технологического и вспомогательного оборудования, не требующих существенных финансовых затрат, трудовых и материальных ресурсов, существует постоянно. Именно таким требованиям отвечают технологии ремонта с использованием износостойких композиционных материалов. Рациональное использование их физико-химических свойств позволит существенно снизить себестоимость и трудоемкость ремонта и сократить расход энергоресурсов и материалов на их проведение не только в лёгкой промышленности и системах жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), но и при восстановлении оборудования в промышленном производстве.

Анализ отечественной и зарубежной практики, выявил возможность устранения порядка 15-20% дефектов трубопроводов в системах водо- и теплоснабжения за счет применения для их ремонта технологии на основе металлополимерных композитов, работающих по принципу «холодной сварки», что открывает новые возможности восстановления [71,77].

В этом случае в качестве основы адгезии выступает молекулярное взаимодействие полимерной матрицы РКМ с металлом восстанавливаемой поверхности. Изменение механизма упрочнения дает возможность полностью отказаться от механического и термического воздействия на

восстанавливаемую поверхность в процессе ремонта изношенных деталей различного оборудования. Поэтому технологический процесс с использованием металлополимеров носит название холодной молекулярной сварки, или «холодная сварка» (ХС) [62,69].

Переход от атомарного взаимодействия к молекулярному позволяет исключить отмеченные недостатки традиционных способов сварки. В этом процессе роль расходных материалов выполняют РКМ, в состав которых входит полимерная матрица и различные наполнители. Для осуществления молекулярного взаимодействия нет необходимости в нагреве, т.е. выполняется без подвода энергии.

Современные ИРКМ - наукоемкая продукция. Для создания композиционных материалов с нужным комплексом эксплуатационных и технологических свойств используют последние достижения в различных отраслях науки.

При формировании адгезионного контакта между молекулами металла и полимера участвуют несколько видов сил, что приводит к расширению спектра технологических возможностей контроля над адгезионной прочностью в соединениях вида полимер-металл в сравнении с металлической связью.

Изменение свойств композитов можно нужным образом проводить с помощью модифицирования полимерной основы, вводя функциональные группы различных назначений в ее структуру. В этом случае их содержание оказывает влияние на адгезионную прочность и создает экстремальную зависимость от них, поэтому при создании новой рецептуры необходимо тщательным образом соблюдать оптимальное соотношение всех компонентов в составе композиции [79].

В то же время надмолекулярная структура полимера, поддающаяся так же технологическому регулированию, оказывает влияние на величину адгезионной прочности. Управление над процессами смачивания металлической поверхности полимерной матрицы компаундов осуществляется путем введения в их рецептуру поверхностно-активных веществ. С целью

повышения технологических свойств в состав ремонтного компаунда вводят тиксотропные добавки. Изменяя содержание, дисперсность и природу наполнителя можно изменить уровень внутренних напряжений и соотношение пластических и упругих свойств композита. Так же при разработке ремонтного состава необходимо учитывать релаксационный характер развития деформаций и специфику механического поведения полимеров [22].

В ходе полимеризации смеси компонентов компаундов, входящих в их состав, происходит объединение молекул в макромолекулярные цепи, которые в свою очередь образуют сложную трехмерную структуру путём переплетения с дисперсными частицами дискретного наполнителя. Возможность отказа от механического и термического воздействий на восстанавливаемую поверхность в процессе ремонта поврежденных деталей дает изменение механизма упрочнения от атомарного взаимодействия (для металлов) к молекулярному (для композитов). ХС позволяет обеспечить простоту технологии работ по восстановлению различного оборудования и надежность ремонтного соединения.

Внимание представителей производства с давних пор приковано к преимуществам ХС. Использование холодной молекулярной сварки для ремонтных работ, такой наиболее массовой продукции, как автомобильный транспорт — началось практически одновременно в России и за рубежом. В 1962 г. при Ленинградском филиале НИИАТ была организована лаборатория по использованию синтетических материалов в авторемонтной отрасли, в которой была разработана и производилась в виде ремонтных наборов гамма эпоксидных композиций [35]. Из-за не развитости в то время рыночных отношений у отечественных ученых не было возможности реализовать потенциальные возможности выполненных работ, хотя в то же время разработки зарубежных фирм получили дальнейшее развитие.

РКМ на основе металлополимеров используют уже более тридцати лет. Для российских предприятий предлагается широкая гамма этих материалов. По

причине такого многообразия и основываясь только на рекламных проспектах фирм-производителей обычному потребителю сложно сделать выбор.

Зачастую различные производители выпускают однотипную продукцию под своими фирменными названиями, цена на которую может различаться в пределах несколько раз. РКМ российских разработок до настоящего времени практически не использовались из-за отсутствия их промышленного выпуска и необходимой информации о них для потенциальных заказчиков. Однако за последние 10-12 лет в нашей стране были созданы предприятия, которые не только осуществляют производство по заказам потребителей необходимого им количество ремонтных композитов, но и разрабатывают прогрессивные технологии восстановления и принимают участие при проведении ремонтных работ различного промышленного оборудования на предприятиях.

Тенденцией последнего времени стало увеличение числа фирм-производителей РКМ как в нашей стране, так и за рубежом. Но в России, как правило, эти ремонтные составы не обладают стабильным качеством из-за низкого качества входящих в состав композиции компонентов, в то время как иностранные фирмы-производители осуществляют выпуск высококачественных материалов со стабильными физико-техническими параметрами.

На сегодняшний день на российском рынке представлены ремонтные композиты таких известных иностранных фирм-производителей, как «Durmetall», «Belzona», «Diamant», «Loctite», «Unirep» Devcon, «Chester Molecular» и других.

Среди российских фирм-производителей следует отметить такие фирмы, как «Техпрос» и «Лео», продукция которых по некоторым характеристикам не только не уступают иностранным, а по отдельным из них превосходят.

Следует отличать ремонтные полимерные композиты от металлонаполненных композиций, которые выполнены в виде простейшей смеси эпоксидной смолы и различных наполнителей. Указанные композиции по своим физико-механическим и химическим показателям в значительной

мере уступают ремонтным полимерным композитам и не предназначены для ремонта на промышленных предприятиях.

Высокие физико-механические параметры в совокупности с невысокой стоимостью и простотой использования делают РКМ незаменимыми при проведении ремонтных работ и сборочных соединений в различных отраслях промышленности, в том числе лёгкой и в ЖКХ.

Для восстановления размеров деталей и осуществления ремонтных работ наиболее подходящими являются такие способы, при которых на деталь не оказывается температурное воздействие или оказывается, но в незначительной степени, не изменяя ее механические свойства и структуру. К подобным способам следует отнести электроискровое и гальваническое наращивание металла, распыление, импульсная приварка лент, металлизации различных видов, но в первую очередь использование полимерных композитов. Это обусловлено:

- невысокой стоимостью синтетических материалов по сравнению с металлами;
- универсальностью при выполнении ремонта деталей из черных и цветных металлов, дерева, керамики, бетона, пластмасс, камня, стекла и др.;
- простотой их подготовки к работе и использованию;
- высокой химической стойкостью композитов к разнообразным агрессивным средам, в том числе щелочам, кислотам, морской воде, нефтепродуктам и др.;
- малой удельной массой компаундов;
- возможностью получения различных, порой уникальных физико-механических и химических свойств РКМ, зачастую превосходящих по своим эксплуатационным показателям металлы;
- электроизоляционными и антифрикционными свойствами;
- вибро- и шумопоглощением при применении их в конструкциях механизмов и машин.

РКМ - это двухкомпонентные полимеры, с наполнителями в виде минеральных и мелкодисперсных металлических порошков. Для наделения их специфическими показателями, такими как твердость, прочность, температуростойкость, вязкость и т.п. в ремонтные составы вводят разнообразные модифицирующие добавки. Структурная схема состава ремонтных композитов представлена на рис. 1.9. Каждый из входящих в состав компонентов, осуществляет строго определенную для него функцию. При этом важное значение при получении качественного состава РКМ с высокими выходными параметрами отводится количеству вводимых в композицию компонентов. Варьируя составом, количеством компонентов и их соотношением можно изменять итоговые параметры ремонтных композитов [62,68].

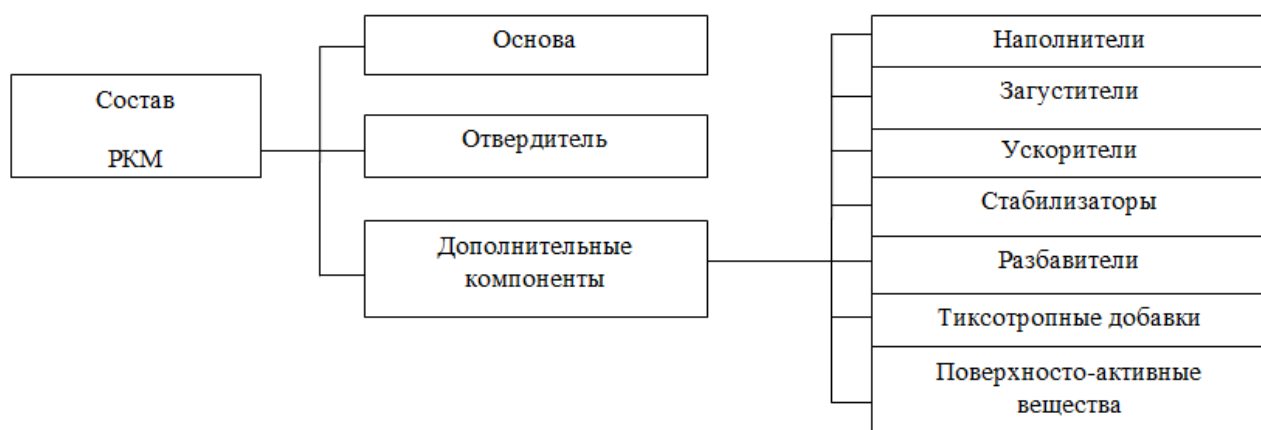


Рисунок 1.9. Структурная схема состава ремонтных композиционных материалов.

Значительное количество зарубежных и отечественных фирм-производителей материалов, работающих по технологии "холодной сварки", в качестве полимерной основы используют эпоксидные смолы. Это можно объяснить следующими причинами:

- широкий ассортимент доступных на рынке эпоксидных смол и отвердителей позволяет в итоге после полимеризации получить композиты с широким сочетанием свойств;
- в результате химической реакции между эпоксидными смолами и отвердителями не выделяются вредные летучие вещества и вода, а

усадочные явления при полимеризации значительно ниже, чем для полиэфирных или фенольных смол.

– для эпоксидных смол характерна хорошая адгезия к различным наполнителям, подложкам и армирующим компонентам.

Активаторами композиционных материалов являются отвердители органических смол, существенно влияющие на такие характеристики композитов, как температуростойкость, время полимеризации, жизнеспособность приготовленной смеси, водостойкость композиции.

В исходном состоянии активаторы могут быть выполнены в виде гелей, паст, жидкостей, в следствие этого появляется возможность варьировать консистенцию полученных составов от вязких тиксотропных паст, использующихся при нанесении на вертикальные и наклонные поверхности без стекания, до жидкообразных составов, использующихся при нанесении покрытий на значительные площади поверхности с небольшой толщиной слоя [86].

Кроме основы и отвердителей в состав ремонтных компаундов дополнительно вводят компоненты, представленные на рис.1.9. Их количество подбирается индивидуально для каждого из составов гаммы РКМ.

Использование полимерных композитов в ремонтно-восстановительных работах постоянно возрастает во всем мире, невзирая даже на невысокие прочностные характеристики композиций и адгезионных соединений полимер-металл по сравнению с металлами, а также относительно невысокую рабочую температуру восстановленных деталей и соединений (чаще всего в пределах 150°C). На сегодняшний день уже явно определились те области применения, в которых целесообразно использовать именно полимерные композиты, благодаря их ценным свойствам.

На рис. 1.10 показана структурная схема свойств РКМ, а в таблице 1.2 [20] их усреднённые значения, которые изменяются в зависимости от конкретной поставленной задачи при проведении ремонта поврежденного объекта с использованием компаундов.

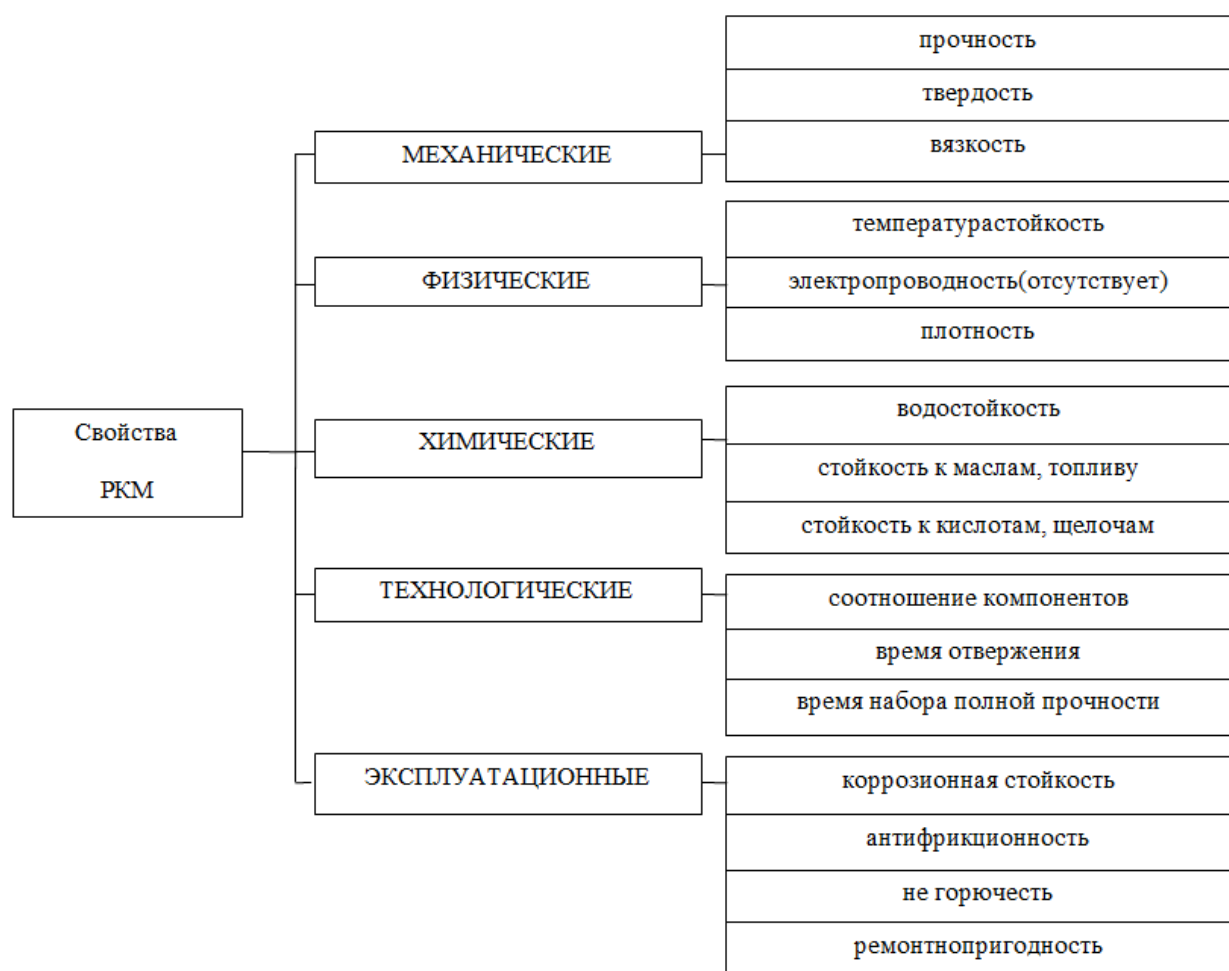


Рисунок 1.10. Структурная схема свойств ремонтных композиционных материалов

Таблица 1. 2

Средние значения основных свойств РКМ

Предел прочности при сжатии	120-140 МПа
Твердость по Бринелю	70-90 МПа
Предел прочности при растяжении	40-44 МПа
Предел прочности при изгибе	75-80 МПа
Тепловое расширение	$5,2 \times 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$
Предел прочности на сдвиг	17-25 МПа
Теплостойкость	-60...+150 $^{\circ}\text{C}$

Удельный вес	2,0...3,0г/см ³
Длительность отверждения (стандартный тип)	3-4 ч
Соотношение компонентов смеси (стандартный тип)	1:1 (по объему)
Электрохимическое воздействие	отсутствует
Контактная коррозия	отсутствует
Загрязнение питьевой воды	отсутствует
Гарантийный срок хранения	12-36 месяцев

Анализ имеющихся на рынке ИРКМ и анаэробных клеёв выявил, что наиболее предпочтительной фирмой, поставляющей в Россию гамму ремонтных композитов и анаэробных клеев, является польская компания «Chester Molecular» (см. приложение 2). В номенклатуре материалов этой фирмы можно встретить различные по своим возможностям использования и характеристикам, в том числе РКМ быстрого отверждения, универсального применения, для кавитационной и коррозионной защиты, антифрикционные, различные виды герметиков и анаэробных клеёв, специальные виды защитных полимерных покрытий, а также целый ряд оснастки и сервисных жидкостей, необходимых при осуществлении ремонтных работ с применением РКМ.

Материалы этого производителя отличаются стабильным высоким качеством, и по своим физико-техническим и эксплуатационным показателям не уступают материалам, поставляемым в нашу страну такими известными фирмами как «Durmetall» (Швейцария), «Belzona» (США), «Diamant» (ФРГ), «Loctite» (США) и др., но существенно дешевле этих аналогов, т.е. по важнейшему соотношению «цена/качество» - оказываются наиболее приемлемыми.

Среди РКМ российского производства выделяются наилучшими физико-механическими и химическими параметрами композиты «Полимет» и «Лео». Их эффективное использование дает возможность выполнять быстрый ремонт различных дефектов, таких как раковины, пробоины, трещины, сколы в деталях изготовленных из черных и цветных металлов, а так же дерева, стекла, керамики, пластмасс по технологии «холодной молекулярной сварки» - без осуществления дополнительного нагрева восстанавливаемых поверхностей [12, 19, 32].

1.3 Износ оборудования систем жизнеобеспечения и выбор композиционных материалов для его устранения.

Развитие производственного сервиса в различных отраслях промышленности основывается на использовании новых материалов и обработке прогрессивных технологий, в том числе включающих операцию нанесения покрытий.

Защитные покрытия позволяют не только получать новые свойства изделий за счёт образующихся композиций, сочетающих высокую долговечность (износостойкость, специальные свойства) с достаточной надёжностью, но и повышать эксплуатационную стойкость деталей машин и инструментов, восстанавливать изношенные поверхности и, следовательно, снижать потребности в запасных частях. С помощью покрытия достигаются особые свойства рабочих поверхностей благодаря оптимизации характеристик эксплуатируемого изделия. Модифицирование поверхности как метод обеспечивает значительную экономию дефицитных и дорогостоящих легирующих металлов, используемых для объёмного легирования в традиционных технологиях получения сплавов со специальными свойствами. Особо следует подчеркнуть роль покрытий с целью создания поверхностных композиций для увеличения конструктивной прочности в случае резко различающихся свойств основного металла и покрытия.

Для оптимизации технологических процессов нанесения защитных коррозионно- и износостойких покрытий необходимо совершенствовать существующие и разрабатывать новые методики оценки конструктивной прочности материалов с покрытиями.

Методы исследования свойств покрытий предлагается рассматривать с учётом обратной связи по приведенной ниже структурной схеме (рис. 1.11).

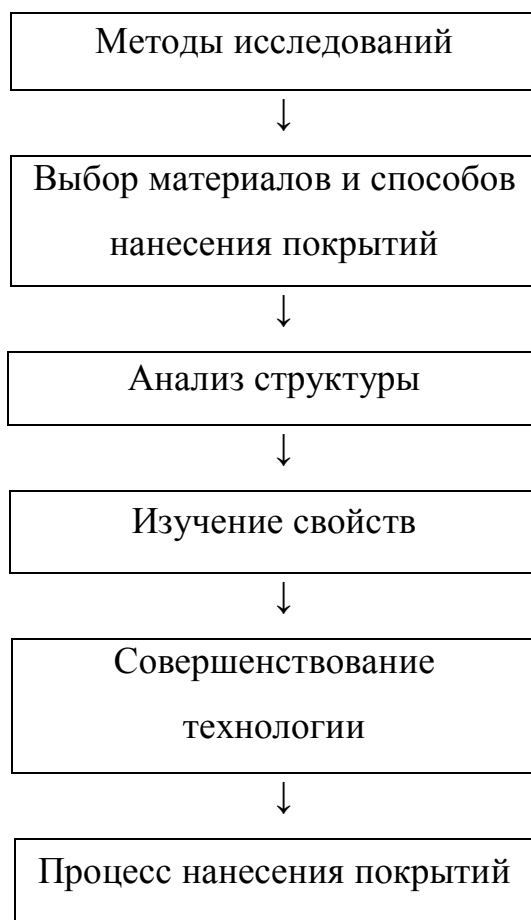


Рис. 1.11. Структурная схема методов исследования свойств покрытий

Структурный анализ покрытия должен дополняться и подтверждаться данными изучения механических, физических и других свойств. В свою очередь это позволит обновить технологию и вывести её на новые поисковые рубежи.

Методы нанесения покрытий широки и многообразны. Однако, в настоящее время, с учётом тенденций технологического развития и потребностей ремонтных служб наиболее перспективными следует считать:

- нанесение покрытий из композиционных материалов;
- плазменный метод нанесения покрытий;
- газодинамический метод нанесения покрытий.

Ранее были отмечены недостатки второго и третьего методов, тогда как нанесение покрытий композиционными материалами при восстановлении оборудования является наиболее простым в применении и экономически выгодным методом. Исследование этого метода и является предметом настоящего исследования.

В результате различных видов износа – абразивного, коррозионного, кавитационного изменяются характеристики эксплуатируемого оборудования, что отрицательно сказывается на его производительности и часто приводит к выходу из строя. Для устранения результатов износа целесообразно подробно рассмотреть его виды и выбрать соответствующие композиционные материалы и технологии, обеспечивающие восстановление оборудования и систем жизнеобеспечения ЖКХ.

Применительно к поставленной задаче следует отметить, что существует несколько видов абразивного изнашивания, и все они относятся к механическому, т.е. к разрушению и отделению материала от поверхности в результате механических воздействий. Собственно **абразивное изнашивание** – это механическое изнашивание материалов, в основном при режущем или царапающем действии твёрдых частиц, находящихся в свободном или закреплённом состоянии. **Гидроабразивное изнашивание** – результат действия твёрдых частиц взвешенных в жидкости и перемещающихся относительно изнашивающегося тела. **Ударно-абразивное** изнашивание наблюдается при динамическом контакте взаимодействующих поверхностей, если между ними есть частицы, превосходящие по твёрдости поверхности индентора и покрытия [15,17].

Разрушение поверхности происходит под воздействием абразивных материалов. Абразивным материалом называют минерал естественного или искусственного происхождения, частицы которого (зёрна) имеют достаточную твёрдость и обладают способностью резания (царапания). К таким частицам относятся:

а) неподвижно закреплённые твёрдые зёрна, входящие в контакт по касательной либо под небольшим углом атаки к поверхности детали (например, шаржирование посторонними твёрдыми частицами, мягких антифрикционных материалов);

б) свободные абразивные частицы, вовлекаемые в поток газом или жидкостью.

в) незакреплённые частицы, входящие в контакт с ремонтируемой поверхностью детали (например, абразивные частицы в почве при эксплуатации почвообрабатывающих машин, насыпные грузы при их транспортировке специализированными устройствами и т.д.);

г) свободные частицы в зазоре сопряжённых деталей;

Абразивному износу подвергаются детали и узлы горных, сельскохозяйственных, транспортных, дорожно-строительных машин, а так же металлургического оборудования, шасси самолётов, транспортирующих устройств, металлорежущих станков, трубы водяных экономайзеров и паровых котлов, лопатки газовых турбин, рабочие колёса и направляющие аппараты гидравлических турбин, трубы и насосы земснарядов, бурильное оборудование нефтяной и газовой промышленности, лопасти дымососов, а также, перечисленное ранее оборудование и устройства, функционирующие в системах водо- и теплоснабжения.

На процесс абразивного изнашивания оказывают влияние агрессивность среды, природа абразивных частиц, ударное взаимодействие, свойства изнашиваемых поверхностей, нагрев и другие факторы. Общим для абразивного изнашивания является механический характер разрушения поверхности.

Абразивное изнашивание вызывает почва, грунт, окисные плёнки, закреплённые поверхности, продукты изнашивания, в особенности выкрошившиеся частицы твёрдых структурных составляющих, скорость потока жидкости и т.п [15].

Абразивные частицы могут иметь различную форму и быть различным образом ориентированы относительно сопряжённой поверхности. Способность абразивного зерна вдавливаясь в поверхность зависит не только от соотношения их твёрдостей, но и от геометрической формы зерна. Так, зерно выпуклой поверхностью или острым ребром может быть вдавлено, даже без повреждений, в плоскую поверхность более твёрдого тела. Этим объясняется изнашивание металла абразивными частицами с твёрдостью, меньшей его твёрдости [16].

Изнашивание от абразивных частиц в потоке жидкости или газа. При допущении, что среда неагрессивна к поверхности детали, следует различать два случая взаимодействия абразивных частиц с материалом.

1. Удар прямой, угол атаки $\alpha = 90^\circ$. В зависимости от массы частиц, скорости их падения, свойств абразива и физико-механических свойств материала детали возникают упругая деформация, пластическая деформация, хрупкое разрушение, перенаклёп с отделением материала в виде чешуек.

2. Косой удар, $0 < \alpha < 90^\circ$. При углах атаки не больше угла трения на характер повреждения поверхности сильно влияет касательная составляющая импульса и сопротивление материала воздействию касательных сил на поверхность.

Механизм абразивного изнашивания полимерных материалов определяется степенью их эластичности. В высокоэластичный материал – резину, вулканит, полиуретановый вулканизат и др. абразивные частицы легко вдавливаются, не вызывая пластической деформации даже при глубоком внедрении. При перемещении абразивных частиц по поверхности возникают силы трения, при этом впереди идущие частицы вызовут сжатие, а позади неё – растяжение. При многократном воздействии произойдут микроразрывы

поверхности и унос частиц. Полимерные композиционные материалы определённого состава в качестве покрытий способны противостоять абразивному разрушению, ибо благодаря подбору наполнителей можно получить механические характеристики выше характеристик абразивной среды. Поэтому их применение для противодействия абразивному износу представляет определённый интерес.

Оборудование и устройства, изготовленные из материалов и сплавов, при эксплуатации в природных или технологических средах подвержены **коррозии**. Коррозия происходит от латинского слова «corrodere» - разъедать. Коррозией металлов называют самопроизвольное разрушение металлов вследствие их взаимодействия с окружающей средой. В основе этого взаимодействия лежат химические и электрохимические реакции, а иногда и механическое воздействие внешней среды. Способность металлов сопротивляться воздействию среды называется коррозионной стойкостью или химическим сопротивлением материала. Металл, подвергающийся коррозии, называют корродирующим металлом, а среда, в которой происходит коррозионный процесс – коррозионной средой. В результате коррозии изменяются свойства металла и часто происходит ухудшение его функциональных характеристик. Это в полной мере относится к оборудованию систем водо- и теплоснабжения, основные узлы и элементы которых выполнены из железоуглеродистых сплавов.

Коррозия является физико-химическим процессом и закономерность её протекания определяется общими законами термодинамики и кинетики гетерогенных систем. Различают внутренние и внешние факторы коррозии. Внутренние факторы характеризуют влияние на вид и скорость коррозии природы металла (состав, структура и т.д.). Внешние факторы определяют влияние состава коррозионной среды и условий протекания коррозии (температура, давление и т.д.). Противокоррозионной защитой называют процессы или средства, применяемые для уменьшения или прекращения коррозии металла. Ремонтные композиционные материалы на полимерной

основе являются именно таким средством, так как обладают ярко выраженными антикоррозионными свойствами и стойкостью к жидкостным и агрессивным средам, которые исследовались в процессе работы над диссертацией.

Разрушение поверхности металлов может происходить также под действием кавитационных процессов. Понятие **кавитация** дословно значит пустота, полость. Кавитация - это явление возникновения полостей в виде пузырей в движущемся по поверхности твёрдого тела потоке жидкости, наполненного газами, воздухом или парами, выделившимися из жидкости или растворёнными в ней. У этого явления имеются свои объяснения. В потоке, движущемся с высокой скоростью, при наличии препятствий на его пути или его сужении происходит снижение давления до величины, соответствующей величине давления парообразования. В результате этого, может произойти разрыв, а так же нарушение сплошности потока по причине зависимости от сопротивления жидкости растягивающим усилиям. Возникшая пустота наполняется газами и паром, которые выделяются из жидкости. Воздух, попадающий в поток, способствует возникновению кавитации. Возникшие парогазовые пузыри обладают размерами порядка десятых долей миллиметра, двигаясь совместно с потоком, оказываются в зоне высокого давления. В результате этого происходит конденсация пара, а газы в свою очередь растворяются и в возникшие пустоты с высокой скоростью попадают частицы жидкости; происходит восстановление сплошности потока сопровождаемое ударом.

Киносъёмка показала, что кавитационный пузырёк может вырасти за 0,002 с до 6мм в диаметре и полностью разрушиться за 0,001с. По данным В.Я. Карелина, при определённых типах кавитации на площади в 1см² в течение 1с могут образоваться и разрушиться более 30 млн кавитационных пузырьков. [74,85].

Гидродинамическая кавитация наблюдается в трубопроводах, в гидромониторах и в потоках, обтекающих лопасти центробежных насосов и

лопасти гидравлических турбин и гребных винтов. Явление кавитации вызывает вибрации, стуки и сотрясения, что приводит к расшатыванию крепёжных связей, обрыву болтов, смятию резьб, фрикционной коррозии стыков, нарушению уплотнений и усталостным повреждениям.

Кавитация понижает КПД машин и гребных винтов и вызывает непосредственное разрушение поверхностей деталей в зоне её действия. Она способствует закоксуванию распылителей форсунок двигателей внутреннего сгорания.

Труднообтекаемая форма и неровности поверхностей, включая неровности, образовавшиеся по причине кавитационного изнашивания, служат причиной образования вихрей и отставания струй от стенок рабочих каналов, что способствует возникновению или усилению кавитации.

Предпосылки для наступления и протекания кавитационного изнашивания следующие. При замыкании до полного исчезновения парогазовых пузырей у поверхности детали последняя подвергается микроскопическим гидравлическим ударам (рис. 1.12).

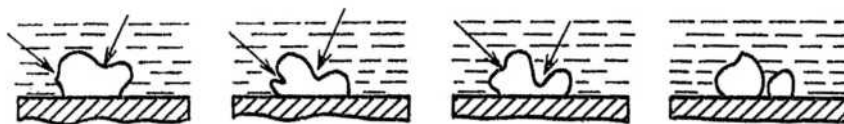


Рис. 1.12. Схемы гидравлических ударов при сокращении кавитационного пузыря

Из нескольких миллионов образовавшихся кавитационных пузырьков примерно один из 30 тыс. участвует в разрушении. Под действием ударов поверхность металла начинает деформироваться и подвергаться наклёпу; появляются линии сдвига и происходит как бы своеобразное травление с выявлением границ отдельных зёрен. Многократно повторяющиеся удары вызывают разупрочнение и пренаклёп материала на отдельных микроучастках, сопровождающиеся возникновением очагов разрушения в виде трещин. Разрушается прежде всего менее прочная структурная составляющая (в сталях - феррит, в чугунах - графитовые включения). Затем может последовать выкрашивание и более прочных составляющих. Разрушение развивается в

пределах зёрен или по их границам в зависимости от соотношения прочности зёрен и связи между ними [19].

Коррозия играет существенную роль в процессе кавитационного изнашивания. Например, в морской воде интенсивность изнашивания намного выше, чем в пресной при прочих равных условиях. Однако механическим воздействиям принадлежит основная роль, о чём свидетельствует низкая кавитационная стойкость лакокрасочных, цинковых и алюминиевых покрытий, имеющих малую механическую прочность, являющихся коррозионно-стойкими неметаллическими материалами. Скорость кавитационного изнашивания может быть в сотни раз и более выше скорости коррозионного разрушения поверхностного слоя.

Предупредить кавитацию можно, проектируя гидромеханическую систему так, чтобы во всех точках потока давление не опускалось ниже давления парообразования. Однако возможность кавитации всегда следует учитывать.

Интенсивность кавитационного изнашивания зависит от температуры, свойств жидкости и материала деталей. Влияние вязкости незначительно. С увеличением поверхностного натяжения изнашивание происходит более интенсивно. Введение в воду веществ, образующих и способствующих образованию эмульсий (масла и эмульгаторы), понижает поверхностное натяжение жидкости и снижает кавитационное изнашивание. Наибольшая интенсивность изнашивания наблюдается в воде с температурой 50 °С [50].

Кавитационная стойкость материала определяется его составом и структурой. Повышение содержания углерода в углеродистой стали увеличивает её стойкость. Однако при содержании углерода 0,8% и более она начинает падать. Пластинчатый перлит более стоек, чем зернистый. Введение никеля и хрома в сталь повышает её стойкость за счёт снижения количества феррита, увеличения степени дисперсности и др. Шаровидная форма графита благоприятна. Наиболее стойким является низколегированный чугун (1% Ni, 0,3 Mo) с шаровидным графитом и его наиболее целесообразно использовать

для корпусов центробежных насосов, заслонок, задвижек и других устройств в системах тепло- и водообеспечения.

Таким образом, область кавитационного разрушения часто бывает значительно удалена от зоны возникновения пузырьков. Первоначально происходит прогрессирующее разрыхление материала, приводящее к появлению многочисленных микротрещин, затем начинается выкрашивание мелких частиц. При определённых условиях кавитационная эрозия может в тысячи и даже сотни тысяч раз превосходить скорость коррозионного разрушения в той же среде. На разрушение деталей при кавитационном действии жидких коррозионных сред большое влияние оказывают состав и структура сплава и скорость потока жидкости.

1.4 Выбор композиционных ремонтных материалов и задачи исследования.

Анализ характеристик ремонтных композиционных материалов различных производителей показал, что для устранения износа металлических поверхностей в оборудовании и агрегатах систем жизнеобеспечения, каковыми являются водо- и теплоснабжение наиболее предпочтительными являются композиты с керамическими наполнителями. Такими материалами являются композиционные материалы фирмы «Честер Молекуляр» (Польша), а именно:

- «Металл Керамик Т» - пастообразной консистенции;
- «Металл Керамик F, FHT, FSL» - эти три вида материалов имеют жидкую консистенцию.

Основные физико-механические характеристики этих материалов представлены в таблице 1.3

Таблица 1.3

Физико-механические характеристики материалов Металл Керамик

Группы материалов	Металл Керамик			
Наименования материалов	Керамик Т	Керамик F	Керамик FHT	КерамикFSL
Консистенция	Паста	Жидкость		
Удельная масса композиции, (г/см ³) при 25 °С	2,03	1,90	2,00	2,00
Цвет	серый	Серый, синий	Серый	Серый, синий
Пропорции смешивания (основа : активатор) по массе по объёму	2,5:1 2:1	9:1 упаковка	9:1 упаковка	9:1 упаковка
Жизнеспособность приготовленной композиции при 20 °С, мин	20	15	20	50
Время отверждения до возможности механической обработки, час	3,5	3,5	4	7
Максимальная температуростойкость материала, °С	200	200	220	200
Рабочая температура, °С	-50 +150	-50 +150	-50 +180	-50 +150
Предел прочности, МПа при сжатии (согласно ISO 604) при изгибе (согласно ISO 178) на сдвиг (согласно ISO 4587)	144 90 22,8	120 110 22,9	120 105 15,4	120 110 24
Срок хранения, месяц				
Фасовка, кг	1 2 5	0,5 1 3	0,5 1	0,5 1 3

Материалы «Честер-Керамик» успешно применяются для восстановления корабельных гребных винтов, лопастей роторов, для восстановления

поверхностей подвергшихся коррозии. Поэтому вполне вероятно, что они могут быть использованы для восстановления оборудования систем водо- и теплоснабжения, к которым относятся корпуса насосов, теплообменники, заслонки, задвижки и другие агрегаты.

Анализируя данные таблицы 1.3 следует отметить, что «Металл Керамик» обладает высокими механическими характеристиками. Кроме этого они стойки к воде, маслам, моторным топливам, неконцентрированным кислотам и щелочам, а полную химическую стойкость материалы приобретают в течение 7 суток.

Таким образом, на основе патентно-информационного поиска, анализа оборудования систем водо- и теплоснабжения, классификации их дефектов, изучение различных видов износа, поиска новых материалов и технологий были определены основные задачи исследования, заключающиеся:

- в теоретической проработке вопросов адгезионной прочности и износостойкости;
- в выборе ремонтных композиционных материалов и проведении экспериментальных исследований по определению их физических, химических и механических характеристик;
- в обработке результатов экспериментов и построении графических и математических зависимостей;
- на базе использования ремонтных композиционных материалов разработать метод восстановления оборудования и агрегатов систем водо- и теплоснабжения, подвергающихся в процессе эксплуатации абразивному, коррозионному, кавитационному износам.

Выводы

1. Проведён анализ отечественных и зарубежных источников информации по рассматриваемой проблеме. Выделены объекты исследования в системах водо- и теплоснабжения и проведён анализ их дефектов.

2. Определены основные методы устранения износостойкости, рассмотрены основные характеристики, отмечены их преимущества и недостатки.
3. Рассмотрены составы, свойства и области применения современных ремонтных композиционных материалов на полимерной основе, подчеркнута целесообразность их применения для восстановления оборудования и агрегатов в системах жизнеобеспечения жилищно-коммунального хозяйства.
4. Определены основные задачи диссертационного исследования и алгоритмы и их решения, которые заключаются в разработке методологии сервисного обслуживания систем жизнеобеспечения и в разработке наукоемких технологических методов восстановления оборудования и агрегатов на базе использования прогрессивных полимерных композиционных материалов.

2. Теоретические методы определения адгезии и износостойкости ремонтных композиционных материалов.

2.1. Адгезия полимерных композитов к металлическим поверхностям.

Использование ремонтных композитов при восстановлении различных видов оборудования, в том числе в ЖКХ, требует глубокого изучения адгезионных процессов, возникающих при соединении полимерных композитов с металлическими и неметаллическими поверхностями.

Адгезия – (от латинск. *adhaesio* – прилипание) сцепление поверхностей разнородных тел [1].

Адгезионное взаимодействие это сложное и многогранное явление и до настоящего времени нет единого понимания механизма взаимодействия адгезива с поверхностью соединяемого материала. Одним из главных факторов, определяющих работоспособность металлополимерных материалов и различных конструкций является прочность и устойчивость адгезионных связей полимер-металл.

Адгезии полимеров к металлам посвящено исследователями большое количество работ как в нашей стране, так и за рубежом. Однако природа адгезии остается неясной, а прогресс в области адгезионных соединений определяется в основном экспериментальными исследованиями.

К началу XX века в научной среде оформилось мнение, что адгезия представляет собой силы, обуславливающие взаимное притяжение поверхностей двух разных тел при их соприкосновении многими своими точками.

Сложность проблем адгезионного взаимодействия привела к возникновению нескольких теорий адгезии, которые фактически представляли собой гипотезы [2]. На рис. 2.1 представлена структурная схема предложенных к настоящему времени теорий адгезионного взаимодействия и особенностей их определения.



Рис. 2.1. Адгезия полимеров к твердым поверхностям

Одной из ранних гипотез механизма склеивания была механическая теория Мак-Бена (1922-1926г.), рассматривающая этот процесс как механическое «заклеивание» клеящего вещества в микронеровностях склеиваемого элемента [2]. Поверхности деталей имеют отклонения от идеальной геометрической формы и даже при использовании отделочных методов обработки на поверхности остаются микронеровности. Эти отклонения формируются в процессе изготовления и эксплуатации детали и по глубине могут изменяться от нескольких долей миллиметра до нескольких миллиметров в зависимости от методов обработки и условий эксплуатации. Адгезия, согласно механической теории, рассматривается как механическое сцепление с шероховатой поверхностью детали, которая подлежит склеиванию. Механическая теория подчеркивает важное значение шероховатости поверхности и хорошо объясняет отдельные случаи адгезии, как например, хорошее сцепление клея с пористыми подложками. Однако у этой теории есть свои ограничения. Так в процессе отверждения, т.е. перехода из жидкого

состояния в твердое имеет место потеря энтропии, что выражается в уменьшении занимаемого объема. Это явление называется усадкой и является следствием отсутствия полного контакта между клеем и подложкой, что ведет к снижению адгезии, в том случае, если она связана только с механическим зацеплением.

Наиболее широкое распространение получила **адсорбционная теория**, первым создателем которой был Н.А. Дебройн. В приложении к полимерам эта теория рассматривает адгезию как проявление сил молекулярного взаимодействия между контактирующими молекулами адгезива и субстрата. К этой категории относятся вандерваальсовы и водородные связи. Возможно и образование химических связей, если молекулы абразива и субстрата имеют полярные функциональные группы. Определением меры полярности является, предложенная Мак-Лареном величина [9]:

$$M_p = \frac{\mu^2}{\varepsilon}; \quad (2.1)$$

где μ - дипольный момент молекулы вещества; ε – диэлектрическая проницаемость.

