ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие . . . 3
Глава 1. **Способы сварки пластмасс** . . . 6
Свариваемость пластмасс . . . 6
Классификация способов сварки . . . 7
Факторы, влияющие на выбор способов сварки . . . 11
Глава 2. **Сварка нагретым газом** . . . 13
Характеристика и области применения . . . 13
Сварка с применением присадочного материала . . . 13
Сварка без присадочного материала . . . 16
Сварочное оборудование . . . 18
Глава 3. **Сварка нагретым инструментом** . . . 22
Характеристика и области применения . . . 22
Сварка нагретым инструментом стыковая . . . 23
Сварка нагретым инструментом раструбная . . . 35
Сварка нагретым клином . . . 37
Сварка с одновременным формованием изделий . . . 38
Сварка прессовая . . . 39
Сварка термоимпульсная . . . 45
Сварка ленточная . . . 46
Сварка роликовая . . . 53
Сварка остающимся в шве нагретым элементом . . . 54
Глава 4. **Сварка расплавом** . . . 56
Характеристика и области применения . . . 56
Сварка экструдируемой присадкой . . . 57
Сварка расплавленным прутком . . . 65
Глава 5. **Сварка трением** . . . 68
Характеристика и области применения . . . 68
Сварка трением вращения . . . 69
Сварка вибротрением . . . 72
Глава 6. **Ультразвуковая сварка** . . . 72
Характеристика и области применения . . . 72
Технология сварки . . . 74
Сварочное оборудование . . . 80
Глава 7. **Высокочастотная сварка** . . . 86
Характеристика и области применения . . . 86
Технология сварки . . . 87
Сварочное оборудование . . . 92
Глава 8. **Сварка излучением** . . . 95
Характеристика и области применения . . . 95
Сварка инфракрасным излучением . . . 96
Сварка световым излучением . . . 102
Сварка лазерным излучением . . . 103
Глава 9. **Сварка растворителями** . . . 104
Характеристика и области применения . . . 104
Выбор растворителей . . . 105
Технология сварки . . . 106
Глава 10. **Химическая сварка** . . . 107
Характеристика и области применения . . . 107
Технология сварки реактопластов . . . 108
Технология сварки термопластов . . . 109
Глава 11. **Сварка разнотипных полимеров** . . . 109
Характеристика и области применения . . . 109
Технология сварки совместимых и частично совместимых полимеров . . . 110
Глава 12. **Склеивание** . . . 114
Характеристика и области применения . . . 114
Конструирование клеевых соединений . . . 116
Выбор клея . . . 121
Подготовка поверхностей под склеивание . . . 139
Приготовление и способы нанесения клея . . . 149
Формирование клеевого соединения . . . 151
Глава 13. **Приформовка** . . . 154
Характеристика и области применения . . . 154
Конструирование соединений . . . 154
Технология приформовки . . . 155
Глава 14. **Контроль качества сварных и клеевых соединений** 157
Дефекты сварных и клеевых соединений . . . 157
Разрушающие методы контроля . . . 159
Неразрушающие методы контроля . . . 160
Обеспечение качества соединений в условиях производства . . . 167
Глава 15. **Расчет прочности, технико-экономические и эксплуатационные характеристики сварных соединений** . . . 168
Расчет прочности сварных стыковых швов . . . 168
Расчет прочности сварных угловых швов . . . 169
Технико-экономические и эксплуатационные характеристики сварных соединений . . . 171
Глава 16. **Техника безопасности** . . . 172
Общие требования . . . 172
Работа с растворителями . . . 176
Сварочные работы . . . 176
Склеивание . . . 178
Приложения . . . 180
Список литературы . . . 187
Предметный указатель . . . 189

Анатолий Николаевич Шестопал,
Юрий Степанович Васильев,
Эдуард Алексеевич Минеев, канд. техн. наук,
Олег Васильевич Тарасенко, канд. физ.-мат. наук,
Валентин Павлович Тарногродский, канд. техн. наук

СПРАВОЧНИК ПО СВАРКЕ И СКЛЕИВАНИЮ ПЛАСТМАС

Редактор *Т. А. Кузьмук, Е. Н. Деркач*
Оформление художника *Л. А. Дикарева*
Художественный редактор *И. В. Рублева*
Технический редактор *Н. А. Бондарчук*
Корректор *Л. А. Сергеева*

Сдано в набор 20.09.85. Подписано в печать 23. 01.86. БФ 07117. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типогр. № 2. Гарн. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт. 10,29. Уч.-изд. л. 15,37. Тираж 13000 экз. Зак. 5-393. Цена 95 к.

Издательство «Техніка», 252601, Киев. 1, Крещатик, 5.

Отпечатано с матриц Харьковской книжной фабрики им. М. В. Фрунзе на Харьковской книжной фабрике «Коммунист». 310012, Харьков-12, Энгельса, 11.

35.710я2
С74
УДК 678.5(031)

Справочник по сварке и склеиванию пластмасс/
С74 А. Н. Шестопал, Ю. С. Васильев, Э. А. Минеев и др.; Под общ. ред. А. Н. Шестопала.— К.: Техніка, 1986.— 192 с., ил. — Библиогр.: с. 187—188.
В пер.: 95 к. 13000 экз.

Приведены характеристики и области применения существующих способов сварки и склеивания пластмасс, описана свариваемость пластмасс и способность их к склеиванию в зависимости от различных факторов. Рассмотрены технология и оборудование для сварки и склеивания труб, листов, пленок и других изделий из пластмасс, даны рекомендации по выбору технологических параметров сварки и склеивания, оптимальной конструкции сварных и клеевых соединений, а также рассмотрены сварка разнотипных полимеров и приформовка. Описаны методы контроля качества сварных и клеевых соединений, дефекты сварки и склеивания, а также способы их предупреждения и устранения. Указаны требования техники безопасности при сварке и склеивании пластмасс.

Предназначен для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами сварки и склеивания пластмасс, а также может быть полезен студентам вузов и техникумов соответствующих специальностей.

С $\frac{280209100-064}{М202(04)-86}$ 115.86 35.710я2

Авторы: *А. Н. Шестопал, Ю. С. Васильев, Э. А. Минеев, О. В. Тарасенко, В. П. Тарноградский*

Рецензенты канд. техн. наук *В. А. Шишкин, Г. Н. Лысюк*
Редакция литературы по машиностроению и транспорту
Зав. редакцией *П. Ф. Боброва*

© Издательство «Техніка», 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года поставлена задача увеличить применение в машиностроении прогрессивных конструкционных материалов — проката из низколегированной стали, гнутых, фасонных и точных профилей, металлических порошков и пластмасс.

Заключительным этапом при изготовлении изделий и конструкций из пластмасс является сборка. Доля затрат на ее выполнение может составлять от 30 до 70 % общей стоимости производства изделий и конструкций. В связи с этим развитие различных способов соединения пластмасс, среди которых наибольшее применение нашли сварка и склеивание, имеет большое народнохозяйственное значение.

Развитие сварки пластмасс в СССР началось в 60-е годы; в последние годы освоена сварка основных термопластов, применяющихся для изготовления изделий и конструкций различного назначения. Значительная работа проведена в области механизации и автоматизации процессов сварки, разработаны и применены новые способы сварки [10, 15]. Теоретической основой для научной разработки оборудования и технологии сварки пластмасс стали исследования механизма образования сварных соединений материалов на основе полимеров. Первые фундаментальные исследования механизма образования сварных соединений из термопластов были выполнены советскими специалистами под руководством проф. С. С. Воюцкого, а затем развиты в работах других исследователей [10, 29]. В настоящее время организованы десятки специализированных участков и цехов, где успешно применяются наиболее эффективные способы сварки, а сама сварка стала важным и самостоятельным технологическим процессом. В значительно меньших объемах, чем сварка, при изготовлении изделий и конструкций из пластмасс применяется склеивание. Эффективны клеевые соединения при строительстве трубопроводов из поливинилхлорида и конструкций из листовых стеклопластиков.

Для производства работ по сварке и склеиванию создано необходимое оборудование — ручные устройства и аппараты, автоматы и полуавтоматы, механизированные установки, передвижные и стационарные прессы и др. Значительный вклад в создание сварочного оборудования и подготовку его серийного промышленного производства сделал за последние годы Институт электросварки им. Е. О. Патона Академии наук УССР (ИЭС), в котором в 1979 г. создан отдел сварки и склеивания пластмасс.

В ближайшее время предполагается снижение доли неэкономичных и трудноавтоматизируемых способов сварки, например сварки нагретым газом, а также изыскание новых технологических схем и новых способов сварки. При этом должны быть увеличены объемы применения современных высокопроизводительных способов — стыковой сварки нагретым инструментом, сварки экструдируемой присадкой и ультразвуком [10, 35]. Производительность применяемых в настоящее время способов сварки пластмасс в значительной степени может быть повышена за счет механизации и автоматизации вспомогательных операций, а также за счет совершенствования сварочного оборудования. Совершенствование оборудования для стыковой сварки нагретым инструментом направлено на создание эффективного автоматического управления про-

цессами сварки и разработку профильных нагревательных инструментов, позволяющих увеличить площадь сварки и расширить интервал оптимальных температур сварки, что особенно важно для изделий из поливинилхлорида. Оборудование для сварки нагретым газом совершенствуется в направлении использования полуавтоматических автономных сварочных устройств со специальными насадками, применения присадочных прутков любых требуемых размеров с заданными характеристиками и гарантированного качества.

Эффективное применение сварки и склеивания пластмасс сдерживается отсутствием доступных широкому кругу инженерно-технических работников справочных данных по технологии сварки и склеивания, применяемому оборудованию, методикам определения режимов сварки и склеивания.

Цель издания настоящего справочника — восполнить этот пробел.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252601, Киев, 1, Крещатик, 5, издательство «Техніка».

