

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 08.10.2023 14:05:22  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова



2017 г

## СКЛЕИВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления подготовки 15.03.01 Машиностроение  
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Курск 2017

УДК 621.791

Составитель Н.И. Иванов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Е.И. Яцун*

**Склеивание металлических и неметаллических конструкций** [Текст]: методические указания по выполнению лабораторных / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Н.И. Иванов. Курск, 2017. 51 с., ил. 13, табл. 4, прилож. 1. Библиогр.: с. 46.

Содержат сведения по вопросам технологии выполнения клеевых соединений металлических и неметаллических деталей, необходимые при выполнении лабораторных работ. Указывается необходимое оборудование, материалы, порядок выполнения и оформления отчетов по лабораторным работам.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Работа предназначена для студентов дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *5.04.17*. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. *2,9*. Уч. - изд. л. *2,4*. Тираж *50* экз. Заказ *542*. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Исследование смачиваемости и растекаемости клея по твердой поверхности основных материалов	4
Лабораторная работа № 2. Изучение технологических основ проектирования клеевых соединений	9
Лабораторная работа № 3. Склеивание конструкционных материалов. Оценка прочности клеевого соединения	18
Лабораторная работа №4. Определение механических свойств клеевых соединений металлов	23
Лабораторная работа № 5. Оценка технологических и эксплуатационных свойств клеевой композиции	30
Лабораторная работа № 6. Особенности клеесварных соединений	38
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ	45
Список использованных источников	46
Приложение А	47

## Лабораторная работа № 1. Исследование смачиваемости и растекаемости клея по твердой поверхности основных материалов

### 1.1 Общие сведения

Формирование клеевого соединения в каждой точке склеиваемой поверхности складывается из следующих элементарных актов:

- установление физического контакта адгезива (клея) с субстратом (соединяемые поверхности);
- возникновение межмолекулярных сил взаимодействия между материалом подложки и связующим;
- повышение когезионной прочности адгезива.

Технология и техника процесса склеивания должны обеспечить условия для полного осуществления этих актов.

Под установлением физического контакта следует понимать сближение атомов и молекул взаимодействующих тел на такие расстояния, когда возможно возникновение межмолекулярных сил или химических связей. Эти расстояния соизмеримы с межмолекулярными и межатомными расстояниями в основном материале и в отвержденной клеевой композиции и составляют порядка  $10^{-7}$  мм. Образование физического контакта при склеивании, обусловлено явлением смачивания жидкостью твердой поверхности (рисунок 1.1).

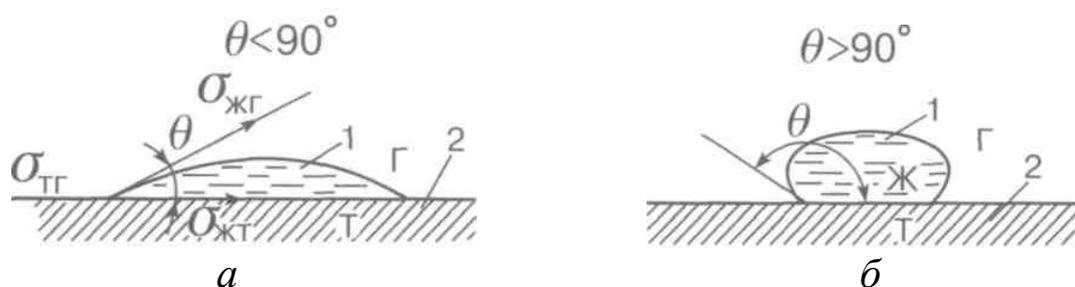


Рисунок 1.1 – Капля жидкости (1) на поверхности твердого тела (2) в случае смачивающей (а) и несмачивающей (б) жидкостей:  $\theta$  – краевой угол смачивания;  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе раздела фаз;  $\Gamma$  – газ, Ж – жидкость, Т – твердое тело

Смачивание связано с энергетическими изменениями в системе «жидкость-твердое тело». Известно, что атомы и молекулы, находящиеся на границе раздела фаз, обладают избытком потенциальной энергии по сравнению с теми, которые находятся внутри тела и имеют отличие от поверхностных – уравновешенное силовое поле. Поверхностные атомы (молекулы) под влиянием равнодействующих сил уходят внутрь тела, а их место занимают те, которые в данный момент обладают большим запасом энергии. В каждый момент времени в тонком поверхностном слое находятся атомы и молекулы, обладающие избытком энергии.

Этот избыток энергии, отнесенный к единице поверхности, представляет собой поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение существует всегда – и у твердых, и у жидких тел, когда имеется межфазная граница. В рассматриваемой системе, до момента контактирования, поверхностное натяжение существовало на границах «жидкость-газ» и «твердое тело-газ». После контактирования исчезают прежние границы, и появляется новая граница: «жидкость-твердое тело». Если поверхностное натяжение на этой новой границе оказывается ниже, то процесс контактирования (смачивания) идет самопроизвольно, так как запас свободной энергии в системе уменьшается. Возможность смачивания определяется природой контактирующих материалов.

При существовании принципиальной возможности смачивания адгезивом подложки положение может осложняться из-за наличия на поверхности твердого тела каких-либо инородных веществ – загрязнений (масел, жиров и т.д.), сильно снижающих поверхностное натяжение. Чем выше поверхностная энергия склеиваемого материала, тем легче идет смачивание. Хорошая смачиваемость наблюдается у металлов, керамики, стекла. Смачиваемость можно улучшить при помощи специальной обработки поверхности и путем ее активирования физическими и химическими способами.

Отсутствие смачивания делает невозможным процесс склеивания, а наличие несмачиваемых участков приводит к дефектам. Поэтому одна из главных задач склеивания – предварительное удаление загрязнений, препятствующих процессу смачивания и возникнове-

нию межмолекулярных сил взаимодействия субстрата и адгезива. При этом необходимо иметь в виду, что не полностью удаленные остатки составов, используемых в процессе удаления загрязнений (при обезжиривании, травлении), могут в свою очередь стать причиной нарушения необходимого контакта адгезива с подложкой (вторичное загрязнение).

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

Смачивание и растекание осложняются наличием на реальных (технических) поверхностях макро- и микронеровностей, высота которых может составлять от десятых долей миллиметра до сотых долей микрометра. Но этот рельеф в то же время увеличивает фактическую площадь контакта клея со склеиваемой поверхностью, что способствует повышению прочности соединения. Для обеспечения максимального заполнения рельефа клеем и создания физического контакта по всей фактической площади клеящее вещество должно иметь высокую подвижность, жидкотекучесть, малую вязкость, что достигается применением адгезивов в виде растворов, эмульсий или расплавов.

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

Попытки объяснить возникшую после смачивания и последующего отверждения связь клеевой пленки с поверхностью заготовки привели к появлению нескольких теорий адгезии (*адгезия* – взаимодействие между атомами двух разнородных фаз, жидкой и твердой). В настоящее время существует пять теорий адгезии – механическая, молекулярная, химическая, диффузионная и электрическая. Каждая из них не противоречит остальным, но и не может в полной мере объяснить всего многообразия фактов, наблюдаемых в процессе склеивания различных материалов.

Знание состава адгезива и субстрата позволяет прогнозировать возможность применения тех или иных клеев для конкретного материала (таблица А.1 Приложения А).

## 1.2 Цель работы

Исследовать зависимость смачиваемости и растекаемости клеев от материала и способа подготовки соединяемых поверхностей.

## 1.3 Оборудование и материалы

1.3.1 Образцы из стекла и полиэтилена размером 40×40×2 мм, (количество – по указанию преподавателя).

1.3.2 Клеи различного состава (по указанию преподавателя).

1.3.3 Наждачная бумага, бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

1.3.4 Ацетон.

1.3.5 Инструменты (пинцет, металлическая линейка, набор маркеров, молоток, пипетка).

1.3.6 Электрический фен TRIAC S компании Leister.

1.3.6 Цифровой фотоаппарат.

1.3.7 ПЭВМ с необходимым программным обеспечением.

## 1.4 Методика выполнения работы

1.4.1 Ознакомиться с теоретическим материалом по лаборатор-

ной работе. Ответить на контрольные вопросы (п. 1.6).

1.4.2 На каждой пластине маркерами нанести порядковый номер образца, соответствующий номеру проводимого опыта (см. таблица 1.1).

1.4.3 По указанию преподавателя, обработать верхнюю поверхность образцов: только наждачной бумагой, только обезжиривающим раствором, наждачной бумагой и обезжиривающим раствором.

1.4.4 Обдуть верхнюю (не маркированную) поверхность каждого очередного образца феном и нанести пипеткой дозированную каплю клея.

1.4.5 После прекращения растекания клея по поверхности образца сфотографировать верхнюю поверхность пластины с каплей клея.

1.4.6 С помощью ПЭВМ по фотоснимкам образцов произвести замер площадей растекания клея.

1.4.7 Полученные данные занести в таблицу (таблица 1.1) и построить диаграммы зависимости растекаемости каждого клея от способа подготовки поверхности стеклянных и пластмассовых образцов.

1.4.8 На каждом образце визуально (качественно) оценить величину краевого угла. Сделать выводы по результатам проведенных экспериментов.

Таблица 1.1 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Материал образца	Способ подготовки поверхности	Состав клея	Результаты измерений	
				площадь растекания, мм <sup>2</sup>	краевой угол $\Theta$ , град.

## 1.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;

- фотоснимки пластин с каплями клея;
- диаграммы зависимости растекаемости клеев от способа подготовки поверхности пластин;
- выводы по работе.