Адгезионную способность полимеров, которые содержат карбоксильные группы характеризует зависимость, также, предложенная Мак-Лареном:

$$A = K \cdot (\text{COOH})^n; \quad (2.2)$$

где COOH – концентрация карбоксильных групп в полимере; K и n – константы.

Дальнейшим этапом в совершенствовании теоретических положений адгезии стала разработка **электрической теории** адгезии, авторами которой явились Дерягин Б.В. и Кротов Н.А [9]. Эта теория обосновывает процессы разрушения двойного электрического слоя в клеевом соединении. При условии что адгезив и субстрат обладают различной структурой электронных зон, при их взаимодействии происходит перенос заряда, т.е. система адгезив-субстрат рассматривается как конденсатор.

Электрическая теория объясняет экспериментально наблюдаемое увеличение усилия отслаивания полимеров от металла, а также явления свойственные электричеству (треск, свечение, электризацию поверхностей).

В соответствии с электрической теорией максимальная зависимость адгезии от скорости разрушения имеет место для пары металл-диэлектрик (металл-полимер), а для пары металл-металл зависимость энергии разрушения от скорости практически не должна иметь места, так как в последнем случае при разделении поверхностей имеет место быстрое стекание зарядов из-за высокой проводимости материалов.

Если σ – поверхностная плотность заряда, а ε – диэлектрическая проницаемость среды, то сила F , необходимая для разрушения по электрической теории, равна:

$$F = 2\pi \frac{\sigma^2}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Энергия разрушения или адгезионная прочность будет равна:

$$A = 2\pi \frac{\sigma^2}{\varepsilon} \cdot h; \quad (2.4)$$

где h - толщина зазора (разрядного) промежутка.

Электрическая теория объясняет адгезию твердых тел и адгезионных соединений, которые образуются по адсорбционному признаку, т.е. она как бы является расширением адсорбционной теории. Российский ученый Н.М. Москвитин заложил основы **электрорелаксационной** теории адгезии, в соответствии с которой учитывается работа, затрачиваемая на деформирование тел при адгезионном разрушении [47]. Однако последующие исследования показали, что различные электрические явления, имеющие место при разрушении адгезионного соединения, являются следствием этого процесса, а не причиной их появления.

Электрорелаксационная теория определяет адгезию суммарным результатом двух усилий:

$$A = A_{\text{электр.}} + A_{\text{деформ.}}; \quad (2.5)$$

где $A_{\text{электр.}}$ - усилия на преодоление различных сил, в т.ч. химических, вандерваальсовых, электростатических;

$A_{\text{деформ.}}$ - усилия на деформацию других элементов адгезионного соединения.

Значение деформационной составляющей во многом зависит от когезионной прочности соединительных материалов и скорости деформации и ее повышение обеспечивает повышение прочности адгезионных соединений.

Диффузионная теория адгезии, предложенная С.С. Воюцким, объясняет образование адгезионных связей между двумя различными полимерами одинаковой (аутогезия) или разной природы диффузией макромолекул одного полимера в другой. Это возможно при условии, что сегменты полимерных цепей адгезива и субстрата взаимнорастворимы и подвижны [2].

Характерные особенности других теорий адгезии – электромагнитной, химической, реологической и диссипация кратко представлены на рис. 2.1.

В течение длительного времени ученые стремились создать единую теорию адгезии. Однако исключительная сложность адгезионных явлений, которые относятся к области, лежащей на стыке физики, химии и механики, не позволяет в настоящее время создать такую теорию. Так, сейчас, принято считать [2], что адсорбционная теория применима в большинстве случаев, а все остальные необходимо использовать для установления дополнительных факторов в адгезионное взаимодействие.

Таким образом, адгезионная связь возникает в результате молекулярного термодинамического и химического взаимодействий.

2.2. Методы исследования адгезионной прочности

Исследование адгезионной прочности соединений полимер металл может проводиться двумя методами — разрушающим и неразрушающим. К неразрушающим относятся калориметрический, спектрометрический и термодинамический методы.

Калориметрический метод характеризует адгезию жидкости к твердому телу по тепловому эффекту, который предложил Гаргенс [2]. Тепловой эффект определяют с помощью микрокалориметров с жидкостным термометром или термопарой. Адгезию полимера к твердой поверхности получают фиксируя тепловой эффект при нанесении на поверхность низкомолекулярного вещества, являющегося аналогом полимера.

Спектроскопический метод оценивает взаимодействие атомов и молекул полимера с твердой поверхностью. Связи между молекулами (атомами) характеризуются энергией и частотой колебания частиц и определяются методом спектрального анализа. Наибольшее распространение получила ИК-спектроскопия. Методом ИК-спектроскопии определяют взаимодействие полимеров с поверхностями металлов, которое характеризуется образованием водородных связей.

Термодинамический метод характеризует поверхности твердого и жидкого тел определенной энергией, называемой поверхностным натяжением. Энергию связи жидкого тела с твердым характеризует уравнение Дюпре [2].

$$W_{ад} = \gamma_s + \gamma_L - \gamma_{SL}, \quad (2.6)$$

где $\gamma_s + \gamma_L$ - избыточная энергия на границе контакта γ_{SL} жидкого L и твердого S тел;

На рис. 2.2 показана капля жидкости в равновесном состоянии на поверхности твердого тела

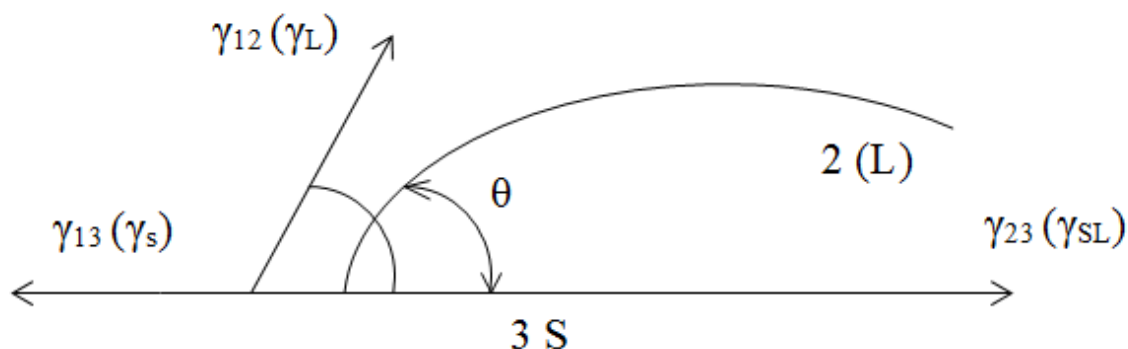


Рис. 2.2. Капля жидкости на твердой поверхности в равновесном состоянии.

Капля жидкости в равновесном состоянии образует с твердой поверхностью угол θ , который достигнет равновесного значения, если поверхностное натяжение жидкости, твердого тела и межфазного раздела жидкости и твердого тела станут уравновешенными.

По рис. 2.2 очевидно, что

$$\gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cdot \cos\theta \quad (2.7)$$

Анализируя выражения (2.6) и (2.7) получим для выражение, которое называют уравнением Юнга [1]

$$W_{ад} = \gamma_L(1 + \cos\theta) \quad (2.8)$$

На основе изложенного можно констатировать, что знание поверхностного натяжения жидкости и величины для смачивания θ позволяет определить адгезию жидкости к твердому телу. При этом значения γ_L и θ определяются экспериментально. Адгезия, полученная этим методом носит название термодинамической.

Перечисленные выше неразрушающие методы определения адгезии являются в большей степени теоретическими и экспериментальными, тогда как в практических целях для определения адгезии применяются разрушающие методы. Этим методов достаточно много. К ним относятся методы: отслаивания, ультразвуковой, пневмогидравлический, инерционный, ударной нагрузки и др. Однако наиболее широко для определения адгезии соединений полимер металл применяются метод сдвига, нормального и неравномерного отрыва, метод штифтов. Именно эти методы подробно рассмотрены в настоящей работе. На рис. 2.3 представлены схемы испытаний адгезионных соединений, выполненных по этим методам.

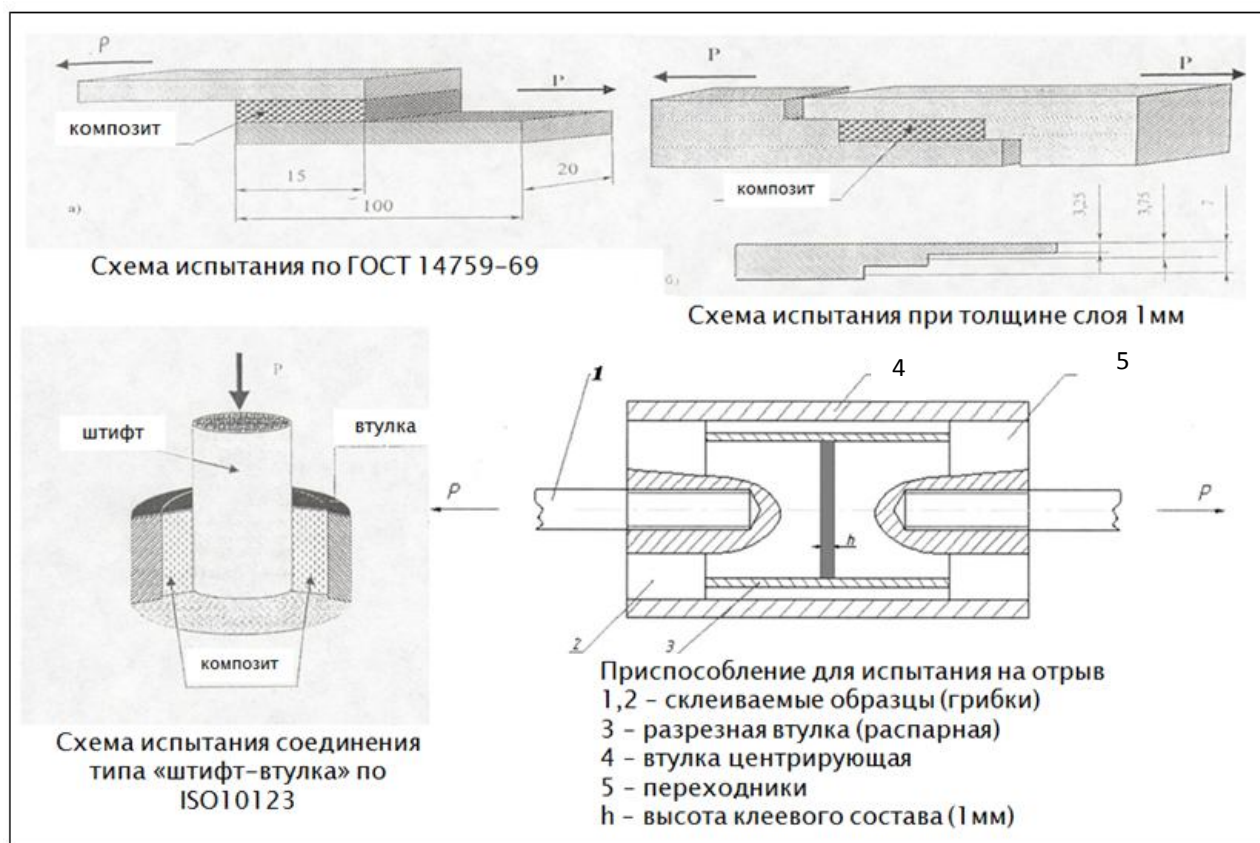


Рис. 2.3 Схемы испытаний адгезионных соединений.

При проведении исследований было установлено, что реальная прочность клеевых соединений значительно ниже, чем теоретическая. Такое различие объясняется наличием в нем микродефектов, возникающих в результате влажностных, тепловых, усадочных, механических и других взаимодействий, а также отсутствием универсальных методов расчета и единой теории адгезии.

Клеевое соединение является неразъемным соединением двух или более деталей, где нагрузка от одного склеиваемого элемента передается другому через клеевую прослойку. Такое соединение является всего лишь частным случаем адгезионного соединения гетерогенной системы, образующейся в результате адгезионного взаимодействия и обладает комплексом собственных характеристик, обусловленных свойствами адгезива и склеиваемых элементов.

В отличие от адгезии, которая характеризует прочность связи адгезива и субстрата, когезия определяет прочность самого адгезива. Когезия обусловлена химической связью между составляющими адгезив молекулами и атомами и

межмолекулярным взаимодействием. При формировании клевого шва у границ раздела возникает переходная зона, обусловленная влиянием поверхности склеиваемого элемента.

Рассмотрим наиболее широко распространенный тип клевого соединения металлов «внахлестку», у которого клеевая прослойка является полимером (рис. 2.4).

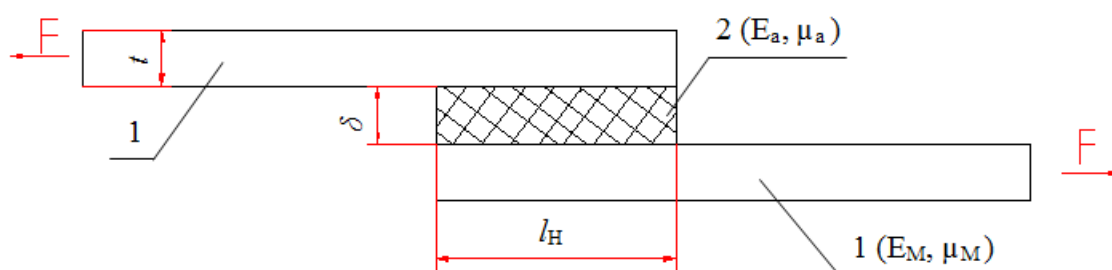


Рис. 2.4. Схема соединения типа «одинарная нахлестка»: 1 — склеиваемые элементы; 2 — клеевой шов; E_a , E_M - модули упругости адгезива и металла; μ_a , μ_M - коэффициенты Пуассона адгезива и соединяемых поверхностей.

Приложение нагрузки в плоскости склеиваемых пластин приводит к появлению переменных напряжений сдвига и отрыва, как в клеевом шве, так и на поверхности материалов. По длине нахлестки напряжения распределены неравномерно.

Максимальные напряжения в клеевом шве могут в несколько раз превышать значения среднего напряжения сдвига $\tau_{\text{ср}}$, определяемого внешней нагрузкой, отнесенной к площади склеивания.

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{l \cdot b}, \quad (2.9)$$

Где l - длина нахлестки, b - ширина склеиваемых элементов.

Максимальные напряжения на конце нахлестки и их отношение к среднему напряжению, т.е. коэффициент концентрации напряжений, в значительной степени зависит от геометрических параметров и свойств материалов клевого соединения. Упрощенно полагают, что не зависит от ширины нахлестки и уменьшается с увеличением ее длины.

Эксперименты показывают, что разрушающая нагрузка пропорциональна длине нахлестки только при небольших значениях последней, а после достижения некоторого значения разрушающая нагрузка стремится к постоянному значению и среднее разрушающее напряжение сдвига значительно уменьшается (рис. 2.5).

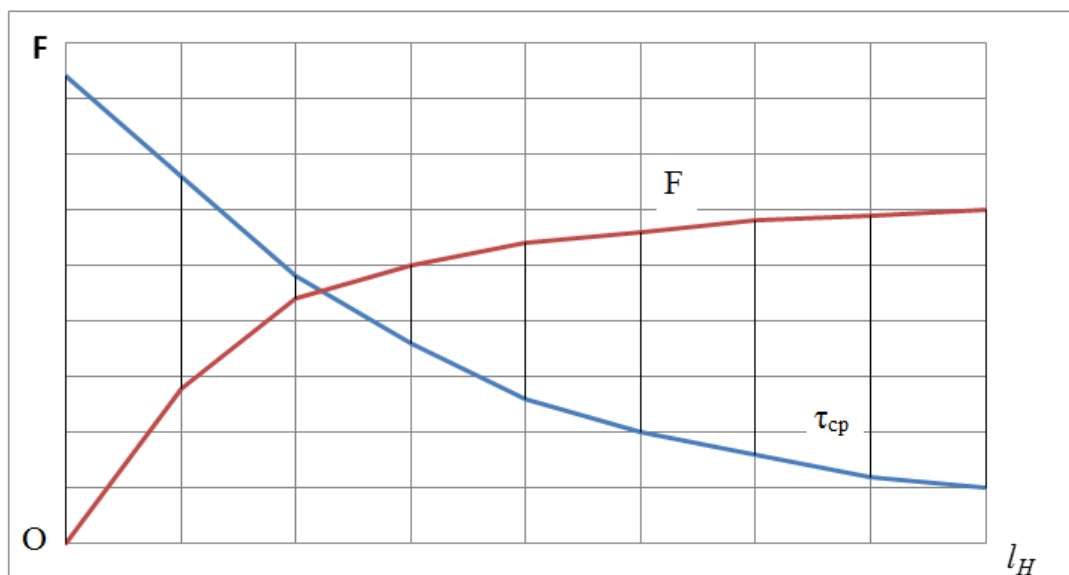


Рис. 2.5. График зависимости разрушающей нагрузки F и среднего разрушающего напряжения $\tau_{ср}$ при сдвиге от длины нахлестки.

Такое поведение клеевого соединения обусловлено концентрацией напряжений у конца нахлестки, вызванной разностью деформаций склеенных элементов и их изгибом, и во многом определяется пределом текучести материалов субстрата.

Если допустить, что напряжения распределены равномерно, то растяжения в склеиваемых элементах:

$$\sigma = \frac{F}{lt}, \quad (2.10)$$

где t - толщина склеиваемых элементов.

При постоянных значениях σ и t среднее разрушающее напряжение сдвига обратно пропорциональны длине нахлестки. При анализе распределения напряжений в клеевом шве необходимо также учитывать и разность деформаций склеенных элементов (рис. 2.6).

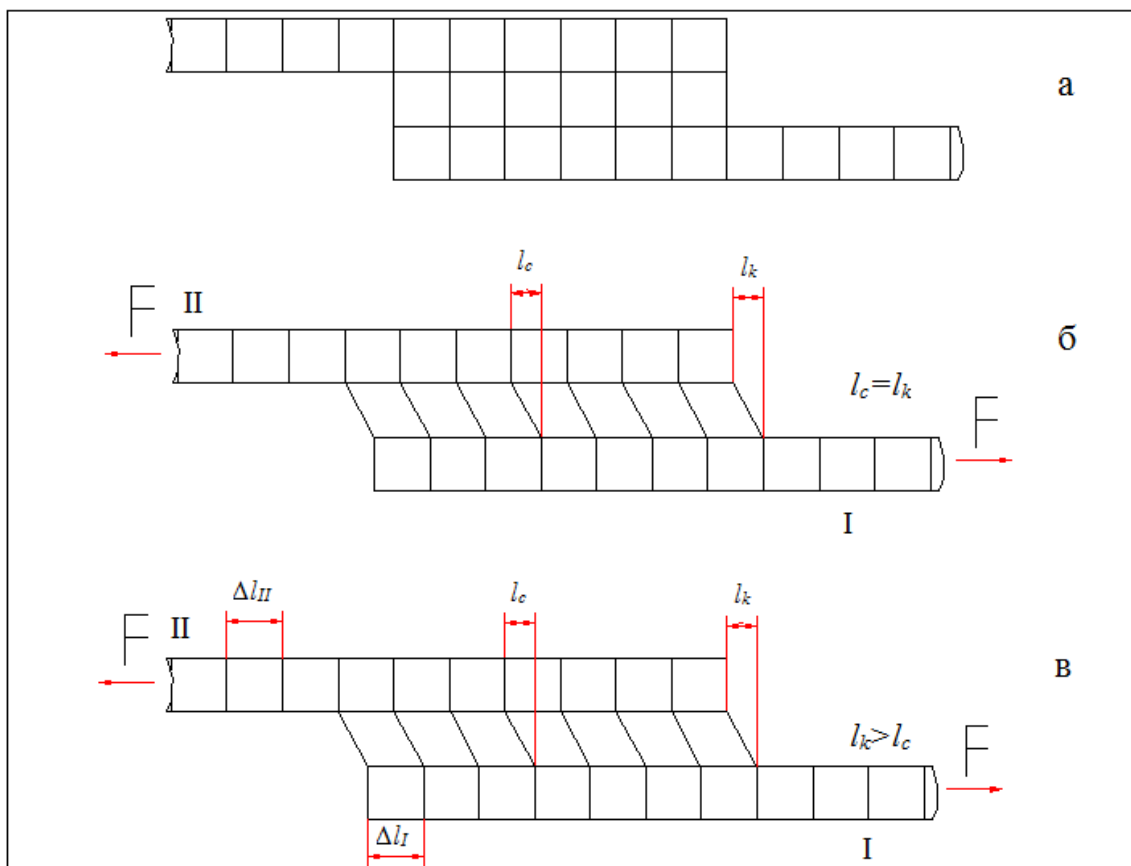


Рис. 2.6. Напряжения сдвига в клею шве:

а — не нагруженное соединение внахлестку; б — нагруженное при жестких склеиваемых элементах; в — нагруженное соединение при упругих склеиваемых элементах; l_c - деформация элементарного участка клевого шва в центре нахлестки; l_k - то же в конце нахлестки; Δl_I - деформация элементарного участка склеиваемого элемента I в конце нахлестки; Δl_{II} - то же для склеиваемого элемента II в конце нахлестки.

Если склеенные элементы не деформируются и перемещаются как жесткие блоки (рис. 2.6, б), то клеевой шов деформируется так, что взаимное смещение обоих элементов остается постоянным по всей длине клевого шва.

Если соединение выполнено для упругих склеиваемых элементов, то деформация и перемещение будут соответствовать отображению на рис. 2.6, в.

Неравномерность сдвигающих напряжений оценивается коэффициентом концентрации напряжений:

$$K_t = \frac{\tau_{max}}{\tau_{cp}} \quad (2.11)$$

Также следует отметить, что деформация в клею шве по его толщине также различна ($\Delta l_{II} > \Delta l_I$).

Обычно концентрация растягивающих напряжений является доминирующим фактором при разрушении клеевого соединения. Поэтому среднее напряжение при разрушении не характеризует истинного напряжения в клеевом шве. При сильном адгезионном взаимодействии и наличии наплыва на конце нахлестки трещина возникает у торца склеиваемого элемента и движется через слой адгезива по направлению к межфазной поверхности к зоне с наибольшей деформацией в склеиваемом элементе. Далее она распространяется в непосредственной близости от межфазной границы по направлению к центру нахлестки. Если адгезионное соединение симметрично как по геометрии, так и по свойствам материала, то распространение трещин начинается с 2-х концов нахлестки (рис. 2.7) и по достижении определенной длины нахлестки l_{ϕ} клеевого соединения разрушается.

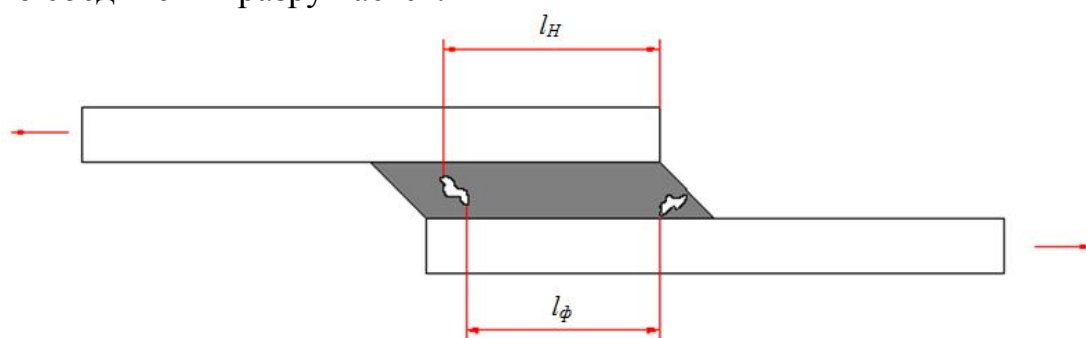


Рис. 2.7. Когезионное разрушение клеевого соединения: l_H - номинальная длина нахлестки; l_{ϕ} - фактическая длина нахлестки при разрушении.

Разрушение клеевого соединения обычно происходит за счет возникновения трещин, поскольку в основе механики сплошных сред, каковыми являются полимеры, лежит положение о том, что прочность большинства твердых тел обусловлена именно трещинообразованием.

Однако для определения прочности клеевого соединения недостаточен только анализ распределения напряжений в соединении. В исследовании прочности адгезионных соединений необходимо также учитывать ряд других факторов, особенно технологического и эксплуатационного характера, что крайне важно при использовании полимерных материалов для восстановления различных видов оборудования в промышленности и сфере ЖКХ.

2.3. Влияние технологических и эксплуатационных факторов на прочность адгезионных соединений

Исследование факторов, обеспечивающих надёжность адгезионных соединений позволило классифицировать их по предложенной на рис.2.8. структурная схема. Каждый из приведенных в схеме параметров оказывает определённое воздействие на прочностные характеристики соединения и позволяет регулировать как технологические, так и эксплуатационные свойства соединяемых материалов.

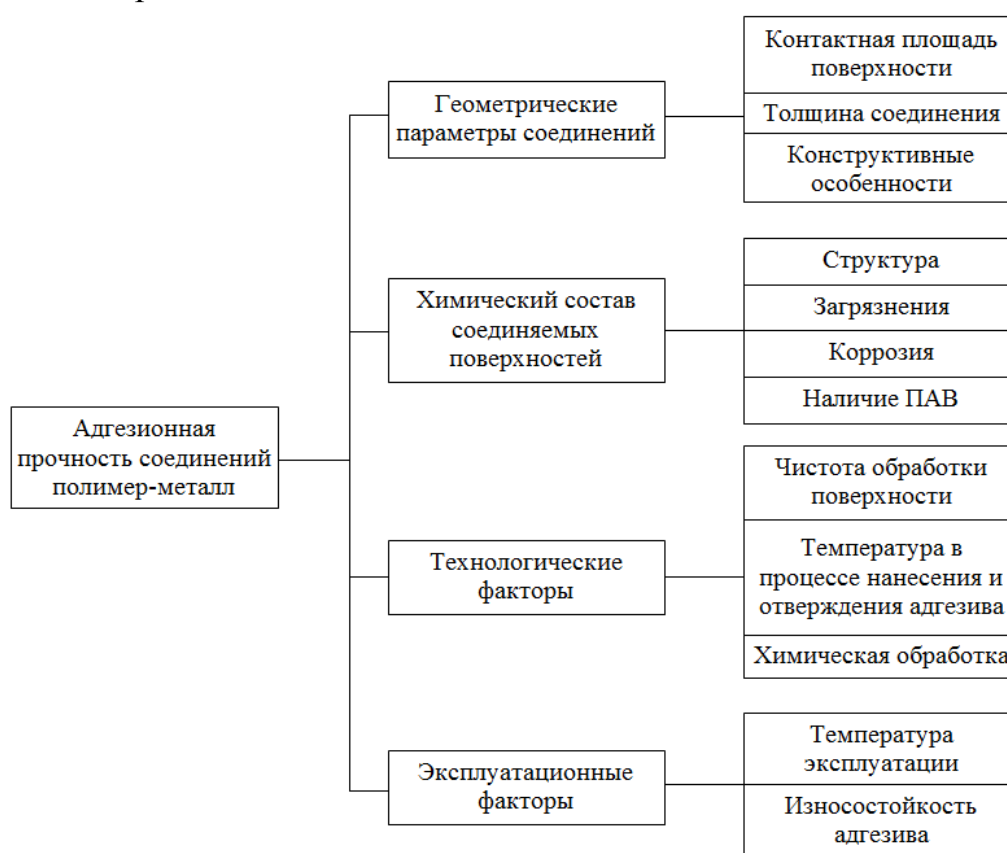


Рис. 2.8. Схема параметров, влияющих на адгезионную прочность.

Некоторые параметры, приведенные в структурной схеме исследованы в работе [19]. К ним относятся:

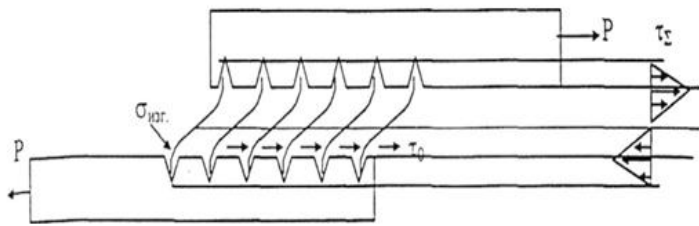
- влияние шероховатости на адгезионную прочность;
- зависимость адгезии от структуры и химического состава поверхности;
- зависимость от химической обработки соединяемых поверхностей.

На рис. 2.9, 2.10 приведены в обобщенном виде основные положения и результаты определения адгезионной прочности на конкретном ремонтном композите «Chester-Super» (с металлическими наполнителями). Однако в настоящей работе исследовались другие материалы, имеющие в своем составе керамические наполнители, что призвано было обеспечить кроме адгезии и высокую износостойкость поверхности выбранных композитов. К таким материалам относятся «Chester-Ceramic T», «Chester-Ceramic F». Поэтому на рис. 2.9, 2.10 указаны результаты экспериментальных исследований именно по этим композитам. Кроме того, в связи с тем, что температура и в технологии восстановления поврежденных поверхностей и при эксплуатации изделий оказывает на адгезионную прочность большое воздействие, в диссертационной работе было рассмотрено на конкретных материалах её влияние на адгезионную прочность при технологии и эксплуатации выбранных изделий. Основные математические зависимости [19] для расчёта адгезионной прочности и результаты расчётов для композита «Chester-Ceramic T» приведены на рис. 2.10.

от химического состава			от химической обработки коррозионной поверхности		
Шероховатость поверхности Ra, мкм	Адгезионная прочность Ст.20 МПа	Адгезионная прочность Сталь 40 ХН, МПа	№	Вид обработки, используемый состав	T _{сдв} МПа
2	19,46	19,65	1	Шлифование, обезжиривание ацетоном (Ra = 2,5 мкм)	19
2,1	20,05	19,9	2	Без обработки коррозии	1,9
2,2	20,45	20,75	3	Преобразователь коррозии на основе ортофосфорной кислоты	12,5
2,4	21,4	21,15	4	Гальванический преобразователь коррозии «Цинкор»	11
			5	Преобразователь коррозии «Икор»	15,2
			6	Преобразующе-грунтующий состав «Уникор-2»	14

от структуры поверхностного слоя				
Параметры сравнения	Структура поверхности	Шероховатость поверхности Ra. мкм	Твердость HRC	Адгезионная τ, МПа
Без термообработки	Феррит и Перлит	11,7	22	18,5
Закалка	Мартенсит	8,3	54,5	17,65
Закалка и высокотемпературный отпуск	Сорбит	8,2	28	17,3
Закалка, высокотемпературный отпуск и азотирование	Сорбит и азотир. слой	7,6	32	17,6

Рис. 2.9. Зависимость адгезионной прочности композита от различных факторов



Расчетная схема адгезионного соединения «одинарная нахлестка» с использованием композиционного материала.

$\sigma_{изг}$ - напряжение изгиба;

τ_0 - напряжение межфазного сдвига;

τ_{Σ} - суммарное напряжение в слое композита

Предельно сдвигающее напряжение

$$\tau_x = \tau_a + \tau_k$$

где: τ_a - адгезионная составляющая напряжения
 $\tau_a = \tau_0 \cdot R_{\Delta} \cdot k_2 \cdot k_{ж} \cdot (1 - k_m)$
 τ_k - когезионная составляющая напряжения
 $\tau_k = \sigma_{изг} \cdot k_m \cdot k_3 \cdot k_H$

Суммарное напряжение

$$\tau_{\Sigma} = \tau_0 \cdot R_{\Delta} \cdot k_2 \cdot k_{ж} \cdot (1 - k_m) + \tau_0 \cdot R_{\Delta} \cdot k_2 \cdot k_{ж} \cdot (1 - k_m)$$

Коэффициент шероховатости

$$k_m = R_{max} / S_m$$

где R_{max} - максимальная высота шероховатости, S_m - средний шаг шероховатости.
 Коэффициент увеличения контактной площади

$$R_{\Delta} = S_{ф} / S_r = f(S_{ф}/S_r)$$

где $S_{ф}$ - фактическая площадь шероховатой поверхности
 S_r - геометрическая (номинальная) площадь поверхности
 $k_2 = 1$; $k_{ж} = 1$; $k_3 = 4,3$; $k_H = 1$

Разрушающая нагрузка

$$P = k \cdot \tau_{\Sigma} \cdot S_r$$

где k - коэффициент запаса прочности

Расчетное напряжение сдвига

$$\tau_{\Sigma} = \tau_0 \cdot k_{ж} \cdot R_{\Delta} \cdot (1 - k_m) + \sigma_{изг} \cdot k_m$$

Принимая значения коэффициентов $k_{ж}$, k_3 , $k_{напр}$ для соединения типа «одинарная нахлестка» равным «1» и предел прочности материала на изгиб $\sigma_{изг} = 70$ МПа, расчетная зависимость адгезионной прочности от параметров шероховатости поверхности может быть представлена в следующем виде: мая значения коэффициентов $k_{ж}$, k_3 , $k_{напр}$ для соединени

$$\tau = 2,85 \cdot R_{\Delta} \cdot (1 - R_{max}/S_m) + 70 \cdot R_{max}/S_m$$

№	Вид механической обработки	Параметры шероховатости, мкм					Прочность соединений, МПа	
		Ra	Rmax	Sm	Km	RΔ	Расчет	Экспер.
1	Шлифование	1,9	5,3	138	0,038	1,038	5,5	5,4
2	Фрезерование	6,5	28,8	289	0,099	1Д	9,47	9,72
3	Абразивная обработка	7,7	42,2	393	0,107	1Д	10	10,6
4	Пескоструйная обработка	6,5	23,6	187	0,126	1,12	11,2	11

Рис. 2.10 Расчет адгезионной прочности соединений

Долговечность отремонтированного с помощью композитов оборудования зависит от тех условий, в которых происходит нанесение материала на металлическую поверхность, в частности от температуры окружающего воздуха и от его влажности. При высокой влажности и при этом недостаточно высокой температуре на поверхности металлов, с которыми будет контактировать полимер, конденсируется влага, которая впоследствии может играть роль очагов зарождения коррозионных процессов, снижающих адгезионную прочность соединений «полимер-металл». Изучение влияния этих факторов позволило рекомендовать следующее соотношение влажности и температуры окружающей среды, которое определяет значение температуры, при которой следует выполнять ремонт с обеспечением долговечности и надёжности металлополимерного соединения [4]:

$$t \geq 0,625 \cdot \delta - 19, \quad (2.12)$$

где δ – относительная влажность воздуха в %.

Это соотношение справедливо для большинства металлополимеров.

Температура окружающего воздуха, а следовательно и температура ремонтного композита в момент смешивания компонентов и дальнейшей полимеризации определяет многие другие особенности применения этих материалов, без знания и учета которых выполнение ремонтных работ не будет эффективным. Температура окружающего воздуха определяет жизнеспособность подготовленной смеси и время проведения самого ремонта. Эксперименты, проведенные с материалами «Chester-Ceramic T» и «Chester-Ceramic F» позволили получить графическую зависимость, приведённую на рис. 2.11.

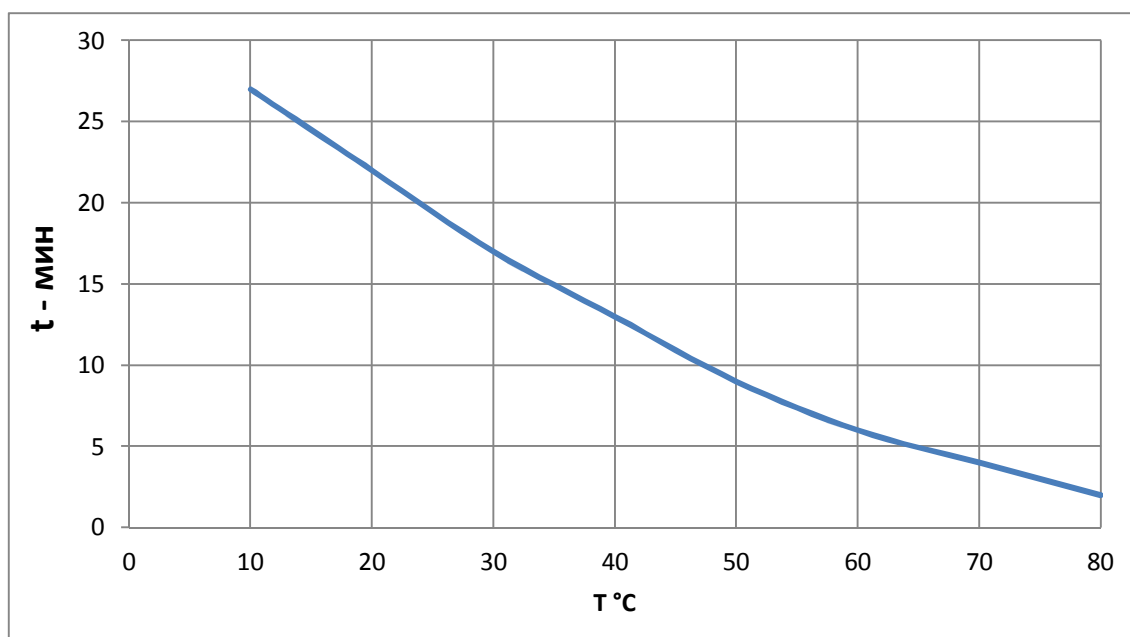


Рис. 2.11. Зависимость времени отверждения композитов «Chester-Ceramic» от температуры окружающей среды

Так как прочность на сдвиг τ_c у композитов твердой (Т) и жидкой фазы (F) практически одинаковы и составляют 22,8 МПа и 22,9 МПа, то кривые на графике (рис 2.11) так же совпадают.

Изменение прочности композитов «Chester-Ceramic T» и «Chester-Ceramic F» представлено на графике отображенном на рис 2.12.

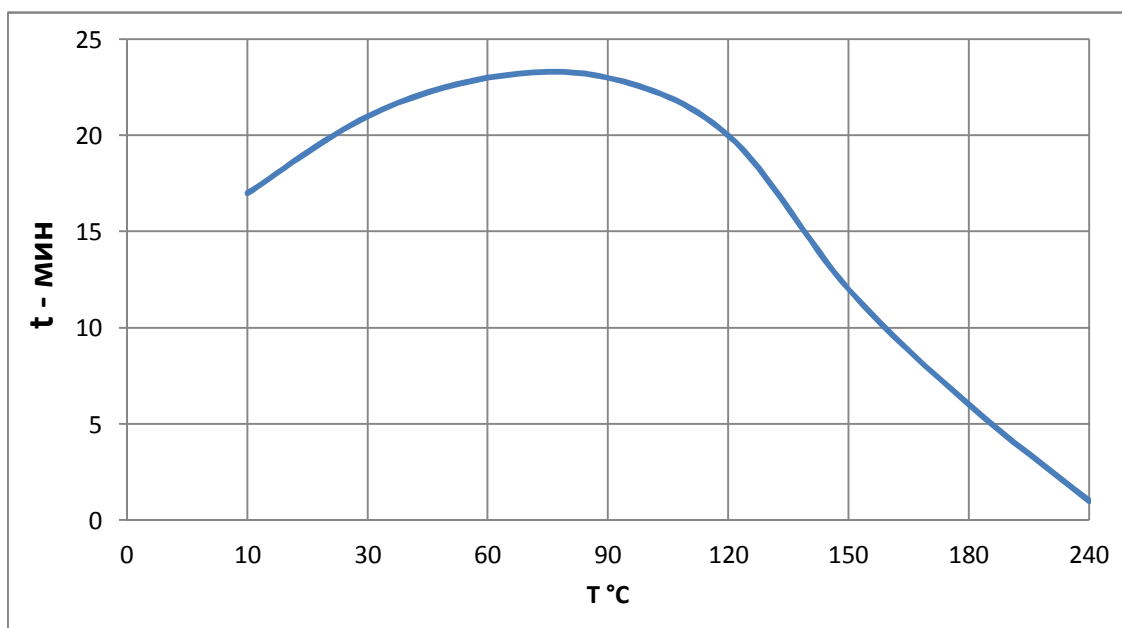


Рис. 2.12 Зависимость адгезионной прочности композитов «Chester-Ceramic» в зависимости от температуры

Анализируя полученную кривую следует сделать вывод, что до температуры +90 °C идет плавное повышение прочности композита, при этом исходное свое значение композиты достигают при температуре +40 °C. При температуре 230-250 °C происходит необратимое разрушение материала. Образцы нагретые до температуре 150-180 °C при охлаждении полностью сохраняют свои механические свойства. Было установлено экспериментально, что если в процессе полимеризации нанесённого композита применяется местный нагрев до температуры 60-90 °C то прочность после отверждения увеличивается на 10-15%. Это обстоятельство следует учитывать для повышения эксплуатационных характеристик ремонтируемых объектов.