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ПОЛИМЕРОВ

АВС — сополимер стиролоакрилонитрила с каучуком
АВЦ — ацебутират целлюлозы
АЦ — ацетат целлюлозы
НЦ — нитрат целлюлозы
ПА — полиамид
ПАР — полиакрилаты
ПВА — поливинилацетат
ПВБ — поливинилбутираль
ПВД — полиэтилен, полученный при высоком давлении
ПВДХ — поливинилиденхлорид
ПВС — поливиниловый спирт
ПВФ — поливинилиденфторид
ПВХ — поливинилхлорид
ПВХ-Ж — поливинилхлорид жесткий
ПВХ-П — поливинилхлорид пластифицированный
ПИ — полиимиды
ПК — поликарбонат
ПММА — полиметилметакрилат
ПНД — полиэтилен, полученный при низком давлении
ПОМ — полиоксиметилен
ПП — полипропилен
ПС — полистирол
ПТП — пентапласт
ПТФХЭ — политрифторхлорэтилен
ПУ — полиуретан
ПЭ — полиэтилен
ПЭВ — насыщенные полиэфиры
ПЭТФ — полиэтилентерефталат
САН — сополимер стирола с акрилонитрилом
СВФГФП — сополимер винилиденфторида с гексафторпропиленом
СВФТРФЭ — сополимер винилиденфторида с трифторэтиленом
СВФТФХЭ — сополимер винилиденфторида с трифторхлорэтиленом
СВФТФЭ — сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом
СММА — сополимер метилметакрилата с метилакрилатом
СЭП — сополимер этилена с пропиленом
УПС — полистирол ударопрочный
Ф — фторопласты
ЭЦ — этиленцеллюлоза

Глава 1
СПОСОБЫ СВАРКИ ПЛАСТМАСС

СВАРИВАЕМОСТЬ ПЛАСТМАСС

Свариваемость характеризует пригодность материала к образованию неразъемного соединения при рациональном технологическом процессе.

В зависимости от свойств полимерных материалов механизм образования неразъемного соединения может быть диффузионно-реологическим и химическим.

Диффузионно-реологический процесс взаимодействия свариваемых поверхностей наиболее эффективно реализуется в стадии вязкотекучего состояния материала, когда макромолекулы приобретают максимальную подвижность и имеют наименьшую плотность упаковки. В ряде случаев (в аморфных и частично кристаллических полимерных материалах) добиться разрыхленности структуры можно воздействием на полимер растворителей. Степень и скорость диффузии зависят от молекулярной массы полимеров и полярности звеньев макромолекул. С их уменьшением скорость диффузии возрастает [10, 15].

Молекулярно-массовое распределение, разветвленность молекулярных цепей, полярность молекулярных звеньев могут характеризоваться энергией активизации вязкого течения и в количественном отношении оценивать свариваемость полимеров. В той же мере оценка свариваемости может быть произведена по интервалу температур, в котором полимер может сохранять вязкотекучее состояние, и по характеристике вязкости расплава (табл. 1).

1. Критерии оценки свариваемости термопластов [10]

Свариваемость	Молярная внутренняя энергия, кДж/моль	Интервал температур вязкотекучего состояния, °С	Динамическая вязкость расплава, Па · с	Характерные термопласты
Хорошо свариваемые	150	50	10^2—10^5	ПЭ, ПП, Ф-4М, Ф-42, Ф-30, Ф-2, Ф-40
Ограниченно свариваемые	150—250	50	10^5—10^{11}	ПВХ, ПК, ПЭТФ
Несвариваемые	250—334	—	10^{11}—10^{12}	АЦ, ПВА, Ф-4

На прочность сварного шва влияет состояние поверхностей свариваемых материалов, в частности их загрязненность, степень окисления, особенно в условиях повышенной влажности, а также концентрация наполнителя. Очистка от загрязнений и обезжиривание являются необходимыми условиями качественной сварки.

Реологический механизм сварки способствует разрыву связей и удалению из зоны шва указанных ингредиентов.

Способность многих термопластичных материалов к упорядоченному расположению макромолекул (кристаллизации) обеспечивает при определенных температурных условиях восстановление структуры сварных швов, близкой к основному материалу.

Ускорение процесса охлаждения сварных швов, допускаемое для аморфных полимеров, у кристаллических вызывает разрыхление структуры шва. Сварные швы кристаллизирующихся полимеров должны остывать естественным путем. Рекристаллизованная структура материала сварного шва улучшает межмолекулярное взаимодействие по линии сварки, увеличивает плотность упаковки макромолекул сварного шва и улучшает его механические характеристики.

Таким образом, на факторы, определяющие оптимальное протекание диффузионно-реологического процесса сварки, можно воздействовать технологическими приемами, экономическая целесообразность которых определяет их практическое применение.

Химическая сварка основана на образовании химических связей между полимерными материалами. В отличие от склеивания при химической сварке не образуется самостоятельной непрерывной фазы.

Материалы, которые не поддаются диффузионной сварке (реактопласты, вулканизаты, редкосетчатые полимеры с лестничной структурой), можно соединить путем химического взаимодействия функциональных групп или с помощью присадочного материала, близкого по активности к каждому из свариваемых полимеров, при этом нагрев и сварочное давление создают необходимые условия для протекания процесса, а присадочные материалы способствуют активации реакционноспособных групп.

Качество химической сварки определяется длиной, концентрацией, подвижностью активных групп контактирующих материалов. Технологическими приемами можно добиться улучшения свариваемости трудносвариваемых полимеров. Так, предварительная обработка поверхности материала химическим агентом способствует увеличению пластичности поверхностных слоев, а с помощью предварительной механической обработки соединяемых поверхностей удаляется менее реакционноспособный слой материала.

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

Сварка пластмасс представляет собой технологический процесс получения неразъемного соединения элементов конструкции посредством диффузионно-реологического или химического взаимодействия макромолекул полимеров, в результате которого между соединяемыми поверхностями исчезает граница раздела и образуется структурный переход от одного полимера к другому [10, 15].

По механизму процесса сварку пластмасс можно разделить на диффузионную и химическую; по методам активирования процесса — на тепловую, сварку растворителями и сварку комбинированием нагрева и действия растворителей (рис. 1).

При сварке растворителями необходимая подвижность молекулярных цепей создается за счет набухания контактирующих поверхностей в растворителе или смеси растворителей. Подразделяется она на *сварку чистым растворителем* (или смесью растворителей), *лаковой композицией* (раствором полимера в растворителе) и *полимеризующейся композицией* (раствором полимера в мономере).

Тепловая сварка имеет наибольшее число разновидностей. Классифицировать ее можно по способам передачи тепловой энергии, степени механизации, по области применения и т. д. Однако наиболее точно отражает современное состояние технологии сварки пластмасс классификация разновидностей тепловой сварки в зависимости от

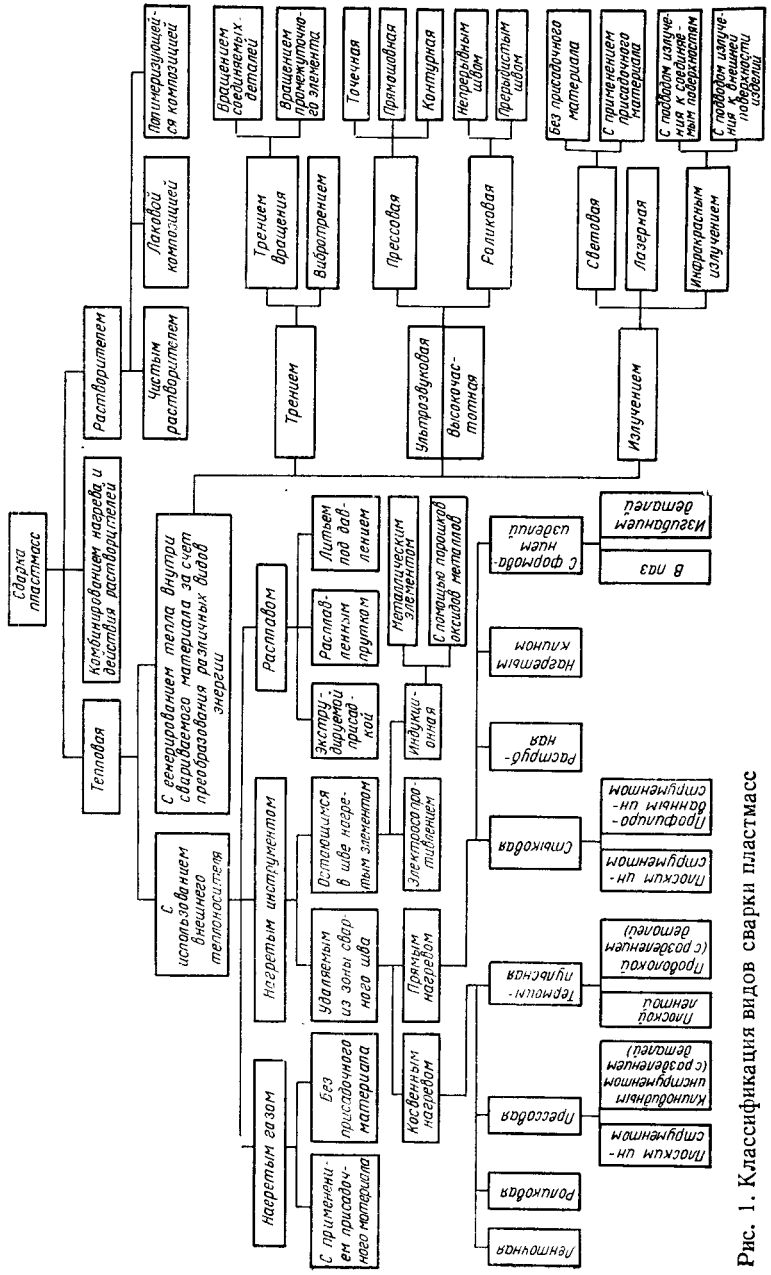


Рис. 1. Классификация видов сварки пластмасс

источника нагрева. При этом выделяют две группы сварки: с использованием внешнего теплоносителя и с генерированием тепла внутри свариваемого материала за счет преобразования различных видов энергии [15, 35].