## 1.6 Контрольные вопросы

- 1.6.1 Что такое склеивание?
- 1.6.2 В чем отличие процесса склеивания от сварки?
- 1.6.3 Что такое смачивание?
- 1.6.4 В чем заключается физическая сущность процесса смачивания?
- 1.6.5 Что такое адгезия?
- 1.6.6 При выполнении какого условия имеет место явление смачивания?
- 1.6.7 Что является критерием оценки смачивания?
- 1.6.8 От чего зависит величина краевого угла смачивания?
- 1.6.9 Что является критерием оценки растекаемости?
- 1.6.10 Может ли происходить растекание жидкости по поверхности твёрдого тела без смачивания? Что в этом случае способствует растеканию жидкости?
- 1.6.11 Как практически оценивают смачиваемость и растекаемость клея?

## **Лабораторная работа № 2. Изучение технологических основ проектирования клеевых соединений**

### 2.1 Общие сведения

В задачи конструирования клеевого соединения входят выбор типа соединения и его конструктивное оформление, подбор марки (состава) клея, расчет размеров рабочего сечения шва и величины зазора, назначение качества чистоты обработки поверхности. Правильное решение этих вопросов возможно только в том случае, если

досконально известны назначение рассматриваемой клееной конструкции, условия работы (диапазон и характер изменения рабочих температур, требуемая прочность, характер нагрузки, влажность), различия в теплофизических свойствах и модулях упругости основного материала и отвержденной клеевой пленки, возможность биологического поражения шва, склонность к коррозии или другому виду разрушения поверхности материала под действием компонентов клея и т.д. Поскольку точный учет всех этих факторов практически невозможен, количественная оценка служебных характеристик соединения и изделия в целом должна проводиться экспериментально. Однако установлены некоторые общие закономерности и разработаны рекомендации, позволяющие упростить задачу создания клееного изделия. Наиболее важные из этих рекомендаций приведены ниже.

1) Основной тип соединения, применяемый в клеевых конструкциях, – нахлесточный. Это связано с тем, что клеевое соединение, имеющее адгезионную природу, лучше работает на срез, чем на отрыв. Если по каким-либо соображениям нельзя применять нахлесточное соединение, то прибегают к соединению «на ус» или к комбинации такого соединения с элементами стыкового и нахлесточного швов. При выполнении тавровых или угловых соединений специально увеличивают площадь склеивания и вводят элементы, облегчающие работу швов на отрыв. В таблице А.2 Приложения А представлены рекомендуемые формы различных типов клеевых соединений.

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

При соединении трубчатых элементов широко используются раструбные и телескопические соединения.

2) При нагружении клеевого соединения различные участки шва работают неодинаково. Наблюдается концентрация напряжений по краям нахлестки (рисунок 2.1).

Это является следствием различия в деформационной способности клеевой пленки и основного материала и, в частности, суще-

ственного различия в значениях их модулей упругости. В связи с этим целесообразно ограничивать длину нахлестки ( $L$ ). Рекомендовать определенные числовые ее значения невозможно из-за чрезвычайно большого разнообразия клеевых композиций и, соответственно, их механических свойств, а также из-за различных сочетаний склеиваемых материалов. Ориентировочно можно считать, что  $L > 10S$ , где  $S$  – толщина склеиваемого элемента. Для неответственных изделий длину нахлестки принимают равной  $L = (2,5 \div 5,0)S$ .

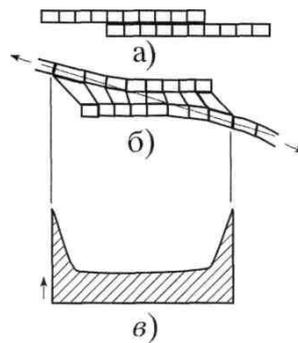


Рисунок 2.1 – Распределение напряжений в клеевом соединении с одинарной нахлесткой: *а* и *б* – соответственно ненагруженное и нагруженное соединение; *в* – характер распределения напряжений

При чрезмерно большой нахлестке утяжеляется конструкция, повышается расход клея и увеличиваются другие затраты, связанные с обработкой большой поверхности; при этом не достигается никакой выгоды, так как средняя часть шва практически не работает (рисунок 2.2).

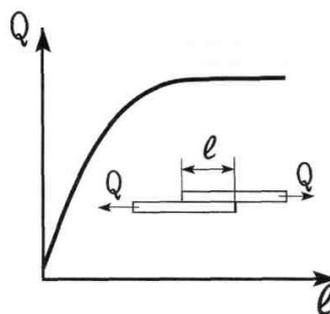


Рисунок 2.2 – Влияние величины нахлестки  $l$  на уровень разрушающей нагрузки  $Q$

Кроме того большая нахлестка создает дополнительные трудности для эвакуации из клеевой пленки остатков продуктов, выделяющихся в процессе отверждения, что ведет к появлению дефектов. Чем ближе клеевая пленка по своим механическим свойствам к основному материалу, тем может быть меньше величина нахлестки. При склеивании растворителями размер нахлестки может составлять несколько толщин склеиваемых деталей.

3) Толщина клеевой пленки оказывает существенное влияние на прочность соединения (рисунок 2.3). При уменьшении толщины прочность возрастает, но до определенного предела. Оптимальная величина технологического зазора (клеевой прослойки) лежит в пределах  $0,05 \div 0,15$  мм.

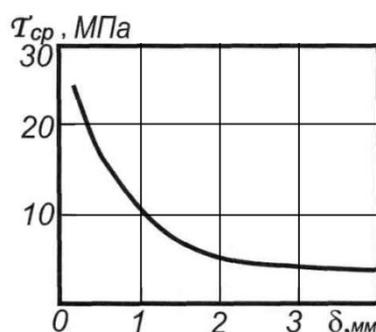


Рисунок 2.3 – Влияние толщины клеевой пленки  $\delta$  на прочность соединения при срезе  $\tau_{ср}$

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

Разрушение соединения может идти по основному материалу, по клеевой пленке, по границе склеивания и захватывать основной материал и клеевой шов (рисунок 2.4).

Для равнопрочного соединения равновероятно разрушение по шву и основному материалу, т.е.

$$[\sigma_p] b s = [\tau_{ср}] l b,$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение в основном материале;  
 $b$  – ширина субстрата в зоне соединения;

$s$  – толщина склеиваемого элемента;

$l$  – длина нахлестки;

$[\tau_{cp}]$  – допускаемых напряжений для клеевого шва.

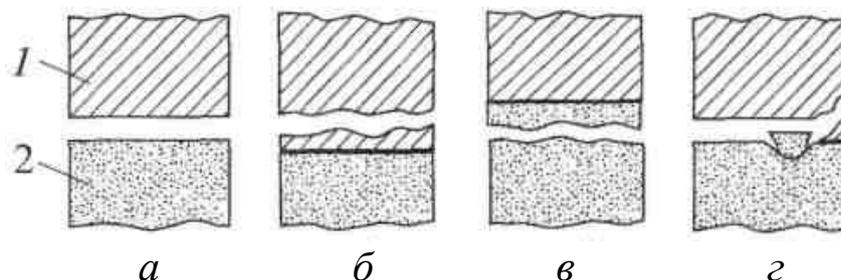


Рисунок 2.4 – Разрушение клеевого соединения: *а* – адгезионное; *б, в* – когезионное; *г* – смешанное; *1* – субстрат; *2* – клеевая пленка (адгезив)

При определении значений допускаемых напряжений для клеевого шва необходимо учесть большое число факторов.

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

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

5) Микрогеометрия поверхности играет существенную роль в формировании клеевого соединения. Правильный учет этого фактора при назначении квалитетов чистоты обработки сопрягаемых поверхностей имеет принципиальное значение не только для получения нужной точности сборки; общая тенденция такова, что с ростом шероховатости прочность соединения растет (рисунок 2.5).

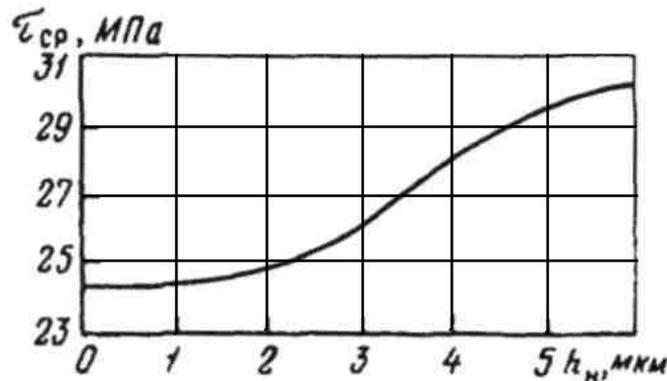


Рисунок 2.5 – Влияние глубины неровностей склеиваемых поверхностей  $h_n$  на прочность соединения при срезе  $\tau_{ср}$  (склеиваемый материал – алюминиевый сплав, клей на эпоксидной основе)

6) При выполнении соединения, элементы которого вместе с клеевым швом образуют замкнутый объем, необходимо предусматривать дренаж для выхода воздуха и свободного движения клея во избежание образования воздушной подушки.

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

К числу требований, которые должны неукоснительно выполняться, относятся:

- близость молекулярной природы и совпадение полярности адгезива и субстрата для обеспечения хорошей смачивающей способности клея и высокой адгезионной прочности соединения; малая вязкость клея в момент нанесения на соединяемые поверхности для получения контакта по всему микрорельефу;

- наличие в составе связующего клеевой композиции функциональных групп, обеспечивающих сильное межмолекулярное или химическое взаимодействие;

- высокая когезионная прочность клеевой пленки;

- начало и скорость отверждения должны быть согласованы со временем достижения полного смачивания клеем поверхности заготовки;

- различие в коэффициентах термического расширения, модулях упругости основного материала и клеевой пленки, а также величина усадки при отверждении должны быть минимальными во избежание появления остаточных напряжений и деформаций соединения и концентрации напряжений при его нагружении;

- отсутствие в клеевой композиции коррозионно-активных по отношению к материалу изделия компонентов;

- механические и другие свойства клеевой пленки должны соответствовать условиям эксплуатации по температуре, характеру нагружения, влажности и т.д.