А.Д. Зимон [19], анализируя данные экспериментальных исследований, установил, что на адгезионную прочность может оказываться различное влияние высотой выступов шероховатости поверхности под композит.

Э. Кречмар [88] в своей работе отразил, что в результате напыления на поверхность чугуна разнообразных плёнок, максимум адгезии достигается при условии, что глубина шероховатости составляет от 80 до 100мкм (рис.2.13).

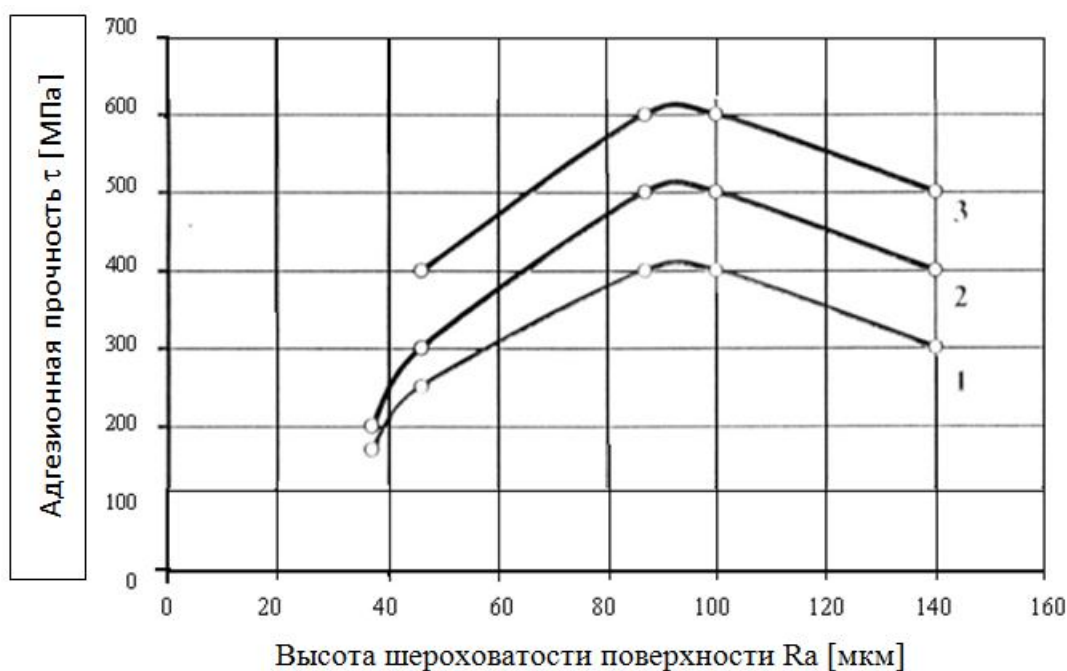


Рис.2.13. Зависимость адгезионной прочности, определяемой сдвигом, от глубины впадин шероховатой поверхности чугуна при адгезии плёнок: 1-латуни, 2-цинка, 3-алюминия.

Выступы шероховатой поверхности условно можно представить в виде конусов с закруглённой вершиной радиусом r [50]. Максимальный угол наклона образующей конуса к его высоте на металлических поверхностях может составлять от 80 до 85° [50]. Боковая поверхность S_δ подобного конуса с высотой δ и углом β равна:

$$S_\delta = \pi \delta^2 \operatorname{tg} \beta / \cos \beta \quad (2.13)$$

С учётом угла наклона образующей конуса возникающие контактные напряжения равны:

$$\sigma_k = \pi \sigma_b \delta^2 \operatorname{tg} \beta / S_\phi \quad (2.14)$$

где S_ϕ - площадь фактического контакта.

Макушин А.П. [41] в своей работе показал, что в субстрате идет возрастание контактных напряжений в связи с возрастанием высоты выступов шероховатой поверхности δ , внутренних напряжений σ_b , и твёрдости материала субстрата. На шероховатой поверхности металла адгезионная прочность плёнок прямопропорциональна контактным напряжениям. Адгезионная прочность в

случае увеличения высоты шероховатости определяется упругими свойствами адгезива.

В итоге, предпосылками для результативного использования когезионных свойств адгезива и обеспечения большей прочности соединений служат микрореологические процессы контактного взаимодействия. С учётом этих процессов, возникающих на межфазной границе, адгезионная прочность σ_v определяется как зависимость энергии активации разрушения от свойств условий контакта и получаемых адгезионных связей:

$$W_{отр} = (P\tau kv^n / A) \exp [\alpha(P) + U_{1,2} / RT_{разр} - U / RT_k] \quad (2.15)$$

где:

T_k, τ, P , - температура контакта, время и давление соответственно;

$T_{разр}$ - температура разрушения;

kv^n - скорость разрушения образовавшихся связей;

v – скорость разрушения адгезионной связи;

$\alpha(P)$ – функция, учитывающая изменение давления при форматировании адгезионного взаимодействия;

U – энергия вязкого течения жидкого адгезива;

$U_{1,2}$ – кажущаяся энергия активации при определении адгезионной прочности, получаемая экстраполяцией зависимости $U_{1,2}$ от $W_{отр}$.

Энергия активации разрушения в большей степени зависит от распределение напряжений в пограничном слое адгезива [41]. Теоретические исследования внутренних напряжений в адгезионном соединении сопряжены со значительными трудностями, даже если принять распространённое допущение о «совершенно упругом» поведении адгезива. Действующие в плоскости раздела фаз напряжения [47] являются растягивающими и постоянными по величине у межфазной поверхности:

$$\sigma = E_a \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta T \quad (2.16)$$

где $\Delta\alpha$ – разность линейных коэффициентов термического расширения адгезива и субстрата, ΔT – разность между температурой адгезионного взаимодействия и температурой разрушения.

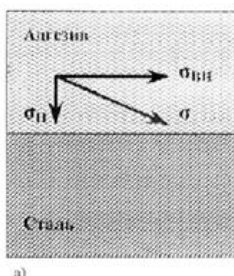
Рассмотренные положения не учитывают возможность использования шероховатость поверхностей, форма которых отличается от плоскости возникновения и влияние внутренних напряжений.

Прочность соединения σ_B в значительной степени определяется возникающим в слое адгезива напряжением σ_{BH} , а так же зависимостью от толщины слоя и параметров контактного взаимодействия на границе адгезив-субстрат [19]:

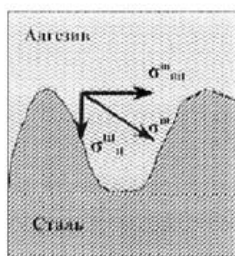
$$\sigma_B = k \cdot \sigma_{BH} \cdot h \quad (2.17)$$

где: h – толщина пленки, k – коэффициент пропорциональности.

На рис. 2.14 показано влияние шероховатости на адгезионную прочность и формулы расчета напряжений, возникающих в слое адгезива.



а)



б)

Возникающие в слое адгезива напряжения σ_{BH} в значительной степени определяет прочность соединения σ_B , которая зависит от толщины слоя и параметров контактного взаимодействия на границе адгезив-субстрат:

$$\sigma_B = k \cdot \sigma_{BH} \cdot h$$

где: h – толщина пленки, k – коэффициент пропорциональности

Напряжения σ_{BH}^{sh} и σ_n^{sh} на шероховатой поверхности отличаются от подобных напряжений σ_{BH} и σ_n на гладкой поверхности

- а) Адгезионное соединение с гладкой поверхностью.
- б) Адгезионное соединение с шероховатой поверхностью.

σ_n – внешняя нагрузка;
 σ – внутренние напряжения в адгезиве на границе раздела «адгезив- субстрат»;
 σ_{BH} – внутренние напряжения в слое адгезива

Связь между этими напряжениями в зависимости от высоты выступов шероховатости поверхности b и толщиной пленки h можно выразить следующей формулой:

$$\sigma^{sh} = (1 - k \cdot b / (b + h)) \sigma$$

Данное уравнение справедливо для касательных и нормальных напряжений. Коэффициент k изменяется от 0,75 до 10,0 с уменьшением высоты выступов от 1 до 0,01 мм.

Таким образом, шероховатость поверхности оказывает большое влияние на распределение напряжений в пограничном слое адгезива.

Рис. 2.14. Влияние шероховатости на адгезионную прочность соединений

Технические характеристики композиционных материалов показывают, что наименьшей прочностью обладает межфазная граница полимер-металл.

Оценка технологических факторов адгезионного контакта позволяет предполагать, что увеличение прочности получаемых соединений возможно путём изменения условий контактного взаимодействия на операциях подготовки поверхности и технологических методах нанесения композита.

На основании современных представлений о процессах адгезионного взаимодействия основные технологические параметры контакта адгезив-поверхность можно классифицировать по трём группам (рис. 2.15).



Рис.2.15. Основные технологические параметры, влияющие на прочность адгезионных соединений

Характер напряжений и вид механической обработки поверхности определяют геометрические параметры адгезионных соединений. Молекулярные связи определяются химическим составом поверхности, а

скорость растекания адгезива базируется на условиях контактного взаимодействия.

В соответствии с целью настоящего диссертационного исследования следует определить технологические факторы, оказывающие влияние на прочность адгезионного соединения и исследовать их влияние на механические характеристики контактной поверхности полимер-металл. Следует также сформулировать расчётную зависимость адгезионной прочности от параметров межфазного взаимодействия с учётом основных технологических факторов.

2.4. Износостойкость ремонтных композиционных материалов.

В процессе эксплуатации систем водо- и теплоснабжения износу подвергаются внутренние полости центробежных насосов, крыльчатки, заслонки, соединения трубопроводов и некоторые другие элементы. Это происходит в результате разрушающего действия абразива, коррозии и кавитации. Эти виды износа подробно рассмотрены далее. Их перечень представлен на рис. 2.16.

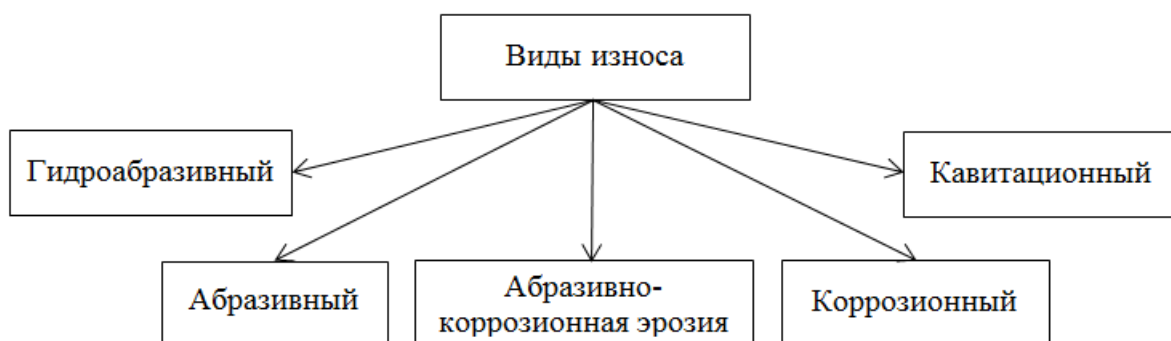


Рис. 2.16. Перечень рассмотренных в диссертации видов износа

Абразивное изнашивание. Все виды абразивного изнашивания относятся к механическому, т.е. к разрушению и отделению материала от поверхности в результате механических воздействий. Собственно **абразивное изнашивание** – это механическое изнашивание материалов, в основном при режущем или царапающем действии твёрдых частиц, находящихся в свободном

или закреплённом состоянии. **Гидроабразивное (газоабразивное) изнашивание** – результат действия твёрдых частиц, взвешенных в жидкости (газе) и перемещающихся относительно изнашивающегося тела. **Ударно-абразивное изнашивание** наблюдается при динамическом контакте взаимодействующих поверхностей, если между ними есть частицы, превосходящие по твёрдости поверхности индентора и покрытия [15].

Во всех методах износа потерю массы и линейный износ определяют соответственно прямым изнашиванием и измерениями размеров образца до и после испытаний.

При обработке результатов вычисляют средние арифметические значения потерь массы $g_э$, г, или средний линейный износ $h_э$, мм, эталонных образцов и потерь массы $g_и$ или средний линейный износ $h_и$ испытуемых образцов.

Относительная износостойкость (K_g или K_h) исследуемого материала вычисляется по формулам:

$$K_g = g_э \rho_и N_и / (g_и \rho_э N_э) \quad (2.18)$$

$$K_h = h_э N_и / (h_и N_э) \quad (2.19)$$

где $\rho_э$, $\rho_и$ - плотности эталонного и исследуемого материалов, г/см³;

$N_э$, $N_и$ – число ударов (ГОСТ 23.212-82).

Полученные данные можно использовать, в частности, для расчётов остаточного ресурса, дисперсии остаточного ресурса и вероятности безотказной работы оборудования тепло- и водоснабжения.

Большинство методов испытаний регламентированы нормативными документами, входящими в комплекс государственных стандартов по обеспечению износостойкости изделий. Этими стандартами устанавливается система единых критериев методов и средств расчётной и экспериментальной оценки триботехнических характеристик конструкционных материалов, в том числе износостойких покрытий.

Сущность приводимых методов испытаний заключается в том, что в одинаковых условиях при соответствующем воздействии абразивных частиц

изнашиваются исследуемый с покрытием и эталонный образцы, а относительная износостойкость покрытия оценивается из сравнения их износов.

Эталонные образцы и контрообразцы для всех методов изготавливают из стали 45 по ГОСТ 1050-88 после термической обработки. Общими для всех методов являются следующие условия: фиксированное крепление образцов, обеспечение стабильных статических или динамических нагрузок, регламентация времени испытаний [17].

Гидроабразивное изнашивание. Гидроабразивному изнашиванию подвергаются диафрагмы и рабочие колёса насосов, детали насосного и трубопроводного оборудования, лопасти и камеры гидротурбин.

Исследования М.М. Тененбаума показали, что гидроабразивное изнашивание является сложным, самонастраивающимся процессом, зависящим, прежде всего от угла атаки, скорости абразивных частиц в момент удара о поверхность детали, отношения значений твёрдости изнашиваемого материала и абразива (коэффициент твёрдости), концентрации абразивных частиц в жидкости [61]. Этот процесс определяется не только действием абразивных частиц. Но и физико-химическими реакциями с жидкостью. При определённых условиях воздействие жидкости может быть столь активным, что изнашивание может быть подавлено кавитацией или коррозией. Обычно такому разрушению предшествует пластическая деформация, микроусталостные явления или процессы микрорезания, на которые накладываются гидравлические удары захлопывающихся кавитационных пузырьков и адсорбционно-коррозионные реакции. Систематические исследования позволили сформулировать научный подход к проблеме выбора материала и определить влияние и взаимодействие внешних факторов, обуславливающих гидроабразивный износ [16].

При собственно гидроабразивном изнашивании наиболее важным фактором является угол атаки. Среди материалов, подвергнутым разнообразным упрочняющим обработкам, лишь винипласт оказался малочувствительным к изменению угла атаки. Очень заметно влияние угла

атаки на износ сталей и чугунов; максимальный износ соответствует $\alpha = 18+60^\circ$. Особенно сильно зависит от α величина износа прочных, но хрупких минералокерамик и твёрдых сплавов: изменение угла атаки с 10 до 70° увеличивает скорость изнашивания в 1,5-8 раз. Величина износа и скорость удара абразивных частиц колеблется от 1,5 до 4 и определяется физико-механическими свойствами изнашиваемого материала.

Как и при некоторых других видах абразивного изнашивания твёрдость влияет на износ двояко: увеличение её сопровождается повышением износостойкости при вязком разрушении и снижением при хрупком. Величина износа зависит не только от абсолютных значений твёрдости изнашиваемой поверхности, но и от соотношения твёрдости абразива и детали.

Поскольку на гидроабразивное изнашивание влияют разнообразные факторы, и в настоящее время нет теории разрушения при этом сложном процессе, корректная оценка износа реальных материалов и ресурсные испытания должны проводиться в условиях, максимально имитирующих эксплуатационные.

Кавитация. Термин «кавитация» происходит от латинского слова *cavitas* – пустота. Она представляет собой образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может переходить при увеличении её скорости. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк захлопывается, излучая при этом ударную волну. Кавитация разрушает поверхность гребных винтов, гидротурбин, насосов, трубопроводов, задвижек и других элементов.

Наличие местных сопротивлений в виде неровностей поверхности, бугорков от крепёжных соединений, изгибов, встречающихся в трубопроводах и других деталях гидросистем, приводит к образованию не только кавитационных пузырьков, но и вихрей, обуславливающих турбулентное движение потока. Таким образом, турбулентный поток, имея большое число

вихрей, а также кавитационных пузырьков при своём течении вызывает усиленный кавитационно-эрозионный износ поверхности материала деталей и гидроагрегатов [39,50].

Абразивно-кавитационная эрозия включает в себя элементы как кавитационной эрозии, так и абразивной и проявляется при использовании жидких потоков со взвешенными в них твёрдыми частицами. По существу это гидроабразивная эрозия, усугубляющаяся разрушительным кавитационным действием текущих струй жидкости. Наличие кавитации интенсифицирует процесс эрозионного разрушения. При потере устойчивости пузырьков или полном их исчезновении на поверхности детали происходят удары объёмов жидкости, содержащих абразивные частицы, что приводит к дополнительному абразивному разрушению в кавитационной зоне по сравнению с чистой кавитацией. Абразивные частицы, находящиеся вблизи зоны кавитации, получают дополнительные импульсы от пульсирующих с высокой частотой кавитационных пузырьков, вследствие чего «чисто абразивный» износ увеличивается.

При кавитационном воздействии наиболее высокую стойкость против разрушения под воздействием взрывающихся на поверхности деталей газовых микропузырьков имеют нестабильные аустенито-карбидные и аустенито-мартенситные сплавы, получаемы при изготовлении деталей и литейном производстве и восстанавливаемые затем методами электродуговой наплавки, напыления, либо нанесением различных противоизносных покрытий, в том числе композиционных.

Коррозия. Из всех факторов, снижающих надёжность (долговечность и работоспособность) агрегатов, коррозия причиняет наибольший вред. Поэтому ей и мероприятиям по её устранению и предупреждению уделяется большое внимание. Следует отметить, что агрегат меньше подвержен коррозии, когда он работает, и больше – когда находится в бездействии [15].

По характеру протекающего процесса различают две группы коррозии: химическую и электрохимическую. Химическая протекает в сухих газах.

Электрохимическая коррозия наблюдается в электролитах и во влажных средах и сопровождается окислительно-восстановительными реакциями на границе металл-электролит. При коррозии в водной среде большое значение имеет концентрация ионов водорода. Кислая среда особенно опасна для таких металлов как железо и алюминий, из которых в основном изготавливаются корпуса насосов. В щелочной среде легко разрушаются алюминий и цинк и более устойчивые железные сплавы.

На деталях, имеющих лакокрасочные покрытия, коррозия проявляется в виде вздутий и шелушения лакокрасочной плёнки и наличия в этих местах продуктов коррозии, характерных для основного металла.

Стойкими к воздействию коррозионной среды считаются металлы, скорость коррозии которых не превышает следующих значений: чёрные металлы $0,045-0,09$ г/м²·ч, медь и её сплавы – $0,051-0,01$ г/м²·ч, свинец и его сплавы – $0,065-0,12$ г/м²·ч, алюминий и его сплавы – $0,015-0,031$ г/м²·ч, магний и его сплавы – $0,01-0,02$ г/м²·ч.

Степень коррозионного поражения металла агрессивной жидкостью определяется рядом факторов, как внешних (температура жидкости, продолжительность контакта жидкости с металлом детали, характер их относительного перемещения, состояние поверхности детали), так и внутренних состав жидкости, структура металла детали.

Борьба с коррозией на современном этапе является важной и актуальной задачей, ибо мероприятия связанные с противокоррозионной защитой обеспечивают длительную эксплуатацию различных агрегатов и оборудования, в том числе в системах водо- и теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства.

Выбор методики испытаний покрытий на изнашивание определяется целью исследования, в ходе которого изучается процесс разрушения для выявления общих закономерностей изнашивания композиционных покрытий; определяются влияния технологических параметров нанесения покрытий, состава и свойств композитов на износостойкость; оценивается влияние

структуры и свойств композиционных материалов на износостойкость при заданных условиях внешнего воздействия; выбирается оптимальное покрытие для работы в конкретных условиях. В двух последних случаях особенно важен правильный выбор методики. При этом нужно подбирать схему, переменные параметры нагружения и рабочую среду по возможности более близкие к эксплуатационным. Труднее всего обеспечить соответствие нагрузок и площадей контакта, так как в большинстве испытательных установок из-за недостаточной мощности нельзя достичь таких же нагрузок, как в рабочих узлах насосного оборудования. Получить такую же по величине удельную нагрузку можно лишь при уменьшении площади контакта. Однако при этом в результаты исследований вносится элемент неопределённости, так как ещё не доказано, что величина износа не зависит от площади контакта.

На лабораторных испытательных машинах при эталонном режиме нагружения или в условиях, имитирующих эксплуатационные, оперативно сравнивают режимы нанесения покрытий из композитов, решают задачи оптимального выбора их химического состава, контролируют стабильность свойств при испытаниях, получают исходные данные для расчётов, разрабатывают граничные условия эксплуатации испытываемых износостойких покрытий. Сравнительные результаты лабораторных исследований материала могут быть использованы при стендовых или эксплуатационных испытаниях.

Опыты на машинах трения рассматривают как начальные в последовательной системе ступенчатых (лабораторные – стендовые – эксплуатационные) испытаний. Результаты каждой предыдущей ступени служат предварительными данными для определения износостойкости на последующих ступенях.

При оценке износостойкости применительно к конкретным условиям эксплуатации чаще всего производят один из кинематических типов сопряжений: внутреннее касание неплоских поверхностей с близкими значениями радиусов кривизны; касание плоских поверхностей (плоскость – плоскость); внешнее касание неплоских поверхностей с разными радиусами

кривизны. В зависимости от кинематического типа сопряжений деталей выбираются испытательная машина, размеры и форма образцов. Машина должна обеспечивать натурные значения давлений и скоростей скольжения, подачу смазки в зону фрикционного контакта, предполагаемую продолжительность испытаний.

В общем случае современные серийные машины трения характеризуются блок-схемой, изображенной на рис. 2.17.

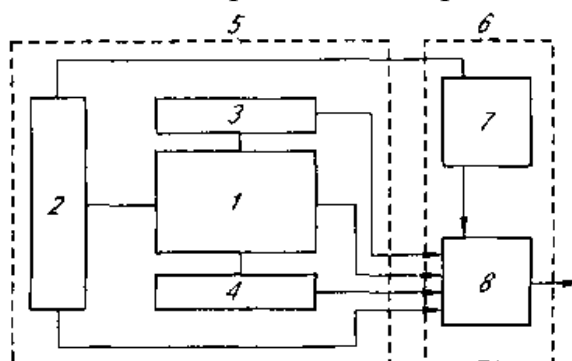


Рис. 2.17 Блок-схема серийных машин трения (по Э. Д. Брауну и Б. Л. Смушковичу): 1 — испытательный блок; 2 — привод; 3 — узел нагружения; 4 - камера; 5 - собственно машина трения; 6 — пульт; 7 — блок управления; 8 — блок измерения

Основной узел машины, обеспечивающий обычно несколько схем испытаний, - испытательный блок. Привод и узел нагружения позволяют изменять в достаточно широких пределах скорости движения и удельную нагрузку. Передаточный механизм привода и узел нагружения обеспечивают стабильность движения образца и нормальной нагрузки независимо от изменений в процессе испытаний момента трения и величины износа.

Интенсивность изнашивания вычисляют по формуле:

$$I = W/L \quad (2.20)$$

где W - линейный износ образца, м; L - путь трения данного образца, м.

Зависимости интенсивности изнашивания от скорости скольжения и удельного давления удобно представлять в прямоугольной (пространственной) системе координат (рис. 2.18) . Эти зависимости могут быть использованы как исходные для решения задач прогнозирования ресурса с применением ЭВМ.

На компьютере можно получить картину изменения состояния исследуемого узла с начала приработки до предельного износа. В течение малого времени ЭВМ способна решать задачи прогнозирования ресурса и износа разнообразных узлов с учётом формоизменения деталей в результате изнашивания, неравномерности распределения удельных нагрузок на поверхности контакта.

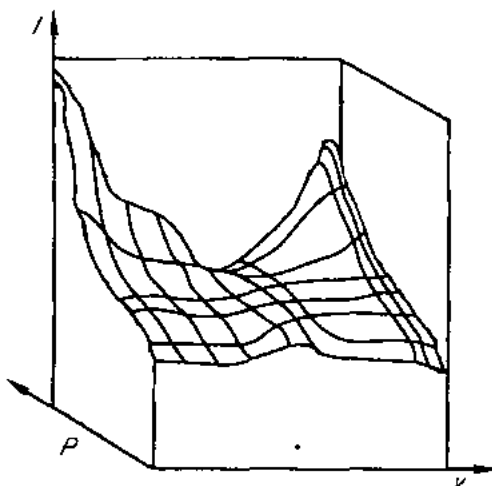


Рис. 2.18. Диаграмма зависимости интенсивности изнашивания (I , или K_{II}) от скорости скольжения (v) и удельного давления (P)

Сущность ускоренного метода испытаний по ГОСТ 23.205-79 заключается в последовательном чередовании режимов изнашивания - нормальных и форсированных. При этом выявляют зависимость скорости изнашивания в нормальном режиме от уровня изменения износа при условии, что зависимость, полученная по результатам ступенчатых испытаний, справедлива для процесса изнашивания в нормальном режиме. Испытания должны начинаться и заканчиваться ступенями с нормальным режимом.

При ускоренных ресурсных испытаниях сначала вычисляют **средние скорости изнашивания** на ступенях с нормальным режимом по формуле:

$$\xi = \Delta W / \Delta t \quad (2.21)$$

где ΔW – износ, мм;

Δt – продолжительность испытаний на очередной нормальной ступени, с.

Затем определяют количественные параметры зависимости скорости изнашивания от износа.

Устанавливается функция **наработки изнашиваемого образца** в нормальном режиме от уровня износа

$$t = t_0 + \int_{w_0}^w \frac{dw}{\xi(w)} \quad (2.22)$$

где t_0 — наработка на приработочной ступени, с; W_0 — износ, накопленный к моменту окончания приработочной ступени испытаний, м.

Есть стандартные методы решения триботехнических задач. По численным значениям интенсивности изнашивания для конкретных изделий могут быть рассчитаны остаточный ресурс, его дисперсия и вероятность безотказной работы [16].

Метод оценки износа выбирают в зависимости от конкретных условий испытаний и формы образцов (рис.2.19).



Рис. 2.19. Методы измерения износа и измеряемые величины.

Для рассматриваемой проблемы, а именно износа оборудования в системах водо- и теплоснабжения наиболее характерны методы

микрометрирования, взвешивания и определения остаточной толщины покрытия.

Микрометрирование используют, когда износ сопровождается большими изменениями размеров деталей. Величину линейного износа оценивают по разности размеров до и после испытаний. В качестве измерительных инструментов применяют концевые меры длины, оптические инструментальные микроскопы, микрометры и т.д. Приборы, позволяющие определять размеры с точностью до 1 мкм, дают возможность оценить линейный износ с точностью не менее 5 мкм. Увеличение погрешности связано с наличием деформации, неточностью установки измерительного прибора, непостоянством температуры измерений и т.д. С помощью микрометрирования находят лишь конечную величину износа без непрерывной его оценки при изнашивании [17,73].

Известны два варианта оценки износа методом взвешивания: определение массы продуктов изнашивания и определение массы изношенного образца. В первом случае погрешность испытаний зависит от тщательности сбора частиц. При сухом трении образцов продукты изнашивания могут быть собраны обдувом контактирующих поверхностей. При трении со смазочным материалом массу образующихся частиц износа определяют по разности результатов взвешивания мелкопористых мембранных фильтров, через которые пропускается смазка до и после изнашивания. В серийных испытаниях рекомендуется сепарировать частицы из масла на центрифугах или с помощью магнитов. Определять потери массы образца при изнашивании целесообразно, когда масса определившихся частиц сопоставима с его массой. Недостаток первого варианта – в невозможности разделения продуктов изнашивания.

Определение остаточной толщины покрытия реализуется при определении зазора в соединении деталей либо (при наличии соответствующего оборудования) контролем над изменением потока через зазор. Но для этого должна быть обеспечена конструктивная возможность пропускания измерительного потока.

Выводы:

1. Проведено теоретическое исследование адгезии полимерных композитов к металлическим поверхностям. Подчёркнута важность данной проблемы, так как именно от адгезии материала к металлическим поверхностям зависит прочность соединения и как следствие успешность осуществления ремонта.
2. Проанализированы научные исследования в области изучения адгезии. Дана характеристика воздействия различных сил связи на прочность соединения.
3. Дана оценка степени влияния различных факторов на контактное взаимодействие адгезива с металлическими поверхностями, таких как внутренние напряжения, химический состав поверхности, молекулярные связи, неровности поверхности и др.
4. Охарактеризована степень влияния состояния поверхности на прочность адгезионных соединений. Установлено, что для улучшения прочности соединения, ремонтируемая поверхность должна иметь определенный уровень шероховатости.
5. Изучено влияние технологических и эксплуатационных факторов на прочность адгезионных соединений материалов, имеющих в своем составе керамические наполнители, что позволяет обеспечить кроме адгезии и высокую износостойкость поверхности выбранных композитов.
6. Отражены основные математические зависимости для расчёта адгезионной прочности и результаты расчётов для композита «Chester-Ceramic T».
7. Выявлены основные факторы, такие как температура и влажность воздуха, существенно влияющие на прочность композита.
8. Проведен анализ износостойкости ремонтных композиционных материалов. Дано теоретическое описание существующих видов износа, их степень влияния на детали и узлы, используемые в ЖКХ и других отраслях

промышленности. Описаны возможные методы борьбы с данными видами износа, их достоинства и недостатки, а так же определены достоинства в сравнении с существующими методами, предлагаемой в диссертационном исследовании технологии восстановления оборудования тепло-, водоснабжения с применением РКМ.

3. Экспериментальные исследования механических характеристик износостойких композитов.

3.1. Исследование адгезионной прочности износостойких композиционных материалов

Для оценки адгезионной прочности соединений с использованием износостойких ремонтных композиционных материалов (ИРКМ), их так же можно классифицировать как клеевые, при кратковременном нагружении чаще всего применяются значения максимального напряжения и средней прочности.

В практике контрольных испытаний качества соединения наиболее часто применяется показатель средней прочности, характеризуемый напряжением, определяемое как отношение разрушающего усилия к полной площади склеивания. Необходимо отметить, в образцах, испытываемых на сдвиг при сжатии или растяжении, весьма сложно добиться достаточно равномерного распределения напряжений по площади склеивания. На показатель средней прочности при сдвиге сильное влияние оказывают материал и геометрия применяемого образца, деформационные свойства его частей и клеевого шва.

Необходимо иметь в виду, что при проведении экспериментов на нормальный отрыв толщина адгезионного слоя не оказывает существенного влияния на значение нормальных напряжений, в тоже время при испытаниях на сдвиг при растяжении толщина шва оказывает существенное влияние на величину возникающих в образце соединения касательных напряжений. Как правило большинство методик проведения испытаний клеевых соединений не позволяют осуществить равномерное нагружение всех адгезионных связей подобных соединений, и как следствие они разрушаются в тех местах, где имеются максимальные напряжения. Следовательно, в паре адгезив – деталь по физическому смыслу показатель максимального напряжения в отличие от показателя средней прочности близок к действительной прочности

адгезионных связей. При помощи расчетного метода можно дать оценку максимальным напряжениям в клеевых соединениях. [62,71].

Так, при расчете клеевых цилиндрических соединений на сдвиг может быть использовано соотношение:

$$\tau_{сдв} \leq \tau_{max} / \sqrt{(K_{\sigma}/2)^2 + K_{\tau}^2}, \quad (3.1)$$

где τ_{max} и $\tau_{сдв}$ - максимальное и среднее касательное напряжение;

K_{σ} и K_{τ} - коэффициенты концентрации нормальных и касательных напряжений, определяемые расчетным путем.

В инженерных расчетах значение τ_{max} в формуле (3.1) принимается равным значению допускаемого напряжения при сдвиге или срезе.

Целью проведения испытаний было определение прочностных характеристик ИРКМ, а также оценка эффективности различных технологических факторов, используемых при выполнении соединений (предварительная подготовка ремонтируемых поверхностей, режимы отверждения, технология нанесения компаунда и т.д.).

Наиболее распространенными схемами для адгезионных испытаний клеевых соединений являются сдвиг и равномерный отрыв.

На основе существующих стандартных методик проведения экспериментов, для получения значения прочности в качестве показателя применяют значения разрушающей нагрузки на основе установленной в регламенте скорости нагружения (скорость движения активного захвата - 10мм/мин). Это дает возможность вычислить среднюю прочность соединения, которая в свою очередь является интегральным прочностным показателем для образца.

Для определения прочностных характеристик ИРКМ в экспериментах были использованы композиционные материалы фирмы «Chester Molecular» Chester Metal Ceramic F, Chester Metal Ceramic FSL, Chester Metal Ceramic FHT, Chester Metal Ceramic T (рис. 3.1), которые являются лучшими в соотношении цена/качество и прекрасно подходят для выполнения ремонтно-

восстановительных работ, а так же для нанесения износостойких покрытий. Для обезжиривания поверхности использовался очиститель F-7.



Рис. 3.1. Композиционные материалы Chester Metal Ceramic F, Chester Metal Ceramic FSL, Chester Metal Ceramic FHT, очиститель F-7, Chester Metal Ceramic T

Для обеспечения достоверности получаемых в процессе испытаний на сдвиг результатов на каждом режиме испытаний одновременно испытывалось пять образцов каждого вида (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Образцы с нанесённым компаундом для испытаний на сдвиг.

Все образцы (и на сдвиг и на отрыв) перед нанесением композиционного материала подготавливались по стандартной методике:

- зачистка соединяемых поверхностей механизированным способом до шероховатости $R_z = 175$ мкм;
- обезжиривание зачищенных поверхностей очистителем Chester Molecular F7;

Для успешной полимеризации композита собранные образцы были выдержаны в течение 24 часов на спокойном воздухе при комнатной температуре.

При испытаниях на сдвиг использована часто применяемая схема сдвига при растяжении внахлестку. Образцы – пластины из стали 40Х (рисунок 3.3):



Рис. 3.3. Схема нагружения при испытании на сдвиг растяжением.

В соединениях такого типа концентрация напряжений образуется, как от отрыва, так и от сдвига. Показатель прочности существенно снижается за счет влияния отрыва, в связи с этим был применен метод центрирования усилия за счёт увеличения в зоне захватов толщины образцов. Это дало возможность существенно снизить значение эксцентриситета – расстояния между продольной осью соединения и осью приложенного усилия.

Теоретически установлено, что концентрация нормальных (отрывающих) напряжений зависит от методов крепления образца в захватах и толщины соединяемых пластин, а концентрация сдвиговых напряжений от длины нахлестки.

Измерение собранных образцов производилось по схеме, указанной на рисунке 3.4. Точность измерений составляла 0,01 мм.

Толщина образцов h_1 , h_2 измерялась с двух сторон нахлестки, и вычислялось среднее арифметическое значение толщины h , вносимая в протокол испытаний. Кроме того, измерялась ширина образца в трех местах. Ширина нахлестки b определялась по формуле [19]:

$$b = b_1 + b_2 - B, \text{ мм} \quad (3.2)$$

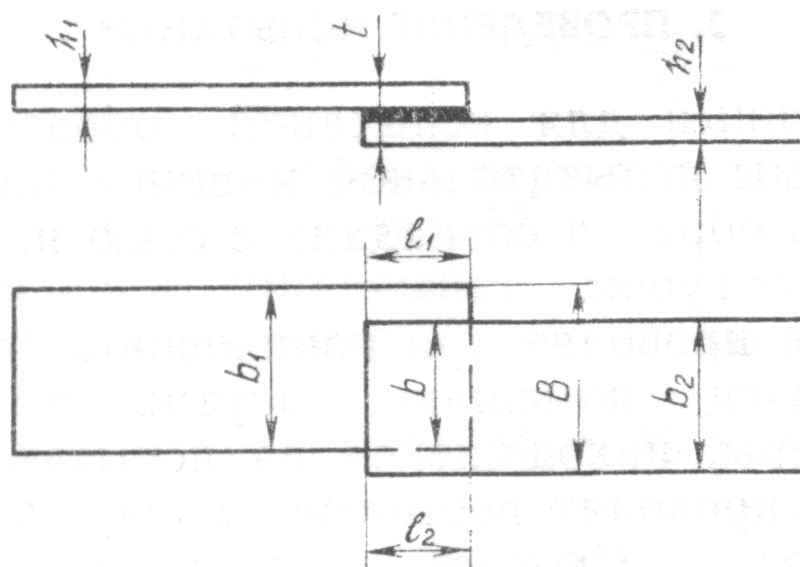


Рис. 3.4. Схема измерения геометрических параметров образца перед испытаниями на сдвиг растяжением.

Длина нахлестки определялась с двух сторон (l_1 и l_2) и вычислялось среднее арифметическое значение l . Толщина клеевого шва определялась как разность между толщиной образца в месте соединения внахлестку t и суммой толщин склеиваемых пластин ($h_1 + h_2$).

После испытаний образца вычислялось разрушающее напряжение при сдвиге по формуле

$$\tau_{\text{сдв}} = P/F, \text{ МПа} \quad (3.3)$$

где P - разрушающая нагрузка, Н; F - площадь нахлестки, мм^2

Затем определялось среднее разрушающее напряжение по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = (1/n) \sum \tau_i, \text{ МПа} \quad (3.4)$$

где n - количество испытанных образцов;

τ_i - разрушающее напряжение для образцов, МПа.

Обе части испытанного образца изучались визуально и, в процентном отношении от номинальной площади склеивания, оценивался характер разрушения - адгезионный (по плоскости склеивания) или когезионный (по компаунду). Точность оценки составляла 5 – 10%.

На образцах типа «грибок», выполненных из стали 40Х, проводились испытания на равномерный отрыв, предусматривающий симметричное приложение усилий и отсутствие изгибающего момента (рисунок 3.5):

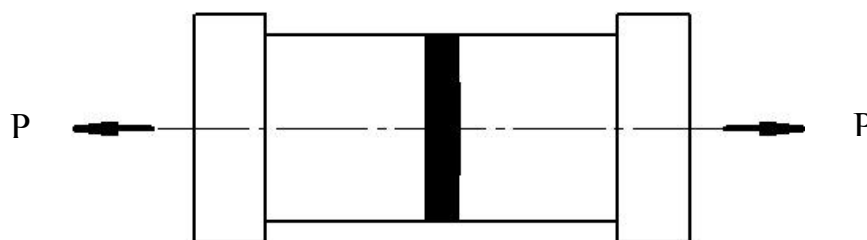


Рис. 3.5. Схема нагружения при испытании соединения на равномерный отрыв

Для обеспечения достоверности получаемых в процессе испытаний на отрыв результатов на каждом режиме испытаний одновременно испытывалось пять образцов каждого вида (рис 3.6).



Рис. 3.6. Образцы с нанесённым композитом для испытаний на отрыв

Для подобной схемы экспериментов свойственна концентрация напряжений, как правило касательных по причине различия в деформационных свойствах материала образца и компаунда. В тоже время эти напряжения при проведении испытаний на отрыв образуются зачастую неизбежно и их распределение проходит неравномерно. Необходимо иметь в виду, что даже если возникновение касательных напряжений произошло не в процессе нагружения, они могут возникнуть при усадке композита и изменении температуры подготовленных образцов. Для снижения степени негативного влияния концентрации касательных напряжений были применены образцы с большим диаметром. При этой схеме экспериментов концентрация нормальных напряжений образуется в результате неравномерности слоя композита и внецентренной нагрузки (из-за перекоса образцов), а так же другого рода погрешностей соединения. Для предотвращения погрешностей при сборке образцов использовалась специальная оснастка, обеспечивающая точную

соосность склеиваемых «грибков» и гарантированную толщину слоя (1 мм) наносимого композиционного материала (рис 3.7).