Группа способов сварки пластмасс с использованием внешнего теплоносителя подразделяется на сварку нагретым газом, нагретым инструментом и расплавом.

Сварка нагретым газом производится путем одновременного разогрева свариваемых изделий струей горячего газа-теплоносителя, нагреваемого в специальном устройстве. Сварку нагретым газом выполняют с применением присадочного материала и без него, вручную или с использованием специальных приспособлений для механизации процесса сварки. Применяется присадочный материал в виде прутков с различной формой сечения. При сварке по классической схеме нагревательное устройство совершает колебательные движения в плоскости, образованной направлением шва и осью присадочного прутка. Сварочный пруток прижимают и удерживают рукой, если он достаточно жесткий, или с помощью ролика, если пруток мягкий. Применяя специальные насадки на нагревательное устройство, обеспечивают одновременный подогрев свариваемых кромок и прутка, при этом пруток втягивается в отверстие насадки при перемещении устройства вручную вдоль шва и прижимается к кромкам выступом на насадке. Сварка без присадочного материала может производиться с подводом тепла непосредственно к свариваемым поверхностям (прямой метод) или с подводом тепла к внешней поверхности деталей (косвенный метод).

Сварка нагретым инструментом основана на оплавлении поверхностей сварки путем их прямого соприкосновения с нагреваемым инструментом. Подразделяется на сварку инструментом, удаляемым из зоны сварного шва (с подводом тепла как с внешней стороны деталей, так и непосредственно к соединяемым поверхностям), и сварку элементом, остающимся в сварном шве.

При сварке косвенным методом нагретый инструмент соприкасается с внешними поверхностями соединяемых деталей, а тепло передается к перекрывающим друг друга свариваемым поверхностям за счет теплопроводности свариваемого материала. В настоящее время нашли применение *ленточная*, *роликовая*, *прессовая* и *термоимпульсная сварка*. При ленточной сварке для нагрева свариваемых изделий и создания давления используется нагретый инструмент в виде ленты, а при роликовой — в виде ролика. При прессовой сварке для создания необходимого сварочного давления применяются сварочные прессы, позволяющие осуществлять шаговую сварку. При термоимпульсной сварке используют малоинерционный нагреватель (лента или проволока), по которому периодически пропускают электрический ток; после отключения электроэнергии сварной шов быстро охлаждается.

Из применяемых способов сварки с подводом тепла к соединяемым поверхностям известны *сварки стыковая*, *раструбная* (используется преимущественно для соединения труб), *сварка нахлесточных соединений* (используется для соединения тонкостенных изделий и пленок), а также *сварка с одновременным формованием изделий* (в паз или изгибанием деталей).

При стыковой и раструбной сварке после оплавления свариваемых поверхностей изделия разводятся, инструмент убирается, а оплавленные поверхности соединяются под небольшим давлением и свариваются. При стыковой сварке соединяются торцы изделий, а в качестве нагревательного инструмента применяется плоский или про-

филированный диск (кольцо). При раструбной сварке соединяются внутренняя поверхность раструба и наружная поверхность трубы, а нагревательный инструмент имеет два рабочих элемента: гильзу для оплавления наружной поверхности конца трубы и дорн для оплавления внутренней поверхности раструба.

Сварку нахлесточных соединений можно осуществлять одновременным нагревом соединяемых поверхностей по всей длине, а также, перемещая инструмент или свариваемые изделия. Наибольшее распространение получил способ сварки с механизированной подачей свариваемых изделий и неподвижным нагревательным инструментом.

Из способов сварки элементом, остающимся в сварном шве, практическое применение нашли сварка электросопротивлением и индукционная сварка. *Сварка электросопротивлением* основана на применении закладных нагревательных элементов с высоким электрическим сопротивлением. Закладные элементы в виде сетки или спирали вводятся между соединяемыми поверхностями. При пропускании по закладному элементу электрического тока соединяемые поверхности оплавляются.

При *индукционной сварке* нагрев закладного элемента происходит в электромагнитном высокочастотном поле, а в качестве нагревательного элемента используются металлические вкладыши или порошки оксидов металлов.

Сварка расплавом основана на использовании тепла расплавленного присадочного материала, подаваемого между соединяемыми поверхностями и передающего часть своего тепла материалу соединяемых изделий, что ведет к его плавлению и получению неразъемного соединения. Подразделяется на сварку экструдируемой присадкой, расплавленным прутком и литьем под давлением, которые могут выполняться как с предварительным подогревом свариваемых поверхностей нагретым газом или теплоотдачей от мундштука сварочного устройства, так и без подогрева.

При *сварке экструдируемой присадкой* (экструзионной сварке) расплав получается с помощью экструдера, обеспечивающего непрерывную подачу расплава, а в качестве исходного сырья используется гранулированный материал. При *сварке расплавленным прутком* расплав получается из присадочного прутка путем его нагрева в устройствах прямоточного типа, откуда расплав выдавливается непрерывно поступающим еще не нагретым присадочным прутком, который сматывается с бухты и подается в нагревательный цилиндр с помощью специальных тянущих роликов. При *сварке литьем под давлением* для получения расплавленного присадочного материала применяются литьевые машины.

Группа способов сварки пластмасс с генерированием тепла внутри свариваемого материала путем преобразования различных видов энергии подразделяется на сварку трением, сварку ультразвуковую, сварку высокочастотную и сварку излучением.

Сварка трением основана на получении тепловой энергии для оплавления свариваемых поверхностей за счет трения. Очень низкая теплопроводность, характерная для термопластов, способствует сохранению тепла лишь в зоне трущихся поверхностей, в то время как температура всего изделия остается практически неизменной. Разделяется на *сварку вращением* (вращение соединяемых деталей; вращение промежуточных элементов) и *вибротрением*.

Ультразвуковая сварка основывается на нагреве свариваемых поверхностей до температуры размягчения в результате превращения энергии колебаний ультразвуковой частоты в тепловую энергию, при этом механические колебания ультразвуковой частоты и

давление действуют по одной линии, перпендикулярно к соединяемым поверхностям. В зависимости от взаимного перемещения инструмента и деталей подразделяется на *прессовую сварку* (точечная, прямошовная, контурная) и *роликовую сварку* (сварка непрерывным и прерывистым швом). Ультразвуковая сварка может классифицироваться также и по другим признакам: в зависимости от способа подведения энергии, наличия присадочного материала, а также в зависимости от способа дозирования энергии.

Высокочастотная сварка пластмасс основана на диэлектрическом нагреве материала в высокочастотном электромагнитном поле в результате преобразования электрической энергии в тепловую. В зависимости от схемы взаимного перемещения инструмента и свариваемых изделий высокочастотная сварка подразделяется на *прессовую* и *роликовую*. Может выполняться в основном поле и в поле рассеивания с нагревом соединяемого материала или материала прокладок, располагаемых как снаружи свариваемых деталей, так и между ними.

Из разновидностей сварки излучением, отличающихся друг от друга источником и характером излучения, используется *световая сварка* с применением и без применения присадочного материала, *сварка лазерная* и *сварка инфракрасным излучением* с подводом тепла непосредственно к соединяемым поверхностям (прямой метод) или к внешней поверхности соединяемых изделий (косвенный метод). Более широко применяется сварка инфракрасным излучением, которая основывается на свойстве термопластичных материалов поглощать падающие на них инфракрасные лучи и превращать электромагнитную энергию в тепловую.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР СПОСОБОВ СВАРКИ

Сварку предпочитают другим методам соединения, если соединяемые детали изготовлены из однородных материалов; если нецелесообразно использование крепежных элементов и клеев; когда необходимо получить конструкцию минимального веса; в случае предъявления особых требований по обеспечению высокой производительности труда, механизации и автоматизации процесса.

Способы сварки изделий из пластмасс отличаются друг от друга своими технологическими параметрами, оснасткой и оборудованием, имеют свои области применения, характеризуются различными условиями труда и технико-экономическими показателями.

Конкретные рекомендации по выбору способа сварки в зависимости от материала и геометрических параметров свариваемых изделий в настоящее время не разработаны, однако при решении данной задачи необходимо учитывать свойства материалов соединяемых изделий, конструктивные требования к соединению и технологичность его выполнения, а также эксплуатационные требования.

Свойства материала соединяемых изделий (см. прил. 1, 2) оказывают наибольшее влияние на выбор способа соединения. Например, при сварке полимеров с пространственной структурой макромолекул (недоотвержденных реактопластов, сшитых термопластов и др.) предпочтение следует отдавать химической сварке, при этом способ нагрева надо выбирать так, чтобы энергия подводилась непосредственно к соединяемым поверхностям, обеспечивалась высокая скорость повышения температуры и поддержание ее на заданном уровне в течение определенного времени. К таким способам относятся высокочастотный и ультразвуковой нагрев толстостенных изделий и подвод тепла от нагреваемых металлических элементов к тонкостенным изделиям.

При выборе тепловых способов сварки следует учитывать теплопроводность материала, интервал между температурами текучести и деструкции, интервал температур плавления, диэлектрические характеристики и др. Например, при сварке труб из жесткого поливинилхлорида в условиях строительной площадки рекомендуется сварка нагретым инструментом с подводом тепла к соединяемым поверхностям с помощью профилированного инструмента, увеличивающего поверхность сварки по сравнению с плоскими инструментами и обеспечивающего повышение прочности соединения при кратковременных испытаниях на растяжение примерно на 30 %. Это связано с тем, что у поливинилхлорида очень узкий интервал оптимальных температур сварки, соблюдение которых возможно лишь при условии выполнения сварки на автоматизированном оборудовании в стационарных условиях, а использование профилированного инструмента позволяет расширить этот интервал.