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

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

## 2.2 Цель работы

Ознакомиться с технологическими основами проектирования клеевых соединений металлических и неметаллических конструкций. Разработать технологию склеивания конкретного изделия.

## 2.3 Методика выполнения работы

2.4.1 Изучить теоретический материал по лабораторной работе. Ответить на контрольные вопросы (п. 2.5).

2.4.2 Разработать технологию склеивания конкретного изделия (по заданию преподавателя), учитывая, что при сборке конструкции с применением клеев оптимальные результаты достигаются только при условии тщательной проработки каждой стадии технологического процесса склеивания. Он включает в себя выполнение следующих взаимозависимых основных этапов:

2.4.2.1 Проектирование соединения. Соединение должно проектироваться специально под склеивание. Характерной, и часто совершаемой на этом этапе работы, ошибкой является то, что выбор клея отодвигается вплоть до полного завершения проектирования клеевого соединения. В результате этого, конструкция соединения может оказаться непригодной для склеивания. Склеиваемые элементы не смогут выдержать воздействие факторов, сопутствующих склеиванию, или установленные допуски на сопрягаемые элементы не позволят клею проникнуть в соединяемый шов. Определение величины и типа действующего в соединении напряжения и сравнение его с требуемой прочностью будут способствовать более правильному выбору клея.

2.4.2.2 Выбор клея (некоторые типы клеев и их основные характеристики приведены в таблице А.3 Приложения А). На этом этапе необходимо рассмотреть эксплуатационные требования, предъявляемые к клеевому соединению, и справочные данные, по выбираемым клеям. Конструкция соединения, материал и выбранный клей должны соответствовать друг другу.

2.4.2.3 Выбор оптимального метода подготовки поверхности.

2.4.2.4 Изготовление клеевых конструкций включает все операции – от нанесения клея и до его отверждения в контролируемых условиях.

## 2.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель и задание к выполнению данной работы;
- методику и обоснование результатов разработки технологии склеивания конкретного изделия;
- выводы по работе.

## 2.5 Контрольные вопросы

2.5.1 Что входит в задачи конструирования клеевого соединения?

2.5.2 Что необходимо для правильного решения вопросов конструирования клеевого соединения?

2.5.3 Почему оценка служебных характеристик соединения и изделия в целом должна проводиться экспериментально?

2.5.4 Какой тип клеевого соединения является основным и почему? Какие еще типы клеевых соединений нашли применение?

2.5.5 Почему желательно использовать симметричные нахлесточные клеевые соединения?

2.5.6 Что необходимо учитывать при выборе величины нахлестки клеевого соединения?

2.5.7 Назовите недостатки чрезмерно большой нахлестки клеевого соединения.

2.5.8 Как влияет толщина клеевой пленки на прочность соединения?

2.5.9 Назовите возможные варианты разрушения клеевого соединения.

2.5.10 По каким вариантам нагружения производится расчет клеевого соединения?

2.5.11 Какую роль играет микрогеометрия поверхности субстрата в формировании клеевого соединения?

2.5.12 Когда и для чего необходимо предусматривать дренаж в элементах клеевого соединения?

2.5.13 На чем основан выбор марки клея при проектировании клеевого соединения?

2.5.14 Какие дополнительные конструкторские и тех-

нологические требования к клеевому соединению может выдвинуть конкретная производственная задача?

### **Лабораторная работа № 3. Склеивание конструкционных материалов. Оценка прочности клеевого соединения**

#### **3.1 Общие положения**

Склеиванием называется процесс создания неразъемного соединения материала с помощью клея, который образует между соединяемыми поверхностями тонкую и прочно сцепленную с ними клеевую пленку. Прочность клеевого соединения зависит от адгезии (прилипания, сцепления) клеевой пленки со склеиваемыми материалами и ее когезии, т.е. прочности самой пленки.

Адгезия – молекулярная связь приведенных в контакт клеящего вещества (адгезив) и склеиваемой поверхности (субстрат); когезионная прочность.

Когезия – сцепление молекул внутри физического тела под действием различных сил притяжения.

Увеличению прочности клеевого соединения в значительной степени способствуют создание шероховатости на склеиваемой поверхности материала и тщательное ее обезжиривание. Оптимальная толщина клеевой пленки должна быть в пределах  $0,1 \div 0,6$  мм.

Склеивание синтетическими клеями находит широкое применение в авиации (обшивка панели), в судостроении (конструкция из стеклопластиков), в автомобильной промышленности (фрикционные накладки, обивка кузовов), в ремонтном производстве (заделка трещин, пробоев).

Склеивание позволяет соединять металлы и неметаллы в различных сочетаниях. По сравнению со сваркой и клепкой оно обеспечивает значительное снижение массы конструкций при высокой антикоррозионной стойкости клеевого шва, дает возможность вести процесс при сравнительно низких температурах, отличается простотой производства и достаточно высокой экономичностью. Недостат-

ки клеевых соединений – невысокая долговечность (из-за старения) и небольшая прочность при неравномерном отрыве.

Клеи состоят из пленкообразующей органической или неорганической основы с заданными адгезионными и когезионными свойствами. Кроме того, в состав клеев могут входить:

- растворители, создающие определенную вязкость;
- пластификаторы – для повышения пластичности и уменьшения усадки;
- наполнители – для повышения прочности соединения;
- отвердители и др.

В качестве пленкообразующей основы используют синтетические смолы или каучуки, а для наполнителей – порошковые волокна органического и неорганического происхождения и др. Растворителями служат ацетон, дихлорэтан, бензол и спирты. В качестве пластификаторов применяются глицерин, каучук и некоторые смолы.

Промышленность выпускает клеи холодного или горячего отверждения. Клеи горячего отверждения обеспечивают более высокую прочность и теплостойкость. При нагреве лучше удаляется растворитель и происходит более полное отверждение. Обычно для удаления растворителя из клеевой пленки до окончательного нагрева с целью отверждения ее сушат на открытом воздухе при  $50 \div 60$  °С. Способствует прочности клеевого соединения также горячее отверждение под давлением.

Ряд материалов, как например, органическое стекло, полистирол, склеивают их растворителями или клеями, содержащими склеиваемый материал и его растворитель (дихлорэтан, ацетон и др.).

Для склеивания пластмасс на основе фенолоформальдегидных олигомеров наиболее часто используются фенольные (типа ВИАМ Б-3), модифицированные фенольные (БФ-2, ВК-32-200), полиуретановые (ПУ-2, ВК-5) и эпоксидные (ВК-9, К-153, Эпоксид П и Пр) клеевые композиции.

При склеивании термореактивных пластмасс, прежде всего, следует учитывать химическую природу соединяемых материалов, их растворимость и состояние поверхности.

Необходимо также принимать во внимание термический коэффициент линейного расширения материалов, технологию процесса склеивания, конструктивные особенности изделия и условия его эксплуатации.

### 3.2 Цель работы

Ознакомиться с технологией склеивания листового текстолита; оценить прочность соединений клеем БФ-2 в зависимости от продолжительности их нагрева при термообработке под давлением.

### 3.3 Материалы, инструменты, реактивы, приборы, оборудование

3.3.1 Конструкционный материал – текстолит листовой (толщиной 2...4 мм), бумага наждачная, бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

3.3.2 Инструменты – шпатель, линейка металлическая, струбицы, штангенциркуль, чертилка, кисточки для нанесения клея.

3.3.3 Клей БФ-2, ацетон, спирт этиловый.

3.3.4 Муфельная печь ПМ-8.

3.3.5 Милливольтметр типа Ш69003 с термоэлектрическим термометром градуировочной характеристики ХК или ХА.

3.3.6 Секундомер.

3.3.7 Машина разрывная РТ-250М.

3.3.8 Цифровой фотоаппарат.

### 3.4 Методика выполнения работы

3.4.1 Ознакомиться с теоретическими положениями по лабораторной работе. Ответить на контрольные вопросы (п. 3.6).

3.4.2 Из листового текстолита подготовить шесть плоских образцов размером 100×10×2 мм и с помощью напильника притупить острые кромки. Образец клеевого соединения представлен на рисунке 3.1.

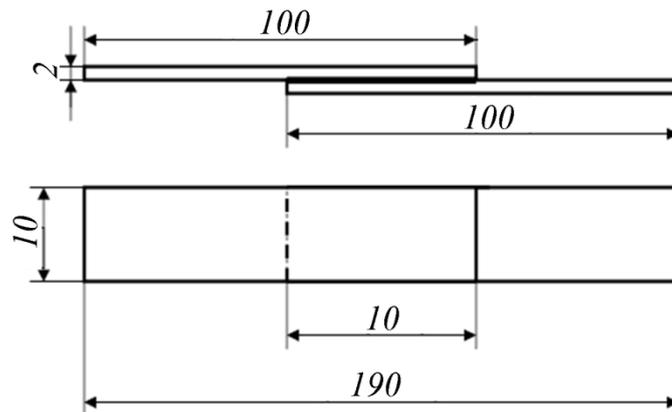


Рисунок 3.1 – Склеиваемые образцы

3.4.3 Наметить на образцах чертилкой места склеивания и обезжирить их ацетоном, после чего просушить на воздухе в течение 3÷5 мин.

3.4.4 Нанести на зачищенные места образцов первый слой клея (слой наносится движением кисточки в одну сторону, чтобы не образовывались пузырьки воздуха).

3.4.5 Провести первую открытую сушку образцов с нанесенным слоем клея в муфельной печи при  $50\div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 15 мин.