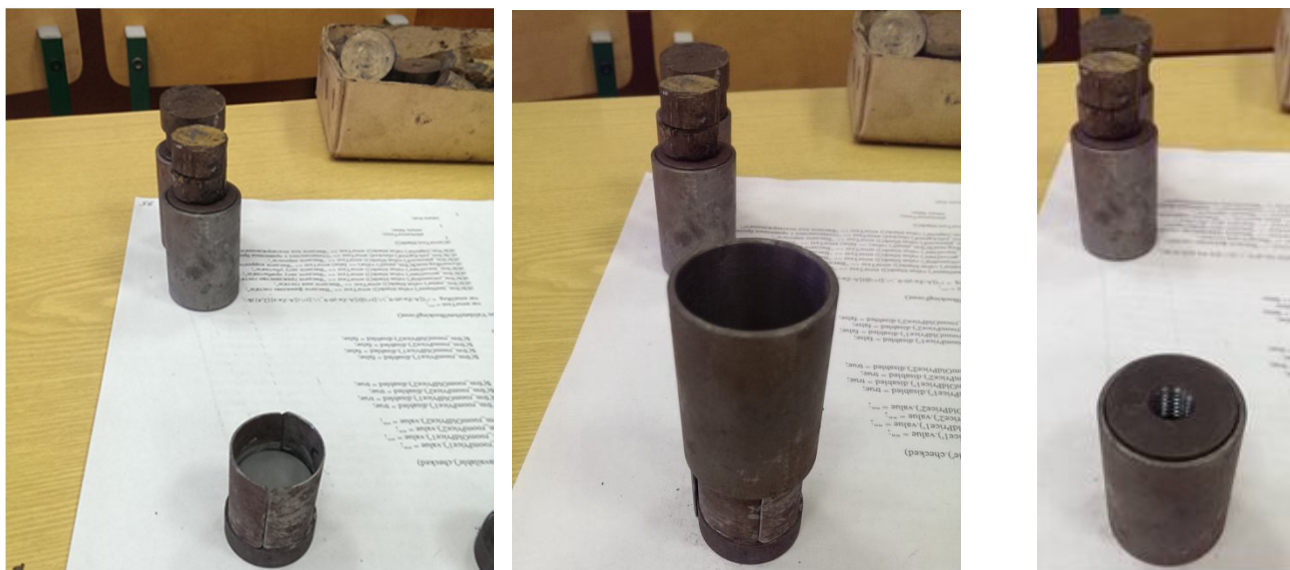


Рис. 3.7. Сборка образца с гарантированным зазором для испытаний на отрыв

Для испытаний образцов на сдвиг и нормальный отрыв была использована модернизированная разрывная машина мод. Р-5 (рис.3.8).



Рис. 3.8. Общий вид модернизированной разрывной машины Р-5

Модернизированная разрывная машина мод. Р-5 оснащена микроконтроллерной системой управления и сбора данных, а также электронными датчиками нагрузки и перемещения. Испытания проводятся в полуавтоматическом режиме, осуществляется автоматическое ведение

протокола испытаний, запись и сохранение в компьютерной базе данных результатов испытаний, создание отчетов по группе испытаний. Скорость перемещения активного захвата плавно регулируется в диапазоне от 1 до 100 мм. мин. Относительная погрешность силоизмерителя в диапазоне от 0 до 2 кН составляет ± 20 Н [19].

Разрывная машина оснащена крепёжными губками для установки образцов и оснастки (рис. 3.9).

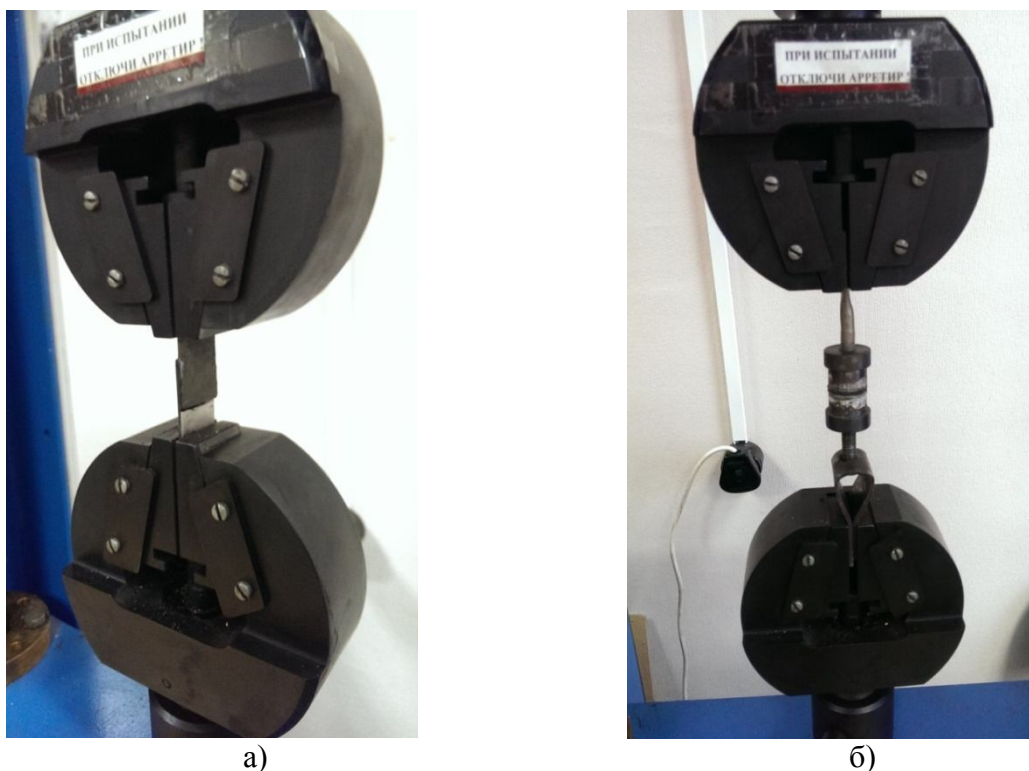


Рис. 3.9. Установка образца в крепежные губки на сдвиг (а) и отрыв (б)

Характер разрушения образцов на отрыв оценивался визуально (рис. 3.10)



Рис. 3.10. Образец после испытаний на отрыв



Рис. 3.11. Образцы после испытаний на сдвиг

3.2 Результаты испытаний на определение прочностных характеристик

В ходе испытаний образцов ИРКМ были получены следующие данные (табл. 3.1, табл. 3.2, табл. 3.3, табл. 3.4)

Таблица 3.1

Испытание на сдвиг образцов с нанесённым материалом
«Честер Металл Керамик ФНТ»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик ФНТ"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на сдвиг ($\tau_{сдв}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	827,79	7,13	11,61	адгезионный
	2	193,85	8,1	2,39	адгезионный
	3	611,98	5,25	11,65	адгезионный
	4	581,21	6	9,68	адгезионный
	5	459,45	5,1	9,01	адгезионный
Среднее значение		534,856		8,87	

Анализируя данные табл. 3.1 можно определить среднее разрушающее напряжение $\tau_{ср} = 8,87$ Мпа.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике (рис. 3.12)

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

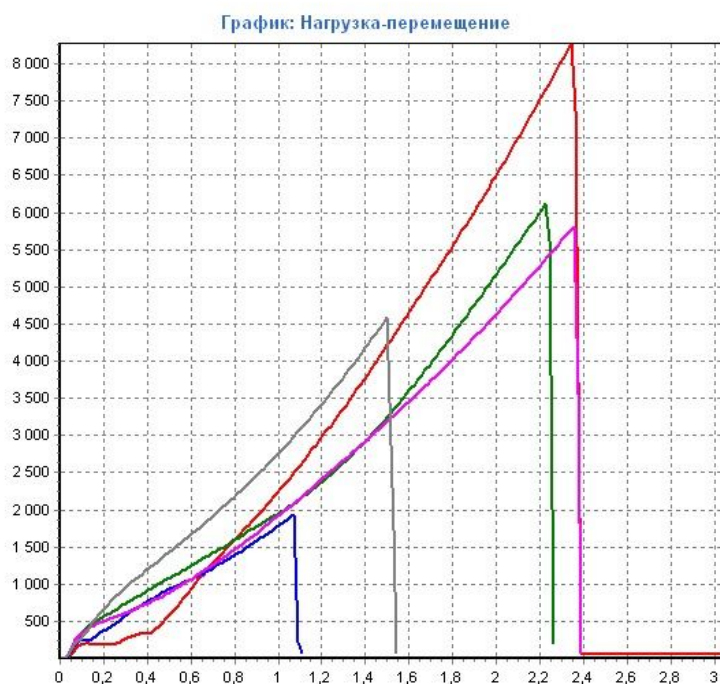


Рис. 3.12. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик FHT»

Анализ графика позволяет определить максимальную нагрузку $P_{\text{макс.}} = 8277,9 \text{ Н}$ и минимальную нагрузку $P_{\text{мин.}} = 1938,5 \text{ Н}$.

Таблица 3.2

Испытание на сдвиг образцов с нанесённым материалом «Честер Металл Керамик FSL»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик FSL"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на сдвиг ($\tau_{\text{сдв}}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	808,36	7,13	11,34	адгезионный
	2	278,75	5,5	5,07	адгезионный
	3	474,79	6,14	7,73	адгезионный
	4	634,65	6,32	10,04	адгезионный
	5	432,99	5,99	7,23	адгезионный
Среднее значение		525,908		8,28	

Анализируя данные табл. 3.2 можно определить среднее разрушающее напряжение $\tau_{\text{ср}} = 8,28 \text{ Мпа}$.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

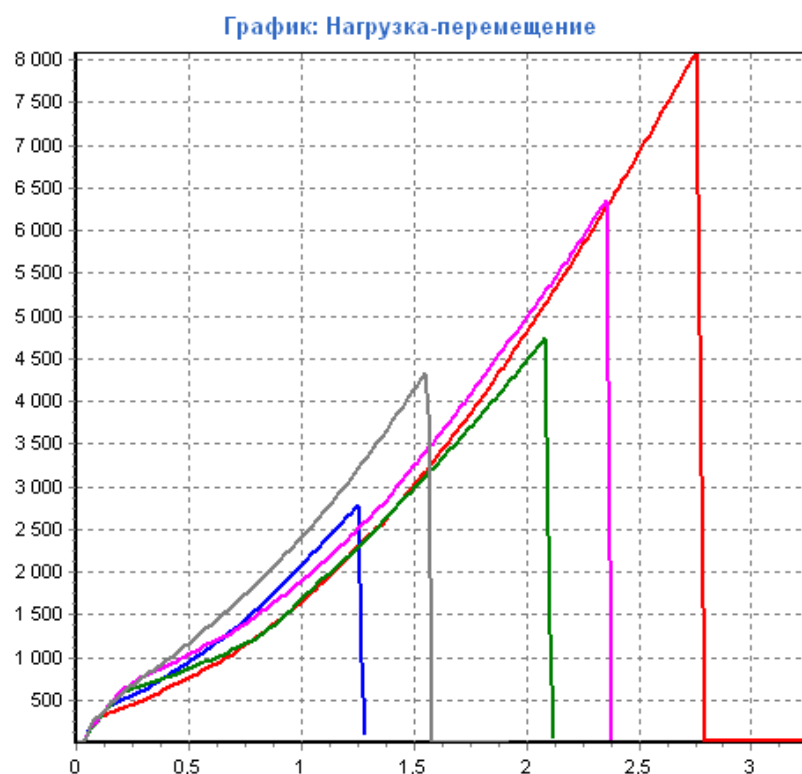


Рис. 3.13. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик FSL»

Таблица 3.3

Испытание на сдвиг образцов с нанесённым материалом «Честер Металл Керамик F»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик F"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на сдвиг ($\tau_{сдв}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	432,89	6,1	7,1	адгезионный
	2	164,85	7,65	2,16	адгезионный
	3	423,27	8,79	4,81	адгезионный
	4	291,71	6,85	4,26	адгезионный
	5	553,29	5,8	9,54	адгезионный
Среднее значение		373,202		5,57	

Анализируя данные табл. 3.3 можно определить среднее разрушающее напряжение $\tau_{ср} = 5,57$ Мпа.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

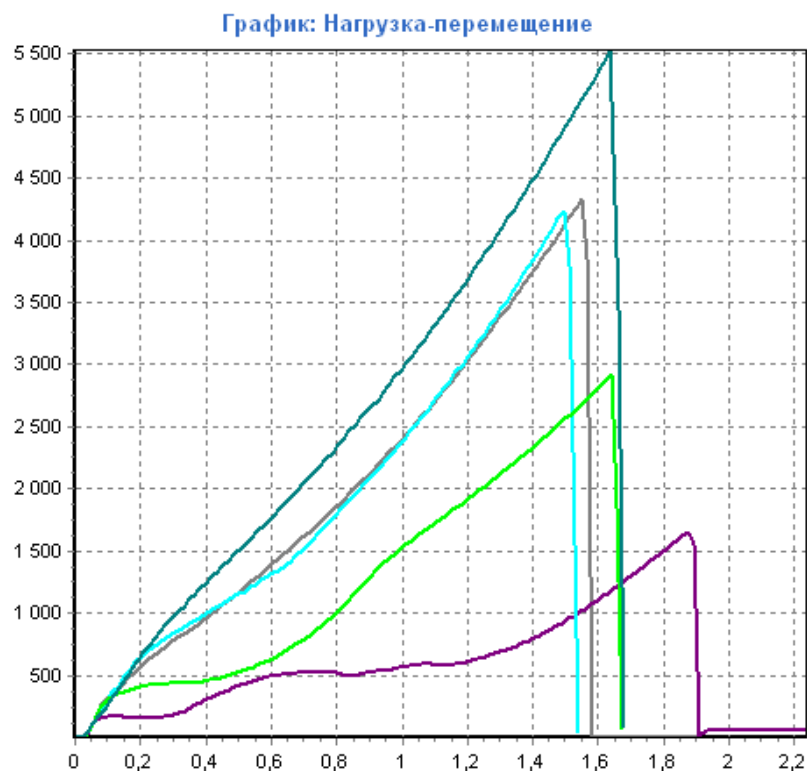


Рис. 3.14. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик F»

Таблица 3.4

Испытание на сдвиг образцов с нанесённым материалом «Честер Металл Керамик T»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик T"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на сдвиг ($\tau_{сдв}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	486,62	5,7	8,54	адгезионный
	2	316,59	5,1	6,21	адгезионный
	3	511,49	5,89	8,68	адгезионный
	4	360,41	5,3	6,8	адгезионный
	5	350,56	5,25	6,68	адгезионный
Среднее значение		405,14		7,38	

Анализируя данные табл. 3.4 можно определить среднее разрушающее напряжение $\tau_{ср} = 7,38$ Мпа.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

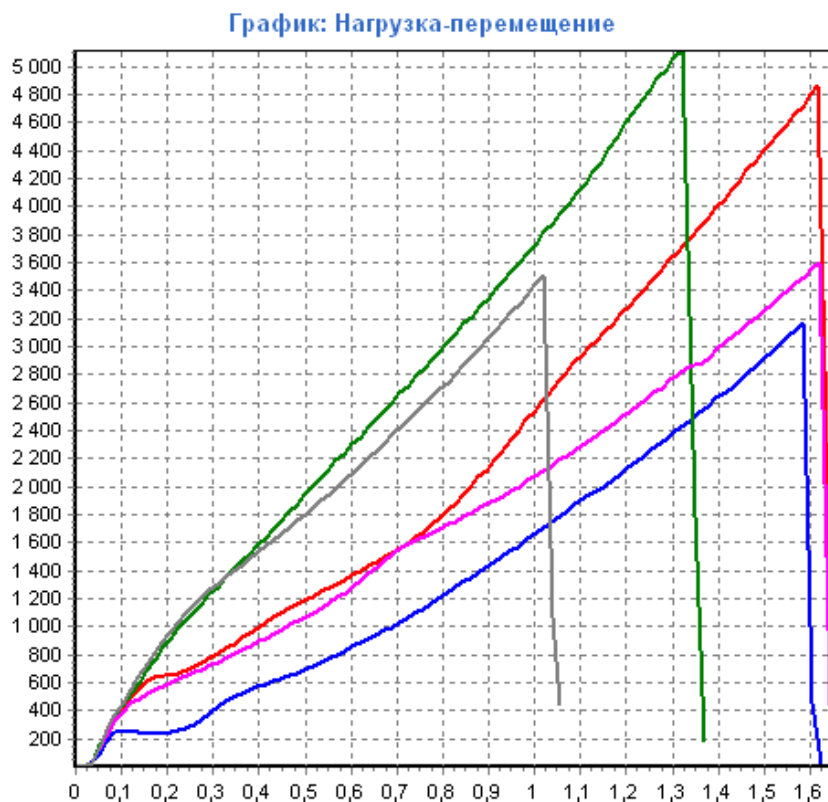


Рис. 3.15. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик Т»

Общие результаты испытаний на сдвиг материалов Честер Металл Керамик F, T, FHT, FSL (рис. 3.16).

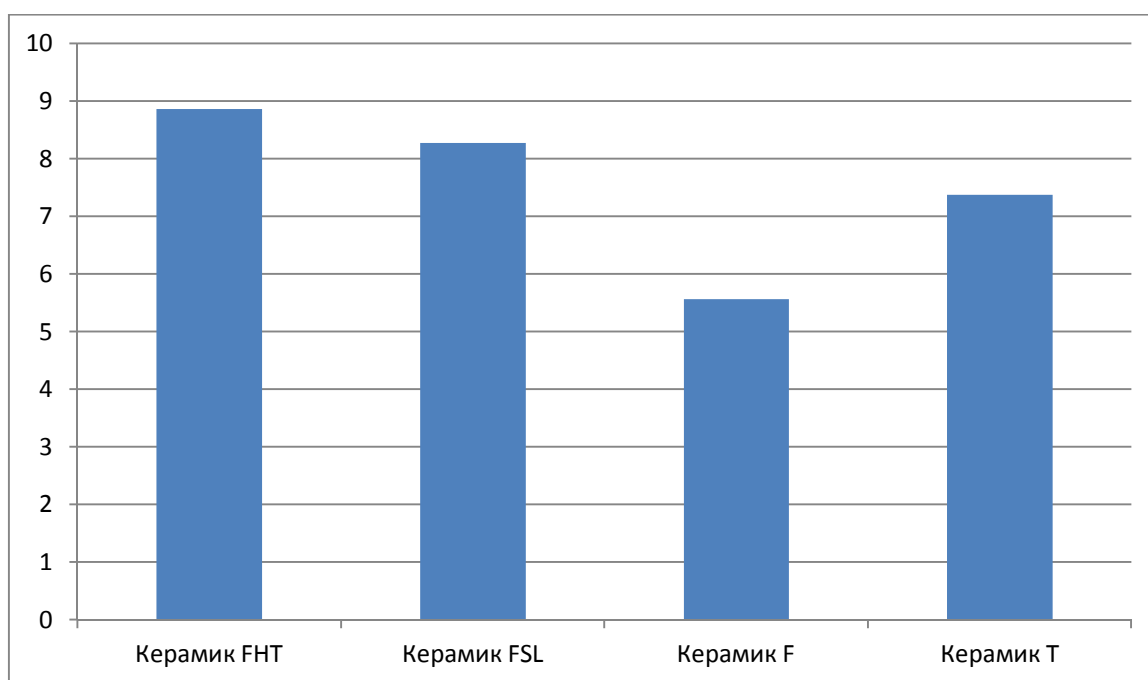


Рис. 3.16. Диаграмма результатов испытаний на сдвиг

Предел прочности при равномерном отрыве определялся для каждого образца по формуле:

$$\sigma_{\text{отр}} = P/F, \text{ МПа} \quad (3.5)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;

$F = \pi d^2/4$ – площадь склеивания, мм^2 ;

d -диаметр образца, мм

Среднее значение предела прочности при отрыве определялось по формуле:

$$\sigma_{\text{отр ср}} = (1/n) \sum \sigma_{i \text{ отр}}, \text{ МПа} \quad (3.6)$$

где n - количество испытанных образцов;

$\sigma_{i \text{ отр}}$ - значения пределов прочности образцов.

Характер разрушения в месте соединения «грибков» (когезионный или адгезионный) оценивался визуально, в процентах относительно номинальной площади соединения, с погрешностью 5 – 10%.

В ходе испытаний образцов ИРКМ были получены следующие данные (табл. 3.5, табл. 3.6, табл. 3.7, табл. 3.8)

Таблица 3.5

Испытание на отрыв образцов с нанесённым материалом
«Честер Металл Керамик ФНТ»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик ФНТ"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см^2	Максим. напряжение на отрыв ($\sigma_{\text{отр}}$), Мпа	Характер разрушения
$t=+25^\circ\text{C}$ 24 часа	1	882,6	5,31	16,62	когезионный
	2	840,03	5,35	15,7	когезионный
	3	841,44	5,02	16,76	когезионный
	4	911,45	5,89	15,48	когезионный
	5	868,89	5,18	16,77	когезионный
Среднее значение		868,882		16,27	

Анализируя данные табл. 3.4 можно определить среднее разрушающее напряжение $\sigma_{\text{отр ср}} = 16,27$ Мпа.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике (рис.3.17).

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

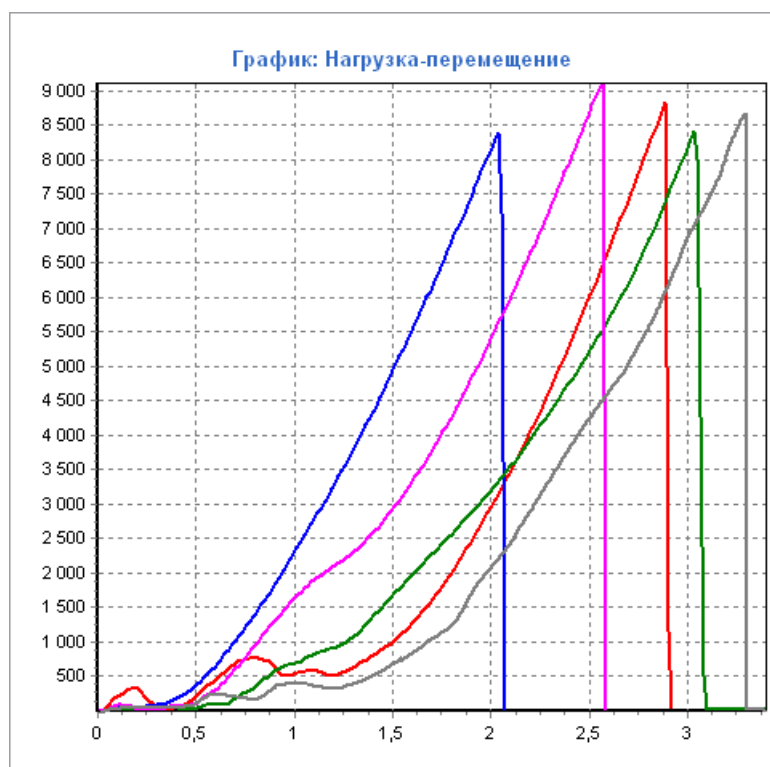


Рис. 3.17. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик FHT»

Анализ графика позволяет определить максимальную нагрузку $P_{\text{макс.}} = 9114,5 \text{ Н}$ и минимальную нагрузку $P_{\text{мин.}} = 8400,3 \text{ Н}$.

Таблица 3.6

Испытание на отрыв образцов с нанесённым материалом «Честер Металл Керамик FSL»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик FSL"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на отрыв ($\sigma_{\text{отр}}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	1680,2	5,6	30	когезионный
	2	1616,63	5,31	30,45	когезионный
	3	1563,73	4,91	31,85	когезионный
	4	1515,3	5,47	27,7	когезионный
	5	1642,45	5,51	29,81	когезионный
Среднее значение		1603,66		29,96	

Анализируя данные табл. 3.6 можно определить среднее разрушающее напряжение $\sigma_{\text{отр ср}} = 29,96 \text{ Мпа}$.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике (рис.3.18).

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

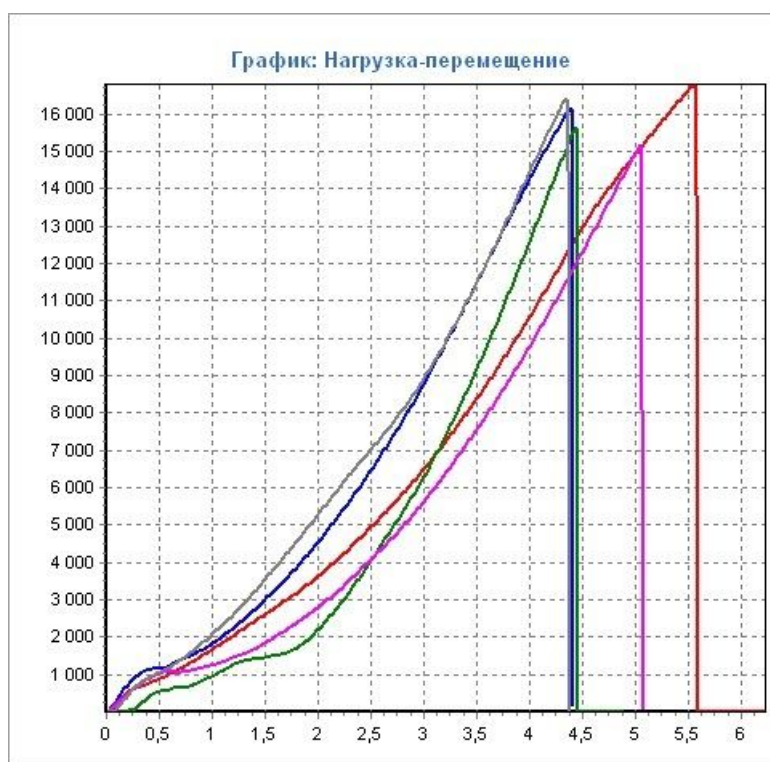


Рис. 3.18. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик FSL»

Анализ графика позволяет определить максимальную нагрузку $P_{\text{макс.}} = 16802 \text{ Н}$ и минимальную нагрузку $P_{\text{мин.}} = 15153 \text{ Н}$.

Таблица 3.7

Испытание на отрыв образцов с нанесённым материалом «Честер Металл Керамик F»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик F"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на отрыв ($\sigma_{\text{отр}}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	1288,61	4,75	27,13	когезионный
	2	948,49	3,56	26,64	когезионный
	3	996,1	3,94	25,29	когезионный
	4	900,8	3,56	25,3	когезионный
	5	1342,93	4,15	32,36	когезионный
Среднее значение		1095,39		27,34	

Анализируя данные табл. 3.7 можно определить среднее разрушающее напряжение $\sigma_{\text{отр ср}} = 27,34 \text{ Мпа}$.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике (рис.3.19).

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

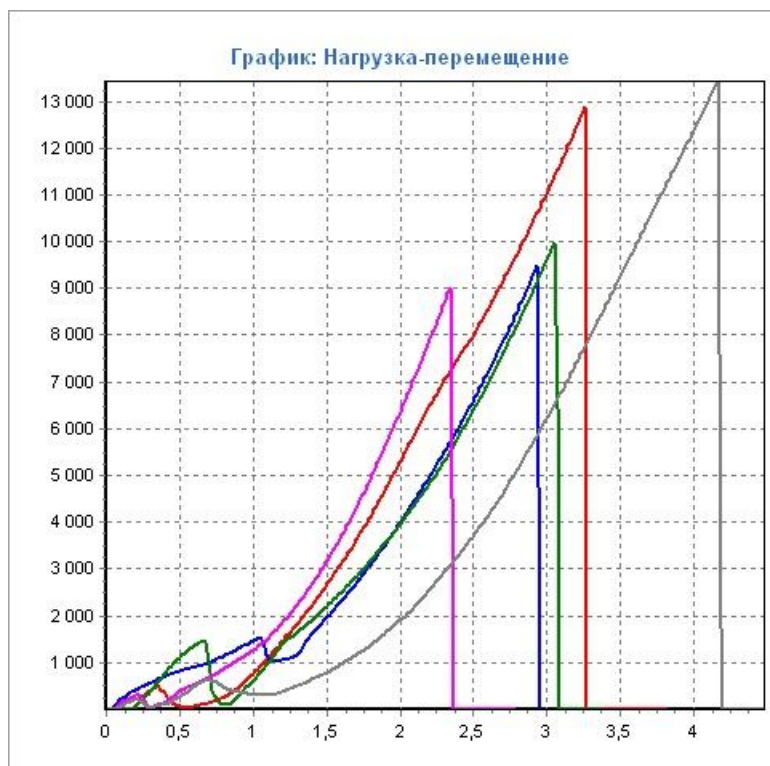


Рис. 3.19. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик F»

Анализ графика позволяет определить максимальную нагрузку $P_{\text{макс.}} = 13429,3 \text{ Н}$ и минимальную нагрузку $P_{\text{мин.}} = 9008 \text{ Н}$.

Таблица 3.8

Испытание на отрыв образцов с нанесённым материалом «Честер Металл Керамик Т»

Испытываемый материал "Честер Металл Керамик Т"					
Условия отверждения Температурный режим	№ обр.	Максим. Нагрузка (P), кгс	Площадь склеивания (F), см ²	Максим. напряжение на отрыв ($\sigma_{\text{отр}}$), Мпа	Характер разрушения
t=+25°C 24 часа	1	802,94	4,55	17,65	когезионный
	2	1241,56	4,21	29,49	когезионный
	3	1486,02	4,72	31,48	когезионный
	4	1264,86	4,15	30,48	когезионный
	5	964,63	4,25	22,7	когезионный
Среднее значение		1152,06		26,36	

Анализируя данные табл. 3.8 можно определить среднее разрушающее напряжение $\sigma_{\text{отр ср}} = 26,36 \text{ Мпа}$.

Результаты экспериментов с пятью образцами отражены на графике (рис.3.20).

ГОСТ 1497-84, "Металлы: Испытание на растяжение"

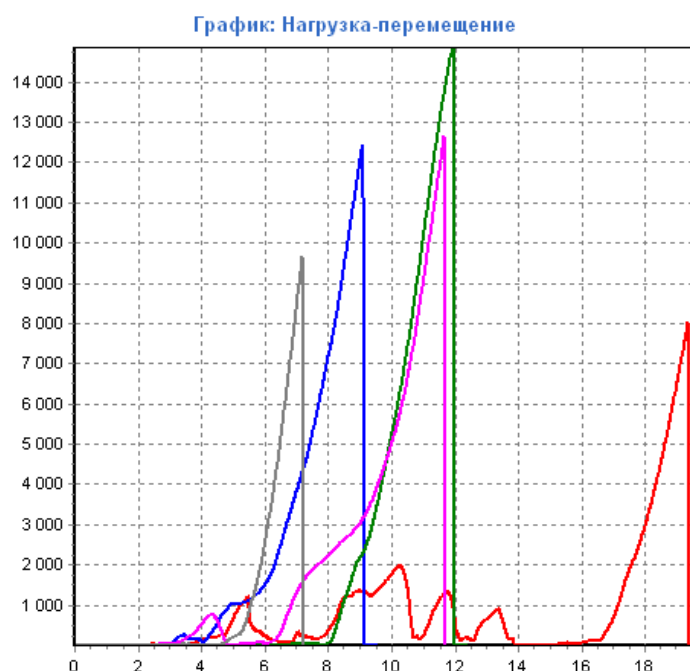


Рис. 3.20. График результатов испытаний материала «Честер Металл Керамик Т»

Общие результаты испытаний на отрыв материалов Честер Металл Керамик F, T, FHT, FSL представлены на рис. 3.21.

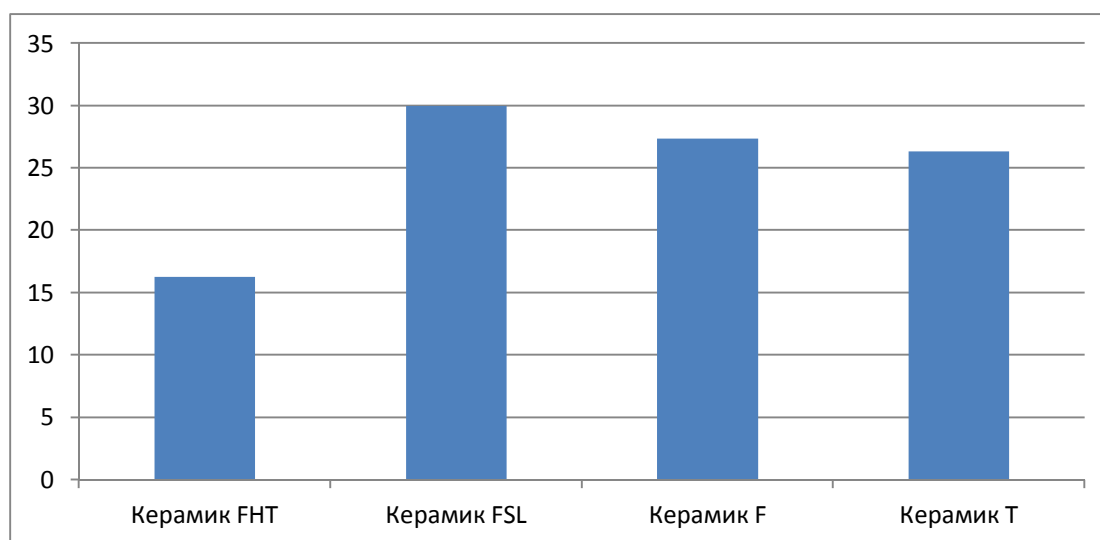


Рис. 3.21. Диаграмма результатов испытаний на отрыв

Эксперименты показали, что композиционные материалы Честер Металл Керамик F, T, FHT, FSL могут быть использованы в системах водо-, теплоснабжения, так как рабочее давление в этих сетях не превышает 0,1 МПа.

3.3. Методика и оборудование для исследования эксплуатационной характеристики износостойких композиционных материалов

К эксплуатационной характеристике композитов следует отнести износостойкость. С целью ее определения с исследуемыми материалами был проведен комплекс экспериментов.

Образцы для этих испытаний изготавливаются из уголков из алюминия с гранью размером 35x15мм (рис.3.22). В центре одной из сторон уголка вырезался паз для крепления в держателе на машине трения 77 МТ-1.

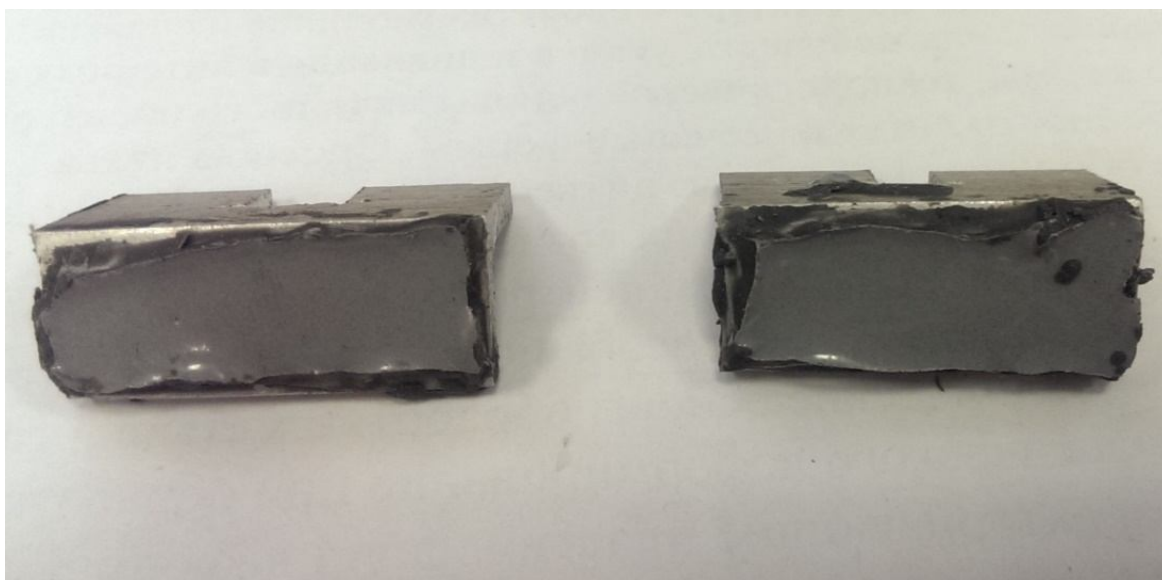


Рис. 3.22. Образец (уголок) с нанесённым материалом для испытаний на износостойкость.

Все образцы перед нанесением композиционного материала подготавливались по стандартной методике (так же как и в испытаниях на сдвиг и отрыв):

- зачистка соединяемых поверхностей механизированным способом до шероховатости $R_z = 175$ мкм;
- обезжиривание зачищенных поверхностей очистителем Chester Molecular F7;

После подготовки поверхности наносится испытываемый композит на одну из сторон уголка. Толщина слоя композита 2 мм. С целью формирования ровного (сплошного) слоя композита определённой толщины на поверхности стороны и предотвращения стекания материала с поверхности, из пластилина формируется прямоугольный контур (отсек для заполнения материалом).

Для создания слоя определённой толщины в образованный отсек заливается компаунд такого же веса как и в остальные образцы.

Для полимеризации композиционного материала собранные образцы выдерживались на воздухе при комнатной температуре в течение 24 часов.

Непосредственно перед установкой в держатель машины трения образцы взвешивались на электронных весах (рис.3.23). Это значение фиксируется для последующих расчётов - при выявлении снижения массы нанесённого материала на образец в ходе испытаний трением.



Рис. 3.23. Взвешивание образца на электронных весах

После чего образец устанавливался непосредственно в держатель лабораторной установки, а затем выставлялась с помощью подвесной системы гирь нагрузка в 5 кг. Длительность эксперимента составляла 9 часов. Образец

взвешивался после каждого часа испытания и результаты заносились в протокол.

По окончании цикла истирания образцы снова взвешивались на электронных весах, фиксировалась потеря массы композиционного материала и результаты заносились в протокол.

Результаты первичных испытаний образцов материалов представляют в координатах «потеря массы g_3 - продолжительность изнашивания τ » (рис. 3.24). Определяют среднюю потерю массы g_3 , г, по результатам взвешивания до и после изнашивания всех образцов, испытанных при определенной скорости, диаметре частиц и продолжительности изнашивания

$$g_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_{3i}, \quad (3.5)$$

где g_{3i} - потеря массы для отдельных испытанных образцов, г;
 n - количество испытанных образцов в соответствии.

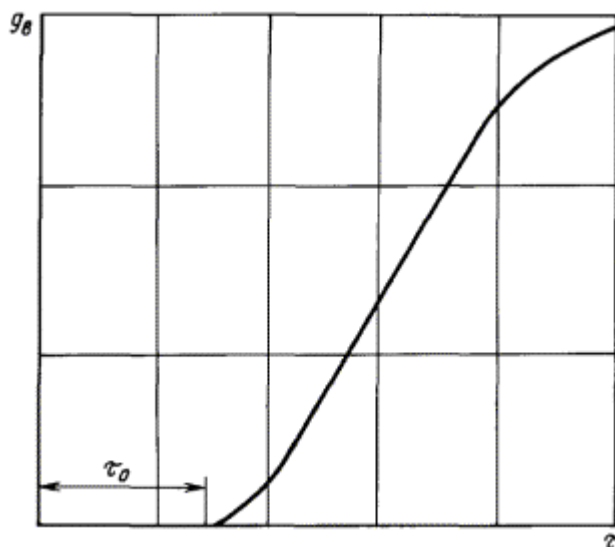


Рисунок 3.24. Зависимость потери массы испытуемого образца от продолжительности его изнашивания

Для исследования материалов при трении с возвратно-поступательным движением подвижного образца (испытания на износостойкость) использовалась машина трения 77 МТ-1, общий вид которой представлен на рис. 3.25.



Рис. 3.25 Машина трения 77 МТ-1

На рисунке 3.26 приведена схема испытаний образцов на износостойкость.

Испытуемые образцы (рис. 3.25) 1 и 3 размещены в ванне 5, заполненной маслом 4. Ванна на шаровых опорах 6 может перемещаться относительно ползуна 7 с минимальными потерями на трение. Перемещение ванны ограничивается пластинами 9, между которыми находится стойка 8, жестко связанная с ванной. Ползун совершает возвратно-поступательное движение, при этом образец 3 перемещается вместе с ним. Во время приложения нагрузки на образцы через шток 2 в контакте будет возникать сила трения, препятствующая перемещению образца 3 и ванны, в которой он закреплен. При этом пластины 9 будут деформироваться, причем значение деформации в пределах упругости будет пропорционально силе трения. На пластину наклеивают тензометрические датчики 10, сигнал с которых через усилитель 11 подается на регистрирующий прибор 12. Одновременно на этом же приборе записывается температура неподвижного образца [17].

Данная схема позволяет во время испытаний с высокой точностью регистрировать силу трения. Ползун перемещается с частотой 60 двойных

ходов в минуту. Длина рабочего хода составляет 0,06 м. Следовательно, средняя скорость при испытаниях равна 0,12 м/с. Площадь трения верхнего образца во время испытаний составляет 50×10^{-5} м.

Материал нижнего и верхнего образцов сталь 45 (HRC, Ra 1,6).

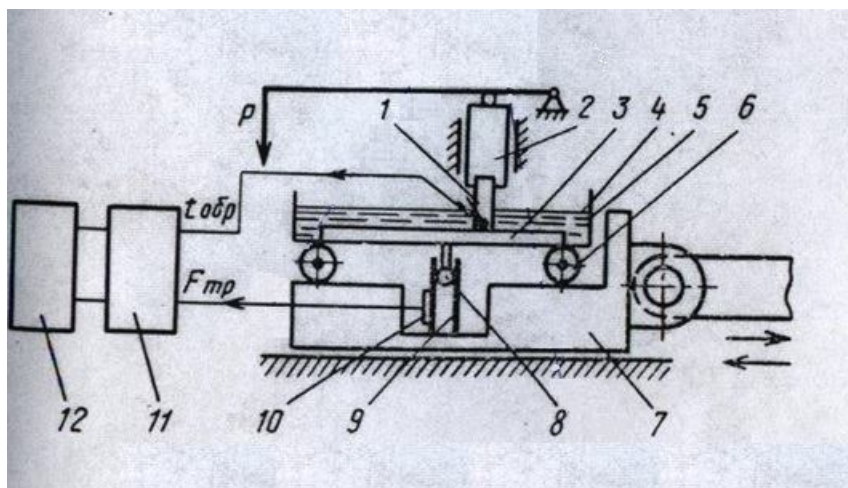


Рис. 3.26 Схема испытаний на машине трения 77 МТ-1

Предельные для материала или покрытия нагрузки возможно определить на машине с возвратнопоступательным движением 77 МТ-1 [16,17].