Сварка расплавом применяется для пластмасс, обладающих относительно низкой температурой размягчения и способных выдерживать значительный перегрев без заметной деструкции. Сварка трением рекомендуется для термопластов, вязкость которых выше температуры плавления меняется плавно (полиолефины, жесткий поливинилхлорид). Высокочастотная сварка неприемлема для полиэтилена, полипропилена и других неполярных пластмасс.

Из конструктивных факторов при выборе способа соединения должны учитываться толщина соединяемых изделий, ширина и длина шва, возможность доступа к соединению с двух сторон.

К технологическим факторам относятся: объем подготовительных работ; необходимость применения индивидуальной оснастки; возможность механизации процессов; трудоемкость и продолжительность работы; технологические параметры; параметры окружающей среды; возможность обеспечения требуемых технологических параметров в условиях изготовления соединения; время, после которого изготовленное соединение может эксплуатироваться; возможность контроля качества соединения; масштабы производства; квалификация рабочего персонала. Например, поскольку сварка нагретым газом и сварка расплавом характеризуются возможностью подведения тепла непосредственно к соединяемым поверхностям к любому месту конструкции то данные методы сварки рекомендуются для сборки и ремонта крупногабаритных конструкций в условиях строительной площадки. При сварке в этих же условиях толстостенных изделий небольших габаритных размеров (например, труб) рекомендуется сварка нагретым инструментом с подводом тепла к соединяемым поверхностям, так как в этом случае скорость сварки не зависит от теплопроводности материала изделия и локализация области прогрева дает возможность уменьшить расход энергии.

Если тепловая сварка ведет к короблению соединяемых изделий, вызывает деструкцию полимера и потерю формы изделия, целесообразно применять сварку с помощью растворителей. Этот способ эффективно используется для соединения листов из полиметилметакрилата и труб из поливинилхлорида.

Химическая сварка изделий из стеклопластиков применяется только в случае нецелесообразности использования других способов соединения, так как для ее осуществления необходимо при изготовлении изделий обеспечить недоотверждаемость и остаточную пластичность полимера в поверхностном слое в местах соединения, что требует применения сложного оборудования и технологии.

Среди параметров эксплуатации, влияющих на выбор способа соединения, наиболее существенное значение имеют нагрузки на соединение в период изготовления и эксплуатации конструкций. Можно выделить три вида нагрузок: отрывающие, сдвигающие и отслаивающие. В большинстве случаев эти нагрузки действуют совместно, но почти всегда одна из них является решающей. Выбор способа соединения производится из условия наилучшего восприятия нагрузок готовым соединением при учете других, указанных выше факторов.

Глава 2

СВАРКА НАГРЕТЫМ ГАЗОМ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Отличительной характеристикой способа является подвод тепла непосредственно к соединяемым поверхностям и последовательно от одного участка шва к другому. Наряду с последовательной сваркой возможна также сварка по всей поверхности шва за один прием. Сварку с помощью нагретого газа можно осуществлять с применением присадочного материала (прутка) и без присадочного материала.

Данной сваркой можно соединять детали практически любых размеров и конфигураций из поливинилхлорида, полиолефинов, полиметилметакрилата, полистирола, полиамидов, пентапласта, полиформальдегида в любых условиях сварочного производства. В применяемых при сварке нагревательных устройствах (нагревателях) газ-теплоноситель нагревают при помощи электроэнергии или газового пламени. В качестве газа-теплоносителя чаще всего служит воздух, а при сварке термопластов, которые подвержены сильной термоокислительной деструкции — инертные газы, главным образом азот.

Недостатки этого способа — низкая производительность, высокая стоимость работ, сложность поддержания постоянных режимов сварки и обеспечения стабильности качества сварных соединений.

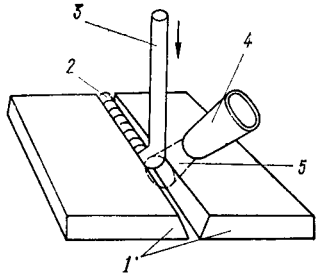


Рис. 2. Схема сварки пластмасс нагретым газом с применением присадочного материала:

1 — свариваемые изделия; 2 — сварочный шов; 3 — присадочный материал; 4 — наконечник нагревателя; 5 — струя нагретого газа

При изготовлении химической аппаратуры и емкостей, сварке линолеума, облицовке хранилищ для агрессивных жидкостей широко применяется сварка нагретым газом с использованием присадочного материала (рис. 2).

СВАРКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Основные типы и конструктивные элементы выполняемых швов сварных соединений листов из поливинилхлорида и полиэтилена толщиной от 2 до 20 мм (рис. 3), их размеры, размеры швов и их предельные отклонения должны соответствовать ГОСТ 16310—80. Выбор типа шва обусловлен главным образом толщиной и свойствами свариваемых материалов, особенностями свариваемых конструкций и условиями нагружения в процессе эксплуатации. Качество сварных соединений существенно зависит от типа сварного шва, подготовки изде-

лий к сварке, положения нагревателя в процессе сварки, угла наклона прутка при подаче в шов, температуры, расхода и давления газа-теплоносителя, скорости и порядка укладки прутка в шов, расстояния от наконечника нагревателя до свариваемых поверхностей, усилия

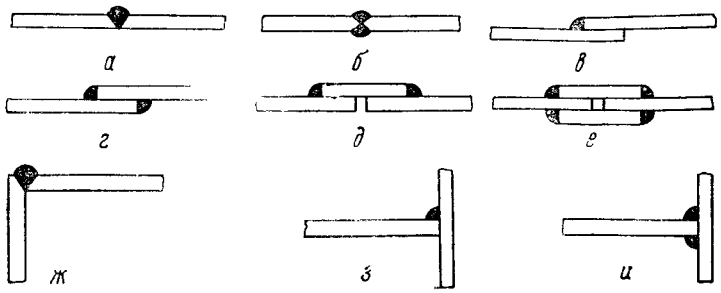


Рис. 3. Основные типы сварных соединений:

а — стыковые с односторонним скосом кромок; *б* — стыковое с двусторонним скосом кромок; *в* — нахлесточное с одним швом; *г* — нахлесточное с двумя швами; *д* — стыковое с накладкой; *е* — стыковое с двумя накладками; *ж* — угловое; з — тавровое с одним швом; *и* — тавровое с двумя швами

вдавливания размягченного прутка, диаметра присадочного прутка, диаметра отверстия наконечника нагревателя, а также от соблюдения сварщиком технологических приемов и режимов сварочного процесса.

Сварка швов стыковых соединений деталей толщиной до 4 мм возможна без подготовки кромок, однако для обеспечения равномерного провара рекомендуется оставлять зазор в вершине шва шириной до 1 мм. С этой же целью при сварке стыковых, тавровых и угловых соединений деталей толщиной свыше 4 мм между краями деталей оставляют в вершине шва зазор 0,5—1,5 мм. При сварке стыковых, угловых и тавровых соединений, особенно при толщине вертикальной стенки свыше 4 мм, для повышения прочности соединения производится скос кромок одного либо обоих свариваемых листов с одной (V-образный шов) или с двух сторон (X-образный шов) (табл. 2). X-образные швы более прочные, чем V-образные, так как благодаря их симметричному строению при воздействии растягивающих и изгибающих нагрузок в них не возникают дополнительные изгибающие моменты, кроме того, они требуют в 1,6—1,7 раза меньше расхода присадочного материала, следовательно, могут быть выполнены за меньшее число проходов. При сварке нахлесточных и стыковых соединений с накладкой кромки не скашивают.

2. Подготовка листовых термопластов при стыковой сварке нагретым газом

Термопласты	Толщина свариваемого материала, мм		Угол скашивания стыкуемых кромок, ...°
	V-образный шов	X-образный шов	
ПЭ, ПП	⩽5	⩾3	25—30
ПММА	⩽4	⩾4	25—30
ПА	⩽6	⩾4	20—25
ПВХ-Ж	⩽5	⩾5	25/(30—35)*

* В числителе указан угол скашивания при механизированной сварке, в знаменателе — при ручной.

Наибольшей механической прочностью обладают стыковые соединения. Нахлесточные соединения применять не рекомендуется, так как при одной и той же толщине изделий прочность этих соединений в 6 раз меньше, чем стыковых [10].

В процессе сварки очень важно обеспечить правильное положение присадочного материала по отношению к поверхностям шва. Для непластифицированного поливинилхлорида, полиэтилена низкого давления, полипропилена и пентапласта присадочный материал рекомендуется держать под углом 90° к поверхности шва. Если угол наклона меньше 90°, присадочный материал нагревается на участке большей длины, расход его в результате осадки увеличивается, а в шве из-за продольного сжатия пруток изгибается. Если угол наклона больше 90°, то пруток, уложенный в шов, удлиняется, вследствие чего при охлаждении может разорваться. При сварке мягких пластмасс (пластифицированный поливинилхлорид, полиэтилен высокого давления) лучшие результаты достигаются, если угол между прутком и поверхностью равен 120°. В процессе укладки в шов сварочный пруток не должен увеличивать свою длину более чем на 15 % по сравнению с исходной.

Угол подвода наконечника нагревателя к поверхности сварного шва должен составлять (26 ± 6)° при толщине свариваемых деталей до 5 мм и (39 ± 6)° при толщине деталей более 5 мм.

Температура газа на выходе из наконечника нагревателя должна быть на 50—100 °С выше, чем температура текучести полимера, так как на участке между наконечником и свариваемой поверхностью теплоноситель охлаждается. Давление газа может изменяться в пределах 0,035—0,1 МПа.