3.4.6 Нанести второй слой клея.

3.4.7 Провести вторую сушку при том же режиме, что и первая (по п. 3.4.5).

3.4.8 Соединить склеиваемые поверхности образцов и зажать их в струбцинах давлением  $0,25\div 0,3\text{ МПа}$  ( $2,5\div 3\text{ даН/см}^2$ ).

3.4.9 Нагреть склеиваемые образцы вместе со струбцинами в муфельной печи до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выдержать при этой температуре 5, 15 и 25 мин.

3.4.10 Извлечь образцы со струбцинами из муфельной печи, охладить их на воздухе до комнатной температуры и раскрепить.

3.4.11 Произвести испытание склеенных образцов на сдвиг на машине РТ-250М.

3.4.12 Определить предел прочности клеевого соединения на сдвиг по формуле:  $\sigma = P / F$ , где  $P$  – разрушающая нагрузка, даН;  $F$  – площадь склеивания,  $\text{см}^2$ .

3.4.13 Результаты испытания занести в таблицу (по форме таблицы 3.1).

Таблица 3.1 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Материал образца	Способ подготовки поверхности	Состав клея	Прочность соединения	
				$P$ , даН	$\sigma$ , даН/см <sup>2</sup>

3.4.14 Сфотографировать поверхности разрушения клеевых соединений.

3.4.15 Построить график зависимости предела прочности на сдвиг клеевого соединения в зависимости от продолжительности нагрева при выдержке под давлением.

### 3.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;
- фотоснимки поверхности разрушения клеевых соединений;
- график зависимости предела прочности на сдвиг клеевого соединения в зависимости от продолжительности нагрева при выдержке под давлением;
- выводы по работе.

### 3.6 Контрольные вопросы

3.6.1 Какой процесс называется склеиванием?

3.6.2 От чего зависит прочность клеевого соединения?

3.6.3 Что называется адгезией? Что при склеивании является адгезивом?

3.6.4 Что такое когезия?

- 3.6.5 От чего зависит прочность клеевого соединения?
- 3.6.6 Достоинства и недостатки клеевых соединений?
- 3.6.7 Что входит в состав клеев?
- 3.6.8 Особенности клеев горячего отверждения?
- 3.6.9 Какие клеи используются для склеивания пластмасс?

#### **Лабораторная работа №4. Определение механических свойств клеевых соединений металлов**

##### 4.1 Общие положения

Клеевое соединение — это неразъемное соединение деталей с помощью клея, наносимого на соединяемые поверхности.

Замена сварки, пайки, заклепочных соединений склеиванием уменьшает массу конструкции, позволяет соединить почти любые материалы, упрощает процесс сборки. По сравнению с другими способами соединения металлов достоинство клеевого соединения состоит в равномерности распределения механических напряжений по шву. Обычно в зоне соединения при склеивании не возникает коррозия, в большинстве случаев эти соединения непроницаемы для паров, жидкостей, герметичны, вакуумплотны, поглощают вибрации (снижают шум). В этом состоят основные преимущества клеевого соединения.

Синтетические клеи изготавливают, как правило, на базе полимерных соединений. Насколько велико разнообразие полимеров, настолько велико и разнообразие свойств синтетических клеевых композиций. Так, клеи на основе фенолформальдегидных смол, кремнийорганических и неорганических полимеров отличаются высокой теплостойкостью. Полиэпоксидные, полиамидные, полиуретановые клеи характеризуются высокой эластичностью, стойкостью к агрессивным средам, механической прочностью. Разработаны пленочные клеи, не содержащие растворителей. Для склеивания достаточно такую пленку поместить между склеиваемыми поверхностями, нагреть их и опрессовать.

Достоинство синтетических клеев заключается в том, что они обладают значительной прочностью, хорошей химической стойкостью, износостойкостью и высокими антифрикционными свойствами. Клеи позволяют соединять разнородные материалы, не влияют на свойства соединяемых материалов.

Недостаток клеев – малая усталостная прочность и низкая тепловая стойкость.

Для качественного склеивания клей должен отвечать следующим требованиям:

- создавать клеевую пленку, обеспечивающую прочное сцепление склеиваемых поверхностей;
- клеевая пленка должна быть атмосферостойкой и стойкой к действию других факторов, проявляющихся в условиях эксплуатации;
- клей не должен вызывать коррозии и разрушения склеиваемых материалов.

Синтетический клей в наиболее общем виде представляет собой композицию, в которую (как уже отмечалось в лабораторной работе № 3) входят: связующее вещество, растворитель, наполнитель, отвердитель, пластификатор, стабилизатор, ускоритель отверждения и другие добавки, формирующие его физико-механические свойства.

Прочность клеевого соединения зависит от величины силы прилипания клея к склеиваемой поверхности (адгезии) и прочности самой клеевой пленки (когезии).

Адгезия определяется величиной химических (ковалентных, электровалентных, координационных, водородных связей) и Ван-дер-Ваальсовых (межмолекулярных) сил притяжения между частицами клея и склеиваемого материала.

Когезия клеевой пленки зависит от качества клея, соблюдения условий ее образования и толщины пленки.

Подготовка поверхностей металлов перед склейкой заключается в удалении всевозможных загрязнений механическим или химическим способами. Поверхности промывают растворителями и высушивают. Для увеличения сил адгезии участки деталей обрабатывают шабрением, добиваясь хорошего их прилегания. Выбор способа

нанесения клея зависит от рецептуры, конструкции склеиваемых изделий, объемов производства, требований по качеству, техники безопасности. Особые условия, как правило, указываются на этикетках, прилагаемых к упаковкам в которых поставляется синтетический клей.

Номенклатура синтетических клеев непрерывно обновляется и расширяется. В качестве примера в таблице А.4 Приложения А приведены данные по некоторым разновидностям синтетических клеев, применяемых в ремонтном производстве.

## 4.2 Цель работы

Изучение способа выполнения клеевых соединений металлов синтетическими клеями и определение их механических характеристик. Приобретение практических навыков в реализации технологии склеивания металлов.

## 4.3 Оборудование и материалы

4.3.1 Склеиваемые заготовки в виде пластин из низкоуглеродистой стали (рисунок 4.1).

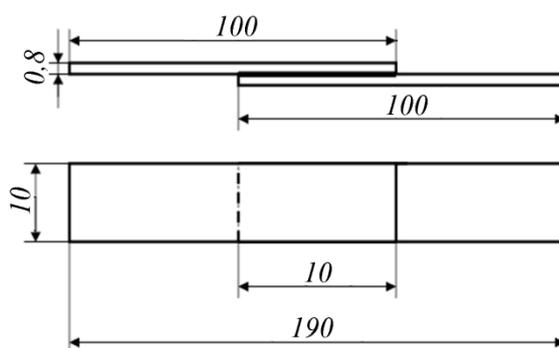


Рисунок 4.1 – Склеиваемые образцы

4.3.2 Клей ВК-1 (или другой, по заданию преподавателя).

4.3.3 Муфельная печь ПМ-8.

4.3.4 Машина разрывная РТ-250М.

4.3.5 Электрический фен TRIAC S компании Leister.

4.3.6 Милливольтметр типа Ш69003 с термоэлектрическим термометром градуировочной характеристики ХК или ХА.

4.3.7 Инструменты – шпатель, струбцины, штангенциркуль, микрометр, набор маркеров, молоток, наждачная шкурка (номер 10÷25), металлическая щетка.

4.3.8 Ацетон.

4.3.9 Бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

4.3.10 Цифровой фотоаппарат.

#### 4.4 Порядок выполнения работы

4.4.1 Ознакомиться с теоретическими положениями по лабораторной работе. Ответить на контрольные вопросы (п. 4.6).

4.4.2 Подготовить технологические образцы для склеивания.

4.4.2.1 Кромки образцов должны быть ровными, без заусенцев.

4.4.2.2 Поверхности образцов, подлежащие склеиванию, тщательно промыть ацетоном от масляных и других загрязнений, просушить на воздухе 20÷30 мин (или обдуть феном), затем зачистить поверхности, подлежащие склеиванию, наждачной шкуркой № 25, 16 или 10 (допускается зачищать заготовки металлической щеткой).

4.4.2.3 После зачистки заготовки промыть еще 2 раза ацетоном и высушить.

4.4.3 Приготовление эпоксидного клея ВК-1 (клей ВК-1 предназначен для клеевых соединений из стали, алюминиевых и титановых сплавов и стеклопластиков в конструкциях, работающих при температурах от – 60 до +150 °С. ВК-1 представляет собой композицию на основе эпоксидной смолы, отвердителя, наполнителя и технологических добавок).

При приготовлении клея необходимо соблюдать следующие требования:

4.4.3.1 Все работы проводить в чистом сухом помещении с влажностью не более 75 % и температурой 15÷30 °С.

4.4.3.2 Клей готовить непосредственно перед его применением в чистом сухом смесительном аппарате из стекла или фарфора.

4.4.3.3 В смеситель загрузить компонент № 1, к нему добавить компонент № 2 и смесь тщательно перемешать в течение 25÷30 мин до полного растворения компонента № 2. Если растворение затруднено из-за вязкости компонента № 2, то процесс следует вести при температуре смеси 30÷40 °С. По окончании растворения к полученной смеси добавить компонент № 3. Содержимое тщательно перемешать в течение 20 мин. Внешний вид полученной смеси должен представлять однородную вязкотекучую массу без посторонних примесей и сгустков, легко наносимую шпателем.

4.4.4 Нанести клей ровным слоем шпателем (в одну сторону) на обе стороны склеиваемых заготовок.

4.4.5 После нанесения клея дать открытую выдержку при 80 °С в течение 1 часа. Сложить заготовки клеевыми участками, согласно рисунка 4.1, и поместить в струбцины, не допуская перекося образцов.