Машина трения 77МТ-1 состоит из трех агрегатов: электродвигателя, редуктора и собственно машины трения. Кинематическая схема приведена на рис. 3.27.

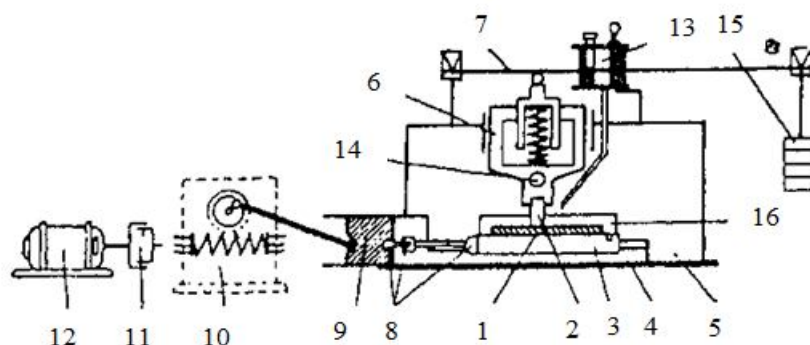


Рис. 3.27. Машина трения 77МТ-1

1 — образец из цилиндра; 2 — образец из поршневого кольца; 3 — ползун; 4 — направляющая; 5 — корпус машины; 6 — шток; 7 — рычаг нагрузки; 8 — шарниры; 9 — крейцкопф; 10 — редуктор; 11 — муфта; 12 — электромотор; 13 — масленка; 14 — нагревательный элемент; 15 — груз; 16 — ванна для смазки.

Крейцкопф шарнирно соединен с ползуном 3, на котором двумя винтами крепится образец 1. Ползун движется по направляющей 4. Благодаря шарнирному соединению 8 и цилиндрической форме сечения направляющей ползун имеет возможность ориентироваться по неподвижному верхнему образцу 2, закрепленному в детали 6, которая двигается только вертикально (перпендикулярно движению ползуна) [16,17].

Узел нагрузки состоит из рычага 7 с соотношением плеч 1:5, груза 15 и детали 6, передающей усилие на образцы. Верхний образец 2 крепится к детали 6 планкой, прижимаемой тремя винтами. Смазка подается по трубке каплями. Предусмотрена система смазки трущихся деталей машины. В детали 6 имеется сверление 14, в котором помещается термоэлемент для нагрева верхнего образца; в ползуне сделано сверление для нагрева нижнего образца. Температура образцов измеряется медно-константановыми термопарами, вставленными в миллиметровые отверстия в торцевой части образцов [16,17].

Технические данные машины трения 77 МТ-1:

Привод — 1 кВт

Габариты— 1300х350х250

Масса — 90 кг

Нагрузка на рычаг — максимальная 20 кг

Число двойных ходов ползуна — 108 мин.

При необходимости испытания образцов в проточном масле ванна для смазки 16 убирается. Отработанное масло стекает в банку, расположенную в корпусе машины.

На машине можно изменять условия смазки образцов, нагрузку, а также температуру и рабочую среду. Для этого в машине предусмотрены дозирующее устройство для подачи смазки к образцам, узел нагрузки и помещение для термоэлементов, повышающих отдельно температуру верхнего и нижнего образцов при испытаниях. Узел трения заключен в металлический корпус с патрубками для подвода газовой среды (азота, аргона, отработанных газов и др.). Наблюдение за подачей смазки осуществляется через окно из

органического стекла в корпусе машины. Конструкция машины допускает установку как образцов, вырезанных из поршневого кольца (рис. 3.27, а) и цилиндра (рис. 3.27, б), имеющих форму участка цилиндрической поверхности, так и плоских. Вращение от электродвигателя через муфту передается на червячный редуктор, на выходном валу которого укреплен диск. В диске эксцентрично укреплен палец, сообщающий через шатун возвратно-поступательное движение крейцкопфу (рис. 3.28) [17].

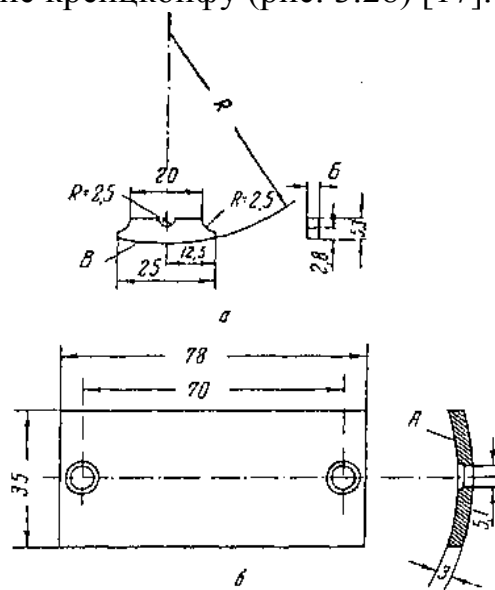


Рис. 3.28. Образец для испытания на износ к машине трения 77 МТ-1

На рис. 3.29 представлен образец с нанесённым композитом установленный в держателе.



Рис. 3.29. Установленный в держатель образец для испытания на износостойкость

По сравнению с другими схемами машин трения с возвратно-поступательным движением применение ползуна с большим числом степеней свободы позволяет ускорить приработку образцов, имеющих плоскую или вогнутую поверхность в случае испытания образцов, вырезанных из цилиндра и поршневых колец двигателя. Кроме того, съемка и вторичная установка образцов в машину производится без дополнительной приработки.

Проведенные ранее исследования показали, что величины весовых износов двух сопряженных образцов из одинакового материала при неизменных условиях испытаний зависят от величин их поверхностей трения. У образца с большей поверхностью трения весовой износ больше, чем у образца с меньшей поверхностью. Таким образом, было установлено, что соотношение весовых износов является одним из критериев моделирования при проведении испытаний материалов на лабораторных установках. Обнаружению этого явления способствовала хорошая воспроизводимость результатов при испытании материалов на износ на машине трения 77МТ-1

В ходе испытаний на износостойкость были получены следующие результаты:

Таблица 3.9

**Протокол результатов испытаний образца с нанесёнными материалами
Chester Metal Ceramic F, FSL, FHT, T**

Начальная масса образца $m_0 = 8,9$ г.

№ п/п	Масса образца до начала этапа испытания, г				Время этапа испытания, ч
	Ceramic F	Ceramic FSL	Ceramic FHT	Ceramic T	
1	8,8	8,8	8,8	8,8	1
2	8,7	8,7	8,8	8,8	2
3	8,6	8,7	8,8	8,7	3
4	8,6	8,6	8,7	8,7	4
5	8,6	8,6	8,6	8,7	5
6	8,5	8,5	8,6	8,6	6
7	8,5	8,5	8,6	8,5	7
8	8,5	8,5	8,5	8,5	8
9	8,5	8,4	8,5	8,5	9
10	8,4	8,3	8,4	8,4	10

Результаты экспериментов отражены на графике (рис.3.30-3.33).

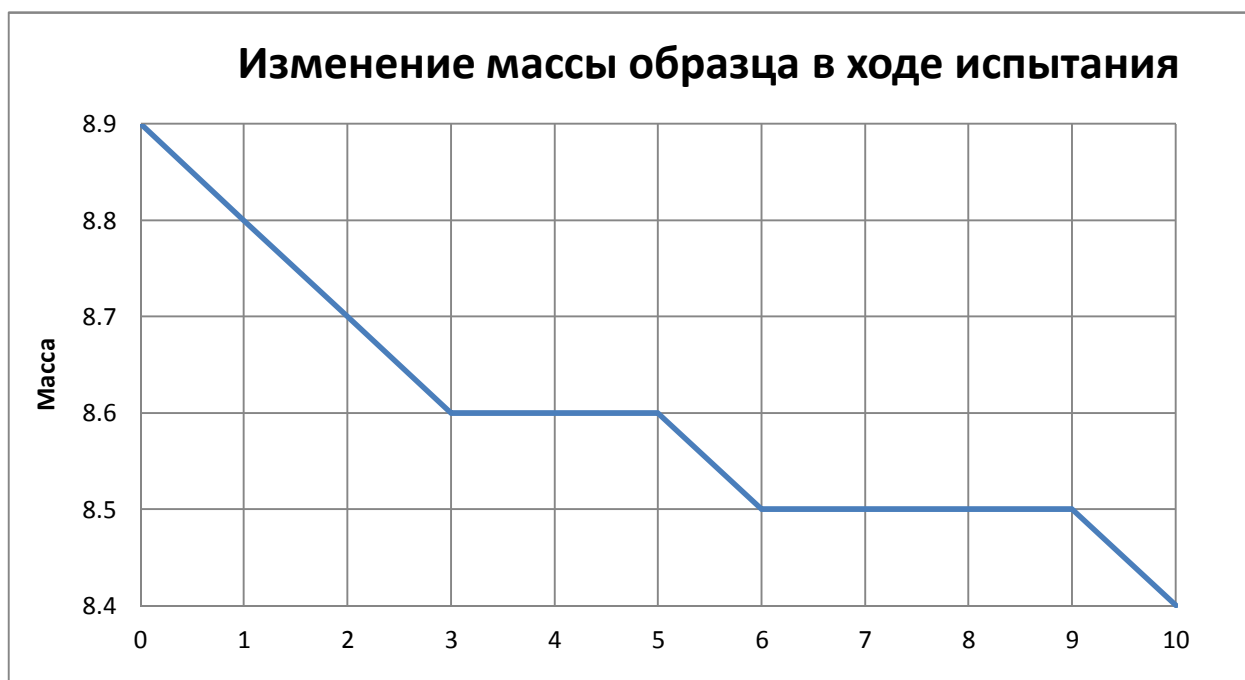


Рис.3.30. Потери массы образца с нанесённым материалом Ceramic F в течение 10 часов



Рис.3.31. Потери массы образца с нанесённым материалом Ceramic FSL в течение 10 часов



Рис.3.32. Потери массы образца с нанесённым материалом Ceramic FHT в течение 10 часов

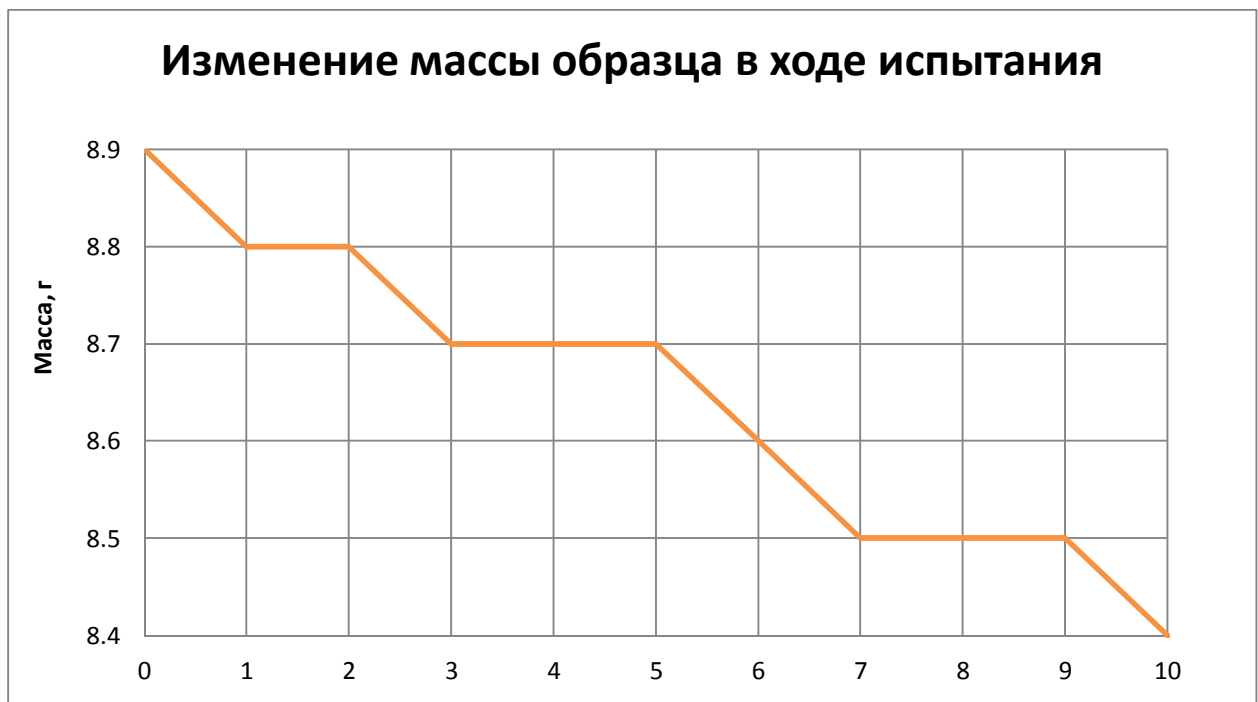


Рис.3.33. Потери массы образца с нанесённым материалом Ceramic T в течение 10 часов

Таким образом в зависимости от толщины нанесённого слоя износостойкого композиционного материала можно прогнозировать срок службы восстановленного оборудования порядка 8-12 мес.

3.4. Исследование влияния коррозии на прочность соединений металл-композит

В результате исследований было определено влияние продуктов коррозии на прочность адгезионного соединения.

Было установлено, что ржавчина на поверхности стали оказывает негативное влияние на прочность соединений металл-композит. Наличие продуктов коррозии (степень окисленности "А", ГОСТ 9.402-80) на стальной поверхности снижает адгезионную прочность композита на 80-90%, что показали результаты предварительной обработки поверхности преобразующими составами (рис. 3.34).

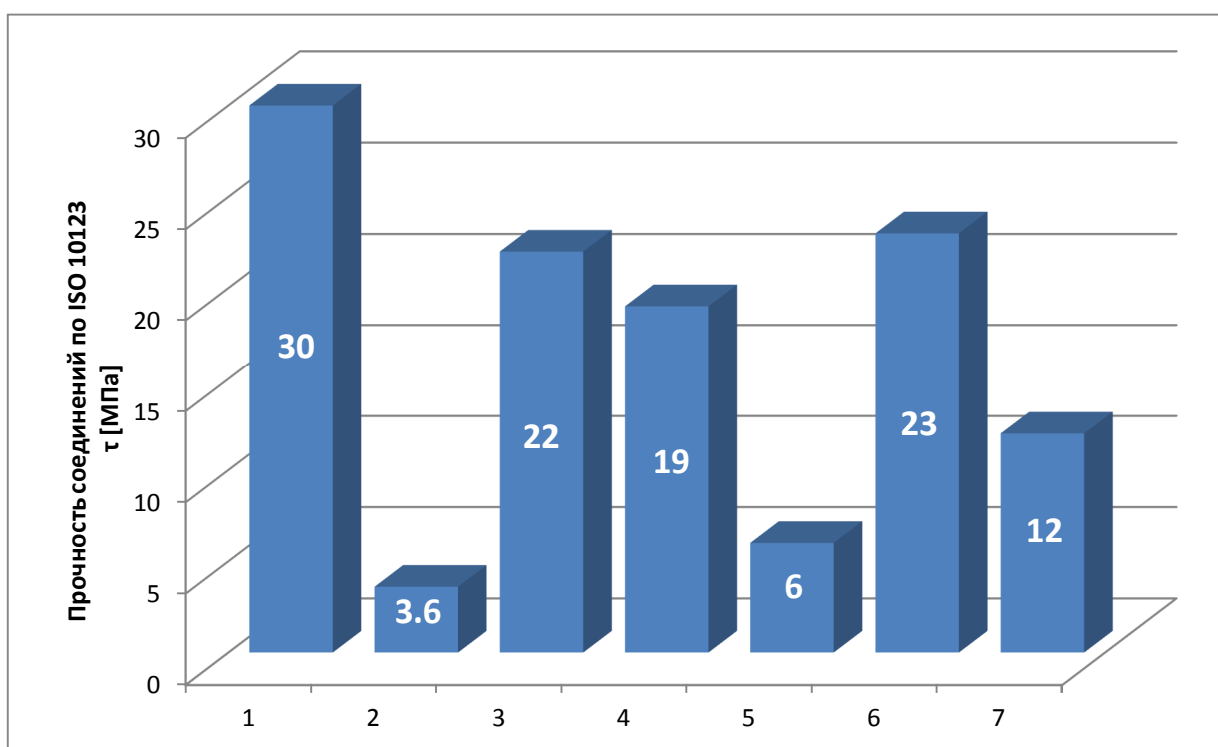


Рис. 3.34. результаты предварительной обработки поверхности преобразующими составами

Поверхность предварительно обработана шлифованием ($Ra = 2,5$ мкм.)

Влияние химической обработки ржавчины на прочность соединений

№	Обработка	τ [МПа]
1	Шлифование, обезжиривание ацетоном	30
2	Без обработки коррозии	3,6
3	Преобразователь коррозии на основе ортофосфорной кислоты	22
4	Гальванический преобразователь коррозии "Цинкор"	19
5	Гальваническая оцинковка "Цинкор"	6
6	Преобразующе-грунтующий состав "Уникор - 2"	23
7	Преобразователь коррозии "РОН-СТОП"	12

Как правило по слою продуктов коррозии, покрывавшему всю поверхность адгезионного контакта и происходит разрушение соединений. Испытания были проведены по ISO 10123 на образцах соединения вида "штифт-штулка". Результатом экспериментов стало среднее значение пяти измерений. После проведения шлифовки образцов ($Ra = 2,5$ мкм) прочность соединений в 8 раз превысила значение прочности соединений к покрытой ржавчиной поверхности [69,74]. Удаление ржавчины преобразующими составами основывается на двух процессах — устранением непрочных слоев и химическим взаимодействием. Химически пассивное соединение, взаимодействующее с ржавчиной и недопускающее образование адгезионных связей, создается путем использования ортофосфорной кислоты, содержащейся в преобразующем составе.

Поверхности покрытые ржавчиной обработаны модифицирующими составами. Прочность соединений компаунда с этими поверхностями была определена при одинаковых остальных условиях. Для контроля был выбран один образец с механически обработанной поверхностью. В ходе экспериментов было выявлено, что значение прочности соединений компаунда с поверхностью лабораторных образцов, обработанных при помощи преобразователя ржавчины, основным компонентом которого является

ортофосфорная кислота, составило около 70% от значения прочности контрольного образца. Преобразующе-грунтующий состав "Уникор-2" - снижает прочность соединения до 78% от значения прочности контрольного образца, а использование гальванической обработки поверхности испытуемого образца преобразователем "Цинкор" ТУ2384-016-05842324-96 приводит к снижению прочности до 30% от контрольного значения (рис.20). На основании этого можно сделать вывод - чем выше уровень качества антикоррозионной обработки, тем менее проявляется активность поверхности к возникновению адгезионных связей и как следствие низкая прочность соединения. Использование специализированных технологий антикоррозийной обработки, дающих защиту поверхности стали от воздействия коррозии, приводит к значительному снижению уровня прочности соединений.

Следовательно, удаление ржавчины с помощью преобразующих составов снижает уровень адгезионной прочности соединений по мере повышения пассивирующего действия используемого состава. Химическое воздействие модификатора ржавчины приводит к блокированию возникновения адгезионных связей, а частичное исключение непрочных слоев, повышающее пористость поверхности, не оказывает влияния на изменение прочности соединений. Применение составов с различной концентрацией ортофосфорной кислоты подтверждает это пассивирующее действие (рис. 3.35.)

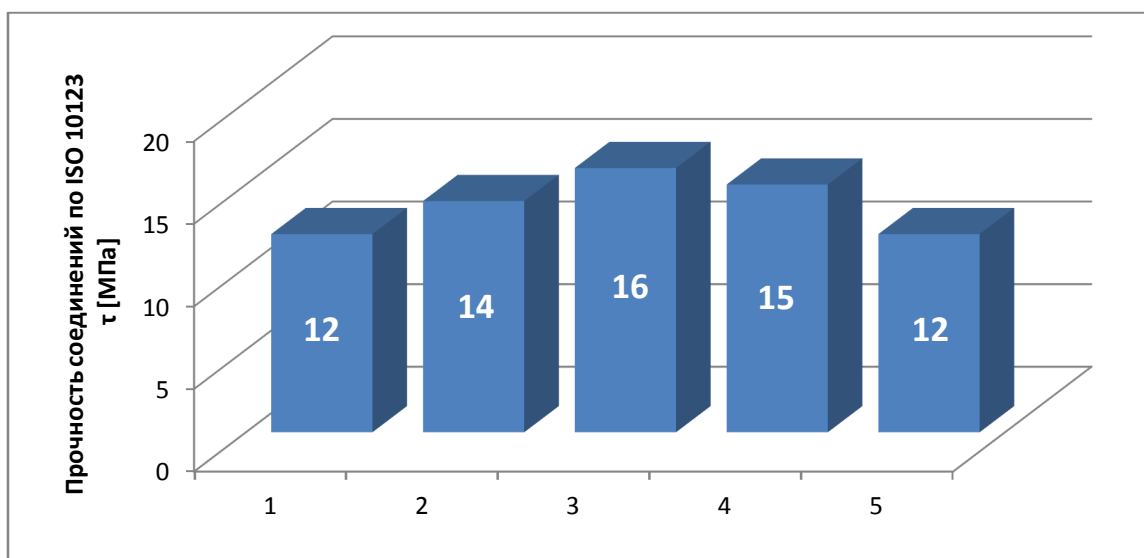


Рис. 3.35. Прочность соединения композита к ржавой стальной поверхности, обработанной составом «РОН-СТОП».

**Прочность соединения композита к ржавой стальной поверхности,
обработанной составом «РОН-СТОП».**

№	Обработка	τ [МПа]
1	Коррозия, "РОН-СТОП" 10%	12
2	Коррозия, "РОН-СТОП" 5%	14
3	Коррозия, "РОН-СТОП" 2,5%	16
4	Окалина, "РОН-СТОП"	15
5	Окалина без обработки	12

Проведение обработки продуктов коррозии преобразующим составом, в составе которого содержится меньшее количество ортофосфорной кислоты, приводит к удалению ржавчины и ослаблению пассивирующего действия. Снижение пассивирующего действия на 10 % может быть получено за счёт снижения концентрации ортофосфорной кислоты с 10% до 2,5%.

Проведённый комплекс исследований даёт понять, что наличие ржавчины на подготавливаемой перед нанесением ИРКМ поверхности недопустимо, а эффективным способом её удаления является механический. Высокая прочность адгезионных соединений может быть достигнута только в результате удаления всех ослабленных поверхностных слоев.

Выводы

1. Разработана методика проведения испытаний образцов износостойких композиционных материалов на сдвиг, нормальный отрыв и износостойкость.
2. Дано описание используемого в экспериментах лабораторного оборудования по определению адгезионных характеристик и износостойкости ремонтных композитов.
3. В соответствии с методикой подготовлены образцы с нанесённым материалом, выбраны режимы испытаний и проведены

экспериментальные исследования с использованием лабораторного оборудования.

4. Полученные результаты исследований были систематизированы в таблицы, на основании которых, используя математические зависимости, рассчитаны средние показатели максимального напряжения на сдвиг, отрыв и износостойкость.
5. С целью определения максимальных и минимальных значений нагрузки проанализированы графические зависимости «нагрузка-перемещение», полученные в ходе исследований.
6. Для анализа результатов испытаний на износостойкость построены графики, характеризующие количество потерянной массы с течением времени.

4. Технологические методы восстановления оборудования с использованием ремонтных композитов.

4.1 Технологические основы применения композиционных материалов при восстановительных работах.

Перед современными технологиями восстановления оборудования и машин стоит задача по обеспечению работоспособности действующей техники, без обращения к специализированным ремонтным предприятиям. Возможность применения холодной сварки (ХС), в качестве основной ремонтно-восстановительной технологии, обуславливается следующими ее достоинствами.

ХС осуществляется на воздухе без использования давления и нагрева, вне защитной среды без применения специализированного оборудования, а так же не нуждается в высоком уровне подготовки исполнителя. В роли основного рабочего инструмента ХС выступает шпатель, который необходим для создания определённой конфигурации шва. Это позволяет с минимальными затратами производить ремонт различного производственного оборудования, в том числе и тяжелой техники в производственных условиях промышленного предприятия, в непригодных для ремонта, а так же пожаро- и взрывоопасных помещениях, и при необходимости в полевых условиях.

Экономически и технически эффективным, а зачастую и единственно выполнимым способом ремонта тяжелой техники является осуществление ремонтных работ на месте ее эксплуатации. В тоже время транспортировка громоздкого оборудования для традиционных способов ремонта, каковыми являются методы наплавки, термической сварки, пайки и другие весьма проблематична. ХС даёт возможность осуществить с минимальными затратами восстановление тяжелой техники в полевых условиях [19].

Сварной шов ХС образуется из пастообразной смеси компонентов РКМ. При этом полимерная матрица выступает в роли клеевой основы материала и

обеспечивает адгезию композитов к ремонтируемой поверхности. Значительное число ремонтных композитов обладают высокой адгезией практически ко всему многообразию как металлических, так и неметаллических машиностроительных материалов различного назначения, в том числе функционального и конструкционного. Присутствие в составе композиции наполнителя придает ей новые свойства, выявляющие технологические преимущества холодной сварки как перед термическими (традиционными наплавкой, пайкой, сваркой и др.), так и клеевыми способами образования соединений деталей в восстановительных работах. Основные преимуществами являются:

- значение толщины сварного шва ХС является оптимальным (0,5... 1.0 мм) в отличие от нужного минимального зазора между сопрягающимися деталями в клеевых соединениях. Это даёт возможность, используя технологию ХС создавать соединения деталей без необходимой геометрической подгонки, включая криволинейные поверхности сопряжений;
- отказ от операции нагрева даёт возможность исключить деформацию отремонтированной методом ХС детали и вероятность образования термических напряжений. При термических технологиях ремонта трудно избежать подобных негативных явлений, устранение которых создаёт дополнительные трудности;
- в сравнении с клеями композиты дают возможность заполнить выработку оборудования и деталей различных машин глубиной от 10 мм и более;
- данная ремонтная технология не приводит к нарушению заданного термобработкой уровня физико-механических свойств материала ремонтируемой детали. Это позволяет отказаться от дополнительной термобработки восстановленных узлов и деталей, которая является обязательной по окончании термических методов ремонта;
- использование ремонтных композитов позволяет изготовить целикомую деталь методами пластического деформирования на определенной стадии

полимеризации компаунда, литья, или механической обработкой отверждённого композита;

- ремонтные композиты, в отличие от клеев, обладают целым рядом объемных свойств на уровне таких сплавов как силумин. [62,83].

Ремонтно-восстановительные работы с использованием полимерных композиций в различных отраслях промышленности можно осуществлять по следующим направлениям: устранение дефектов литья и сварных швов; ремонт различных видов технологического и вспомогательного оборудования и емкостей; восстановление систем жизнеобеспечения городского коммунального хозяйства. Практика применения ремонтных композитов в различных отраслях промышленности, в том числе в лёгкой, позволяет судить о широких возможностях этого технологического метода, что наглядно демонстрирует, приведённая ниже таблица 4.1 [19].

Таблица 4. 1

Применение композиционных материалов в различных отраслях промышленности

Место использования	Характер работ
1. Коммунальное хозяйство	Устранение дефектов в системах жизнеобеспечения, в том числе при ремонте трубопроводов водо-, тепло-, газоснабжения, канализации и вентиляции. Возможность проведения экстренных аварийных работ в сетях водоснабжения и отопления в зданиях, где длительное отключение и использование, сварки существенно нарушает рабочий ритм и снижает уровень сервисного обслуживания.
2. Машиностроительное производство	При устранении дефектов всех видов металлического литья, сборке теплообменников, электро- и радиотехнических изделий, узлов в автомобилестроении, в том числе в качестве герметика. Использование в производственных условиях для ремонта рабочих емкостей, трубопроводов, систем воздухопроводов, производственного оборудования и т.п.
3. Сантехника	Устранение свищей и трещин в системах водоснабжения и отопления, герметизации стыков трубопроводов, восстановление треснувших и сколотых керамических изделий, восстановление элементов сантехнической арматуры.
4. Ремонт автомобилей	Аварийный ремонт в полевых условиях топливных баков, посадочных поверхностей, трубопроводов, воздухопроводов, глушителей. Вклейка зеркал, резиновых герметизирующих прокладок, восстановление металлических

	деталей, заделка трещин корпусов двигателей, устранение небольших отверстий и пробоин в кузове автомобиля, восстановление резьбы.
5. Строительство	Все виды столярных соединений, включая наружные элементы, восстановление тонкостенных оболочек из оцинкованного железа (воздуховоды, водостоки, лейки, ведра, баки и т.п.), герметизация и восстановление жесткой кровли, склейка сколов черепицы, ремонт открытых водоводов, восстановление бетонных поверхностей.
6. Химическое производство	Устранение свищей и трещин теплообменников и радиаторов водогрейного и холодильного оборудования, восстановление сколов защитных эмалей на пищевых емкостях (стиральные машины, холодильники, ванны, поддоны), а также трещины в аналогичных изделиях из нержавеющей стали, восстановление корпусов и -ч защитных панелей электротехнических приборов и арматуры.
7. Лёгкая промышленность	Восстановление валов, посадочных мест подшипников, насосного оборудования, устранение течей в емкостях и т.п.
8. Судоремонт	Восстановление металлических корпусов и надстроек, судовых деталей, промежуточных валов и подшипников, трубопроводов, арматуры, емкостей, вспомогательных механизмов, подвергшихся износу, эрозии, коррозии и др.
9. Целлюлознобумажная промышленность	Восстановление износа оборудования при переработке древесины, производстве целлюлозы, бумаги, картона в т.ч. цапф шнеков натяжных и приводных барабанов транспортеров, осей опорных катков, валов привода различных агрегатов, теплообменников выпарных камер, посадочных мест подшипников, валов, лесотасок и слешеров рубильных машин, транспортерных лент, трубопроводов, емкостей, корпусов насосов и редукторов и др.
10. Цементная промышленность	Восстановление опорных шеек и цапф цементных и сырьевых мельниц, устранение трещин в корпусе вращающейся печи и в сварных швах подбандажных пластин, восстановление опорных узлов бандажей и роликов горизонтальных печей, защита внутренней поверхности цапф с целью предотвращения повреждений и др.
11. Горная промышленность	Восстановление трубопроводов, валов, посадочных мест подшипников, замена заливки цинком технологических емкостей в конусных дробилках специальным материалом «Мультипласт-К», что увеличивает сроки эксплуатации броневой защиты конусных дробилок и др.

В настоящее время они начинают применяться в машиностроении, авто- и судоремонте, ремонте сельскохозяйственных машин, энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, лёгкой промышленности, коммунальном хозяйстве, полиграфии, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности.

Технологический процесс применения ремонтных композитов при восстановлении деталей, узлов и оборудования в целом отличается от энергоёмких техпроцессов (сварка, пайка, наплавка, напыление), которые он с успехом может заменить в целом ряде конкретных случаев.

В таблице 4.2 представлен технологический маршрут с перечнем обязательных операций, каждая из которых отличается своей спецификой и требованием обязательного выполнения определённых условий, необходимых для качественного выполнения технологического процесса.

Таблица 4.2

**Технологический маршрут восстановления и ремонта деталей
металлополимерными материалами**

№ п/п	Наименование операций	Технологические переходы
1	Подготовка детали (узла)	Исправление формы; Очистка поверхности; Обезжиривание.
2	Приготовление композиции	Вручную; Механизированным способом; С помощью туб.
3	Нанесение композиции	Вручную (кистью, шпателем); Механизированным способом.
4	Формирование слоя композиции	Под давлением; Без давления; Неподвижными оправками; Подвижными оправками.
5	Отверждение композиции	Холодное; Горячее; Смешанное.
6	Обработка детали	Снятие заусенцев и напылов; Механизированная обработка.

В таблице 4.2 представленный технологический маршрут использования композитов, на первый взгляд, кажется простым, но он имеет ряд специфических особенностей, которые будут рассмотрены позднее при описании каждой технологической операции.

Качественная подготовка поверхности является залогом успешного выполнения ремонта. Поверхность, на которую будет нанесен полимерный материал, должна быть сухой, чистой и тщательно зачищенной. Предварительная очистка поверхности от грязи и масла выполняется ветошью или специальными порошкообразными составами, впитывающими масло и удаляемыми затем щеткой. Для удаления остатков масел из пористой поверхности детали применяют нагрев дефектного места с помощью газовой горелки или промышленного фена.

Зачистка поверхности перед нанесением материала выполняется с помощью абразивного круга, напильника, наждачной бумаги, фрезерования или путем использования иглофрезы. Наилучший эффект, как показали специально проведенные испытания, дает обработка абразивным кругом. Это наиболее доступный способ, дающий возможность выполнить зачистку быстро и без применения специальных инструментов или станков. Достаточно оправку с наждачным камнем закрепить в патроне дрели. В случаях, когда поверхность имеет следы ржавчины, или же коррозионные процессы образовали на поверхности сильные изъявления, следует применить пескоструйную обработку с использованием крупнозернистого песка.

Обезжиривание поверхности после ее зачистки осуществляется либо штатным фирменным обезжиривателем «Честер», либо ацетоном. Сравнительные испытания этих двух средств не показали каких-либо значительных отличий в адгезионной прочности, образованных после обезжиривания соединений полимерных материалов с металлом. В то же время штатный обезжириватель может позволить образованному адгезионному соединению более длительное время сохранять исходную прочность за счет предотвращения образования очагов коррозии на поверхности металла под

слоем полимера. Тому способствуют специальные добавки, содержащиеся в фирменном обезжиривателе.

Смешивание металлополимерных материалов выполняется либо на гладкой поверхности металла, стекла или пластика (пастообразные композиции), либо в специальной посуде (для жидкотекучих композиций) в пропорциях, указанных на этикетках упаковок обоих компонентов. Перед смешиванием целесообразным представляется предварительное перемешивание каждого компонента в своей емкости с целью получения однородного состава каждого компонента. Особенно важно выполнять эти условия, когда используется лишь часть материала из упаковки. Сказанное не относится к компонентам, обладающим большой вязкостью. В случае использования всей упаковки единомоментно, смешивание можно выполнять непосредственно в одной из емкостей с одним из компонентов. Перемешивая оба компонента шпателем в течение 3-5 мин, необходимо добиваться получения однородной по консистенции и по цвету композиции.

В случае перемешивания объемов более 0,5 кг целесообразно использовать специальную мешалку (стержень с лопастями), которая вставляется в патрон ручной дрели или сверлильного станка.

После перемешивания образовавшиеся пузырьки воздуха удаляются путем растирания полученной смеси тонким слоем на пластине (пастообразный материал) или переливанием тонкой струей в другую емкость (жидкотекучий материал). После перемешивания начинается отсчет времени выработки материала. Каждый материал имеет свою длительность процесса полимеризации, и в случае укороченных сроков (30-40 мин.) необходимо ускорять все процессы, связанные непосредственно со смешиванием, удалением воздуха из смеси и нанесением.

Для ускорения застывания материалов восстанавливаемые детали могут быть помещены в термостат и нагреты до температуры 50...60° С. Возможен подогрев ремонтируемого участка электролампой большой мощности, паяльной лампой или промышленным феном. Срок застывания материала при

этом сокращается в 2-3 раза.

Некоторые полимерные материалы на эпоксидной основе имеют негативное свойство разогреваться при отвердевании. Причем, чем большее количество материала замешивается, тем короче время выработки и тем выше температура саморазогрева. Это свойство эпоксидных смол полностью нейтрализовано в материалах таких фирм как «Diamant metallplastic GMBH», «Devcon», «Belzona», «Честер Молекуляр». Поэтому их применение позволяет решать многие технологические проблемы, связанные с нанесением материала без учета упомянутого саморазогрева. Отвердевание таких материалов при температуре 20-24°C наступает через 2-5 часов (в зависимости от разновидности материала) [62,19].

Компоненты композиционных материалов тщательно смешивают друг с другом в рекомендуемом инструкцией соотношении. Практика показала, что изменение соотношения в пределах 5-10% от требуемого не оказывает существенного влияния на выходных характеристики композита. При смешивании необходимо учитывать вязкость компонентов, представляющих основу и отвердитель, так как она оказывает определённое влияние на времясмешивания ($t_{см}$) и время начала полимеризации ($t_{нп}$). Эти два показателя определяют необходимое время нанесения композита. Поэтому должно быть обеспечено следующее условие:

$$t_{см} < t_{нп} \text{ или } \frac{t_{нп}}{t_{см}} = n, \text{ где } n > 2 \quad (4.1)$$

Для обеспечения качественного перемешивания требуется время 3-5 мин., поэтому жизнеспособность смеси должна составлять не менее 15 мин. Перемешивание компонентов может осуществляться как вручную, так и механизированным способами в зависимости от количества одно разово используемого материала.

При перемешивании компонентов вручную наиболее подходящей формой емкостей является эллиптическая или круглая, ибо в прямоугольной форме в углах компоненты не перемешиваются. Форма шпателя имеет вполне

определенное влияние на качество и скорость перемешивания. Для цилиндрического сосуда приемлемой формой шпателя для смешивания является цилиндрическая. С целью достижения определенной скорости сдвига необходимо иметь и определенное соотношение между диаметром сосуда D_c и диаметром шпателя $d_{ш}$. При небольшой величине отношения $d_{ш}/D_c$ скорость сдвига незначительна, так как разность $D_c - d_{ш}$ велика. По мере увеличения $d_{ш}$ разность $D_c - d_{ш}$ уменьшается и скорость сдвига увеличивается и ускоряется процесс смещения (таблица 4.3.) [19].

Данные таблицы 4.3. дают подтверждение улучшению качества перемешивания компонентов (основа-отвердитель), входящих в состав смеси, ввиду увеличения как частоты вращения шпателя, так и отношения $d_{ш}/D_c$.

Таблица 4.3

Влияние размеров шпателя на качество смешивания компонентов

Отношение $d_{ш}/D_c$	Наименование показателей	Показатели прочности при оборотах шпателя		
		10	50	100
0,1	Среднее разрушающее напряжение при сдвиге $\tau_{ср}$, МПа	0,3	8,7	5,0
	Среднее σ , МПа	0,4	2,0	1,6
	$\sigma/\tau_{ср}$, %	134	23,4	23,2
0,15	$\tau_{ср}$, МПа	8,6	10,0	12,4
	σ , МПа	1,8	1,5	1,7
	$\sigma/\tau_{ср}$, %	21	15	17,3
0,36	$\tau_{ср}$, МПа	10,7	12,4	13,5
	σ , МПа	2,4	1,3	9,4
	$\sigma/\tau_{ср}$, %	22,4	10,5	7

Формирование свойств композиционной прослойки путём ее отверждения происходит по определённом принципу. На рис. 4.1 показан характер изменения прочности при соединении стальных деталей с использованием композиционного материала «Chester Ceramic – Т».

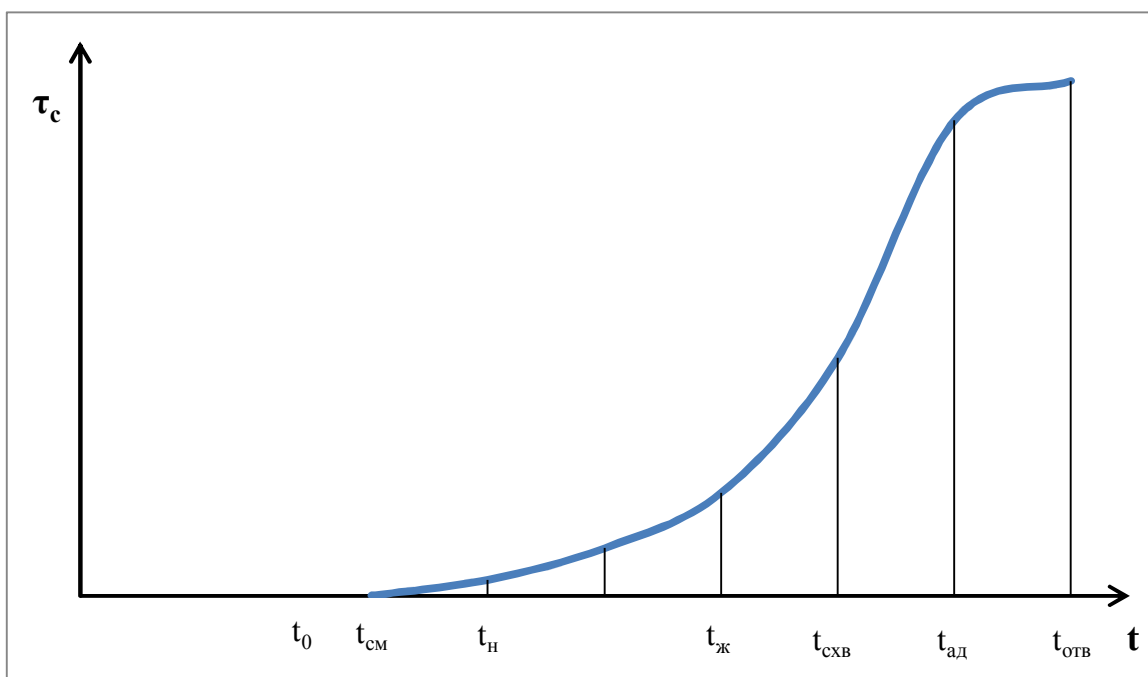


Рис. 4.1. Изменение прочности, в зависимости от времени полимеризации композита: t_0 – первоначальный момент смешивания компонентов; $t_{см}$ – время окончательного перемешивания; t_n – момент нанесения композита на поверхность детали; $t_ж$ – время жизнеспособности смеси; $t_{схв}$ – момент схватывания; $t_{ад}$ – время частичного отверждения; $t_{отв}$ – время полного отверждения.