Струю газа, нагретого до необходимой температуры, направляют колебательными движениями нагревателя на свариваемые кромки деталей и пруток. Скорость укладки прутка (обычно 0,1—0,2 м/мин), зависящая от температуры газа, с увеличением диаметра прутка уменьшается, однако общая скорость заполнения шва (скорость сварки) при этом возрастает. Повышению производительности процесса в 3—4 раза и более способствует предварительный подогрев основного и присадочного материалов. Такая сварка называется скоростной и преимущественно применяется для соединения плоских и цилиндрических изделий, имеющих швы большой протяженности. При скоростной сварке возможен прижим прутка роликом или насадкой, укрепленными на нагревателе. При использовании предварительно подогретого прутка, сечение которого соответствует профилю шва, возможна сварка за один проход, т. е. отпадает необходимость в укладке нескольких прутков.

Расстояние от наконечника нагревателя до свариваемых поверхностей должно составлять (5 ± 2)мм, расход газа-теплоносителя через 1 мм² площади сечения наконечника — (5 ± 1,5) л/мин. Усилие вдавливания прутка в шов на 1 мм² площади сечения прутка для полиэтилена низкого давления, полипропилена, непластифицированного поливинилхлорида и пентапласта составляет (3 ± 1) Н, а для полиэтилена высокого давления — (2 ± 1) Н. Для мягких присадочных прутков, не выдерживающих осевого давления, применяют прикаточные ролики, усилие вдавливания которых в сварной шов составляет (20 ± 10) Н [10, 15, 21, 29].

Для уменьшения коробления изделий при сварке присадочный материал укладывают в шов в определенном порядке (рис. 4). Каждый последующий ряд укладывают после естественного охлаждения предыдущего до температуры не выше 40 °С. Число рядов проходов на практике принимается на один больше, чем толщина основного материала

в мм. При выполнении V-образного стыкового и углового шва в конце сварки делают проход с обратной стороны шва (со стороны корня шва), предупреждая этим непровар отдельных участков (предварительно рекомендуется разделка корня шва специальным резаком со скругленным торцом). Зачистка выступающих над поверхностью изделия валиков шва не требуется.

Применяемый для сварки присадочный материал выпускается в виде прутков круглого сечения диаметром 2; 2,5; 3; 4 и 6 мм, а также в виде спаренных прутков толщиной 2; 2,5 и 3 мм по ТУ 6-05-1160—75 «Прутки сварочные из непластифицированного поливинилхлорида» и ТУ 6-05-1698—74 «Прутки сварочные из полиолефинов». Выбор присадочных прутков осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на производство сварочных работ.

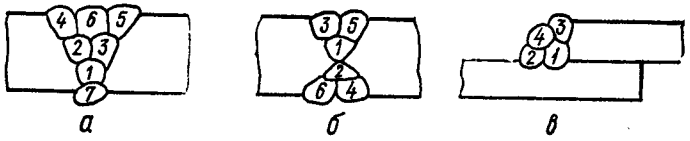


Рис. 4. Порядок укладки сварочных прутков в шов:
а — стыковой V-образный шов; *б* — стыковой X-образный шов; *в* — нахлесточное соединение

Диаметр прутка должен подбираться в зависимости от толщины свариваемого материала, геометрии сварочного шва, скорости сварки и требуемой прочности соединения. С увеличением диаметра прутка сокращается время, необходимое для заполнения разделки, и увеличивается прочность сварного соединения. Однако применение прутков диаметром более 4—5 мм нежелательно, так как обеспечить их равномерный прогрев при сварке невозможно. Обычно корень шва заполняют прутком диаметром 2 мм, далее при толщине свариваемого материала менее 4 мм шов заполняют прутком диаметром 3 мм, а при толщине материала более 4 мм — прутком диаметром 4 мм.

Диаметр наконечника на выходе теплоносителя должен превышать диаметр одинарного прутка или ширину двойного прутка на (0,5 ± 0,25) мм.

СВАРКА БЕЗ ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Сварка без присадочного материала выполняется по непрерывной или периодической схеме. В первом случае соединяемые поверхности нагревают последовательно отдельными участками, во втором — одновременно. Прочность соединений, получаемых без применения присадочного материала, выше, чем с его применением, и достигает 80—90 % прочности основного материала, при этом удельная ударная вязкость материала почти не снижается [29]. Данный способ сварки используется главным образом для соединения плоских изделий прямолинейным швом. Температура сварки такая же, как и с присадочным материалом, а скорость сварки повышается в 10—15 раз.

Сварка листовых термопластов осуществляется преимущественно соединением на «ус» (рис. 5), для чего кромки листов перед сваркой срезают под углом 20—25° (при такой подготовке сварное изделие имеет одинаковую толщину во всех сечениях). Нагреватель устанавливают в таком положении, чтобы газовая струя попадала в створ угла, образуемого свариваемыми листами, и направлялась на срезанные кромки шва. Для равномерного нагрева материала наконечник нагревателя должен иметь прямоугольное сечение. Давление сварки осуществляется двумя последовательно расположенными парами роликов, с помощью которых осуществляется равномерное перемещение свариваемых листов.

Существует три способа сварки пленочных термопластов: нагревом соединяемых поверхностей пленок (прямым нагревом), односторонним нагревом внешней поверхности пленок по месту шва (косвенным нагревом) и оплавлением пленок по месту их соединения. [10,15]

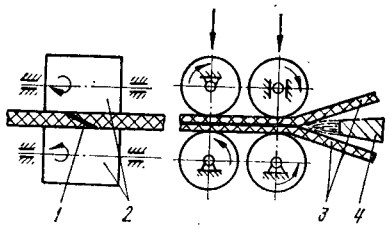


Рис. 5. Схема сварки нагретым газом листов термопласта без присадочного материала:
1 — сварной шов; *2* — прижимные ролики; *3* — свариваемые листы; *4* — наконечник нагревателя

При прямом нагреве нагретый газ попадает в створ угла, образуемого свариваемыми пленками, которые после нагрева свариваемых поверхностей прикатываются друг к другу специальными роликами.

При косвенном нагреве свариваемых поверхностей пленок струя газа создает одновременно и давление, необходимое для их сварки (рис. 6). Для исключения разрывов нагрев пленок производится на упругой подложке, а зона разогрева ограничивается двумя натянутыми на роликах бесконечными стальными лентами, расстояние между которыми определяет ширину сварного шва.

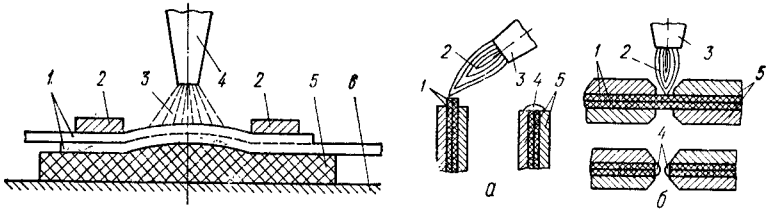


Рис. 6. Схема сварки нагретым газом пленочных материалов:
1 — свариваемые пленки; *2* — ограничительные ленты; *3* — струя газа; *4* — наконечник нагревателя; *5* — упругая подложка; *6* — жесткое основание

Рис. 7. Схема сварки пленок оплавлением кромок с подготовкой свариваемых кромок (*а*) и без подготовки свариваемых кромок (*б*):
1 — свариваемые пленки; *2* — струя газа; *3* — наконечник нагревателя; *4* — сварной шов; *5* — зажимные губки

При прямом и косвенном нагреве качество сварных соединений и скорость сварки в значительной степени зависят от расстояния между наконечником нагревательного устройства и нагреваемой поверхностью свариваемых пленок, расхода и температуры газа-теплоносителя.

При сварке оплавлением соединяемые пленки накладывают друг на друга и зажимают между двумя ограничительными губками (пленки свариваются по оплавляемым кромкам) или двумя парами губок

(пленки свариваются двумя швами с одновременным разделением по линии их оплавления между губками) (рис. 7). Этот способ пригоден для соединения пленок из материалов, которые при нагревании становятся достаточно жидкотекучими и сплавляются без приложения давления (пленки из полиамида, полиэтилентерефталата, полиэтилена высокого давления и др.). В практике для оплавления кромок часто применяют источник открытого пламени. В этом случае сварные швы характеризуются высокой прочностью, но обладают низкой морозостойкостью [29].

СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Сварку нагретым газом с использованием присадочного материала производят преимущественно с помощью ручных нагревателей, которые по ряду общих признаков можно разделить на следующие группы: газовые нагреватели косвенного и прямого действия, нагреватели с электрообогревом.