4.4.6 Струбцины с образцами поместить в муфельную печь, нагретую до требуемой температуры, и выдержать в течение одного часа.

4.4.7 По истечении времени выдержки образцы охладить до комнатной температуры и распрессовать.

4.4.8 До испытаний образцов измерить с точностью до 0,01 мм толщину и с точностью до 0,1 мм ширину нахлестки (рисунок 4.1). Результаты измерений занести в протокол испытаний.

Время выдержки склеенных образцов до испытания не должно превышать 24 часов. За результаты испытаний принимать среднее арифметическое значение по 5 образцам.

4.4.9 Подготовленные к испытанию образцы установить в зажимы испытательной машины таким образом, чтобы расстояние между зажимами было равно  $130 \pm 2$  мм. Продольная ось образца должна совпадать с направлением растягивающего усилия.

Схема установки для испытания предела прочности клеевого соединения при сдвиге в условиях одностороннего нагрева приведена на рисунке 4.2.

В качестве типовых температур при испытании образцов клеевых соединений рекомендуется температура 20 °С, а также повы-

шенные температуры, кратные 20, 50, и 100 °С (по указанию преподавателя). До начала испытаний образцы рекомендуется выдерживать при испытываемой температуре.

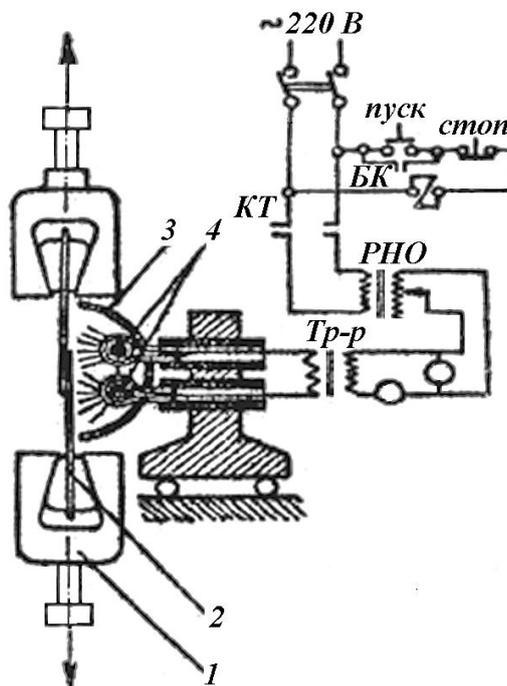


Рисунок 4.2 – Схема установки для испытаний клеевых соединений с односторонним подогревом: 1 – зажим; 2 – испытуемый образец; 3 – экран; 4 – излучатели.

4.4.10 Испытания проводить в условиях баланса теплового режима при заданной температуре.

4.4.10.1 Произвести нагружение образца при минимально возможной скорости наращивания усилия до разрушения клеевого соединения. Наибольшую нагрузку зафиксировать в протоколе испытаний.

4.4.10.2 Предел прочности клеевого соединения при сдвиге определить по формуле  $\sigma = P / F$ , где  $P$  – разрушающая нагрузка, даН;  $F$  – площадь склеивания, см<sup>2</sup>.

Площадь склеивания образца подсчитать с точностью до 0,01 см<sup>2</sup> по формуле  $F = a * b$ , где  $a$  – длина нахлестки, см;  $b$  – ширина нахлестки, см. Вычисления предела прочности ограничить получением третьей значащей цифры.

4.4.11 Произвести осмотр образцов после испытаний для выявления качества склейки и характера разрушения:

- по плоскости склеивания (в процентах от общей площади склеивания);

- по клею (в процентах от номинальной площади склеивания).

Отметить также другие особенности состояния образцов.

4.4.12 Сфотографировать поверхности разрушения клеевых соединений.

4.4.13 Построить график зависимости предела прочности на сдвиг клеевого соединения в зависимости от температуры нагрева при нагружении в машине РТ-250М.

#### 4.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов испытаний образцов;
- фотоснимки поверхности разрушения клеевых соединений;
- график зависимости предела прочности на сдвиг клеевого соединения в зависимости от температуры нагрева при испытании на сдвиг;
- выводы по работе.

#### 4.6 Контрольные вопросы

4.6.1 Достоинства и недостатки клеевых соединений при замене сварки, пайки и заклепочных соединений?

4.6.2 Какие основные компоненты входят в состав клеев? 8.2  
Что является основой клея?

4.6.3 Достоинства и недостатки синтетических клеев?

4.6.4 Каким требованиям должен отвечать клей для выполнения качественного соединения?

4.6.5 От чего зависит прочность клеевого соединения?

4.6.6 Какие способы используются для подготовки поверхностей металлов перед склейкой?

4.6.7 Какие характеристики лежат в основе выбора клеев?

4.6.8 Технология подготовки металлов перед склеиванием.

## **Лабораторная работа № 5. Оценка технологических и эксплуатационных свойств клеевой композиции**

### 5.1 Общие положения

Знание свойств клеевой композиции необходимо при разработке рецептуры и рекомендаций по выбору марки клея, оценке его технологических возможностей, получении данных для расчетов швов, отработке технологии склеивания, экспериментальной проверке эксплуатационных характеристик клеевого соединения.

Ориентироваться только на справочные данные и заводскую документацию, поступающую вместе с клеями, можно далеко не всегда. Это связано с множеством различных факторов:

- недостаточной информативностью справочных данных и заводской документации;
- многовариантностью сочетаний склеиваемых материалов;
- разнообразием условий работы изделий;
- разнообразием способов подготовки заготовок и режимов отверждения клеевой композиции;
- возможными отклонениями от нормативов при производстве клея и его компонентов;
- существенной зависимостью качества соединения от субъективных факторов, а также значительных и чаще всего трудно учитываемых изменений в клее, происходящих во время его хранения и транспортирования.

В связи с последним обстоятельством особое значение имеет входной контроль для оценки соответствия поступающего клея и его компонентов паспортным данным (сертификату).

Все характеристики клеевых композиций можно разделить на технологические и эксплуатационные.

К технологическим характеристикам относятся вязкость, сухой остаток, содержание летучих веществ, жизнеспособность, однородность, адгезия к склеиваемым материалам и некоторые другие.

К эксплуатационным характеристикам относятся прочность в различных условиях нагружения, тепло-, морозо-, водо-, атмосферостойкость, стойкость к воздействию различных химических веществ, масел, топлив, к изменениям температурно-влажностных условий и т. д.

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

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

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

трируемые при перемешивании испытуемого состава стеклянной палочкой.

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

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

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

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

Наиболее часто при склеивании конструкционных материалов используются методы определения прочности соединения при работе швов на срез, отрыв и раздир (отслаивание, расслаивание). ГОСТы регламентируют форму, размеры, количество, подготовку образцов, условия испытания, проведение замеров и оценку результатов. Выбор схемы испытаний зависит от типа материала и характера конструкции. Кроме указанных способов существуют и другие варианты

оценки адгезионной прочности. При этом во всех случаях стремятся обеспечить равномерную работу шва (рисунок 5.1).

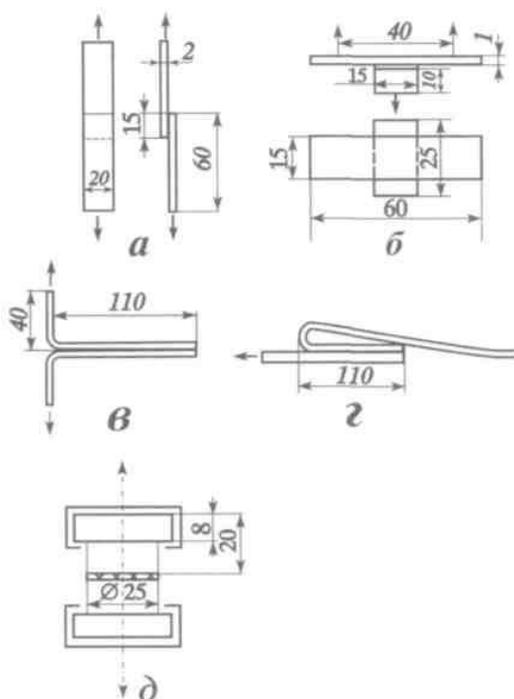


Рисунок 5.1 – Образцы для испытания клеевого соединения:

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

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

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

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

Оценка водо-, атмосферо-, маслостойкости и стойкости клея к различным химическим веществам производится по сопоставлению результатов испытаний клеевых соединений сразу после изготовления и образцов, выдержанных в соответствующих условиях и средах.

## 5.2 Цель работы

Ознакомиться с особенностью оценки технологических и эксплуатационных свойств клеевых композиций. Получить практические навыки сравнительных испытаний клеевых соединений для оценки адгезионной способности клеев различного состава при испытании на растяжение-срез и на расслаивание.

## 5.3 Оборудование, инструменты и материалы

5.3.1 Склеиваемые заготовки в виде пластин из низкоуглеродистой стали размером 100×15×0,8 мм.

5.3.2 Клеи различного состава (2÷3 варианта, по указанию преподавателя).

5.3.3 Муфельная печь ПМ-8.

5.3.4 Машина разрывная РТ-250М.

5.3.5 Электрический фен TRIAC S компании Leister.

5.3.6 Милливольтметр типа Ш69003 с термоэлектрическим термометром градуировочной характеристики ХК или ХА.

5.3.7 Инструменты – шпатель, струбцины, штангенциркуль, микрометр, набор маркеров, молоток, наждачная шкурка (номер 10÷25), металлическая щетка.

5.3.8 Ацетон.

5.3.9 Бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

5.3.10 Цифровой фотоаппарат.