Участок ($t_0 - t_{см}$) характеризует период времени, в течение которого проводят смешивание компонентов. Участок ($t_n - t_ж$) определяет продолжительность времени, в течение которого необходимо нанести композит и провести монтаж соединения. Время $t_ж$ определяет момент времени, после которого композит не может быть использован.

В момент времени t_0 осуществлено совмещение двух компонентов композиционного материала, т.е. основы и отвердителя и начато перемешивание компонентов. Период времени ($t_{см} - t_ж$) определяет жизнеспособность композиции, т.е. период времени, в течение которого композит может быть нанесён на поверхность соединения. Далее вязеость композиции нарастает в результате роста линейных (разветвлённых) молекул, а в момент $t_{схв}$ начинается образование поперечных связей между молекулами, что в результате в дальнейшем приводит к итоговой полимеризации композита и набору окончательной прочности.

Нанесение материала является одной из основных операций, определяющих как качество образованных адгезионных связей, так и долговечность восстановленной детали. Первый слой металлополимера тщательно втирается лопаткой или шпателем в поверхность восстанавливаемой детали. Необходимость во втирании первого адгезионного слоя подтверждается иллюстрацией этого процесса на рис. 4.2. Попадание при таком втирании полимерного материала во впадины и микронеровности на поверхности восстанавливаемой детали с одной стороны обеспечивает улучшение адгезии, а с другой - исключает вероятность образования очагов коррозии в этих впадинах, не заполненных полимерным материалом. Все последующие слои наносятся без приложения каких-либо усилий, исключая при этом образование полостей заполненных воздухом. Используются для этих целей пластиковые, металлические шпатели или лопатки. У специалистов-ремонтников большой популярностью пользуется такой инструмент как столовый нож - жесткий и в то же время удобный шпатель для перемешивания, втирания и нанесения материалов.

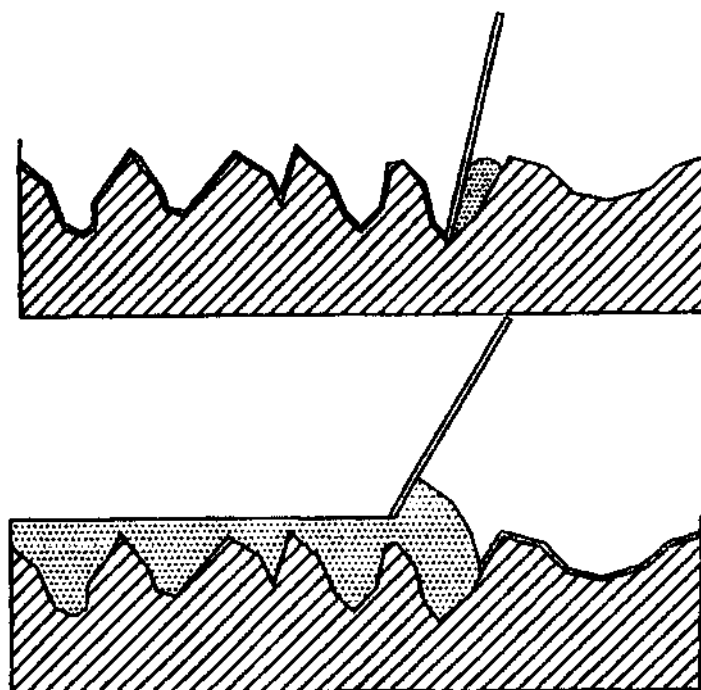


Рис. 4.2. Втирание первого слоя полимерного материала (а) и формирование последующих слоев (б)

Очень часто возникает вопрос - можно ли наносить ещё один слой металлополимерного материала по ранее нанесенному его слою? Если ранее нанесенный материал еще не затвердел, то следующий слой можно наносить, будучи уверенным, что получим однородный гомогенный слой полимера. Если же полимеризация ранее нанесенного слоя уже произошла, то для соединений вновь наносимого слоя со старым, поверхность последнего необходимо зачистить и обезжирить, как описано выше, и затем втереть вновь наносимый слой с помощью шпателя.

Формирование поверхности нанесенного **материала** выполняется различными способами, в зависимости от тех целей, которые преследуются при восстановлении дефектного участка. Например, когда нет особых требований к качеству поверхности, уложенный на дефектное место полимер можно сформировать точечными прижатиями ветоши смоченной в обезжиривателе.

Если поставлена цель получить сравнительно гладкую поверхность, то применяют, например, полиэтиленовую пленку и с ее помощью формируют поверхность. Для получения шлифованной поверхности необходимо приложить к ней шлифованную пластинку или шаблон, заранее обработанные антиадгезивным составом - отделителем. В качестве такого материала используется жидкость или пастообразные составы на основе тефлона. Например, фирма "Diamant metallplastic GmbH" рекомендует применять отделитель "Trennmitell" (жидкий), "Trennmitell" (аэрозоль) и "Trennmitell" (пастообразный), «Честер Молекуляр». Поверхность шаблона обезжиривается, просушивается и лишь затем отделитель наносится одним или двумя слоями. В случае нанесения двух слоев, после нанесения первого выдерживается пауза до 15 мин. После отвердевания отделителя, покрытая им поверхность, при необходимости, полируется мягкой тканью.

Затвердевший металлополимерный материал можно обрабатывать любым из известных способов, включая шлифование или обработку лезвийным инструментом.

После нанесения слоя композиции на поверхность деталей слой

материала необходимо подвергнуть формованию, т.е. силовому воздействию для придания необходимой формы. С помощью методов динамического или статического формования с использованием композитов можно получать как наружные, так и внутренние цилиндрические поверхности. Получение таких поверхностей показано на рис. 4.3

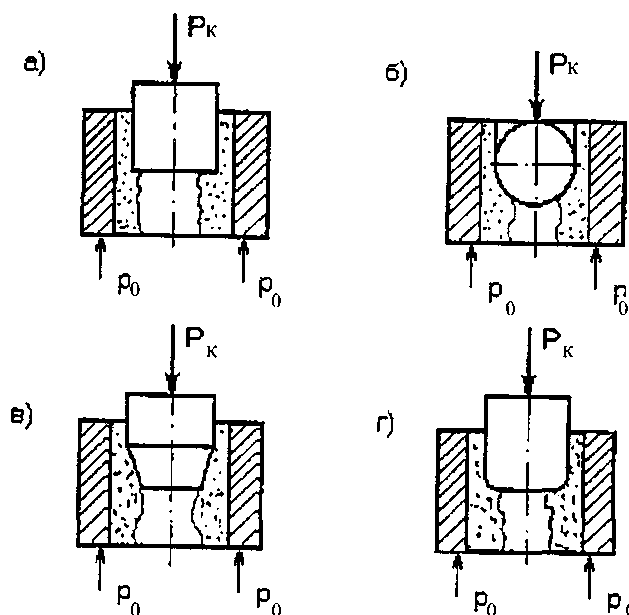


Рис. 4.3. Схема динамического формирования слоя композиции путем использования калибров (P_k -сила калибрования. P_0 -опорная реакция):

- а) цилиндрическим калибром; б) сферическим калибром; в) цилиндрическим калибром с конусной фаской; г) цилиндрическим калибром со сферической фаской.

Усилия, затрачиваемые на перемещение калибров зависит от геометрических размеров цилиндрических поверхностей, в соответствии с чем определяется скорость перемещения калибров. Эксперименты показали, что наилучшее качество поверхности было получено при минимальном слое композита в 1 мм при дисперсности частиц наполнителя не более 50 мкм.

На рис 4.4 представлена зависимость между усилием формования композиции и скоростью перемещения калибра. При этом наибольшая чистота поверхности достигается отверждением в течение 2 часа 20 минут.

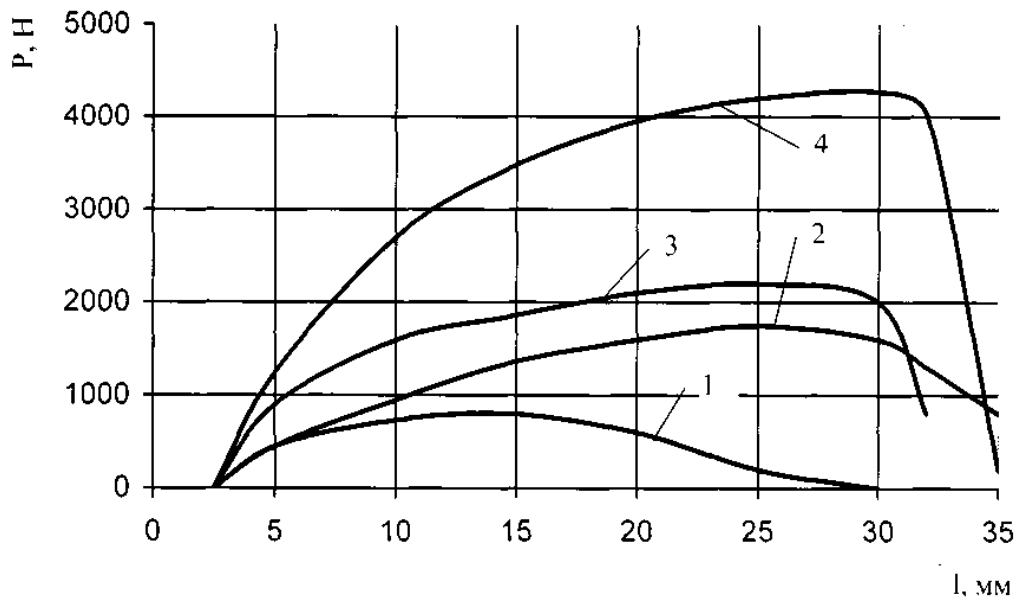


Рис. 4.4. Зависимость между усилием и перемещением калибра при динамическом формировании слоя композиции:

P - усилие продавливания калибра диаметром 30 мм; 1 - перемещение калибра. Время отверждения; 1 - 1 ч 40 мин; 2 - 2 ч 20 мин; 3 - 2 ч 30 мин; 4 - 2 ч 15 мин

На рис. 4.5 представлен характер режимов формирования цилиндрической поверхности требуемых геометрических размеров.

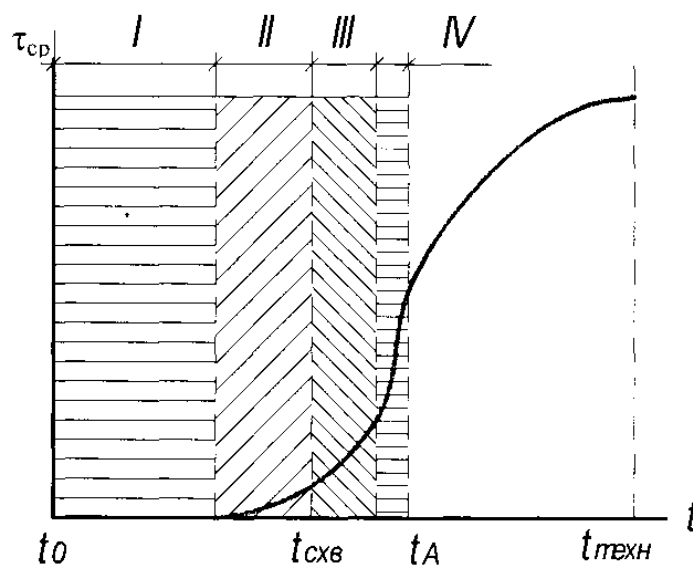


Рис. 4.5. Режимы формирования слоя композиции: $\tau_{ср}$ - среднее разрушающее напряжение при сдвиге; t - время полимеризации композита; А - момент перехода от когезионного к адгезионному характеру разрушения.

Необходимое усилие для формования цилиндрической поверхности:

$$p_0 = \frac{P}{\pi \cdot d} \quad (4.2)$$

где P - усилие при формовании, Н; d - диаметр калибра, мм.

В результате смешивания компонентов и нанесения композита на цилиндрическую поверхность выбранной детали формование проходит по 4-м участкам:

- I - нанесение композиции и соединение деталей;
- II - статическое формование и склеивание деталей;
- III - оптимальная для динамического (размерного калибрования) формования - после $t_{схв}$.
- IV - нецелесообразная для формования (в момент близкий к t_A)

Разница между диаметром ремонтируемого отверстия (после полимеризации) и диаметром калибра находится в зависимости от зоны формования и при формовании в первой зоне составляет от 0,1 до 0,2 мм; во второй - 0,05 мм; в третьей – от 0,01 до 0,03 мм. При формовании композита в 4-й зоне покрытие разрушается.

Тепловая обработка деталей. Использование нагрева в процессе отверждения композиционного материала приводит к значительному сокращению времени полимеризации. Дополнительный нагрев может быть осуществлён непосредственно на месте соединения (фенами), либо в сушильных шкафах. При этом температура нагрева должна лежать в пределах 60-90 °С. При этом время отверждения сокращается в 5 -6 раз.

Нагревание используемой композиции может осуществляться различными способами:

а) подвод источника тепла осуществляется в момент соединения деталей $t_0 < t_H < t_{схв}$ (горячее отверждение);

б) подвод тепла производится после момента схватывания, но до момента технологического отверждения $t_{схв} < t_H < t_{техн}$;

в) нагрев выполняется непосредственно после технологического

отверждения $t_n < t_{техн}$, (смешанное отверждение).

При восстановлении деталей наиболее приемлемыми являются две последние схемы нагрева, так как при использовании первой схемы композиция становится маловязкой, что на наклонной поверхности детали приводит к стеканию композиции.

Практика показывает, что наиболее целесообразно обеспечить отверждение компаунда при температуре окружающей среды до затвердевания, а затем проводить дополнительный нагрев и выдержку при более высокой температуре.

Оценка влияния вида нагрева на прочность проводилась на образцах, соединенных композицией «Chester Ceramic - T». Соединённые образцы подвергались нагреву в течение 1 часа. Термодформационные кривые соединений показывают, что ступенчатый нагрев образцов (подача тепла после $t_{схв}$ и $t_{техн}$) даёт повышение τ_c . Поэтому, в подобном случае уровень качества соединения повысился и оказался выше, чем в соединениях, которые отверждались при комнатной температуре.

Влияние времени отверждения при постоянной температуре (120°C) на термодформационные кривые показано на рис. 4.6.

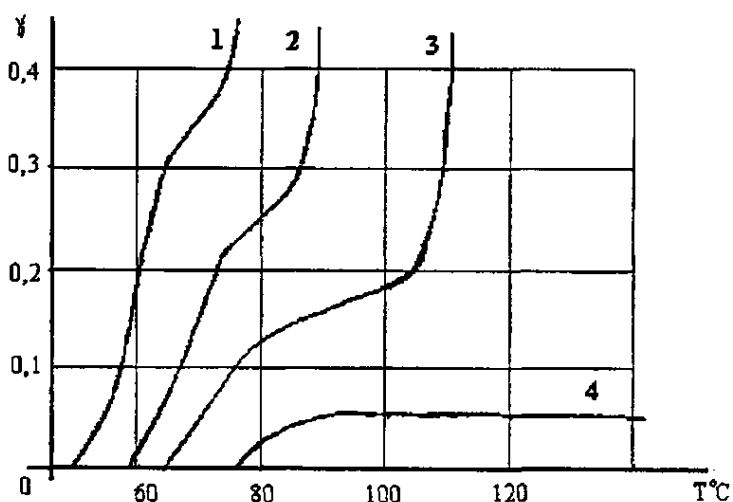


Рис. 4.6. Термодформационные кривые клеевых соединений, γ - относительный сдвиг в слое композита. T - температура образца в частях массы: основа -50. отвердитель -50. Время отверждения образцов при 120°C : 1-2 час., 2-2 час., 3-3 час., 4-4

Итоговое время нагревания детали t , мин. можно вычислить по формуле:

$$t = t_{\text{н}} + t_{\text{пост}} + t_{\text{охл}} \quad (4.3)$$

где $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{охл}}$ - время нагрева компаунда до необходимой температуры и охлаждения до температуры окружающей среды, мин.;

$t_{\text{пост}}$ - время выдержки детали при заданной температуре, мин.

Механическая обработка после отверждения композита проводится с целью удаления заусенцев, наплывов, снятия острых кромок. Основное назначение механической обработки это удаление излишков материала, обеспечение визуального качества и функциональных характеристик соединения. Механообработка может проводиться ручным инструментом, механизированным, либо на металлорежущем оборудовании в зависимости от требований к получаемой поверхности. Основным требованием при обработке поверхностей, выполненных из композиционных материалов является обеспечение определённых физико-механических свойств. От них зависят режимы резания и геометрические характеристики инструмента. Так теплостойкость и теплопроводность композитов ограничивают скорости резания, а их низкая твёрдость требует использования инструмента с острой режущей кромкой. Использование специальных насадок при применении ручного механизированного инструмента, работающего при высоких скоростях, так же может привести к отрицательным явлениям, которые могут проявиться в процессе эксплуатации.

При обработке материалов, отличающихся пониженной твёрдостью, к каковым относятся и композиты, к режущему инструменту предъявляются определённые требования:

- задний угол (α) должен быть больше в сравнении с инструментом для обработки металлов. Это обеспечит стойкость и его долговечность. Для обработки как пластмасс, так и композитов задний угол α должен находиться в пределах 12-20°;
- передний угол γ так же больше у материалов типа пластмасс и композитов, чем у металлов и обычно составляет 15-20°;

- отвод стружечной канавки так же делается более глубоким и ёмким вследствие большего количества стружки и возможности налипания материалов.

Следует так же учитывать, что обработка тонкослойных антикоррозионных покрытий, выполненных из уомпозиционных материалов затруднительна и неэффективна, так как в тонком слое (0,3 – 1,0 мм) появляются нежелательные напряжения, что приводит к деформации композиций.

При ручной обработке поверхностей с использованием режущего и зачистного инструмента возможно отслаивание покрытий в результате чрезмерных усилий, чего следует всячески избегать.

Оценивая в целом методологию применения композиционных материалов в ремонтно-восстановительных работах, следует подчеркнуть обязательность строго выполнения всего комплекса перечисленных выше работ и учитывать приведённые выше особенности технологии. Это обеспечит высокое качество и надёжность как сборочной технологии, так и технологии ремонтно-восстановительных с применением композиционных материалов.

4.2. Методы устранения основных видов дефектов композиционными материалами.

Хотя основной задачей диссертационного исследования является разработка метода устранения дефектов, возникших на оборудовании от действия абразивного, коррозионного и кавитационного износов, однако, анализ дефектов говорит об их многообразии. Поэтому целесообразно рассмотреть каким образом обеспечивается их устранение.

Несмотря на различный характер дефектов деталей, устраняемых металлополимерными композициями, схемы технологического процесса восстановления деталей в общем плане однотипны и могут быть представлены схемой, показанной на рис. 4.6 [62]. Особенности этого процесса являются

необходимость приготовления олигомерной композиции на рабочем месте, с одной стороны, а с другой - ограниченное количество приготавливаемой композиции для одноразового применения ввиду ее малой жизнеспособности.

Большой объём ремонтно-восстановительных работ проводится при устранении литейных дефектов, при восстановлении поверхностей, подвергшихся абразивному, коррозионному, кавитационному износам, а так же при герметизации трещин в трубопроводах, корпусах различных агрегатов, емкостях и т.п. Эти технологии рассмотрены более подробно. Другие технологии, а именно: восстановление посадочных поверхностей подшипников качения и скольжения, износ валов, шпоночных пазов, резьбовых соединений представлены в Приложении №3.

Герметизация трещин в корпусных деталях. Первоначальным этапом решения этой задачи является предварительная зачистка трещины, определение ее длины и засверловка концов трещины сверлом Ø 3-4 мм, как показано на (рис. 4.7 а). Затем выполняется разделка трещины абразивным или лезвийным инструментом аналогично разделке шва V-образного сечения под сварку. При этом зоны шириной 20-30 мм, примыкающие ко шву, зачищаются с обеих сторон шва. Поверхность этих зон желательно загрузить, делая засечки зубилом или небольшие углубления сверлом. Если длина трещины превышает 100 мм, то выполняют фиксацию трещины в двух вариантах. Первый - установка гужонов (рис. 4 б) непосредственно в трещину через 30-40 мм (засверловка, нарезание резьбы, ввинчивание винта с надпиленной головкой до упора и ее срезание). Второй вариант заключается в механическом закреплении трещины путем установки металлических пластин и соединении их с корпусом болтами по обе стороны трещин.

Эти пластины устанавливаются через 70-80 мм и могут сочетаться с установленными ранее гужонами. Такая механическая фиксация трещины позволит полимерному материалу сохранить адгезионные связи с металлом даже в условиях значительного нагрева корпуса и последующих температурных расширений материала корпусной детали. После механической

фиксации трещины производится еще раз зачистка шва вместе с крепежными элементами, их обезжиривание и нанесение первого слоя полимерного материала путем его втирания в металл. Затем накладываются последующие слои материала, закрывающие все скрепляющие элементы, и формируется шов путем прикатывания его через полиэтилен, либо путем точечного прижатия ветошью смоченной в ацетоне.

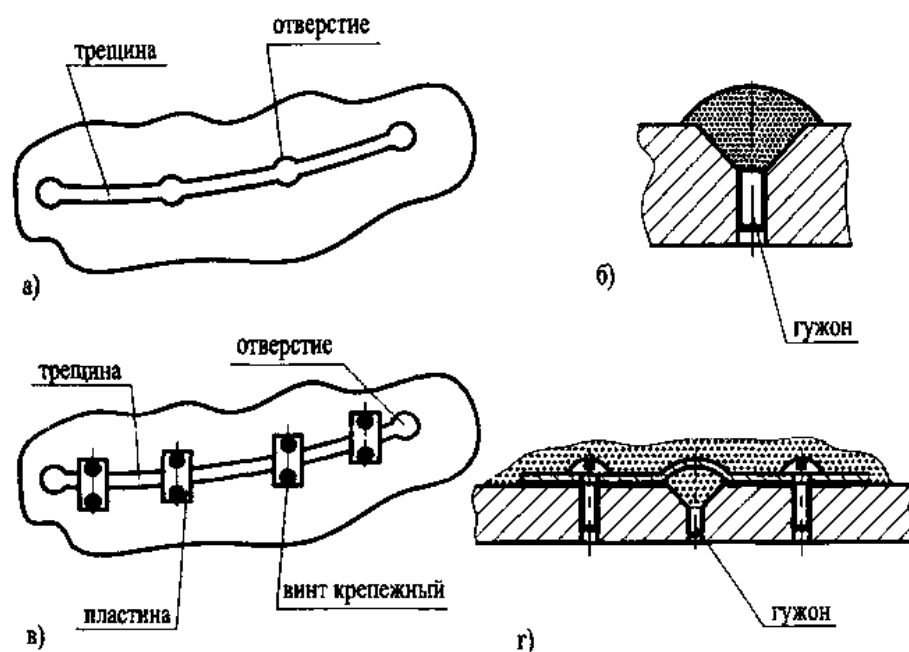


Рис. 4.7. Герметизация трещины в корпусной детали: а) засверловка концов трещины и отверстий под гужон; б) установка гужона; в) установка закрепляющих пластин; г) герметизация трещины

Аналогичным образом можно восстановить чугунные корпусные детали, расколовшиеся в результате воздействия случайных ударных нагрузок. Вначале необходимо выполнить механическое закрепление частей корпусной детали, а затем ее загерметизировать с помощью полимерного материала. Если нагрузки, разрушившие деталь, не будут повторяться, то можно гарантировать ее работоспособность в течение длительного времени. В качестве примера практического решения такой задачи можно привести восстановление

треснувшего корпуса компрессора на Лисичанском стекольном заводе "Пролетарий". После механического закрепления, как было описано выше, и герметизации полимером мультиметалл этот компрессор успешно работает в производственных условиях.

Проведенные работы по восстановлению корпусных деталей позволяют привести следующий перечень объектов введенных в строй силами или при техничном руководстве сотрудников кафедры «Математические и естественно-научные дисциплины» РГУТиС [73,80]:

- многочисленные случаи восстановления треснувших блоков цилиндров автомобилей и тракторов;
- восстановление треснувшей рубашки охлаждения корпуса компрессора (суммарная длина 3 трещин - 1200 мм);
- герметизация трещины корпуса кранового редуктора;
- герметизация бронзового корпуса газовой задвижки РУБ100, имевшей дефект литья в виде сквозного свища;
- восстановление корпуса чугунной задвижки ДУ150 со сквозной литейной раковиной;
- восстановление треснувших корпусов и крышек насосов различного типа в системе теплосети.

Ремонт литейной раковины. В случае восстановления раковин на внешней поверхности литых изделий или раковин, вскрывшихся на обрабатываемой поверхности, целесообразнее применить материал «Честер Металл Супер. Технология восстановления такого вида дефекта приводится ниже.

Вначале выполняется разделка дефекта под нанесение полимерного материала, как показано на рис. 4.8.

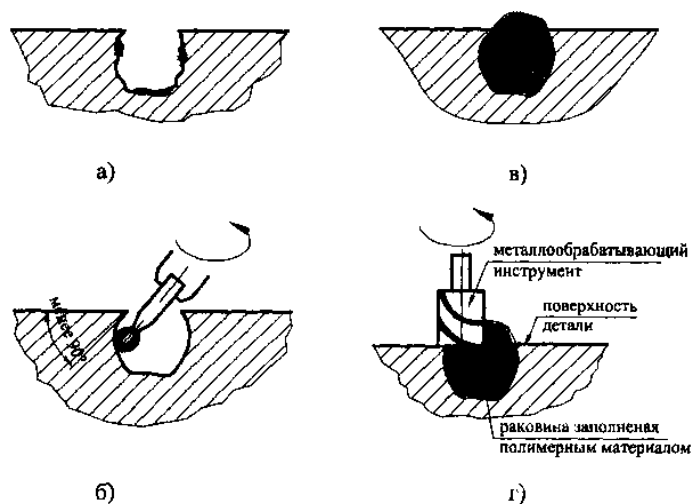


Рис.4.8. Последовательность ремонта детали с раковиной: а) раковина со следами загрязнений; б) обработка дефектного участка; в) заполнение раковины; г) обработка металлополимера после его отвердевания

Такую разделку удобнее всего осуществить с помощью ручной фрезерной машинки типа "Гном" или электродрели с закрепленным в ней инструментом в виде бор-фрезы, выполненной из твердого сплава.

Дефектное место очищается от стружки штатным фирменным обезжиривателем или ацетоном. После обезжиривания необходимо дать обезжиривателю испариться или необходимо просушить раковину теплым воздухом. Затем в емкость с отвердителем добавляется порошок, и оба компонента «Честер-супер» перемешиваются. Соотношение компонентов указано на упаковке, однако, нет необходимости соблюдать указанную пропорцию. Допускается отклонение от предлагаемых пропорций на 8-10%, что не сказывается на механических характеристиках отвержденного композита.

Первый адгезионный слой материала тщательно втирается шпателем в поверхность дефектного участка. Остальные слои могут наноситься шпателем без усилий или просто наливаться в полость раковины. Поверхность нанесенного материала можно сформировать с помощью шаблона, имеющего гладкую поверхность. Для этого шаблон обрабатывается отделителем и после высыхания прижимается к дефектному месту. После застывания материала (2-

3 часа) шаблон удаляется путем приложения усилия в направлении параллельном восстанавливаемой плоскости.

Если шаблон для формирования поверхности не использовался и материал нанесен с избытком, то по прошествии 2-3 часов композит может быть подвергнут токарной либо любой другой обработке на режимах, с помощью которых обрабатываются пластмассы (например, скорость резания 40-55 м/мин; глубина резания 0.5-1,0 мм, подача 0,1-0,2 мм/об.). Нагружение детали осуществляется через 24 часа.

Защита оборудования и металлоконструкций от коррозионного, эрозионного износа, кавитации и химического воздействия. Для защиты внутренней поверхности насосов, задвижек и других корпусных деталей в зависимости от среды, которая находится внутри корпуса в процессе работы, применяются следующие материалы:

1. Для защиты от воздействия химических сред - материалы: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector E.
2. Для защиты от кавитационного износа - материалы: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector B, C, E.
3. Для защиты от коррозии - материалы: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector A, D.
4. Для защиты от абразивного износа - материалы: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector B, C, CK, CF, E.

Перед применением того или иного материала поверхность которая будет защищена полимерным материалом, подвергают пескоструйной обработке или обработке шлифовальными машинками, а также удалителем ржавчины. Затем поверхности тщательно обезжириваются, просушиваются и на них наносится шпателем или валиком тот или иной материал. Для тщательного втирания полимерного материала в изъеденную корродированную поверхность целесообразно применять резиновые шпатели обеспечивающие более полный контакт первого слоя покрытия с неровной металлической поверхностью [71].

4.3. Эффективность технологических методов восстановления оборудования с использованием композитных материалов.

В настоящее время на предприятиях РФ парк металлорежущих станков и вспомогательного оборудования изношен на 50-70% и не всегда есть возможность приобретения нового оборудования. Однако применение композиционных материалов в ремонтно-восстановительных работах позволяет продлить возможность эксплуатации изношенного оборудования и увеличить ресурс его работы, что сэкономит значительные средства предприятием. Технологии ремонта с использованием композитов универсально и может применяться практически во всех отраслях от коммунальной сферы до аэрокосмической. Эту технологию отличают безопасность и отсутствие энергозатрат на проведение восстановительных работ.

Рассмотрение основных технологий, где для восстановления использовались композиционные материалы позволяет судить о снижении себестоимости ремонта в сравнении с традиционными технологиями (сварка, пайка, наплавка, напыление) и высокой эффективности ремонтных технологий. Это относится к восстановлению изношенных валов, в том числе крупногабаритных, посадочных мест подшипников, восстановлению герметичности корпусных деталей, гидроцилиндров, направляющих скольжения металлорежущих станков, изношенных поверхностей, трубопроводов в системах водо-, тепло-, газоснабжения.

Эрозионно-коррозионные разрушения внутренних поверхностей оборудования, рабочих колес и шнеков могут быть восстановлены без механической обработки непосредственно на месте расположения агрегата. При этом продолжительность эксплуатации таких агрегатов может быть существенно увеличена за счет применения прогрессивных материалов с керамическими наполнителями, препятствующими интенсивному износу поверхностей.

В настоящее время все шире внедряется технология применения композитов при ремонте обрешеченных, крупногабаритных, металлических, гранитных валов в целлюлозно-бумажной, полиграфической, и других отраслях промышленности [19].

Возможности широкого внедрения технологий применения компаундов при восстановлении оборудования объясняются прежде всего:

- относительной дешевизной полимерных материалов по сравнению с металлами;

- простотой их применения;

- универсальностью при восстановлении деталей из цветных и черных металлов, бетона, дерева, пластмасс, стекла и др.;

- высокой химической стойкостью полимеров к различным агрессивным средам, в том числе маслам, кислотам, щелочам, нефтепродуктам, морской воде и т.п.

- возможностью получения различных, порой даже уникальных физико-механических и химических свойств полимерных композитов, зачастую по своим эксплуатационным показателям превосходящих металлы;

- малой удельной массой полимеров;

- шумо- и вибро- поглощением при их применении в конструкциях механизмов и машин;

- антифрикционными и электроизоляционными свойствами.

Анализ дефектов оборудования теплосетей г. Мытищи показал широкие возможности применения гаммы композиционных материалов фирмы «Chester Molecular» в ремонтно восстановительных работах, что наглядно демонстрирует структурная схема на рис. 4.9 [84].

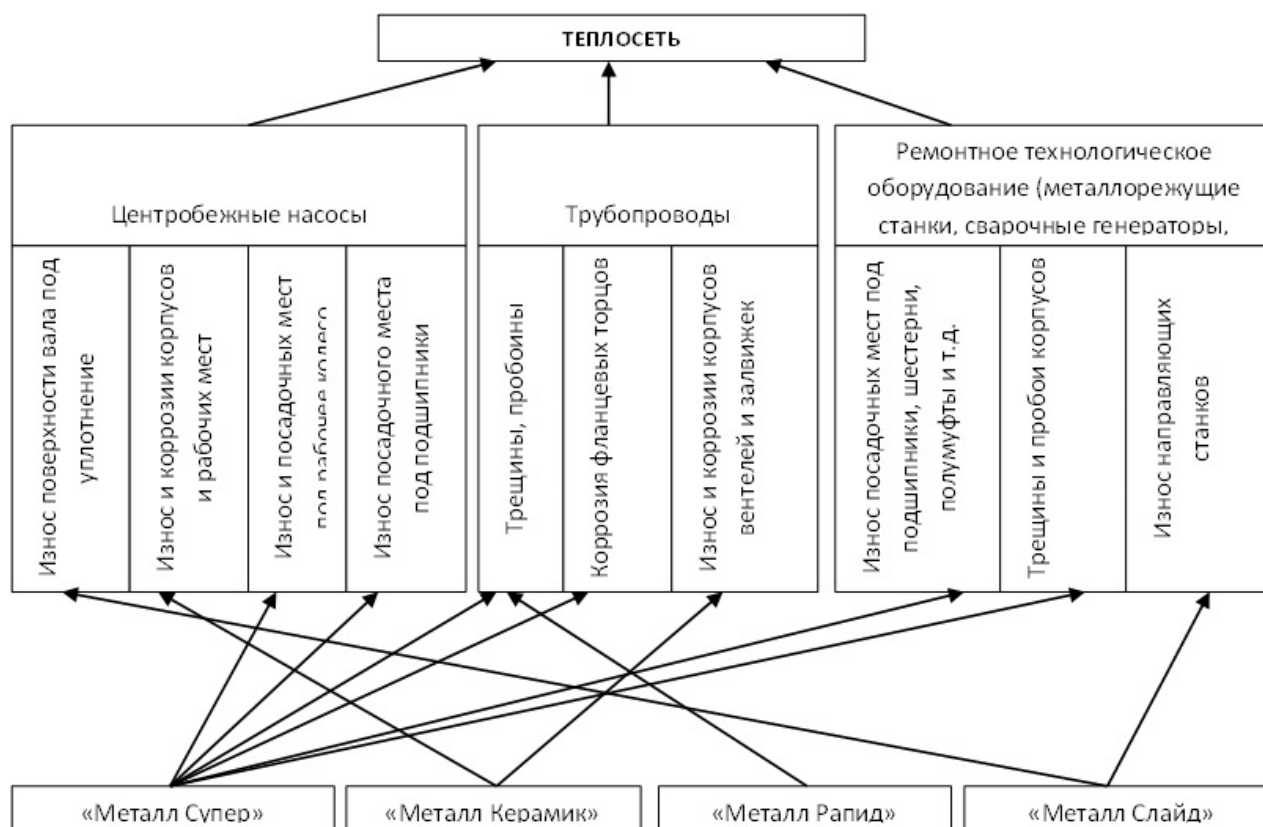


Рис. 4.9. Классификация наиболее распространенного оборудования теплосетей, подлежащих восстановлению композиционными материалами “Честер Молекуляр”.

Эффективность применения ремонтных композитов может быть подтверждена многими примерами. Эти работы по себестоимости ремонта составляют от 5 до 30% от применения традиционных высокоэнергетических методов сварки, пайки, наплавки, напыления. В качестве примера далее представлены результаты внедрения предлагаемой технологии на одном из предприятий г. Москвы.

Изучение опыта работы по применению композитов при восстановлении оборудования на московском заводе «СВАРЗ» так же демонстрируют как технические, так и экономические преимущества прогрессивной технологии (таблица 4.4).

Результаты внедрения технологии “холодной сварки”.

Детали двигателя	Характерные дефекты	Стоимость ремонта (в % к традиционному)
Блок цилиндров	Вырывы и трещины в картере блока	20
	Продольные и поперечные трещины в посадочных местах гильз	Традиционными методами не ремонтируется
	Выработка металла под вкладышами коленчатого вала (постели)	То же
	Разгерметизация и износ резьбовых соединений	15
	Повреждения масляной магистрали	30
Поддон картера	Трещины и отверстия	15
Картер маховика	Отколы, трещины и отверстия	20
Вал редуктора ГМП	Выработка металла на шейке вала и рабочей плоскости, износ канавок для маслосъемных колец	15
Первичный вал ГМП	Износ и повреждение канавок для маслосъемных колец	15
Крышка водяной рубашки	Коррозионный износ корпуса и патрубков	10
Крышка газораспределительного механизма	Трещины и вырывы	15
Клапанная крышка	То же	15
Вал распределительного механизма	Коррозионный износ кулачков	5
Водяная трубка	Коррозионный износ, течь	10
Крышка масляного насоса ГМП	Выработка металла посадочного места шестерни	10
Головка компрессора	Трещины, коррозионный износ	10

Не менее эффективно предлагаемые технологические методы с использованием композиционных материалов фирмы «Chester Molecular» используются в теплосетях г. Мытищи, что наглядно демонстрируется на рис. 4.9.

Большой интерес представляют работы, связанные с устранением результатов различных видов износа. В этом случае, как показали результаты

экспериментов, наиболее целесообразно использовать композиционный материал «Честер-Керамик». Так на одном из целлюлозно-картонных комбинатах (ЦКК) в результате износа посадочных поверхностей прессового вала наблюдалось биение вала, так как были изношены не только внутренняя поверхность вала, но и наружная поверхность цапфы, устанавливаемой внутрь вала, а также разбиты крепежные отверстия.

Этапы восстановительных работ представлены в сводной технологической таблице 4.5.

Таблица 4.5

Технологический маршрут восстановления прессового вала БДМ

№	Наименование операции	Используемые оснастка, инструмент, материалы
1	Дефектация, внешний осмотр	Рулетка, штангенциркуль
2	Зачистка поверхностей цапфы и вала	Электродрель с насадками, металлические щетки, наждачная бумага
3	Обезжиривание	Очиститель F-5 ф. «Честер Молекуляр», ветошь
4	Нанесение разделительного состава на внутреннюю поверхность вала	Разделительный состав ф. «Честер Молекуляр», кисти, фен строительный
5	Замер внутреннего диаметра вала и наружного у цапфы	Штангенциркуль
6	Подготовка ремонтного состава	Пластина из тинакса, шпатели, материал «Честер-Керамик» (2 компонента)
7	Нанесение композиционного материала на поверхности цапфы и вала	Шпатели, композиционный материал (в смеси)
8	Сборка цапфы с валом	Подъемное устройство, гаечные ключи, динамометрический ключ
9	Удаление излишков материала	Шпатели, ветошь
10	Визуальный контроль после сборки	

Для устранения износа вала и цапфы был использован композиционный материал фирмы «Честер Молекуляр» - «Керамик Т».

Ниже приведены внешний вид (рис. 4.10) и технические характеристики (таблица 4.6) используемого РКМ.



Рис. 4.10. Chester Metal Ceramic T

Chester Metal Ceramic T - это двухкомпонентный тиксотропный металлонаполненный композитный материал на основе эпоксидных смол и волоконных наполнителей. Он используется для

-устранения течей в трубопроводах, контейнерах и пробитых корпусах (ёмкостях).

-восстановления посадочных мест подшипников, сорванной резьбы.

-ремонта дефектов литья и дефектов корпусов (трещины, сколы и т.д.), изготовленных из железа, чугуна и стали.

-восстановления разбитых шпоночных пазов.

Таблица 4.6

Свойства приготовленной смеси

Консистенция:	тиксотропная паста
Удельная масса композиции (г/см ³ при 25°С):	1,96
Цвет:	серый
Пропорции смешивания (основа/активатор):	по массе: 2,5/1, по объёму: 2/1
Технологические характеристики:	
Жизнеспособность композиции (при 20°С):	20 мин.
Время отверждения до механической обработки (при 20°С):	3,5 часа через 7 дней
Полная химическая стойкость (при 20°С):	

Влияние температуры на процесс отверждения КМ представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Окружающая температура, °С	Время жизнеспособности смеси, мин.	Время отверждения до механической обработки, час.
5	50	14
10	30	7
20	20	3,5
30	10	2,5

Нагревание поврежденного участка после нанесения смеси значительно увеличивает прочностные качества материала. Время отверждения существенно зависит не только от температуры, но и от количества используемого материала (чем больше масса смешанного материала, тем быстрее протекает реакция). Приведённые выше примеры относятся к композиту, масса которого 0,25 кг. Физико-механические свойства отверждённого материала представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Физико-механические свойства отверждённого материала

Максимальная температуростойкость материала (°С):	+200
Рабочая температура (°С):	от +150 до –50
Коэффициент теплопроводности (Вт/мК):	0,3
Предел прочности, (МПа) при сжатии: на сдвиг (по стали): при изгибе:	146 (согласно ISO 604) 24,5 92 (согласно ISO 178)
Параметры силы Изгибающая температура (°С): Изгибающая температура под нагрузкой:	92 (согласно DIN53462) 102 (согласно ISO 75)
Теплоемкость материала (кДж/м ²):	8,5

Химическая стойкость к моторным маслам, тормозным жидкостям, гликолям, парафинам, этанолам, 10% азотной кислоте, 10% уксусной кислоте,

аминам, фенолам, соленой воде, природному газу. Материал не рекомендуется использовать при контакте с аммиаком, хлором, чистым кислородом.