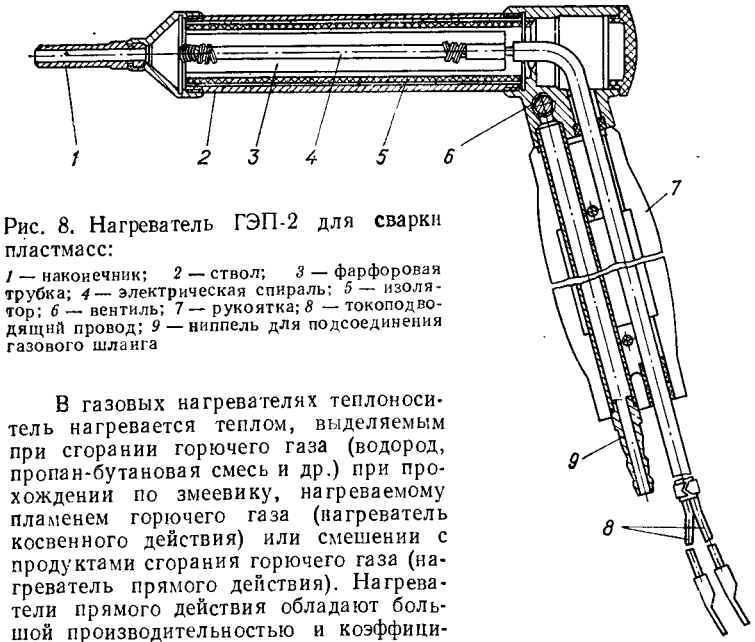


Рис. 8. Нагреватель ГЭП-2 для сварки пластмасс:

1 — наконечник; *2* — ствол; *3* — фарфоровая трубка; *4* — электрическая спираль; *5* — изолятор; *6* — вентиль; *7* — рукоятка; *8* — токоподводящий провод; *9* — ниппель для подсоединения газового шланга

В газовых нагревателях теплоноситель нагревается теплом, выделяемым при сгорании горючего газа (водород, пропан-бутановая смесь и др.) при прохождении по змеевику, нагреваемому пламенем горючего газа (нагреватель косвенного действия) или смешении с продуктами сгорания горючего газа (нагреватель прямого действия). Нагреватели прямого действия обладают большой производительностью и коэффициентом полезного действия, температуру газовой смеси можно изменять в широких пределах вентилями горючего газа и газа-теплоносителя.

Нагреватели с электрообогревом (газ-теплоноситель нагревается за счет обтекания электрических нагревательных элементов) более просты и безопасны (отсутствует открытое пламя), поэтому находят более широкое применение в производстве. Температура газа регулируется изменением электрических параметров нагревательных инструментов и количества проходящего через них газа. Однако в электрических нагревателях пределы регулирования температуры меньше, чем в газовых нагревателях. Нагреватели с электрообогревом могут

быть двух типов — с подачей газа от внешнего источника (компрессора, баллона или воздушной магистрали) и с автономным питанием (в конструкцию нагревателя входит малогабаритный компрессор для забора и подачи воздуха в зону сварки).

Для сварки пластмасс нагретым газом в стационарных условиях и условиях строительной площадки применяется электрический нагреватель ГЭП-2 (рис. 8) [35].

Основные параметры нагревателя горелки ГЭП-2

Толщина свариваемых материалов, мм, не более	20
Толщина материала, свариваемого за один проход, мм	4
Диаметр присадочного прутка, мм	3—5
Температура газа-теплоносителя на выходе из наконечника нагревателя, °С	260—600
Скорость сварки при однослойном шве полиэтилена толщиной 4 мм прутком диаметром 5 мм, м/ч, не менее	22
Напряжение питания, В	36
Потребляемая мощность, Вт	750
Давление газа-теплоносителя на входе нагревателя, МПа, не более	0,5
Расход газа-теплоносителя, л/ч	3000—7000
Масса, кг	0,75
Габаритные размеры, мм	210×30
Длина ствола с наконечником, мм	210
Диаметр ствола, мм	30

Разработчик нагревателя ГЭП-2 — Всесоюзный научно-исследовательский институт автогенного машиностроения (ВНИИавтогенмаш), изготовитель — Кироваканский завод автогенного машиностроения.

Строительно-монтажной сварочной лабораторией (СМСЛ) треста «Востокметаллургмонтаж» Минмонтажспецстроя СССР для сварки пластмасс в строительстве разработан электрический нагреватель ГСП-280 (рис. 9), комплектуемый специальным источником питания.

Основные параметры нагревателя ГСП-280 [35]

Напряжение, В:	
источника питания	220
нагревателя	36
Мощность нагревателя, Вт	600
Температура газа-теплоносителя, °С	280
Расход газа-теплоносителя, м³/ч	2—6
Габаритные размеры, мм:	
нагревателя	400×54×70
источника питания	420×330×245
Масса, кг:	
нагревателя	0,5
источника питания	27

Сварка нагретым газом с помощью ручных нагревателей трудоемка. В большинстве случаев получаемые при этом сварные швы недостаточно высокого качества, так как вручную трудно создать как равномерную подачу присадочного материала, так и однородный прогрев свариваемых поверхностей.

Производительность и качество ручной сварки можно повысить за счет применения специальных конструкций наконечников и приспособлений, а также установок и аппаратов для механизированной сварки, применяемых при выполнении длинных, легко доступных для сварки швов с двустороннем скосом кромок, угловых швов и швов нахлесточных соединений. В процессе механизированной сварки рабочий лишь перемещает сварочный аппарат, а подача прутка и давление на него осуществляются элементами сварочного аппарата. Угол наклона наконечника нагревателя, его расстояние от приса-

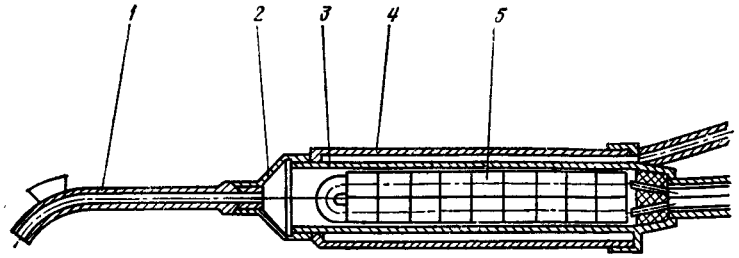


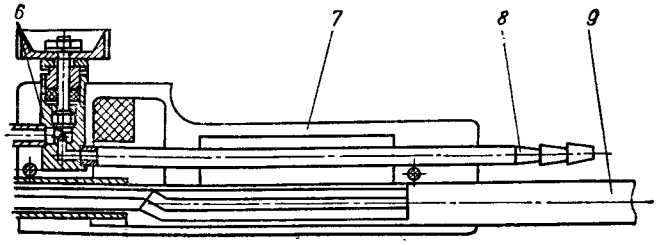
Рис. 9. Нагреватель ГСП-280 для сварки пластмасс:
1 — наконечник; *2* — втулка переходная; *3* — корпус; *4* — кожух; *5* — нагре рукоятка; *8* — штуцер; *9* — кабель питания

дочного и основного материала, положение прутка относительно шва остаются во время сварки неизменными. Для стыковой сварки листов из термопластов нагретым газом с применением присадочного материала создан полуавтомат ПГП-1 [3, 10], который смонтирован на самоходной тележке и комплектуется специальным блоком питания.

Основные параметры полуавтомата ПГП-1

Максимальная толщина свариваемых листов, мм	4
Максимальная температура воздуха (при минимальном давлении воздуха), °С	530
Минимальное давление воздуха, МПа	0,15
Минимальный расход воздуха, м³/ч	1,2
Расстояние между наконечником нагревателя и поверхностью свариваемого материала, мм	8—10
Максимальная скорость сварки при применении треугольного прутка сечением 8 мм², м/ч	60
Максимально потребляемая мощность, кВт	0,75
Напряжение, В:	
питающей сети	220
нагревателя	36; 30; 24
Габаритные размеры	190×310×500
Масса, кг:	
полуавтомата	14
блока питания	30,5

Для сварки нагретым газом без присадочного материала преимущественно применяются полуавтоматические и автоматические машины, конструкция которых определяется их значением. В табл. 3 приведены технические характеристики наиболее широко применяемых машин для механизированной и автоматической сварки пленок из термопластов. Универсальной является машина МСП-5У, на которой можно сваривать прямолинейные швы нахлесточных соединений, Т-образные, а также криволинейные швы с большим радиусом кривизны [29]. Машина в процессе работы может быть стационарной или перемещаться по направляющим вдоль свариваемого материала. Машина состоит из шкафа с электроаппаратурой, стола и стойки с консолью, к которой крепятся сменные сварочные головки (рис 10). Нахлесточные соединения пленок *1* свариваются нагретым газом, выходящим из электрического нагревателя *3*, по схеме, приведенной на рис. *6*. Верхняя сварочная головка прикреплена к подвеске *4*, установленной на втулке *5* суппорта машины. Перемещение свариваемых изделий осуществляется с помощью двух бесконечных стальных лент *7* на верхней сварочной головке и бесконечной стальной ленты *16* из прорезиненной ткани на нижней опорной головке. Приводным роли-



вательный элемент; *6* — узел регулировки расхода газа-теплоносителя; *7* —

3. Основные параметры машин для сварки пленок из термопластов нагретым газом без применения присадочного материала [3, 10, 29].

Марка машины	Толщина свариваемой пленки, мм	Максимальная температура воздуха, °С	Минимальное давление воздуха, МПа	Минимальный расход воздуха, м³/ч	Скорость сварки, м/мин	Напряжение, В: питающей сети	Напряжение, В: нагревателя	Максимальная потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МСП-5У	0,025—0,3	350	0,06	0,85	0,08—10	220	36	1,5	1140×1000×1330	280
МСП-12	0,02—0,15	350	0,06	0,85	1—15	36	36	1,5	1250×1050×1080	235
СПК-М	0,05—0,5	350	0,06	0,85	0,5—5	380	36	2	3190×1750×1660	1200

Примечание. Машины МСП-5У и СПК-М имеют сменные сварочные головки, предназначенные для сварки нагретым газом, нагретым инструментом и инфракрасным излучением.

ком является для нижней головки ролик *12*, а для верхней — ролик *11*. Для создания натяжения лент служат ролики *6* и *15*. Основание *9* верхней сварочной головки и основание *13* нижней опорной головки покрыты прокладками *10* и *14* из фторопласта-4 для теплоизоляции. Перемещение основания *13* по вертикали осуществляется с помощью винтов. Ширина сварного шва определяется расстоянием между лентами *7*. Расстояние от нагревателя до свариваемых пленок может регулироваться. Свариваемые пленки захватываются в процессе сварки лентами *7* и лентой *16* и протаскиваются последовательно через прижимный ролик *2*, нагреватель и охладитель *8* (охлаждение сварного шва производится холодным воздухом).