## 5.4 Порядок выполнения работы

5.4.1 Ознакомиться с теоретическими положениями по лабораторной работе. Ответить на контрольные вопросы (п. 5.6).

5.4.2 Подготовить технологические образцы к склеиванию.

5.4.2.1 Кромки образцов должны быть ровными, без заусенцев. Промаркировать образцы.

5.4.2.2 Поверхности образцов, подлежащие склеиванию, тщательно промыть ацетоном от масляных и других загрязнений, просушить на воздухе 20÷30 мин (или обдуть феном), затем зачистить поверхности, подлежащие склеиванию, наждачной шкуркой № 25, 16 или 10 (допускается зачищать заготовки металлической щеткой).

5.4.2.3 После зачистки заготовки промыть еще 2 раза ацетоном и высушить.

5.4.3 Приготовить необходимые клеевые композиции.

5.4.4 Нанести клей ровным слоем шпателем (в одну сторону) на обе стороны склеиваемых заготовок.

5.4.5 После нанесения клея дать открытую выдержку при 80 °С в течение 1 часа. Сложить заготовки клеевыми участками, согласно рисункам 5.2,*а* и 5.2,*б* и поместить их в струбцины, не допуская перекоса образцов.

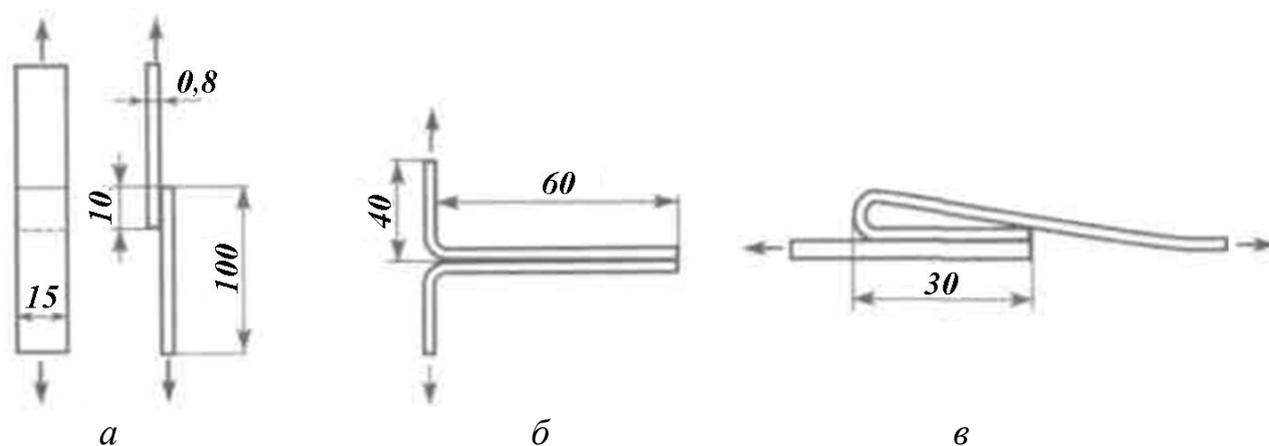


Рисунок 5.2 – Образцы для испытания клеевого соединения:

*а* – на растяжение-срез; *б* – на расслаивание; *в* – на отслаивание (отдир)

5.4.6 Струбцины с образцами поместить в муфельную печь, нагретую до требуемой температуры, и выдержать в течение одного часа.

5.4.7 По истечении времени выдержки образцы охладить до комнатной температуры и распрессовать.

5.4.8 До испытаний образцов измерить с точностью до 0,01 мм толщину и с точностью до 0,1 мм ширину нахлестки (рисунок 5.2). Результаты измерений занести в протокол испытаний (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Схема испытания	Состав клея	Прочность соединения $P$ , даН	Характер разрушения	
				по плоскости склеивания	по клею

5.4.9 Подготовленные к испытанию образцы установить в зажимы испытательной машины таким образом, чтобы продольная ось образца должна совпадать с направлением растягивающего усилия.

Схемы приложения усилия к образцам при испытании приведены на рисунке 5.2.

5.4.10 Произвести нагружение каждого образца при минимально возможной скорости нарастания усилия до разрушения клеевого соединения. Наибольшую нагрузку зафиксировать в протоколе испытаний.

5.4.11 Произвести осмотр образцов после испытаний для выявления качества склейки и характера разрушения:

- по плоскости склеивания (в процентах от общей площади склеивания);

- по клею (в процентах от номинальной площади склеивания).  
Отметить также другие особенности состояния образцов.

5.4.12 Сфотографировать поверхности разрушения клеевых соединений.

5.4.13 Построить графики зависимости прочности клеевых соединений при испытании по различным схемам нагружения в машине РТ-250М.

## 5.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов испытаний образцов;
- фотоснимки поверхности разрушения клеевых соединений;
- графики зависимости прочности клеевых соединений при испытании по различным схемам нагружения;
- выводы по работе.

## 5.6 Контрольные вопросы

5.6.1 Для чего необходимо знание свойств клеевой композиции?

5.6.2 Почему о свойствах клеевой композиции не всегда можно ориентироваться только на справочные данные и заводскую документацию?

5.6.3 Что дает входной контроль поступающего клея и его компонентов?

5.6.4 Как можно разделить все характеристики клеевых композиций?

5.6.5 Что относится к технологическим характеристикам клеевых композиций?

5.6.6 Что относится к эксплуатационным характеристикам клеевых композиций?

5.6.7 Как определяется вязкость клея?

5.6.8 Каков смысл понятия «жизнеспособность» клея?

5.6.9 Для чего проводится оценка качества клея по виду и цвету?

5.6.10 О каких свойствах клея можно судить по результатам механических испытаний?

5.6.11 Какие методы испытания клеевых соединений используются наиболее часто?

## Лабораторная работа № 6. Особенности клеесварных соединений

### 6.1 Общие положения

*Клеесварные соединения* получают совмещением процессов контактной сварки и склеивания металлов.

*Преимущества* клеесварных соединений:

- клеящее вещество предотвращает вспучивание листов между точками;
- устраняется концентрация напряжений на краю точек;
- повышается динамическая прочность, жесткость, демпфирующая способность конструкции при динамических нагрузках, прочность при ударе и местная устойчивость;
- достигается герметичность и коррозионная стойкость внутренней полости нахлестки;
- соединения можно выполнять на серийном оборудовании для точечной сварки.

Однако клеевые соединения, имея высокие прочностные характеристики при работе на чистый срез и отрыв, плохо выдерживают совместное действие изгибающих и отрывающих нагрузок (т.е. плохо работают в условиях неравномерного отрыва). Кроме того, возможно изменение прочностных показателей с течением времени (старение).

Существуют два *основных технологических варианта* изготовления клеесварных соединений:

- 1) точечная сварка по предварительно нанесенному на соединяемые поверхности деталей слою клея;
- 2) точечная сварка с последующим введением клея капиллярным методом в зазор между сваренными элементами.

Технологический процесс изготовления клеесварных конструкций по *первому варианту* включает следующие операции:

- приготовление клея;
- подготовка поверхности деталей;
- нанесение клея;
- открытая выдержка клея (если клеевая композиция со-

держит растворитель);

- сборка элементов конструкции под сварку;
- точечная сварка по слою клея;
- полимеризация клея.

Данный способ предъявляет достаточно высокие требования к физико-химическим свойствам клея. В этом случае возможно применение как жидкого, так и пленочного клея. Применяемый жидкий клей должен:

- хорошо выжиматься из зоны сварки под действием давления электродов сварочной машины;
- не препятствовать процессу сварки;
- образовывать сплошную непористую клеевую пленку;
- обладать достаточной жизнеспособностью (позволять проводить сварку в течение заданного времени после нанесения);
- выделять при нагревании в зоне сварки минимальное количество летучих веществ, не загрязнять неметаллическими включениями литое ядро;
- быть нечувствительным к изменению давления при склеивании.

Эластичные клеи лучше упрочняют клеесварные соединения, чем хрупкие.

Продолжительность сварки зависит от исходной вязкости клея. Вязкость жидких клеев возрастает при повышении содержания наполнителей, что ведет к снижению способности клея выжиматься с контактной площадки. Оставшийся клей в процессе сварки сгорает с выделением газообразных веществ и образованием вследствие этого пор и свищей в клеевой прослойке. Последнее приводит к снижению прочности и нарушению герметичности клеесварного соединения. Увеличение количества наполнителя способствует снижению усадочных напряжений в клеевом слое и снижению стоимости клеевой композиции. Повышенная жидкотекучесть клея вызывает его вытекание из зазора и образование непроклеев. Для предотвращения непроклеев суммарная толщина слоя клея на обеих поверхностях должна быть не менее ширины зазора между деталями после сварки. При сварке материалов толщиной до  $1 \div 1,2$  мм клей можно наносить только на

одну из соединяемых поверхностей.

Для обеспечения полного удаления клея с контактной площадки и стабилизации свойств соединения рекомендуется применять режим сварки с предварительным обжатием (рисунок 6.1). Эффективно плавное нарастание усилия.

Режим сварки по слою клея требует уменьшения сварочного тока на 10÷20 % и повышения усилия сжатия электродов на 15÷25 %. Стабильность процесса выше на мягких режимах.

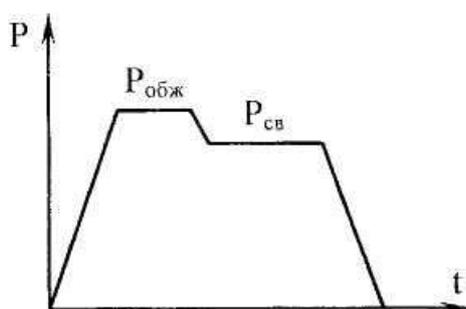


Рисунок 6.1 – Циклограмма сварочного усилия с предварительным обжатием

Качество сварки по слою жидкого клея существенно зависит от длительности импульса сварочного тока. С увеличением жесткости импульса (уменьшением длительности) процесс сварки в ряде случаев затрудняется. При жестком импульсе сварочного тока и быстром его нарастании контакт между деталями не успевает стабилизироваться, клей не выдавливается полностью, что приводит к перегреву металла, образованию внутренних выплесков, загрязнению литого ядра остатками клея.