На рис. 4.11 и 4.12 показан монтаж восстановленной, с использованием композиционного материала «Честер Керамик-Т», цапфы на вал и вал в сборе после ремонта.



Рис. 4.11. Монтаж цапфы на вал



Рис. 4.12. Вал после ремонта

Технология применения композиционных материалов в восстановительных работах характеризуется большой экономией энергоресурсов, свойственных технологиям сварки, пайки, наплавки, напыления и др.

На основании практического опыта специалистов, занятых в последние годы внедрением ремонтной технологии с применением композиционных материалов было установлено, что рациональное использование их физических и химических свойств позволит снизить себестоимость и трудоемкость работ на 50-60% и снизить расход металла на 40-50%.

Так же основным преимуществами подобных ремонтных технологий является сокращение сроков проведения ремонта в 5-10 раз в сравнении с традиционными способами. Эксплуатация восстановленных объектов

показывает, что продление срока их работы может быть увеличено в 2-4 раза [62,71].

Для определения экономической эффективности от внедрения мероприятий по восстановлению оборудования с применением композитов была разработана методика, приведённая ниже.

В качестве основного критерия при выполнении оценки экономической эффективности ремонта деталей, подвергшихся износу и выбора определённой ремонтной технологии выступает себестоимость восстановления. Она демонстрирует совершенство технологии ремонта узла или детали, которое можно выявить проанализировав степень дефицитности используемых материалов и трудоемкость процесса и ряд других критериев. Как правило себестоимость ремонта деталей может составлять от 10 до 40% себестоимости новых. Современные ремонтные технологии, к которым следует отнести технологию восстановления с применением РКМ, дают возможность осуществлять ремонт различных деталей так, что в итоге их эксплуатационные показатели превышают подобные новых деталей. Следовательно, экономическая целесообразность – это важный фактор при восстановлении изделий.

В общем случае себестоимость (C_B) восстановления деталей (узлов) можно определить по формуле:

$$C_B = C_{ид} + C_M + P_{об} + P_{зп} + C_б \quad (4.4)$$

где $C_{ид}$ и C_M - стоимости соответственно изношенной детали и материалов, используемых для восстановления;

$P_{об}$ - расходы на содержание и эксплуатацию ремонтного оборудования;

$P_{зп}$ - расходы на заработную плату;

$C_б$ - стоимость потерь от брака.

Стоимость $C_{ид}$ изношенной детали определяют обычно по цене металлического лома. Если ремонт предусматривает замену дефектной детали на новую, то берется ее основная стоимость, т.е. стоимость материала и изготовления. Стоимость материалов включает затраты на все

материалы, которые применяют в технологическом процессе восстановления данной детали:

$$C_m = \sum_{i=1}^n G_i \cdot C_i \quad (4.5)$$

где G_i - масса использованного материала конкретного наименования, кг;

C_i - стоимость 1 кг материала конкретного наименования, руб;

n - число наименований материалов.

Расходы $P_{об}$ на содержание и эксплуатацию ремонтного оборудования в расчете на одну восстанавливаемую единицу составляют:

$$P_{об} = P_A + P_{ро} + P_э + P_{пи} , \quad (4.6)$$

где P_A - расходы на амортизацию оборудования;

$P_{ро}$ - расходы на ремонт и обслуживание оборудования;

$P_э$ - расходы на энергетические источники (электроэнергия, газ, пар, сжатый воздух, вода);

$P_{пи}$ - расходы на амортизацию приспособлений и инструмента.

Расходы на заработную плату определяют с учетом всех операций технологического процесса и с учетом всех видов доплат:

$$P_{ЗП} = \tau \cdot C_{чср} \cdot K_n \cdot K_d \cdot K_c \quad (4.7)$$

где τ - трудоемкость восстановления деталей, чел.-ч;

$C_{чср}$ - средняя часовая ставка по выполняемым работам;

K_n - коэффициент, учитывающий премии и другие доплаты $K_n = 1,2 \dots 1,4$;

K_d - коэффициент дополнительной заработной платы (оплата отпусков, дежурств, компенсаций и т.п.) $K_d = 1,07 \dots 1,09$;

K_c - коэффициент отчислений в фонд социального страхования, $K_c = 1,35$.

При укрупненных расчетах себестоимости для определения экономической целесообразности восстановления можно использовать следующую зависимость:

$$C_b = \frac{\sum_{i=1}^d C_{yi} \cdot S_i \cdot K_{nli}}{K_n} + 0,1 \cdot C_n \quad (4.8)$$

где d - число восстанавливаемых поверхностей деталей.

C_{yi} - удельная себестоимость восстановления единицы площади (например, длины трещины) i -ой поверхности принятым способом, руб./см² (руб./см);

S_i - площадь (длина) i -й поверхности, см² (см);

K_{ndi} - коэффициент повторяемости дефекта i -ой поверхности;

K_n - коэффициент учитывающий затраты на подготовительные работы при восстановлении деталей;

C_n - цена новой детали.

Себестоимость восстановления деталей можно уменьшить в результате проведения целого ряда мероприятий, в том числе:

- снижение трудоемкости процессов ремонта за счёт повышения уровня автоматизации и механизации восстановительного производства;
- использование более совершенных РКМ (в том числе не требующих подготовки поверхности, быстрополимеризуемых и т.д.), которое приведёт к обеспечению высокого качества ремонтируемых деталей и узлов, а так же длительного срока их использования.
- применение прогрессивных технологий, основывающиеся на методах наращивании с минимальными припусками на последующую механическую обработку и пластической деформации;
- снижение трудоемкости технологических процессов ремонта, т.е. снижение затрат на электроэнергию, сжатый воздух, газ, в расчете на единицу площади ремонтируемой поверхности;

Расчетная формула годового экономического эффекта должна учитывать различные условия работы ремонтируемого объекта, технико-экономические возможности ремонта и может иметь различные выражения.

1. Если срок службы восстанавливаемого объекта более года, то расчет целесообразно производить по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_r = ((C_{b1} + E \cdot K_1) \cdot \left(\frac{\Theta_1 + E}{\Theta_2 + E}\right) - (C_{b2} + E \cdot K_2)) \cdot V_2 \quad (4.9)$$

где C_{B1} и C_{B2} - соответственно себестоимость восстановления объекта по базовому и новому вариантам;

K_1 и K_2 - удельные капитальные вложения на осуществление ремонта объекта по базовому и новому вариантам;

Θ_1 и Θ_2 - величины, обратные срокам службы объекта, восстанавливаемому по базовому и новому варианту в расчетном году;

V_2 - годовой объем (число) восстанавливаемых объектов по новому варианту в расчетном году;

E - нормативный коэффициент капитальных вложений, $E = 0,15$.

2. Для объектов, срок службы которых менее одного года годовой экономический эффект определяется из выражения:

$$\Theta_r = \left(\frac{C_{B1} + E_{K1}}{V_1 + T_{cl1}} - \frac{C_{B2} + E_{K2}}{V_2 + T_{cl2}} \right) \cdot V_2 \cdot T_{cl2} \quad (4.10)$$

где V_1 и V_2 - годовые объемы деталей, восстанавливаемых по базовому и новому вариантам;

T_{cl1} и T_{cl2} - сроки службы деталей, восстанавливаемых по базовому и новому вариантам;

3. Если внедряется технологический процесс восстановления деталей, взамен приобретения новых запасных частей, а срок службы новых и восстанавливаемых деталей равны, то годовой экономический эффект можно рассчитывать по формуле:

$$\Theta_r = (K_{дд} \cdot C_{нд} - (C_v + E \cdot K)) \cdot N_v \quad (4.11)$$

где $K_{дд}$ - коэффициент, учитывающий затраты на доставку новых деталей на ремонтное предприятие.

$C_{нд}$ - оптовая стоимость новой детали;

K - удельные вложения на восстановленные детали;

N_v - число восстанавливаемых деталей.

4. Если сроки службы новых и восстанавливаемых деталей различны, то для деталей, срок службы которых превышает год, расчет следует выполнять

по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_r = (K_{\text{дд}} \cdot C_{\text{нд}} \cdot \left(\frac{\Theta_1 + E}{\Theta_2 + E}\right) - (C_{\text{в2}} + E \cdot K)) \cdot N_2 \quad (4.12)$$

5. Годовой экономический эффект для предприятия, производящего централизованное восстановление деталей как товарной продукции, определяется из выражения:

$$\mathcal{E}_r = (C_{\text{пр}} - C_{\text{в}}) \cdot N_{\text{в}} \quad (4.13)$$

где $C_{\text{пр}}$ - прейскурантная цена восстанавливаемой продукции.

Акт внедрения и расчёт экономического эффекта по восстановлению вала БДМ, выполненные в соответствии с этой методикой представлены в Приложении №5.

Конкретные работы по применению РКМ за последние 10 лет, в том числе с участием автора, показали высокий экономический эффект, окупаемость затрат по восстановлению деталей и узлов оборудования и систем жизнеобеспечения (таблица 4.9).

Таблица 4.9.

Эффективность применения композиционных материалов в промышленности и сфере ЖКХ

№	Наименование предприятия	Восстановительные работы	Экономический эффект (тыс. руб.)	Срок окупаемости (мес.)	Год внедрения
1	Лесопромышленный комплекс (ЛПК) г. Сыктывкар	Трубная доска теплообменника выпарной камеры	834,5	8	2004
2	«Теплосеть» г. Мытищи	Валя центробежных насосов, подшипниковые узлы	283,0	4	2004
3	Целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК) г. Братск	Крупногабаритный обрешиненный вал	452	5,3	2005
4	Медеплавильный комбинат «Эрдэнэт» КБФ-филиал	Конусная дробилка	5250	6,5	2008

5	«Гознака» г. Краснокамск	Напорный ящик	2803	3,7	2011
6	КБФ-филиал «Гознака» г. Краснокамск	Крупногабаритный гранитный вал	5860,4	1	2011
7	Целлюлозно- картонный комбинат (ЦКК) г. Житомир	Прессовый вал БДМ	284	10,1	2014
			15766,9		

Как видно из таблицы итоговые цифры говорят о высокой эффективности технологии восстановления оборудования с использованием прогрессивных ремонтных композитов.

Выводы

1. Разработаны технологические методы применения РКМ для восстановления изношенных поверхностей. Показаны достоинства технологического метода холодной сварки и широкие возможности использования ремонтных композитов.
2. Даны рекомендации по проведению подготовительных работ с ремонтируемой поверхностью, использованию необходимого инструмента и последующей обработки восстановленной поверхности для достижения высокого качества ремонтных работ.
3. Разработаны методы устранения основных видов дефектов композиционными материалами.
4. Разработан технологический процесс проведения ремонтно-восстановительных работ с использованием РКМ при восстановлении различных дефектов оборудования ЖКХ и других отраслей промышленности. Даны предложения по использованию конкретных видов материалов в этих работах. Приведен перечень возможных работ с применением износостойких композитов.

5. Исследована эффективность использования композитных материалов при восстановлении различных видов оборудования и систем жизнеобеспечения ЖКХ, а так же перечислены достоинства применения подобной ремонтной технологии.
6. Отражён ход выполнения и результаты практической работы на Житомирском картонном комбинате с использованием ИРКМ, выполненной непосредственно при участии автора диссертационного исследования.
7. Показана высокая технико-экономическая эффективность применения ИРКМ при восстановлении корпусных деталей, трубопроводов, насосного и других видов оборудования в ЖКХ и на промышленных предприятиях. В результате внедрения технологии применения износостойких ремонтных композитов на одном из промышленных предприятий годовой экономический эффект составил 284 тыс. рублей.

Заключение

В диссертационной работе дано теоретическое обобщение и решение важной научной проблемы восстановления технологического и вспомогательного оборудования систем водо-, теплоснабжения износостойкими композиционными материалами.

Основные выводы и результаты диссертационной работы.

1. Проведен аналитический обзор различных видов оборудования и системы водо-, теплоснабжения, а так же комплексный анализ и систематизация дефектов, возникающих в процессе эксплуатации этого оборудования.
2. Установлено, что наибольшее отрицательное влияние на производительность исследуемого оборудования оказывает износ поверхностей, подверженных абразивному, коррозионному, кавитационному видам износа.
3. Исследованы, предлагаемые для ремонта различных видов оборудования композиционные материалы, проведен анализ возможностей их применения при восстановленных работах и установлено, что наиболее оптимальными для устранения различных видов износа являются композиты с керамическими наполнителями.
4. Проведено исследование основных видов износа, оценено влияние каждого вида на износ поверхностей, подвергаемых гидравлическому воздействию газовоздушных и водных сред, и степень разрушения поверхностей из различных материалов в процессе эксплуатации оборудования.
5. Исследовано адгезионное взаимодействие РКМ с металлическими и неметаллическими поверхностями и определены математические зависимости адгезионной прочности от конструктивных и технологических факторов.
6. Разработана методика испытаний и проведен комплекс экспериментальных исследований по определению прочности и износостойкости композиционных материалов с керамическими наполнителями.

7. Разработаны методы восстановления основных деталей и узлов технологического и вспомогательного оборудования, а также систем водо- и теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства, разработана техническая документация по использованию предлагаемой технологии и даны предложения по широкому применению в различных отраслях промышленности.

8. Технико-экономический эффект предложенной технологии обеспечивает снижение стоимости ремонтных работ в 5-6 раз, сокращение сроков проведения ремонта от 2 до 3 раз по сравнению с традиционными методами, продление срока эксплуатации восстановленного оборудования от 2 до 4 раз. Экономический эффект от внедрения предложенной технологии в 2014 г. на одном из предприятий составил 284 000 рублей.

Библиографический список

1. Белый В.А., Егоренков Н.И., Плескачевский Ю.М. Адгезия полимеров к металлам. Минск: Наука и техника, 1971.-288 с.
2. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М., Химия, 1974, 392 с.
3. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры - М. Химия, 1984, с. 1055.
4. Вартанов М.В., Зинина И.Н. Влияние качества поверхности на прочность адгезионных соединений. Сборка в машиностроении, приборостроении. № 2, 2000, с. 28-29.
5. Вегнер Г. Новые полимерные материалы - тенденции фундаментальных исследований // Черные металлы №25, 1986, с. 3-6.
6. Веселовский Р.А. Полимерные композиционные материалы и технологии с их использованием при строительстве, эксплуатации и ремонте объектов гидротехники и мелиорации: Методические рекомендации. Киев: Знание, 1988.-16с.
7. Веселовский Р.А. Регулирование адгезионной прочности полимеров.

- Киев: Наукова Думка, 1988.-176 с.
8. Веселовский Р.А., Липатов Ю.С., Шапаев Ж.И. Полимерные клеи для ремонта оборудования и сооружений //Гидротехника и мелиорация.-1983.- №5.- с. 56-58.
 9. Вильнав Ж. Клеевые соединения. М.: Техносфера, 2007, с. 387.
 10. Волков Г.М., Гончаров А.Б. Нетрадиционный ремонт автотранспортной техники и оборудования. «Тракторы и сельскохозяйственные машины», №4, 1995, с.24-25.
 11. Волков Г.М., Гончаров А.Б. Холодная молекулярная сварка в ремонтном производстве. «Тракторы и сельскохозяйственные машины», 1996, №2, с. 25-27.
 12. Волков Г.М., Гончаров А.Б. Холодная молекулярная сварка: применение на практике. «Тракторы и сельскохозяйственные машины», 1997, №1, с.35-37.
 13. Волков Г.М. Особенности холодной молекулярной сварки как ключевой технологии реновации действующих машин и оборудования. «Ремонт, восстановление, модернизация» №8, 2002, с. 22-29.
 14. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. М., Химия, 1981,296с.
 15. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Учебник для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
 16. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. 616 с., ил. 280.
 17. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): Учебник. -5-е изд., перераб. и доп. -М.: "Издательство МСХА", 2002. 632 с, ил. 250.
 18. Гладких С.Н., Войтович В.А. Вещества, регулирующие свойства клеящих и уплотнительных материалов/ Клеи. Герметики. Технологии №12, 2008, с.33-38
 19. Гончаров А.Б. Методология технического обслуживания и ремонта

- технологического оборудования композиционными материалами: дис. доктора техн. наук. – М., 2012. – 459 с.
20. Гончаров А.Б., Голубев А.П., Корнеев А.А., Тулинов А.Б. Сервис производственных систем с применением прогрессивных технологий: монография, ФГОУВПО «РГУТИС».-М., 2010 год, с. 117.»
 21. Гончаров А.Б., Морозов В.И., Тулинов А.Б. Восстановление оборудования композиционными материалами. «Горное оборудование и электромеханика», № 1, 2006 год.
 22. Гончаров А.Б., Кулагин М.В. Композиционные материалы для ремонтных работ. «Целлюлоза. Бумага. Картон», № 9-10, 2003 год.
 23. Гончаров А.Б., Тулинов А.Б., Шубенков А.В., Корнеев А.А. Технологии устранения дефектов корпусных деталей анаэробными материалами. «Научно-теоретические проблемы современного российского общества: Материалы 1-й научно-технической конференции аспирантов и молодых ученых». МГУС. - М., 2006.
 24. Гончаров А.Б., Тулинов А.Б., Корнеев А.А. Сервисное обслуживание оборудования и систем жизнеобеспечения в ЖКХ и в промышленности. Актуальные проблемы разработки, исследования и сертификации новых материалов и технологий сервиса. Материалы секции XIII -ой международной научно-практической конференции «Наука - сервису» - Черкизово, 2008 г.
 25. Гончаров А.Б., Тулинов А.Б. Исследование эксплуатационных характеристик анаэробных клеев и герметиков. «Сборка в машиностроении и приборостроении». 2009, №3, с.21-26.
 26. Гусев В.М., Ковалев Н. И., Попов В. П., Потрошков В. А., под ред. В. М. Гусева Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебник для вузов/.— Л.: Стройиздат. Ленингр. отд- ние, 1981.— 343 с., ил.
 27. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: Металлургия, 1983. 352 с.

28. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред. М., Химия, 1972, 232с.
29. Иванов В.А., Иванов М. Уникальное предложение. // Журнал «Целлюлоза. Бумага. Картон» №4 2012г.
30. Ищенко А.А. Новые технологии ремонта оборудования металлополимерными материалами. Тяжелое машиностроение, 1999, №2, с.32-34.
31. Ищенко А.А. Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными композиционными материалами. Мариуполь: ПГТУ, 2007, с. 250.
32. Ищенко А.А. Новые полимерные материалы в практике ремонта промышленного оборудования // Вестник двигательного строения №3, 2004, с. 130- 132. -Technology. Boost mill life with expy grout. - Canadian Min-
33. Ищенко А.А. Новые технологии восстановления направляющих металлообрабатывающих станков // Оборудование и инструмент для профессионалов №2, 2003, с. 26-27.
34. Иванцов О.М., Мирошниченко Б.П., Палей Л.А. Новые технологии ремонта трубопроводов // Газовая промышленность, 1999. - №2. - С. 14-16.
35. Кардашов Д.А., Петрова А.П. Полимерные клеи. М. Химия, 1983, 255 с.
36. Кац Г.С. Наполнители для полимерных композиционных материалов. М.: Химия, 1981, с. 763.
37. Киселев Г.И., Тулинов А.Б. Новые технологии ремонта трубопроводных систем композиционными материалами //Новости теплоснабжения, №11, 2002. с. 31-34.
38. Коваленко Ю.О. Металлополимеры - новое эффективное средство для восстановления изделий и деталей. Производственный и научно-технический сборник. «Технология судоремонта», 1993, № 2, с. 43-45.
39. Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П., Пронина И. Б., Слемзин В. А. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов вузов.— Т34 М.: Высш. школа, 1980.— 408 с., ил.

40. Кричевский М.Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники. М., Росагропромиздат, 1988, 143 с.
41. Макушин А.П. Влияние шероховатости металлической поверхности на сцепляемость пластиковых покрытий // Вестник машиностроения.- 1966.- №7.- с. 32-34.
42. Малышева Г.Н. Методика оценки долговечности клеевых соединений //Технология металлов.-2000.-№1.- с. 10-16.
43. Морозов В.И., Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Восстановление оборудования композиционными материалами. Горное оборудование и электромеханика. №1,2005, с. 31-36.
45. Металлополимерные материалы и изделия. Под ред. В.А. Белого.- М.Химия,1979,312с.
46. Михалев И.И., Колобова З.Н., Батизат В.П. Технология склеивания металлов. М.: Машиностроение.- 1965. 279 с.
47. Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесная промышленность, 1964.-248 с.
48. Мотовилин Г.В. и др. Восстановление автомобильных деталей полимерными материалами. М., Транспорт, 1974, 180 с.
49. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты. М., Химия, 1979, 440с.
50. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. М., Стройиздат, 1995, 688с.
51. Нильсон Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. М., Химия, 1978, 312с.
52. «Новости теплоснабжения». Ежемесячный научно-технический журнал. №№1-12, 2010-2014.
53. Орлов В.А., Зарембо Л.Ю., Кондауров С.С. Ремонт, восстановление и защита насосного оборудования, трубопроводов и арматуры с применением технологии клеевых композиционных материалов. Строительство и архитектура. 2000, вып. 1, с.22.
54. Петров Ю.Н. Перспективные способы восстановления деталей машин.

- Новые технологические процессы восстановления деталей машин. Кишинев. Штиинца, 1988, 131 с.
55. Погодина Л.В. Инженерные сети, инженерная подготовка и оборудование территорий, зданий и стройплощадок: Учебник/Л.В. Погодина. – 3-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2010. – 476 с.
 56. Полякова А.М. и др. Адгезионные соединения в машиностроении. Рига, 1983г., с. 92.
 57. «Ремонт. Восстановление. Модернизация». Ежемесячный производственный, научно-технический и учебно-методический журнал. №№1-12, 2010-2014г.
 58. Сулейманов И., Нурматов И. Применение композиционных материалов в машиностроении. Ташкент: Фан, 1991.-48 с.
 59. Схиртладзе А.Г. Определение экономической эффективности ремонтных мероприятий. «Ремонт, восстановление, модернизация», №11, 2003, с. 42-43.
 60. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента - М.Легкая индустрия, 1974, с. 263.
 61. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн./Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. 400с.
 62. Тулинов А.Б. Технологические методы применения композиционных материалов при ремонте систем жизнеобеспечения городского коммунального хозяйства Монография. МГУС, 2004 г, 124 с.
 63. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Новые композиционные материалы для сборочных и ремонтных работ. «Сборка в машиностроении и приборостроении», №7, 2003, с. 26-28.
 64. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Применение композитов для восстановления трубопроводов и оборудования в системах жизнеобеспечения. Материалы 28 Международной конференции «Композиционные материалы в промышленности». 26-30 мая 2008 г., г. Ялта, Крым.
 65. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Прогрессивные технологии восстановления

- систем теплоснабжения композиционными материалами. Материалы 28 Международной конференции «Композиционные материалы в промышленности». 26-30 мая 2008 г., г. Ялта, Крым.
66. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б., Корнеев А.А. Основы сервисного обслуживания промышленных предприятий. Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудовывания, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. В 2 ч. 1 с. 424-428. Материалы 12-й Международной научно - практической конференции. -СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2010 год, с. 520.
 67. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Новые композиционные материалы в ремонтном производстве. «Ремонт. Восстановление. Модернизация». № 11. 2003 год.
 68. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Исследование прочностных и теплофизических характеристик анаэробных материалов. «Известия МГТУ» «МАМИ», №2(6), 2008.
 69. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б., Корнеев А.А. Использование нанопорошков для повышения прочности ремонтных композиционных материалов. Материалы 15 Межд. Симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред им. Горшкова А.Г. Том 1. Изд. «Типография Парадиз», М.2009, с. 184.
 70. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б., Корнеев А.А. Сервисное обслуживание оборудования и систем жизнеобеспечения в ЖКХ и в промышленности. Актуальные проблемы разработки, исследования и сертификации новых материалов и технологий сервиса. Материалы секции XIII -ой международной научно-практической конференции «Наука - сервису» - Черкизово, 2008 г.
 71. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Возможности устранения дефектов теплофикационного оборудования композиционными материалами. // Электронный журнал "Сервис в России и за рубежом" выпуск 1(39), 2013.

72. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Восстановление направляющих скольжения технологического оборудования композиционными материалами. // Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении». – М.: МГГУ.- 2014. – 518 с.
73. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Восстановление поверхностей агрегатов теплоснабжения композиционными материалами с керамическими наполнителями.// Материалы Всероссийской научной конференции аспирантов и молодых учёных. – М.: ФГБОУ ВПО «РГУТиС», 2013. – 228 с.
74. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Восстановление систем теплоснабжения с использованием композиционных материалов. // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Современные технологии в легкой промышленности и сервисе», г. Хмельницкий, 2011г.
75. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Разработка нового температуростойкого композиционного материала и технологии устранения дефектов в системах городского теплоснабжения. // Сборник научных статей на основе материалов конференции «Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии», г. Ульяновск, 2010г.
76. Тулинов А.Б., Иванов В.А. Эффективные технологии устранения дефектов теплофикационного оборудования с использованием композиционных материалов.// Материалы Всероссийской научной конференции аспирантов и молодых учёных. – М.: ФГБОУ ВПО «РГУТиС», 2013. – 228 с.
77. Тулинов А.Б., Иванов В.А., Гончаров А.Б. Прогрессивные технологии и материалы для восстановления горного оборудования. // Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении». – М.: МГГУ.- 2012. – 445 с.
78. Тулинов А.Б., Иванов В.А., Гончаров А.Б., Шубенков А.В. Исследование прочности и теплостойкости анаэробных композитов. // Сборник статей «Материалы международного научно-технического семинара «Современные технологии сборки». Москва, МАМИ, 2013г.

79. Тулинов А.Б., Иванов В.А., Островский М.С. Технология восстановления геометрических размеров гидроцилиндров горного оборудования. // Научно-технический журнал «Горный инженер» (сборник статей «Материалы Международной научно-практической конференции). – М.: ИПО «У Никитских ворот», 2013. – 312 с.
80. Тулинов А.Б., Иванов В.А., Островский М.С. Применение металлополимерных композитов для устранения дефектов горного оборудования. // Журнал «Горное оборудование и электромеханика» выпуск №3, 2013.
81. Тулинов А.Б., Киселев Г.И. Выбор и обоснование составов композиционных материалов для ремонта трубопроводов в системе тепло-, газо- и водоснабжения //Новости теплоснабжения. №11, 2002. с. 12-15.
82. Тулинов А.Б. Разработка методов восстановления систем жизнеобеспечения коммунального хозяйства композиционными материалами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. МГУС, 2004.
83. Тулинов А.Б., Корнеев А.А., Гончаров А.Б. Применение новых технологий при проведении сервисных работ. Наука - сервису. 10-я Международная научно-практическая конференция: Сборник материалов круглого стола «Техника и технология сервиса». 4.1 /Под ред. д.т.н., проф. Ю.Н. Маслова, ГОУВПО «МГУС» - М., 2006
84. Тулинов А.Б., Корнеев А.А., Гончаров А.Б., Казанов Ю.Н. Прогрессивные технологии ремонта оборудования теплосетей с использованием композиционных материалов. //Новости теплоснабжения, №1, 2005, с. 14-17
85. Тулинов А.Б., Островский М.С., Иванов В.А. Восстановление гидроцилиндров производственного оборудования композиционными материалами. // Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении». - М.: МГГУ.- 2013. – 379 с.
86. Федорченко А.С. и др. Использование полимерных композиций в

- монтажных и ремонтно-восстановительных процессах. Киев: УкрНИИНТИ, 1987, 56с.
87. Шилдз Дж. Клеящие материалы. Пер. с англ. Под ред. Батизата В.П. М., Машиностроение, 1980, 368с.
 88. Энциклопедия полимеров. Ч. I, II, III. М., Советская энциклопедия, 1972-77.
 89. Andrews E.H., Kinloch A.J. Mechanics of elastomeric adhesion// J. Polymer Sci., Polymer Symp.- 1974.- №46.- PP. 1-14.
 90. Astrop, A. W., 'Adhesives and steel replace solder and brass', Mach. Prod. E., 124 (3192), 106—112, (1974).
 90. Bascom W.D., Patrick R.L. The Surface Chemistry of Bonding Metals with Polymer Adhesives // Adhesives Age.- 1974.- vol.17.- №10.- PP.25-29.
 91. Bikerman I.I. The Science of Adhesion Joints. 2nd Ed. New York-London, 1968.- 349 p.
 92. Bochkare, V. P., and Glevitski, T., 'Adhesive bonded and welded joints in shipbuilding', Weld. Prod. R., 17, 43, (1970).
 93. Duke, A. J., 'Structural Adhesives — to use or neglect?', Engng. Mat. Des., 11 (7), 937, (1968).
 94. Eckert R., Kleinert H., Blume F. Optische Bruchuntersuchungen an einfach uberlappten metallklebverbindungen // 8 International Congress Materials Testing Budapest.- 1982.- vol.3.- ss. 966-970.
 95. Fontanille M., Gnanou Y. Chemie et physique - chimie des polymers Dunod, 2002.
 96. Fleming J., Frontier Orbitals and Organic Chemical Reactions, Wiley, New York, 1987.
 97. O'Kane D.F., Mittal K.L. Plasma Cleaning of Metal Surface// J.Vac. Sci. Technol.- 1974.- Vol. 11. - №3.- PP. 567-569.
 98. Good R.J. Theory of "Cohesive" as "Adhesive" Separation in an Adhering System // J. Adhesion.-1975.-vol.4-№2.-PP. 133-154.
 99. Harriss, R. W., 'Role of adhesives and sealants in the automotive industry', Adhes. Age, 13 (9), 45—50, (1970).

100. Huntsberger J.R. Interfacial Energies Contact Angles, and Adhesion // Adhesives Age.- 1978.- №12.- PP.23-27.
101. Huntsberger J.R. Surface energy, wetting and adhesion //J. Adhesion-1981.-vol. 12.-№1.-PP.3-12.
102. Jackson L.C. How to Select a Substrate Cleaning Solvent // Adhesives age- 1974.- vol.17.- №12.- PP.23-31.
103. Minford, J. D., 'Evaluating adhesives for joining aluminium', Metals Eng. Q., 12, 48, (1972).
104. Minford, J. D., and Vadee, E. M., 'Aluminium—faced sandwich panels and laminates', Adhes. Age, 18 (2), 30-35, (1975).
105. Packham D., Grad R. Factors Affecting Peel Strength between Polyethylene and Aluminium // Aspects of Adhesion.- 1971.- №6.-PP. 127-149.
106. Petrie E.M. Handbook of Adhesives and Sealants, Mac Graw Hill Professional, New York, 1999.
107. Reinhardt, T. J., 'Engineering properties of adhesives', Adhes. Age, 16 (7), 35—41, (1973).
108. Reinhart, T. J., and Scardino, W. M., 'Composite to metal bonding using structural thermosetting adhesives', Adhes. Age, 18 (2), 23—28, (1975).
109. Rolf, R. L., JomBock, J. R., and Peters, L. K., 'Adhesives- bonded structural joints in aluminium', Adhes. Age, 14 (7), 23—27, (1971).
110. Weber, C. D., and Gross, M. E., 'Modified epoxy adhesives speed honeycomb bonding', Mater. Eng., 79 (5), 92—93, (1974).
111. Willard D., Bascom W.D., Cottington R.L. Air Entrapment in the Use of Structural Adhesive Film // J. Adhesion.- 1972.- vol.4.- PP. 193-209.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Содержание

Приложение №1. Оборудование водо-, теплоснабжения.....	168
Приложение №2. Технические характеристики композиционных материалов фирмы «Честер Молекуляр».....	174
Приложение №3. Технологические методы проведения ремонтных работ различных деталей и узлов с использованием композиционных материалов.....	177
Приложение №4. Технология восстановления прессового вала БДМ на Житомирском картонном комбинате.....	186
Приложение №5. Расчёт экономической эффективности.....	193

Приложение №1

Оборудование водо-, теплоснабжения.

Вантузы относятся к аэрационной арматуре и служат для впуска в трубопровод и выпуска из него воздуха. Они необходимы для удаления воздуха, скапливающегося в трубопроводе в процессе эксплуатации, а также для впуска в места разрывов сплошности потока, возникающих при переходных режимах (рис. 1.1) [50].

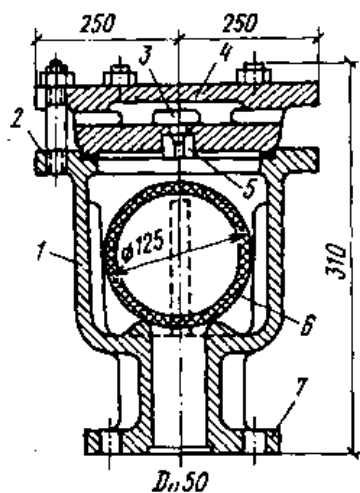


Рис. 1.1. Шаровой вантуз

Затворы представляют собой подвижную конструкцию из металла для закрывания и открывания отверстия гидротехнических сооружений с целью регулирования расхода воды (рис. 1.2) [50].

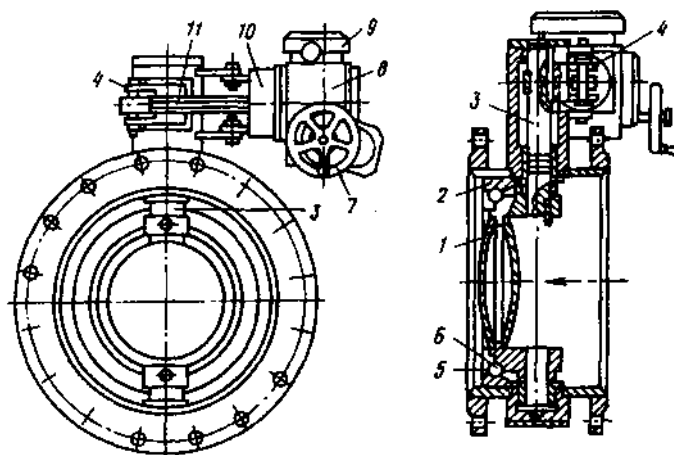


Рис. 1.2. Дисковый поворотный затвор

Фланцы применяются для присоединения на трубопроводах различной фланцевой арматуры. Подбираются фланцы по условным проходам и давлениям, на которые рассчитаны трубы. В водяных и тепловых сетях и паропроводах с давлением менее 2,5 МПа наибольшее распространение получили плоские приварные фланцы, которые устанавливаются с недоводом трубы до уплотнительного торца на величину H (рис. 1.3).

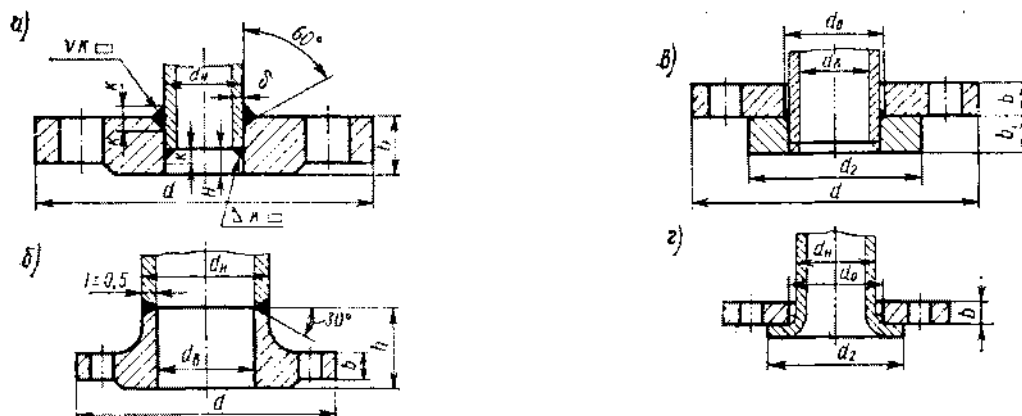


Рис. 1.3. Фланцы:

а — плоские приварные с соединительным выступом; б — с шейкой приварные встык; в — свободные на приварном кольце; г — свободные на отбортованной трубе

Трубопроводная арматура представляет собой комплект устройств для целей регулирования, обслуживания, ремонта и обеспечения надежной работы систем водоснабжения. Она должна отвечать ряду требований: соответствовать внешним и внутренним нагрузкам на трубопровод, обеспечивать герметичность, иметь необходимые гидравлические, кавитационные и противокоррозионные свойства, отвечать требованиям надежности.

Основные параметры арматуры характеризуются диаметром условного прохода D_y , значения которого установлены ГОСТом и условным давлением p_y — наибольшим избыточным рабочим давлением при температуре среды 20°C. В каталогах трубопроводной арматуры в дополнение обычно указывают ее рабочее и пробное давления (рис. 1.4) [71].

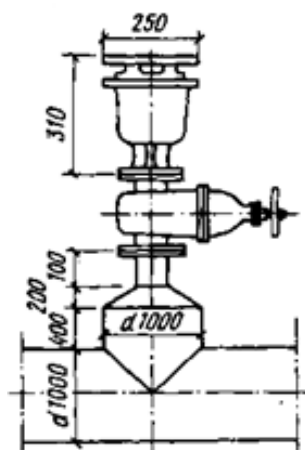


Рис. 1.4. Клапан

Теплообменник представляет собой аппарат для передачи теплоты от среды с более высокой температурой (греющее тело – теплоноситель) к среде с более низкой температурой. Пароводяные теплообменники применяют на ТЭЦ и в районных паровых котельных для нагрева сетевой воды, а также регенеративного подогрева питательной воды котлов ТЭЦ. В качестве теплофикационных подогревателей наибольшее распространение получили трубчатые однокорпусные теплообменники (рис. 1.5) [39].

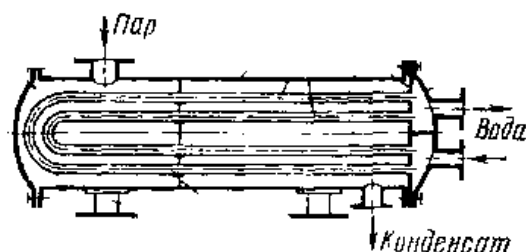


Рис. 1.5. Трубчатый теплообменник

Вентили (трубопроводные) представляют собой устройство для регулирования (вручную или автоматически) потока жидкости или газа (пара) в трубопроводах. Вентили бывают фланцевые и бесфланцевые. Бесфланцевые вентили подразделяются на приварные и муфтовые. Бесфланцевые приварные вентили соединяются с трубами на сварке и применяются на теплопроводах с давлением $P_y < 1,6$ МПа на резьбе. Потеря давления теплоносителя в проходных сечениях вентилля зависит от расположения шпинделя. Вентили с

наклонным расположением шпинделя (типа «Косва» и прямоточные) имеют наименьшее гидравлическое сопротивление. На трубопроводах вентили устанавливаются так, чтобы теплоноситель поступал под золотник, чем достигается уменьшение усилия на их открытие и предупреждается отрыв золотника от шпинделя (рис. 1.6) [39,50,71].

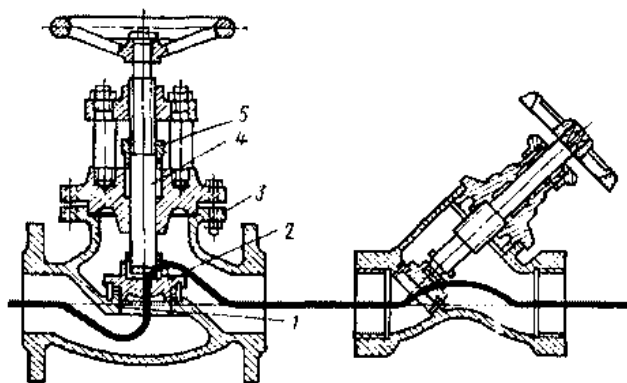


Рис. 1.6. Вентили:

а) — нормальный; б) — типа «Косва».

Отводы трубопроводов обеспечивают изменения направления воды или теплоносителя. Отводы бывают гнутыми и сварными. Основной характеристикой отводов является радиус изгиба осевой линии трубы R . Гнутые отводы различаются на гладкие и со складками. Гладкие отводы изготавливают из бесшовных труб для условных проходов $D_y < 400$ мм. Крутозагнутые гладкие отводы с радиусом изгиба, равным наружному диаметру трубы ($R = D_h$), изготавливают на заводах протяжкой гидравлическими домкратами отрезка трубы в горячем состоянии через специальную изогнутую насадку. Нормальные гладкие отводы с радиусом изгиба $R = 3,5 D_n$, изготавливают при нагреве трубы до $\sim 1100^\circ\text{C}$ и с набивкой песком. Отводы с радиусом $R > 3,5 D_n$ изготавливают на трубогибочных станках путем изгиба труб в холодном состоянии и без набивки песком. Нормальные гладкие отводы получаются громоздкими. Гладкие отводы отличаются от других большой эластичностью и меньшим гидравлическим сопротивлением, поэтому рекомендуются к широкому применению в тепловых сетях без ограничения

параметров теплоносителя (рис. 1.7).