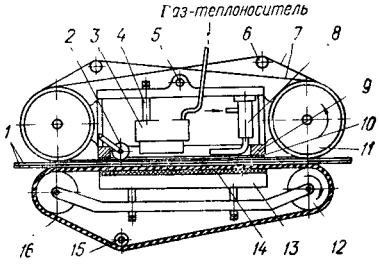


Рис. 10. Сменная головка машины МСП-5У для сварки нагретым газом

Глава 3
СВАРКА НАГРЕТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Сварка нагретым инструментом является наиболее универсальной для соединения различных изделий из термопластов (пленок, листов, труб, лент, профилей и др.). Обычно при сварке этим способом присадочный материал не применяется.

Для нагрева соединяемых поверхностей используются металлические инструменты различной формы, а нагрев может осуществляться путем непосредственного соприкосновения с соединяемыми поверхностями (прямой нагрев, применяется в основном для сварки толстостенных изделий) или подводом тепла с внешней стороны через всю толщину детали (косвенный нагрев, используется для сварки пленок и тонких листов). Нагретые детали спрессовывают, а затем охлаждают.

При подводе тепла с внешней стороны изделий нагревательные инструменты одновременно служат и для спрессовывания соединяемых деталей. Нагрев изделий может быть односторонним или двусторонним. Последний применяется только в тех случаях, когда конструкция свариваемого изделия позволяет подводить нагреватели с двух сторон.

Вследствие низкой теплопроводности термопластов температура по толщине свариваемых деталей при косвенном нагреве распределяется неравномерно. Лишь спустя некоторое время после соприкосновения свариваемых материалов с нагретым инструментом соединяемые поверхности изделий приобретают температуру, необходимую для сварки. Вначале самая низкая температура устанавливается в месте сварки, а самая высокая — на поверхности материала. По мере увеличения продолжительности нагрева, перепад температур постепенно уменьшается. Поскольку необходимо, чтобы материал в месте соединения разогрелся до требуемой температуры, то температура нагревателя должна быть выше температуры сварки, поэтому при косвенном нагреве всегда имеет место перегрев верхнего слоя материала, особенно при одностороннем нагреве. Двусторонний нагрев позволяет за более короткое время разогреть материал до требуемой температуры. Неармированные пленки толщиной до 150 мкм рекомендуется сваривать при одностороннем нагреве, а пленки толщиной свыше 150 мкм — при двустороннем нагреве (табл. 4).

Уменьшение времени сварки повышением температуры инструмента увеличивает опасность термодеструкции термопласта и может привести к нежелательной деформации размягченного материала в зоне шва. Деформацию материала можно уменьшить, если давление прикладывать не только в месте сварки, но и в близлежащей зоне. Для этого ширину инструмента увеличивают за счет боковых холодных зон.

Чтобы исключить прилипание оплавленного материала к нагревателю, сварку осуществляют через разделительные прокладки из фторопласта-4, армированного стеклянной тканью, полиэтилентерефталата, целлофана, кремнийорганической резины и др.

Поверхности, подлежащие соединению, перед сваркой тщательно очищают от всяких загрязнений, а при возможности (например, при стыковой сварке труб, листов и т. д.) поверхностный слой снимают механическим путем.

В зависимости от схем и методов подвода тепла, типа инструмента, технологических приемов выполнения операций различают следующие виды сварки нагретым инструментом (элементом): стыковую, раструбную, нагретым клином, с одновременным формованием изделий, прессовую, термоимпульсную, ленточную, роликовую, электросопротивлением и индукционную.

4. Режимы сварки полимерных пленок [10]

Характеристика пленки		Режим сварки		
материал	толщина, мкм	Температура инструмента, °С	Давление, МПа	Выдержка, с
Односторонний нагрев				
ПВД	30—45	130—140	0,05—0,06	2—3
ПВД	60—90	140—160	0,05—0,06	2—3
ПВД	150—200	160—180	0,05—0,06	2—3
ПНД	60—150	200—220	0,06—0,08	2—3
ПП	60—150	230—240	до 0,1	2—3
СЭП-10	60—150	200—220	0,06—0,08	2—3
ПА	60—150	185—200	0,06—0,08	5—6
Двусторонний нагрев				
ПНД	150—600	160—170	0,08—0,09	2—3
СЭП-10	150—300	160—170	0,08—0,09	2—3
ПП	150—300	180—200	0,09	2—3
ПА	130—200	210—220	0,04—0,05	10—15
Ф-4	100—200	390—400	0,02—0,05	120—150

СВАРКА НАГРЕТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ СТЫКОВАЯ

Стыковая сварка нагретым инструментом широко применяется для соединения труб, профилей, листов и других полуфабрикатов из

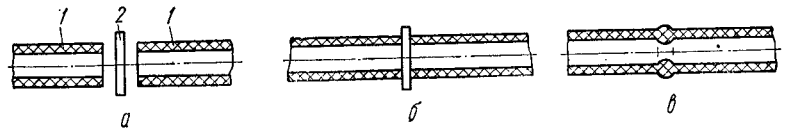


Рис. 11. Последовательность процессов стыковой сварки нагретым инструментом:

а — исходное положение изделий (труб) и нагревательного инструмента; *б* — оплавление свариваемых поверхностей; *в* — готовое сварное соединение; *1* — свариваемые трубы (детали); *2* — электронагревательный инструмент

жестких пластмасс и является наиболее важным способом тепловой сварки. Выполняется в следующем порядке: подготовка торцов изделий к сварке, ввод нагретого инструмента между свариваемыми деталями, сведение деталей, нагревание свариваемых торцов при определенном усилии сжатия, разведение деталей и вывод инструмента, стыковка деталей, выдержка деталей под усилием сжатия до охлаждения сварного шва (рис. 11).

Основным типом сварного соединения при стыковой сварке нагретым инструментом является такое, у которого плоскость кромок перпендикулярна к поверхности заготовок, но иногда применяется соединение на «ус». Листы и плиты на всю требуемую длину сваривают за один цикл.

Основные параметры процесса сварки (табл. 5) взаимосвязаны, изменение одного из них влечет за собой изменение другого.

5. Оптимальные значения основных технологических параметров стыковой сварки нагретым инструментом при +20 °С [9, 24].

Материал свариваемых деталей	Температура инструмента, °С	Давление при нагреве торцов деталей, МПа	Глубина проплавления материала деталей, мм	Продолжительность оплавления, с, при толщине стенки деталей, мм						
				4	6	8	10	12	14	16
ПВД	220±10	0,02—0,05	1—2	35	50	70	85	100	120	160
ПНД	240±10	0,02—0,05	1—2	50	70	90	110	130	160	180—240
ПП	240±10	0,04—0,08	1,5—2	60	80	90	120	150	180	230—250
ПВХ	280±10	0,05—0,08	1—2	70	90	100	120	180	200	280

Материал свариваемых деталей	Продолжительность технологической паузы, с, не более	Давление осадки деталей при охлаждении стыка, МПа	Продолжительность охлаждения стыка под действием осадки, с, при толщине стенки деталей, мм		
			4—6	7—12	13—16
ПВД	3	0,1—0,2	180—240	300—480	600—900
ПНД	3	0,2—0,3	180—300	360—540	600—900
ПП	3	0,2—0,3	180—300	360—600	720—960
ПВХ	2	0,2—0,3	120—240	180—300	—

Примечание. При изменении температуры окружающей среды технологические параметры корректируются путем проведения пробных сварок.

Температура инструмента зависит от типа пластмассы, типа и толщины антиадгезионного покрытия, температуры окружающей среды.

Продолжительность оплавления зависит от свойств материала деталей, температуры рабочей поверхности нагревательного инструмента, температуры окружающей среды, давления прижима деталей к нагревателю, качества подготовки стыкуемых поверхностей. Давление вначале следует поддерживать равным 0,15 МПа для быстрого снятия возможных незначительных неровностей на свариваемых поверхностях. С появлением валика оплавленного материала давление снижают до значений, указанных в табл. 5 (рекомендуется также постепенное снижение давления до нуля, что вызвано необходимостью исключения выдавливания размягченного материала). Величина давления при оплавлении торцов свариваемых деталей не оказывает решающего влияния на прочность шва. Увеличение давления сверх указанных в табл. 5 величин, как правило, не улучшает качества сварки и ведет к чрезмерному выдавливанию оплавленного материала. Прогрев торцов деталей при пониженном давлении вызван необходимостью перехода прилегающих к нагревателю слоев материала в вязкотекучее состояние. Продолжительность прогрева зависит от количества тепловой энергии, которую для этого необходимо сообщить материалу. Плотность теплового потока должна составлять около

0,75 Вт/см² [15]. При сокращении продолжительности прогрева при постоянной температуре инструмента ухудшается качество шва вследствие недостаточного размягчения материала. Ориентировочно степень оплавления деталей в каждом отдельном случае можно определить визуально по образованию на кромках торцов деталей по всему периметру валика оплавленного материала высотой 1—2 мм.

Продолжительность технологической паузы (время между окончанием прогрева и соединением деталей) должна быть по возможности минимальной, чтобы свариваемые поверхности не успели охладиться. Увеличение технологической паузы сверх указанных в табл. 5 величин приводит к резкому снижению прочности сварного шва.

При сварке деталей следует создать такое давление, при котором из шва можно было бы вытеснить пузырьки воздуха (не выдавливая полностью размягченный материал) и плотно сжать оплавленные поверхности.

Продолжительность охлаждения стыка определяется временем, необходимым для рекристаллизации полимера в зоне шва. При охлаждении сварного стыка под давлением не допускается смещение деталей относительно друг друга, а также изменение давления. В противном случае вследствие местной деформации свариваемых деталей возможно их расслоение и коробление.