При сварке по пленочному клею, в клеевой пленке предварительно просекают отверстия и совмещают их с местами постановки точек (например, с помощью шаблонов).

- Способ сварки по слою клея имеет определенные *недостатки*: наличие клеевого слоя на сопрягаемых поверхностях деталей (особенно при сварке на пределе жизнеспособности клея) нередко затрудняет формирование ядра сварной точки, часто приводит к образованию в нем внутренних дефектов, затрудняет сборку

и фиксацию элементов конструкции под сварку;

- излишки клея, выдавливаемые из зазора, загрязняют поверхность деталей и электродов, вызывая перегрев зоны сварки, прожоги и необходимость дополнительной очистки электродов.

Этот метод следует применять в тех случаях, когда введение клея после сварки невозможно (например, из-за плохой проникающей способности и малой жизнеспособности клея) или нерационально (в связи с конструктивными особенностями свариваемого узла).

Процесс изготовления клеесварных конструкций по *второму* технологическому варианту рекомендуется осуществлять в следующей последовательности:

- подготовка соединяемых поверхностей под сварку и склеивание;
- сборка элементов конструкции под сварку;
- сварка конструкции;
- приготовление клея;
- введение клея капиллярным методом в зазор;
- полимеризация клея.

В случае введения клея в полость соединения после сварки проникновение его в зазор нахлестки обуславливается силами капиллярного давления. Известно, что при условии смачивания поверхности твердого тела жидкостью, последняя обладает свойствами проникновения в узкие, капиллярные зазоры. В связи с тем, что растворы синтетических смол в органических растворителях (клеи) являются смачивающей жидкостью по отношению к обезжиренной поверхности металла, появляется возможность использовать силы капиллярного давления для введения клея в зазоры сварных соединений, выполненных внахлестку. Силы капиллярного давления действуют тем сильнее, чем больше коэффициент поверхностного натяжения клея и меньше зазор между свариваемыми листами. В зазоры  $0,05 \div 0,2$  мм клей проникает на глубину до 50 мм. Заполнение зазоров улучшается при увеличении шероховатости поверхности деталей или наклоне узла на  $30 \div 40^\circ$ .

Для выполнения клеесварных соединений по второму технологическому варианту пригодны клеи, обладающие способностью за-

полнять зазоры, с хорошими проникающими свойствами (имеющие хорошую жидкотекучесть и достаточную жизнеспособность), способные образовывать при отверждении сплошной плотный (непористый) клеевой слой. Клеевые композиции с растворителями обладают лучшими проникающими свойствами и способностью заполнять зазоры, но они имеют значительную усадку в процессе отверждения и пониженную водостойкость.

На степень проникновения клея в зазор соединения и надежность заполнения им полости нахлестки сильно влияет характер обезжиривания сопрягаемых поверхностей; наличие на них жирового слоя приводит к несмачиваемости поверхности клеем.

Клей наносят по кромке нахлестки специальным шприцем вручную или механизированным устройством. Для соединений выполненных точечной сваркой – с одной стороны, для прочноплотных швов – с двух сторон.

Способ введения клея после сварки конструкции более технологичен, соединения отличаются более высокой прочностью. Применяется также внутришовное (капиллярный способ) нанесение клея с поверхностной герметизацией.

## 6.2 Цель работы

Изучение технологии выполнения клеесварных соединений. Исследование влияния жесткости режима сварки на прочность клеесварных соединений.

## 6.3 Оборудование, инструменты и материалы

6.3.1 Заготовки в виде пластин из низкоуглеродистой стали размером 100×15×0,8 мм.

6.3.2 Клеи различного состава (2÷3 варианта, по указанию преподавателя).

6.3.3 Аппарат для контактной сварки Telwin Digital Modular 230.

6.3.4 Машина разрывная РТ-250М.

6.3.5 Инструменты – штангенциркуль, набор маркеров, молоток,

кисть, наждачная шкурка (номер 10÷25), металлическая щетка.

6.3.6 Ацетон.

6.3.7 Бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

6.3.8 Цифровой фотоаппарат.

#### 6.4 Методика выполнения работы

6.4.1 Ознакомиться с теоретическими положениями по лабораторной работе. Ответить на контрольные вопросы (п. 6.6).

6.4.2 Подготовить технологические образцы к склеиванию.

6.4.2.1 Кромки образцов должны быть ровными, без заусенцев.

6.4.2.2 Промаркировать образцы.

6.4.2.3 Поверхности образцов, подлежащие склеиванию, тщательно промыть ацетоном от масляных и других загрязнений, просушить на воздухе 20÷30 мин, затем зачистить поверхности, подлежащие склеиванию, наждачной шкуркой № 25, 16 или 10 (допускается зачищать заготовки металлической щеткой).

6.4.2.4 После зачистки заготовки промыть еще раз ацетоном и высушить.

6.4.3 Подготовить сварочную машину. Подобрать параметры режима сварки обычных образцов (без клея) на мягком и жестком режимах.

6.4.4 Нанести клей ровным слоем кистью (в одну сторону) на свариваемые поверхности заготовок.

6.4.5 После нанесения клея сложить заготовки клеевыми участками, согласно рисунку 6.2, не допуская их перекоса.

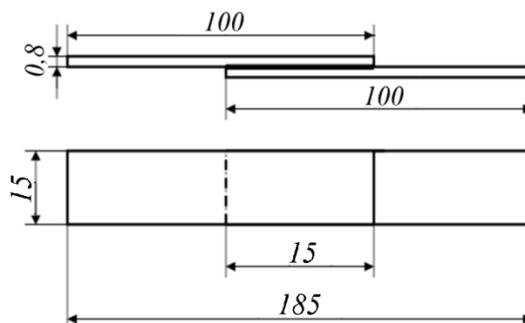


Рисунок 6.2 – Образцы для клеесварного соединения

6.4.6 Выполнить клеесварные соединения на каждом из технологических режимов.

6.4.7 Испытать обычные и клеесварные соединения на прочность, результаты занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Параметры режима			Состав клея	Прочность соединения $P$ , даН	Характер разрушения	
	ток, кА	время, с	усилие, даН			по плоскости склеивания	по клею

6.4.8 Произвести осмотр образцов после испытаний для выявления качества склейки и характера разрушения:

- по плоскости склеивания (в процентах от общей площади склеивания);

- по клею (в процентах от номинальной площади склеивания).

Отметить также другие особенности состояния образцов.

6.4.9 Сфотографировать поверхности разрушения клеевых соединений.

6.4.10 Построить графики зависимости прочности обычных и клеесварных соединений от изменения параметров режима сварки.

## 6.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов испытаний образцов;
- фотоснимки поверхности разрушения клеевых соединений;
- графики зависимости обычных и клеесварных соединений от изменения параметров режима сварки;
- выводы по работе.

## 6.6 Контрольные вопросы

6.6.1 Что такое клеесварные соединения?

6.6.2 В чем преимущества клеесварных соединений?

6.6.3 Причины, характер и последствия коррозии сварных соединений, выполненных контактной сваркой.

6.6.4 Назовите основные технологические варианты получения соединений, их преимущества и недостатки.

6.6.5 Каковы требования, предъявляемые к клеям?

6.6.6 Перечислите способы нанесения клея.

6.6.7 Как наличие клеевой прослойки влияет на режим точечной сварки?

### **Техника безопасности при выполнении лабораторных работ**

1) Все работы с клеем производить в хлопчатобумажных халатах и резиновых перчатках.

2) Зачистку и промывку заготовок производить в вытяжном шкафу.

3) При попадании клея на кожу, снять его тампоном из ваты, смоченном ацетоном с последующей промывкой теплой водой с мылом.

4) Мытье посуды, шпателей производить ацетоном в вытяжном шкафу.

5) К выполнению лабораторной работы с клеями допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и промсанитарии при работе с эпоксидными смолами и материалами на их основе.