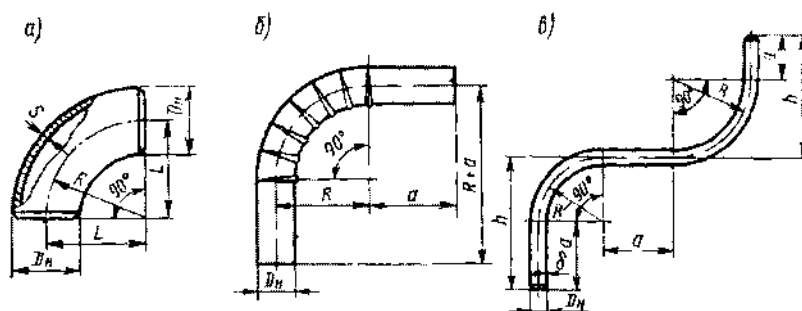


Рис. 1.7. Отводы гнутые: а — г ладкий крутозагнутый ($R = D_H$),
б — со складками; в—гладкий нормальный ($R = 3,5 D_H$)

Заглушки используются для отключения участков теплопроводов и ответвлений на период ремонтов или гидравлических испытаний сетей, а также для заглушения торцов труб.

Заглушки, как и фланцы, подбираются по условным давлениям и проходам. Плотность фланцевых соединений при давлении до 4 МПа и температуре до 450°C обеспечивается прокладками из паронита толщиной 1—2 мм. Применение толстых прокладок не рекомендуется, так как при этом увеличивается опасность их разрыва давлением теплоносителя и возникают перекосы фланцевых соединений (рис. 1.8).

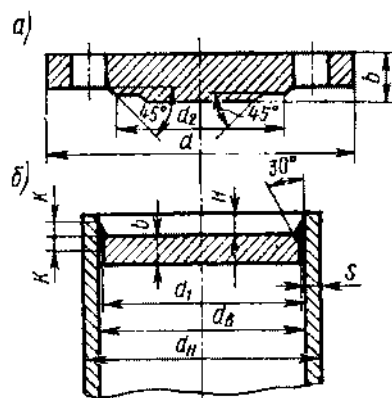


Рис. 1.8. Заглушки

Клапана представляют собой запорно-предохранительную предназначенную для отключения трубопроводов при возникновении обратного тока воды. К ней относятся клапаны обратные, выпускаемые различных конструкций на условное давление $p_y = 0,25 \dots 4,0$ МПа с регулируемым и нерегулируемым закрытием. Первые выпускаются в диапазоне диаметров 200—1000 мм. Они предназначены для безударного отключения трубопроводов и для установки на автоматизированных насосных станциях, предусматривающих пуск и остановку агрегатов на открытую запорную арматуру (рис. 1.9) [39].

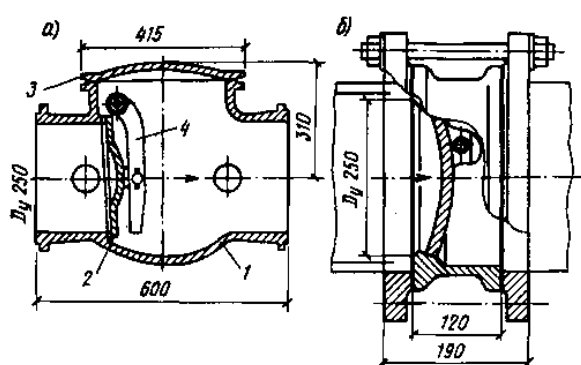


Рис. 1.9. Клапан обратный поворотный с нерегулируемым закрытием:

a — типа «захлопка»; *b* — безударный;

Фитинги – это соединительные детали трубопроводов, устанавливаемых в местах соединений трубопроводов, переходов и разветвлений, соединений звеньев труб и т.п. (рис. 1.10) [71] .

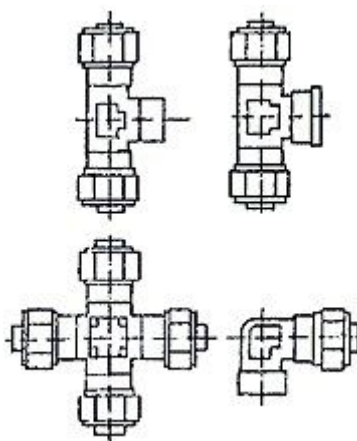


Рис. 1.10. Фитинги

Приложение №2

Технические характеристики композиционных материалов фирмы «Честер Молекуляр»

Таблица 2.1

МЕТАЛЛОПОЛИМЕРЫ «CHESTER MOLECULAR»

Технические характеристики

Группы материалов	Метал Супер								Метал Слайд		ЕРОХУ	
Наименования материалов	Супер	Рapid	Супер SL	Супер Fe	Супер Al	Супер Br	Супер Ms	Супер SHT	Слайд F	Слайд	SL	
Консистенция	Тиксотропная паста								Жидкость	паста	Жидкость	
Удельная масса композиции, (г/см ³) при 25°С	1,96	2,3	1,96	1,96	2,03	2,13	2,13	2,00	1,45	1,49	1,15	
Цвет	серый				алюминий	бронза	медь	серый	темно-серый	темно-серый	светло-бронзовый	
Пропорции смешивания (основа/активатор)	по массе	2,5:1	9:1	2,5:1	2,5:1	2,5:1	2,5:1	2,5:1	вся упаковка	9:1	2:1	1:1
	по объему	2:1	5:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1		упаковка	2:1	1:1
Жизнеспособность приготовленной композиции при 20°С, мин.	20	3	50	20	25	25	25	5	15	20	210	
Время отверждения до возможности механической обработки, час	3,5	1	7	3,5	7	7	7	5	7	7	16	
Максимальная температуростойкость материала, °С	200	200	200	200	200	200	200	330	200	200	200	

Рабочая температура, °С	-50 +150	-50 +150	-50 +150	-50 +150	-50 +150	-50 +150	-50 +150	-50 +300	-50 +150	-50 +150	-50 +120
Предел прочности, МПа											
при сжатии (согласно ISO 604)	146	144	146	146	146	146	146	-	142	146	-
при изгибе (согласно ISO 178)	92	90	92	92	94	94	94		94	92	-
на сдвиг (согласно ISO 4587)	24,5	18,5	22,3	23,5	20,2	20,0	20,3		24,0	24,5	18,6
Срок хранения, месяц	36							12	36		
Фасовка, кг	0,25 0,5 1 2 5	0,25 0,5	0,5 1 2 5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5 1	1, 2, 5

Таблица 2.2

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ «CHESTER MOLECULAR»

Технические характеристики

Группы материалов	Протектор							Металл Керамик			
Наименования материалов	А	В	С	СК	CF	Д	Е	Керамик Т	Керамик F	Керамик FHT	Керамик FSL
Консистенция	Жидкая	Тиксотропная паста			Жидкая			Паста	Жидкая		

Удельная масса композиции, (г/см ³) при 25°С	1,2	2,34	2,3	2,65	1,79	1,3	1,4	2,03	1,90	2,00	2,00	
Цвет	черный	белый	коричневый		серый	4 цвета	светло-серый	серый	серый, синий	серый	серый, синий	
Пропорции смешивания (основа/активатор)	по массе	вся	5:1	8,5:1	8,5:1	7:1	4:1	3:1	2,5:1	9:1	9:1	9:1
	по объему	упаковка	4:1	4:1	4:1	4:1	упаковка	упаковка	2:1	упаковка	упаковка	упаковка
Жизнеспособность приготовленной композиции при 20°С, мин.	240	40	30	30	50	50	25	20	15	20	50	
Время отверждения до возможности механической обработки, час	-	48	-	2	-	24	36	3,5	3,5	4	7	
Максимальная температуростойкость материала, °С	200	200	200	200	200	200	60	200	200	220	200	
Рабочая температура, °С	-50 +150	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50
		+150	+150	+150	+150	+150	+150	+60	+150	+150	+180	+150
Предел прочности, МПа	при сжатии (согласно ISO 604)	-	-	-	-	-	-	-	144	120	120	120
	при изгибе (согласно ISO 178)								90	110	105	110
	на сдвиг (согласно ISO 4587)								22,8	22,9	15,4	24
Срок хранения, месяц	18	12	18	36	12	18	24	36				
Фасовка, кг	2,25	1	1,5	1,5	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	
								2	1		1	
								5	3		3	

Приложение №3

Технологические методы проведения ремонтных работ различных деталей и узлов с использованием композиционных материалов

Восстановление изношенных гнезд подшипников качения

Этот вид ремонтов с помощью металлополимерных материалов нашел наиболее широкое применение в настоящее время в различных областях промышленности. Во-первых, это достаточно распространенный вид повреждений машин работающих в условиях воздействия ударных нагрузок, во-вторых, наиболее эффективный вид восстановления работоспособности машин с минимальными затратами и с высокой долговечностью работы восстановленного узла [62].

Эффективность именно этого вида ремонта объясняется довольно просто. Восстановление гнезда подшипника путем формирования контактной поверхности самим подшипником или шлифованным шаблоном без последующей механообработки позволяет получить идеально изготовленное гнездо подшипника, что в сочетании со способностью металлополимерного слоя демпфировать ударные нагрузки без разрушения узла позволяет значительно повысить его срок службы. Таким образом, гнездо подшипника можно восстановить непосредственно на месте эксплуатации, без демонтажа машины, и самое главное - без использований традиционной механообработки. Именно эти преимущества обеспечивают широкое применение рассматриваемому способу ремонта.

Существуют несколько способов решения задачи восстановления гнезд подшипников.

Первый способ применяется в том случае, когда гнездо разъемное, место выработано только под подшипником, а поверхности рядом с выработанным местом сохранены и могут служить базой для установки шаблона или формирования установочных элементов. На рис. 3.1 показан случай восстановления гнезда подшипника с помощью шаблона.

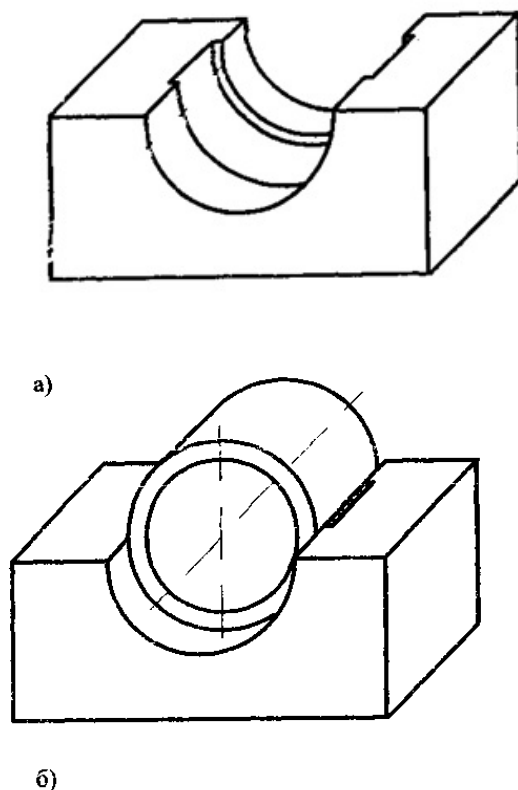


Рис. 3.1 - Применение шаблона для восстановления гнезда подшипника: а) выработанное место гнезда подшипника; б) шаблон установлен, излишки материала мультиметалл выдавлены в плоскость разъема

В этом случае выработанные поверхности зачищаются и при необходимости, их углубляют так, чтобы слой полимера составил не менее 1,5-2 мм. После зачистки выполняют обезжиривание, просушку и последующее нанесение материала мультиметалл с избытком, то есть с превышением слоя металлополимера над базовой поверхностью. Шаблон, предварительно обезжиренный, покрытый разделительным составом и просушенный, устанавливают на базовые поверхности гнезда, закрывают крышкой и затягивают болты до полного выдавливания излишков материала мультиметалл. В случае, если на крышке также необходимо восстановить изношенную поверхность, по плоскости разъема укладывают бумагу или полиэтиленовую пленку, чтобы разделить после полимеризации, при снятии крышки, слои металлополимера на корпусе и на крышке.

В случае, когда по тем или иным причинам шаблон не может быть изготовлен, восстановление может быть осуществлено с помощью самого

подшипника. Однако, для такого восстановления необходимо предварительно наплавить в выработанной канавке маячки, с последующей их ручной подшлифовкой под линейку, опирающуюся на базовые плоскости. Другой вариант - сформировать из материала мультиметалл-рапид опять же под линейку такие маячки и через полчаса после набора мультиметаллом полной прочности удалить линейку (линейка перед этой операцией также обрабатывается разделительным составом). Схема размещения маячков показана на рис. 3.2, а оптимальное их расположение определяется углом 25-45° от вертикальной оси []. После подготовки маячков подшипник обрабатывается разделительным составом, металлополимер с избытком наносится в изношенную зону гнезда, устанавливается подшипник, закрывается крышкой и затягивается болтами. После застывания металлополимера и демонтажа болтов легкими ударами в осевом направлении подшипник трогается с места, выполняется демонтаж крышки и самого подшипника, с последующей очисткой гнезда от излишков выдавленного и застывшего полимерного материала [34].

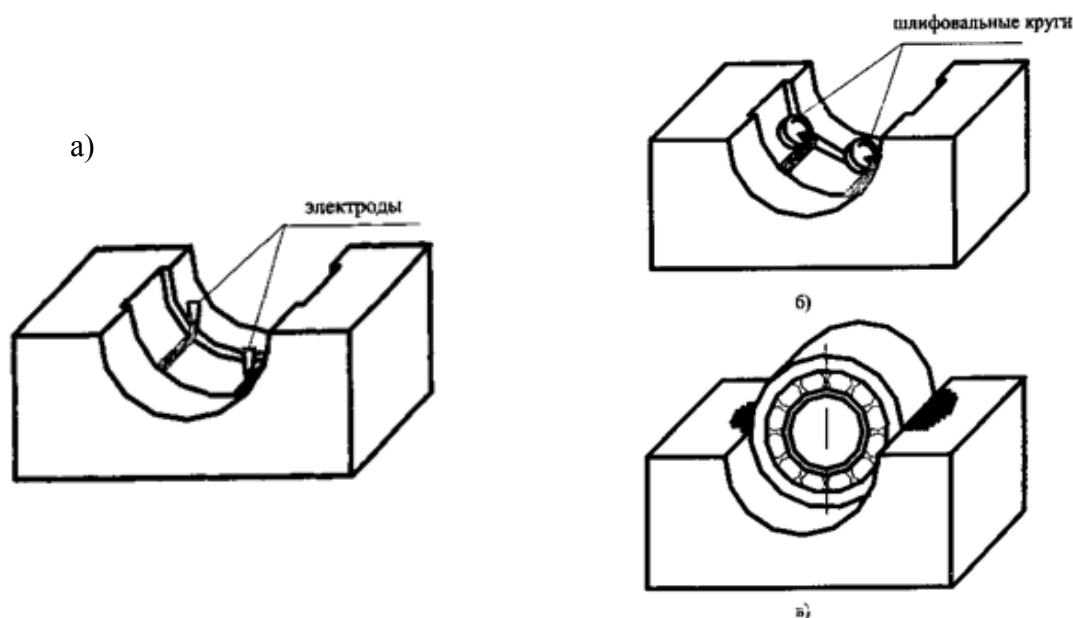


Рис. 3.2. Подготовка, расположение установочных маячков, нанесение материала и установка подшипника в проектное положение: а) наплавка маячков; б) шлифовка до базового размера; в) установка подшипника

Второй способ применяется в том случае, когда гнездо подшипника неразъемное. В этом случае подшипник или шаблон выставляется на подкладках или сформированных ранее установочных элементах в проектное положение, как показано на рис. 4.11, закрывается с двух сторон крышками и через отверстия в одной из крышек снизу закачивается металлополимерный материал до его появления в контрольных отверстиях в верхней части крышки (на рис. 3.3 крышки условно не показаны) [52].

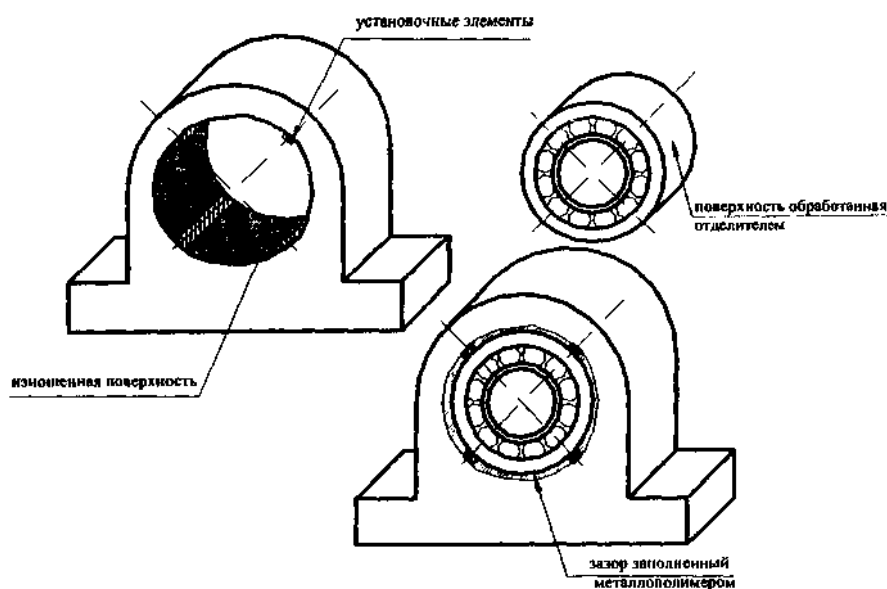


Рис. 3.3. Технологии восстановления неразъемного гнезда подшипника качения

При этом зазор между подшипником и гнездом не может быть меньше 1,5 мм и по условиям закачки материала, и по прочностным характеристикам слоя металлополимера. На рис. 3.3 показан пример восстановления материалом Честер-супер гнезда подшипника.

Другой возможный случай восстановления имеет место при выработке канавки под подшипником в неразъемном гнезде. В этом случае применяется разрезной шаблон, как показано на рис. 3.4, позволяющий сформировать посадочное место с помощью струбцин, прижимающих половинки шаблона к базовым поверхностям. Естественно, шаблон должен быть обезжирен, обра-

ботан разделителем и просушен. Материал «Честер Супер» пастообразной консистенции - наносится с избытком на изношенную поверхность, и его излишки при выдавливании выходят в зазор между половинками шаблона. Такая технология, в конечном счете, потребует ручной доводки восстановленного посадочного места в зоне выхода излишков материала [73].

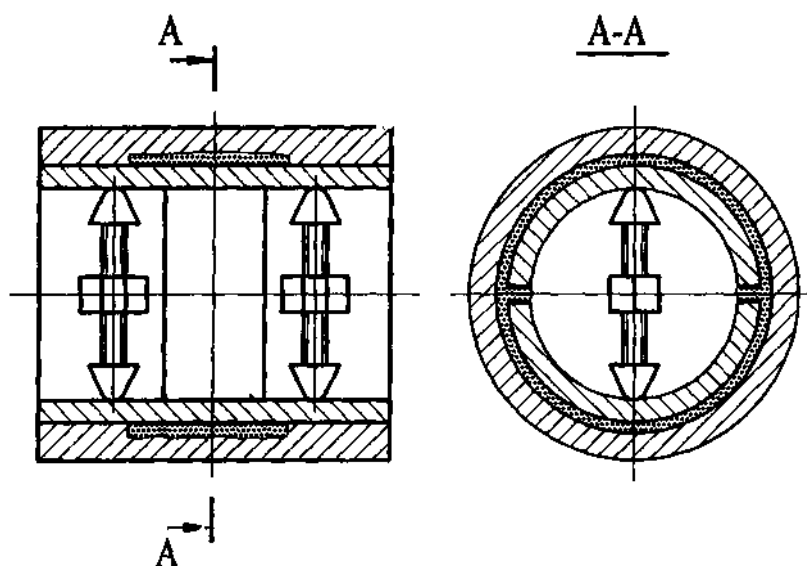


Рис. 3.4. Восстановление поверхности посадочного места неразъемного гнезда подшипника с помощью струбцин и разъемного шаблона

Еще один пример восстановления изношенной поверхности неразъемного гнезда подшипника связан с необходимостью изготовления специального центрирующего приспособления, устанавливаемого в имеющееся технологическое отверстие в корпусе (рис. 3.5) и позволяющего центрировать подшипник в проектном положении. В этом случае может применяться как закачка жидкотекучего материала Ф. Честер-молекуляр, так и предварительное нанесение материала Честер-супер пастообразный на обезжиренную поверхность изношенного участка гнезда, а также на обработанную отделителем поверхность наружного кольца подшипника с последующим вдвиганием центрирующего приспособления с установленным на нем подшипником до упора в осевом направлении. После застывания материала подшипник необходимо извлечь из гнезда и удалить затвердевшие излишки

металлополимерного материала [76].

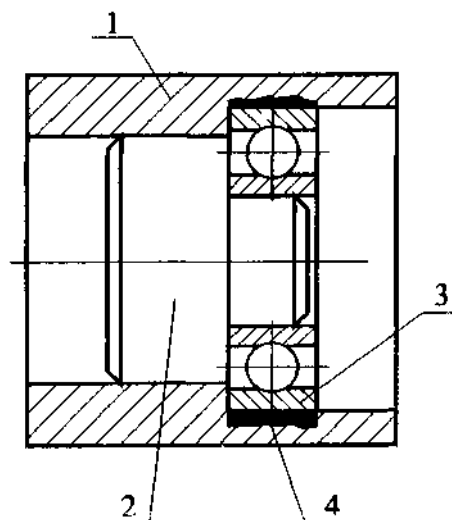


Рис. 3.5 Восстановление поверхности неразъемного гнезда подшипника с использованием специального центрирующего приспособления; 1 корпус, 2 центрирующее приспособление; 3 - подшипник; 4 - металлополимерный материал.

Восстановление разрушенных участков валов, шпоночных пазов, шлицевых соединений и резьб.

Восстановление изношенного участка вала можно выполнить путем применения различных способов решения этой задачи.

I вариант. Вал устанавливается на станок и протачивается дефектный участок путем выполнения на нем "рваной резьбы" (рис. 3.6). Затем, после обезжиривания и просушки, на дефектный участок наносится металлополимерный материал с избытком и на малой скорости вал вращают до момента, когда ремонтный материал обретет нужную твердость. Затем станок можно выключить и после истечения 16 часов проточить восстановленный участок на режимах резания: $S = 0,1-0,2$ мм/об.; $t = 0,5-1$ мм; $V = 40-60$ м/мин.

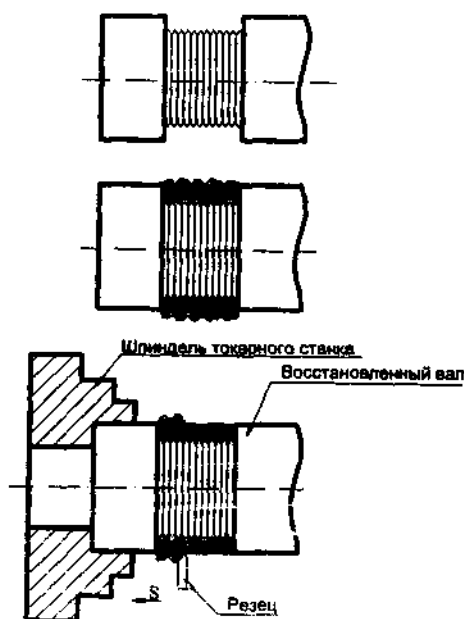


Рис 3.6. Схема восстановления изношенного участка вала.

II вариант. Вал невозможно установить на станок и тогда предварительно изготавливается разъемный шаблон, как показано на рис. 3.7. Поверхность под нанесение материала подготавливается либо вручную, либо с помощью ручного электроинструмента (зачистной машинки, борфрезы, вставленной в патрон дрели и т.д.). Затем, как и в I варианте, после обезжиривания и просушки наносится металлополимерный материал на дефектное место, но формируется поверхность с помощью шаблона, внутренняя поверхность которого обработана антиадгезионным составом. После затяжки болтов и полимеризации материала шаблон разбирается и легким ударом сдвигается в осевом направлении.

Предпочтительным, в случае использования разъемного шаблона, является предварительная установка шаблона на вал и применение жидкотекучего материала типа мультиметалл FL, путем нагнетания его снизу в отверстия, выполненные в шаблоне, до появления его в отверстиях сверху на верхнем полукольце шаблона [65].

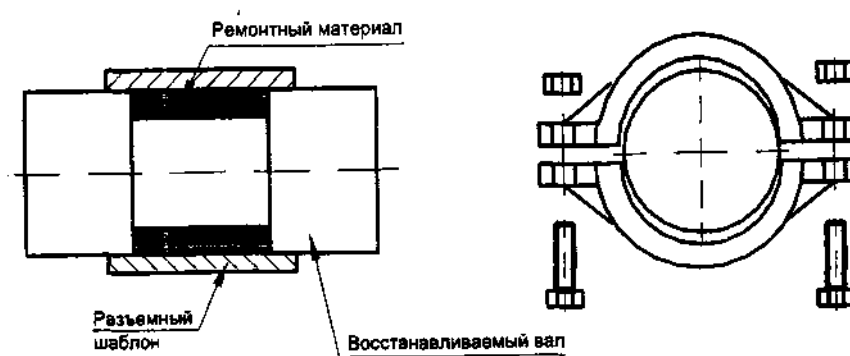


Рис. 3.7 Восстановление вала с помощью разъемного шаблона

Преимущества такого способа очевидны: получение точного размера на восстановленном участке вала и исключение последующей механообработки. Однако есть и недостатки у этого способа: литниковые отверстия сверху и снизу шаблона надо высверлить и лишь затем снимать шаблон. При этом на валу образуется 2 или 4 точечных дефекта, появившихся в месте выхода сверла, которые при необходимости также можно восстановить металлополимером [47].

Вариант III может быть использован при восстановлении хвостовика вала, на котором, например, провернулась полумуфта с выработкой посадочного места. Этот вариант восстановления следует применять в том случае, когда демонтировать вал не представляется возможным по тем или иным причинам. Тогда хвостовик вала подготавливается ручным электроинструментом под нанесение металлополимерного материала, обезжиривается и просушивается. Затем на соседний участок вала устанавливают специально изготовленный центрирующий шаблон, как показано на рис. 3.8. Другой шаблон, которым будет формироваться новая поверхность хвостовика, изготавливается с возможностью сопряжения с первым шаблоном по скользящей посадке. Формирующий шаблон изнутри покрывается антиадгезионным составом и после его высыхания на эту поверхность наносится в виде конуса слой пастообразного металлополимерного материала. На хвостовик также наносится этот же

материал, но с обратной конусностью. Затем формирующий шаблон вдвигается по центрирующему шаблону до упора (рис. 3.8). При использовании такого способа восстановления необходимо заранее продумать технологию демонтажа формирующего шаблона после застывания металлополимера [71,73].

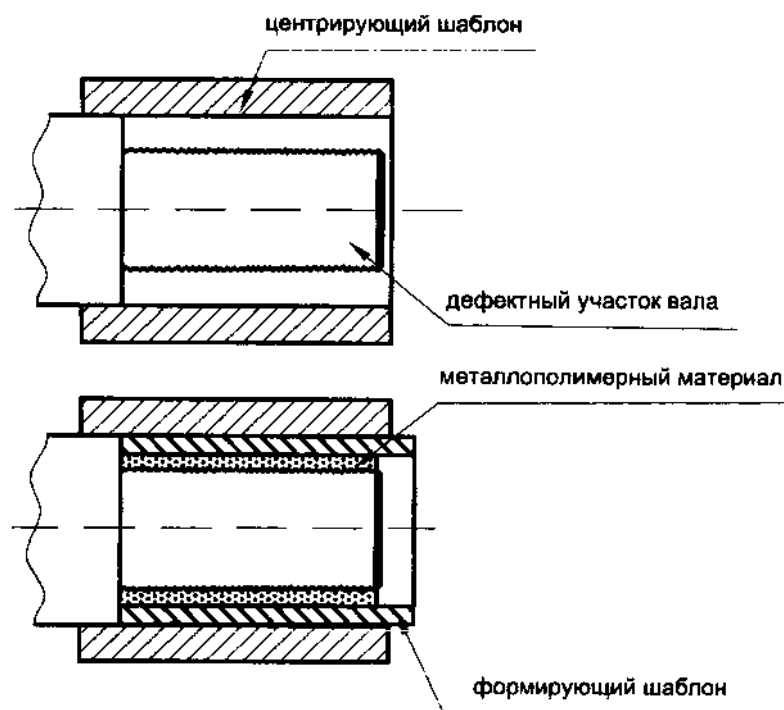


Рис. 3.8 Восстановление хвостовика вала с помощью двух шаблонов

Приложение №4

Технология восстановления прессового вала БДМ на Житомирском картонном комбинате

После демонтажа прессового вала из бумагоделательной машины была произведена его установка на место ремонта (рис.4.1).



Рис.4.1 Прессовый вал БДМ в сборе



Рис.4.2 Прессовый вал БДМ без цапфы

Далее последовал демонтаж цапфы с целью получения доступа к сопрягаемым поверхностям вала и цапфы для осуществления ремонтных работ. На следующем этапе была произведена оценка текущего состояния поверхностей посадочных мест до выполнения ремонта, в том числе измерение геометрических параметров вала (рис. 4.2).

В результате визуальной оценки было выявлено наличие на посадочных поверхностях вала и цапфы следов коррозии, деформации металла, наличие инородных включений, раковин и других неровностей (рис. 4.3, 4.4).



Рис. 4.3. Внутренняя поверхность прессового вала БДМ до ремонта



Рис.4.4 Цапфа прессового вала БДМ до ремонта

На последующих этапах была осуществлена подготовка ремонтируемой поверхности. Первоначально было необходимо произвести зачистку поверхности от следов коррозии и других загрязнений. Для этой цели были использованы стальные щетки, наждачная бумага различной зернистости и электродрель с насадками в виде металлических щеток (рис. 4.5-4.6)



Рис. 4.5. Ручная зачистка поверхности вала



Рис.4.6. Зачистка электродрелью с насадками

Зачистка производилась до металлического блеска поверхности и относительного ее выравнивания, а так же приданию ей необходимой шероховатости, обуславливающей высокую адгезию композита (рис. 4.7, 4.8).



Рис. 4.7. Внутренняя поверхность вала после зачистки



Рис. 4.8. Внешняя поверхность цапфы

На следующем этапе подготовки поверхностей вала и цапфы было произведено обезжиривание этих поверхностей, используя очиститель F7 (спрей) фирмы «Chester Molecular» (рис. 4.9).

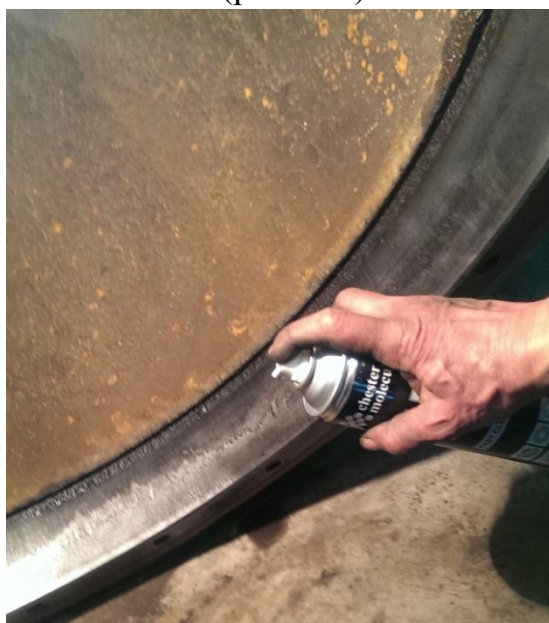


Рис. 4.9. Распыление очистителя по внутренней поверхности вала

На этапе предварительного обезжиривания очиститель распылялся по всей поверхности, а затем при помощи ветоши удалялись все загрязнения. После чего было произведено окончательное обезжиривание поверхности с последующим ее высыханием.

Следующим этапом выполнения ремонтной работы стало нанесение разделительного состава фирмы «Chester Molecular» на внутреннюю посадочную поверхность вала с целью предотвращения невозможности последующего демонтажа цапфы после полимеризации ремонтного композиционного материала (РКМ). Разделительная жидкость наносилась тонким слоем при помощи кисти. После нанесения для ускорения ее высыхания была произведена просушка поверхности вала при помощи строительного фена.

На данном этапе была завершена подготовка ремонтируемых поверхностей к нанесению РКМ.

Непосредственно перед началом работы с композитом было произведено при помощи штангенциркуля контрольное измерение посадочного диаметра цапфы и внутреннего диаметра вала. В результате чего было установлено, что необходимый зазор для прохождения материала будет выдержан (рис.4.10)



Рис. 4.10. Контрольное измерение внутреннего диаметра вала

Выбранный для ремонта материал использовался в фасовке по 0,5 кг. После извлечения самого ремонтного состава из упаковки производилось смешивание его компонентов (базы и активатора) на специально подготовленной пластине, поскольку смешивания лучше всего проводить на плоской поверхности, что приводит к улучшению взаимопроникновения базы и активатора.

После тщательного перемешивания компонентов время жизнеспособности композиции составляет 20 мин. Материал с помощью шпателя наносился на посадочные поверхности цапфы и вала (рис. 4.11-4.12).



Рис. 4.11. Нанесение РКМ на цапфу (основной слой)



Рис. 4.12. Нанесение РКМ на вал (вспомогательный слой)

Причем на посадочную поверхность цапфы материал наносился сплошным тонким слоем (являлся основным) и полностью ее покрывал, а на внутреннюю поверхность вала так же наносился по контуру не сплошным слоем (являлся вспомогательным). Это было необходимо выполнить с целью гарантированного заполнения материалом всех зазоров (учитывая последующий монтаж цапфы на вал с возможным выдавливанием материала), что напрямую влияет на качество ремонта в целом.

После нанесения РКМ на ремонтируемые поверхности, учитывая время

жизнеспособности композиции (20 мин) цапфа с нанесенным материалом оперативно отправляется на монтаж с валом при помощи крана балки (рис.4.13).



Рис. 4.13. Цапфа с нанесенным ИРКМ

Для центровки цапфы на валу использовались направляющие шпильки, а крепление осуществлялось на специальные болты особой твердости (рис. 4.14). Сила затяжки болтов проверялась динамометрическим ключом (рис. 4.15) и доводилась до табличного значения для использующихся болтов. Все вышеперечисленные действия с учетом полимеризованного материала должны предотвратить срезание болтов в дальнейшем.



Рис. 4.14. Крепление цапфы на валу



Рис. 4.15. Проверка затяжки динамометрическим ключом

В ходе крепления цапфы на валу по контуру посадочного места выделяются излишки материала (рис. 4.16), которые удаляются шпателем до полимеризации материала. После завершения ремонта необходимо выждать время полной полимеризации и набора им необходимых свойств в течение 7 суток. После чего вал можно снова устанавливать в БДМ.

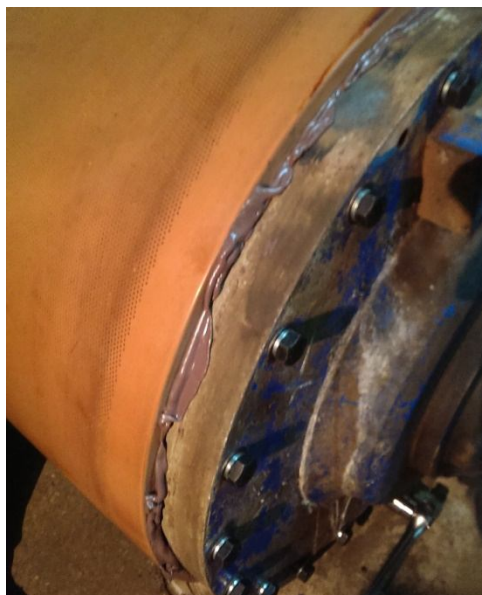


Рис. 4.16. Излишки материала на поверхности

Приложение №5

Расчёт экономической эффективности

Расчёт экономической эффективности от внедрения мероприятия по восстановлению посадочных поверхностей прессового вала БДМ с использованием композиционных материалов.

1) Содержания мероприятия.

В результате длительной эксплуатации прессового вала БДМ на Житомирском ЦКК были изношены посадочные поверхности цапфы и вала, в результате чего были разбиты крепёжные отверстия, смяты болты крепления, что привело к недопустимому биению прессового вала и снижению его эксплуатационных характеристик и снижению качества бумажного полотна.

Для устранения указанных повреждений специалистами

Для устранения указанных повреждений специалистами ООО «ЕМК-Сервис» и ФГБОУ ВПО «РГУТиС» была предложена технология ремонта прессового вала с применением ИРКМ «Chester Ceramic-T» и «Chester Ceramic-F», что обеспечило восстановление геометрических размеров цапфы и вала, а так же придание их поверхностям антикоррозионных свойств. В результате проведения работ прессовый вал был полностью восстановлен и признан годным к эксплуатации.

2) Капитальные вложения.

K_1 и K_2 - капитальные вложения на восстановление прессового вала по базовому и новому вариантам. При этом базовый вариант предусматривает полную замену изношенной части цапфы, новый - локальное восстановление мест повреждения с использованием композиционных материалов.

K_1 - 920 тыс. руб., что соответствует стоимости новой цилиндрической части цапфы;

K_2 - 240 тыс. руб., что соответствует стоимости работ по договору;

3) Себестоимость работ.

Себестоимость восстановления является основным показателем при оценке

экономического эффекта от восстановления деталей, подвергшихся износу, и определению конкретного способа ремонта. Практика показывает, что себестоимость восстановления оборудования можно в значительной степени уменьшить путём использования композиционных материалов.

Себестоимость базового варианта.

$C_1 = 380$ тыс. руб., что соответствует транспортным расходам по доставке и затратам по монтажу нового узла цапфы.

Себестоимость нового варианта

$$C_2 = C_{\text{пост}} + C_{\text{перем}}$$

$$C_{\text{пост}} = 130,0 \text{ тыс. руб.}$$

$C_{\text{пост}}$ - постоянные затраты, включающие зарплату работников и накладные расходы;

$$C_{\text{перем}} = 68 \text{ тыс. руб.}$$

$C_{\text{перем}}$ - переменные затраты, включающие стоимость материалов, оборудования, транспортные расходы по их доставке на предприятие заказчика;

$$C_2 = 130 + 68 = 198 \text{ тыс.руб.}$$

4) Годовой экономический эффект

$$\mathcal{E}_T = (C_1 + E \cdot K_1) - (C_2 + E \cdot K_2),$$

где E - нормативный коэффициент капитальных вложений; $E=0,15$, что означает, что капитальные вложения окупаются в течении 6-7 лет.

$$\mathcal{E}_T = (380 + 0,15 \cdot 920) - (198 + 0,15 \cdot 240) = 284 \text{ тыс. руб.}$$

5) Срок окупаемости мероприятия

$$S_{\text{ок}} = (K_2 \cdot 12) / \mathcal{E}_T = (240 \cdot 12) / 284 = 10,1 \text{ мес.}$$

В итоге годовой экономический эффект от использования ИРКМ при восстановлении прессового вала БДМ составил 284 000 руб. Период окупаемости капитальных затрат – менее одного года (10,1 месяцев).

Далее приведен акт внедрения ремонтной технологии с применением ИРКМ на ООО «Житомирский картонный комбинат».

«Утверждаю»

Генеральный директор

ЗАО ММК «Мосинтраст»



д.т.н., Гончаров А.Б.

_____ 2013 г.

«Утверждаю»

Главный инженер

ООО «Житомирский картонный комбинат»



Ергидзей А.Б.

_____ 2013 г.

Акт внедрения


В соответствии с договором №13/01/34 от 25.11.2013 специалистами ЗАО ММК «Мосинтраст» с привлечением специалистов ФГБОУ ВПО «РГУТиС» на предприятии ООО «Житомирский картонный комбинат» были проведены работы по восстановлению посадочных мест прессового вала БДМ. В процессе выполнения работы по технологии, разработанной в ФГБОУ ВПО «РГУТиС» был осуществлен ремонт цапфы с использованием композиционного материала «Честер Металл Керамик-Т». После соответствующей обработки сопрягаемых поверхностей цапфы и вала, был нанесен композит и разделительный состав, а затем осуществлена сборка цапфы с валом и их механическое крепление. После полимеризации композита вал был полностью восстановлен, что свидетельствует о надежном и эффективном методе восстановления с применением композиционных материалов.

От ФГБОУ ВПО «РГУТиС»

 В.А. Иванов

« 23 » декабря 2013г.

От ООО «Житомирский картонный комбинат»

 Начальник цеха
Биденко В.В.

« 23 » 12 2013 г.