## Список использованной литературы

1. Справочник сварка полимеров и склеивание материалов. – М.: Центр промышленного маркетинга, 2004. – 403 с.
2. Сварка, пайка, склейка и резка металлов и пластмасс. 3-е изд.: Справ. изд. / Под ред. Ноймана А., Рихтера Е.: Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
3. Ковачич Л. Склеивание металлов и пластмасс. / Пер. со словац. Под ред. А.С. Фрейдина – М.: Химия, 1985. – 240 с.
4. Кузнецов, В.Г. Технология неразъемных соединений [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Г. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». - Казань: Издательство КНИТУ, 2012. - 144 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258423>

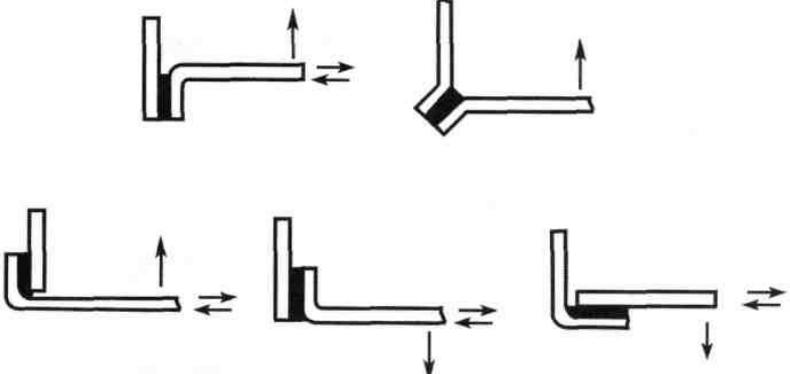
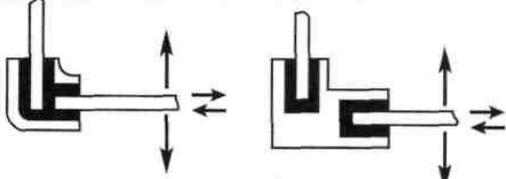
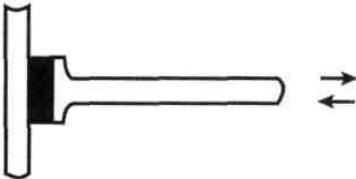
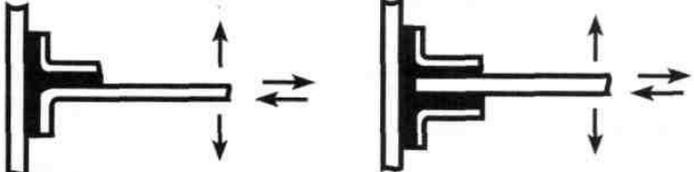
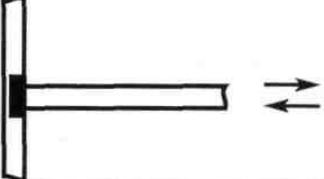
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Оценка адгезионной способности полимерных связующих к различным материалам

Субстрат	Адгезив												
	Фенолформальдегидные смолы	Карбамидные смолы	Эпоксидные смолы	Полиэфирные ненасыщенные	Кремнийорганические смолы	Полиуретаны	Полиамиды	Полиолефины	Фторсодержащие полимеры	Поливинилхлорид	Поливинилбутираль	Полиметилметакрилат	Полистирол
Фенопласты	х	х	от	х	х	от	х	0	0	н	н	0	н
Аминопласты	у	х	от	х	х	от	х	0	0	н	н	0	н
Полиэфирные	н	н	н	н	0	н	н	0	0	н	н	0	н
Кремний-органические	0	0	н	н	х	н	н	0	0	0	0	0	0
Полиуретаны	от	х	х	н	0	от	х	0	0	0	н	н	н
Полиамиды	н	н	у	н	0	у	х	0	0	0	н	0	н
Полиолефины	0	0	0	0	0	0	0	от	0	0	0	0	0
Поливинилхлорид	н	н	н	н	0	н	н	0	0	от	н	н	н
Полиметилметакрилат	н	н	х	х	н	у	у	0	0	х	у	от	у
Полистирол	н	н	н	н	н	н	н	0	0	н	н	у	от
Фторопласты	0	0	0	0	0	0	0	0	от	0	0	0	0
Металлы	от	х	от	х	х	от	х	н	0	у	у	н	н
Стекло	от	х	от	от	х	от	х	0	0	н	х	н	н
Керамика	от	у	от	х	х	от	х	0	0	н	х	н	н
Дерево	от	от	от	от	н	х	х	н	0	н	у	у	у
Бумага	от	от	от	от	н	х	х	н	0	н	у	у	у
Кожа	х	н	от	н	н	от	х	0	0	н	н	н	н
Ткани	от	н	от	х	н	х	х	н	0	н	у	н	у

0 - отсутствие адгезии, н - низкая адгезия, у - удовлетворительная, х - хорошая, от – отличная адгезия

Таблица А.2 – Рекомендуемые формы различных типов клеевых соединений в зависимости от направления нагрузки

Тип соединений	Рекомендуемые формы
Угловые встык	
Угловые с загибом кромки	
Угловые в паз	
Тавровые встык	
Тавровые с уголком	
Тавровые в паз	
Стыковые с нахлестом	

## Продолжение таблицы А.2

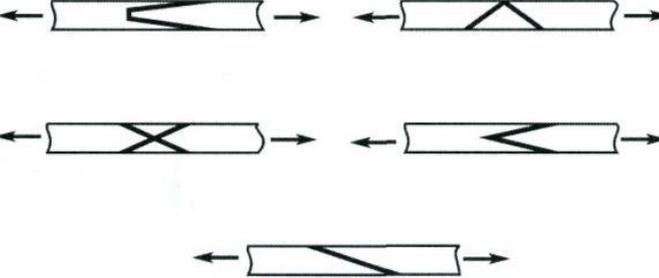
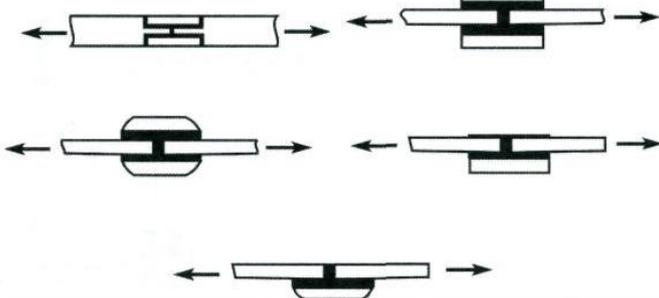
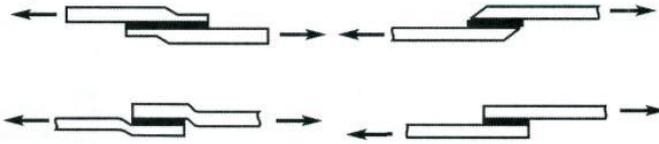
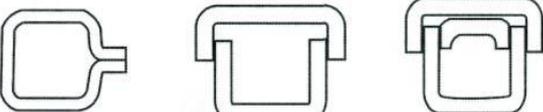
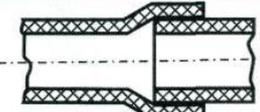
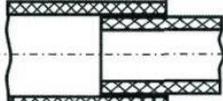
Тип соединений	Рекомендуемые формы
Стыковые в паз	
Стыковые «на ус»	
Стыковые с одной и двумя накладками	
Стыковые внахлестку	
Соединение полых профилей	
Соединение труб с формованным гладким раструбом	
Соединение труб с двухраструбной муфтой	
Соединение труб с гладкой подвижной муфтой	
Соединение труб разного диаметра	

Таблица А.3 – Некоторые типы клеев и их основные характеристики

Тип клея	Особенности технологического процесса	Основные свойства и область применения
Эпоксидный (на базе эпоксидных смол ЭД-6, ЭД-16, ЭД-20 и др.)	Срок отвердевания 24 ч при температуре 20—30 °С для клея холодного отвердевания и соответственно 2—3 ч при 120—160 °С (металлы) или 70—120°С (неметаллы) для клея горячего отвердевания	Стойкость к агрессивным средам, маслу, бензину, теплостойкость при температуре от 70 до 180°С (для различных составов), предел прочности на сдвиг 15—30 МПа. Применяется для склеивания однородных и разнородных материалов, крепления накладных направляющих, компенсаторов износа, втулок и других деталей, заделки раковин, трещин, задиров, восстановления резьбы и др.
Типа БФ	Первый слой клея сушат в течение 0,5—1 ч на воздухе, а затем наносят второй слой, подсушивают его, соединяют детали и сушат под давлением в течение 1—1,5 ч при температуре 150—160 °С	Стойкость к агрессивным средам, теплостойкость до температуры не выше 120 °С, предел прочности на сдвиг 40—60 МПа. Клеи БФ-2 и БФ-4 применяют для склеивания металлов, а также металлов с пластмассами, стеклом, керамикой. Клей БФ-2 применяют для сборки неподвижных соединений при наличии зазора не более 0,1—0,15 мм. Клей БФ-6 более эластичен и применяется для приклеивания текстильных материалов, ремней к металлам
Карбинольный	При склеивании соединение выдерживают под давлением при комнатной температуре не менее 48 ч. При внесении в клей наполнителя (цемент марок 400, 500) получается карбинольный клей-цемент	Стойкость к маслам, бензину, воде, теплостойкость до температуры не выше 60 °С, предел прочности на сдвиг (для соединения сталь—сталь) 22 МПа. Применяется для склеивания в различных сочетаниях стали, чугуна, алюминия, стекла, текстолита и др., а в виде клея-цемента — для заделки раковин и трещин
ВС-10Т	Первый слой клея просушивают в течение 15 мин при температуре 20 °С или 5 мин при 60—65 °С. После нанесения второго слоя и его просушки детали соединяют и сушат под давлением в течение 1 ч при температуре 180 °С	Диапазон рабочих температур от —60 до +100 °С. Применяется для склеивания неметаллов, пластмасс, текстолита и других материалов в любом сочетании, а главным образом — для наклеивания фрикционных накладок к муфтам и тормозам

Таблица А.4 – Характеристика клеев, используемых в ремонте

Марка клея	Склеиваемые материалы	Свойства клеевого соединения			Режимы склеивания		Влагостойкость
		Макс. рабочая температура, °С	Прочность при 20°С, кгс/см <sup>2</sup>		Температура, °С	Время выдержки, ч	
			при сдвиге	при отрыве			
Эпоксид П и ПР	металлы между собой, с пластмассами и др. материалами	100	120-340	450-500	20	24	хорошая
ВС-10Т	металлы и неметаллические материалы	300	130-185	600	180	1	то же
БФ-6	то же	50	высокая	высокая	140-160	0,5-1,0	—
88Н	то же	60	-	11-13	20	24-28	удовл.
Карбинол	то же, кроме эластичных	60	120	240-320	15-30	24-30	удовл.
Цикарин	металлы, стекло, пластмассы и резина	100	150-200	150-200	240-275	10-20 с	то же
ВК-2	сталь, стеклопластики и керамика	1000	75-100	220	240-275	3	то же