Особенностью стыковой сварки является необходимость точной подгонки торцов соединяемых деталей (максимальная величина смещения кромок не должна превышать 10 % номинальной толщины стенки детали, причем абсолютное значение не должно быть более 1,2 мм; зазор между кромками не должен превышать 0,5—1,0 мм), а также образование сварочного грата. На практике при проведении сварочных работ часто применяют различные способы, позволяющие уменьшить величину грата, предотвратить его появление или полностью удалить (снятие фаски на торцах деталей, обкатка или удаление грата в расплавленном состоянии, удаление грата с поверхности стыка механической обработкой и др.). Установлено, что на стадиях подготовки свариваемых кромок и в процессе их сварки полностью ликвидировать грат без нанесения ущерба качеству сварного шва невозможно, а наиболее эффективным методом ликвидации грата является снятие его механическим способом после сварки стыка [9].

Стыковая сварка нагретым инструментом рекомендуется для соединения деталей с толщиной стенки более 4 мм. Минимально допустимая толщина зависит от жесткости материала и конфигурации деталей.

Основные типы и конструктивные элементы сварных швов пластмассовых трубопроводов при стыковой сварке нагретым инструментом регламентированы ОСТ 102-63—81.

При строительстве напорных пластмассовых трубопроводов кроме соединительных деталей, изготовляемых методом литья под давлением, применяются также соединительные детали, изготовляемые из трубных обрезков с помощью стыковой сварки нагретым инструментом (рис. 12). Типы и конструктивные размеры сварных соединительных деталей полиэтиленовых и полипропиленовых трубопроводов регламентированы ОСТ 35-55—81, ТУ 6-19-218—83 и другой нормативной документацией. Конструктивные размеры наиболее широко применяемых сварных соединительных деталей приведены в табл. 6 и 7.

Для получения необходимой величины осевого усилия, прикладываемого к свариваемым деталям при оплавлении и осадке, механизации основных технологических процессов и возможности контроля технологических режимов, сварку необходимо производить на специальных сварочных установках, имеющих электронагревательный

6. Размеры сварных тройников и отводов из полиэтиленовых (ПВД, (по ОСТ 36-55—81), мм

Наружный диаметр $Д_н$	Тройники, 90°					
	равнопроходный		неравнопроходный			
	L	L_1	$d_н$	L	L_1	h
25	230	115	—	—	—	—
32	230	115	—	—	—	—
40	240	120	—	—	—	—
50	250	125	—	—	—	—
63	320	160	—	—	—	—
75	340	170	—	—	—	—
90	360	180	—	—	—	—
110	400	200	50—75	400	220	6—10
125	520	260	63—90	500	230	8—12
140	560	280	75—110	550	240	10—13
160	600	300	90—125	600	250—340	12—14
180	640	320	100—140	600	260—350	13—14
200	660	330	110—160	650	270—360	13—16
225	700	350	110—160	650	285—375	13—16

7. Размеры сварных тройников и отводов из полиэтиленовых (ПНД)

Наружный диаметр $Д_н$	Тройники			
	равнопроходный			неравнопроходный
	90°	60°		90°
	z	z	l	z
110	—	—	—	400
160	—	—	—	500
225	—	—	—	624
315	800	—	—	826
400	850	—	—	800
500	1100	—	—	900
630	1230	—	—	1030
710	1410	1555	1010	1110
800	1500	1640	1080	1200
900	1500	1650	1025	1500
1000	1600	1750	1110	1600
1200	1800	1970	1315	1800

Примечания. 1. Изготовление тройников с $Д_н > 500$ мм и отводов
2. Тройники 90° (равнопроходные и неравнопроходные) могут изготовляться

ПНД) и полипропиленовых труб для напорных трубопроводов

Отводы, размер L				
90°		60°	45°	30°
односекторный	двухсекторный			
130	—	116	107	103
140	—	122	112	106
150	—	127	116	107
160	—	130	117	109
220	—	182	164	151
235	—	189	169	152
260	—	205	181	161
290	290	223	194	170
360	360	283	250	223
390	390	304	267	237
430	430	331	289	255
460	460	348	303	262
480	480	356	305	264
520	520	379	322	272

труб для напорных трубопроводов (по ТУ 6-19-218—83), мм

Отводы								
90°		60°		45°		30°		
z	l	z	l	z	l	z	l	z
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
778	472	576	472	498	425	428		
900	515	646	515	548	459	461		
1100	618	783	618	665	549	551		
1295	688	896	688	741	600	603		
1415	731	965	731	792	632	636		
1550	779	1043	779	847	669	672		
1750	881	1179	881	960	758	762		
1900	936	1266	936	1022	798	802		
2200	1043	1439	1043	1146	877	883		

с $Д_н > 800$ мм осуществляется экструзионной сваркой.
с дополнительным усилением стеклопластиком на основе полиэфирного связующего.

инструмент с устройствами для автоматического регулирования температуры рабочих поверхностей (рис. 13).

Для стыковой сварки нагретым инструментом труб из термопластов разработаны различные специализированные установки, которые

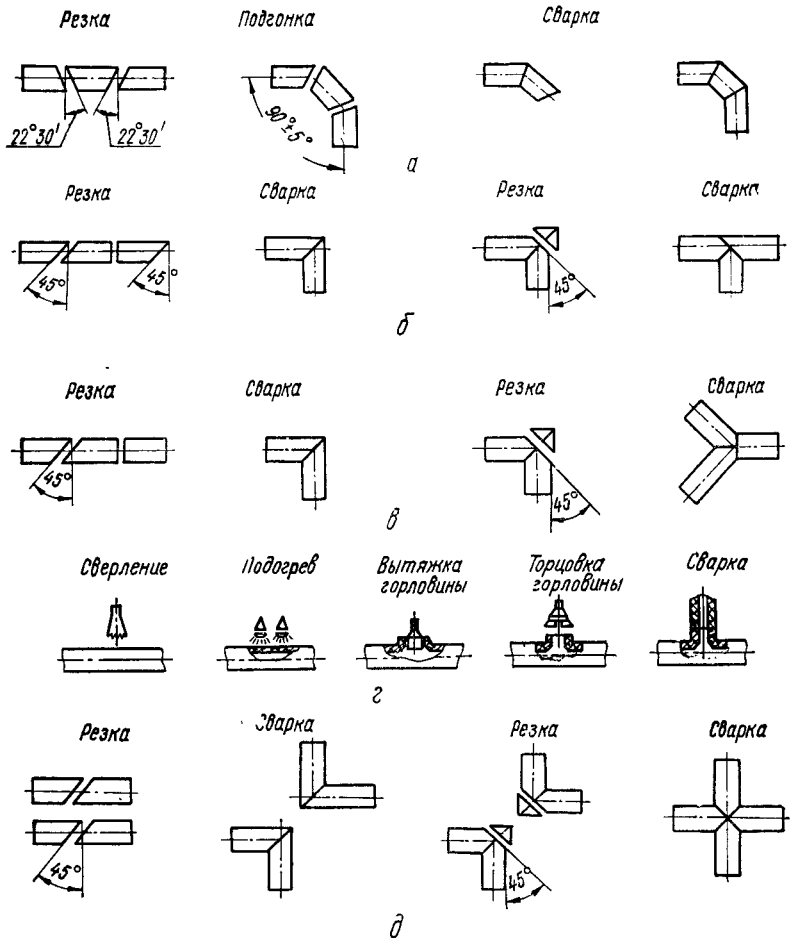


Рис. 12. Схема изготовления сварных соединительных деталей пластмассовых трубопроводов:

а — односекторные отводы; *б* — равнопроходные прямые тройники; *в* — равнопроходные косые тройники; *г* — неравнопроходные тройники; *д* — крестовины

в зависимости от условий применения можно разделить на следующие группы: ручные сварочные приспособления и устройства; установки переносные; передвижные на колесном ходу; а также полустационарные и стационарные установки, перемещаемые с применением специальных механизмов. Различают также установки по виду привода (рычажный, винтовой, гидравлический, пневматический) и по способу нагрева сварочного инструмента (электрический, газовый). Центраторы (зажимные узлы) установок рассчитаны на ряд типоразмеров труб, поэтому каждая установка комплектуется сменными вкладышами.

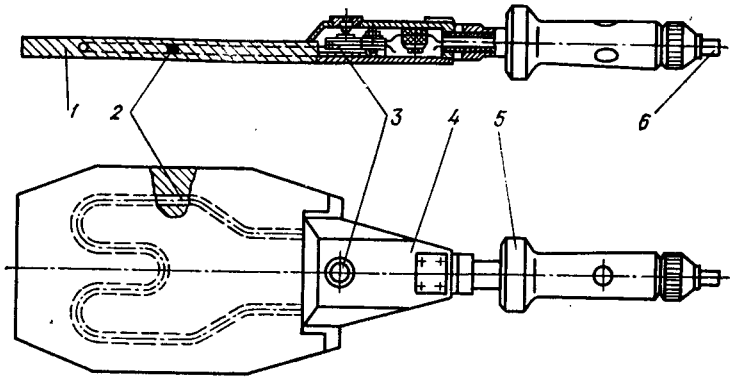


Рис. 13. Электронагревательный инструмент для стыковой сварки:

1 — нагревательная плита; *2* — ТЭН; *3* — терморегулятор; *4* — корпус; *5* — рукоятка; *6* — кабель питания

Разработанные и изготовляемые ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР установки типа УСТТ (табл. 8, рис. 14) отличаются простотой конструкции, малой массой и безопасностью в работе. Они аналогичны по конструкции и могут применяться в различных условиях.

8. Технические характеристики установок для сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом

Тип установки	Диаметр свариваемых труб, мм	Мощность нагревательного инструмента, кВт	Максимальное усилие сжатия труб при сварке, Н	Продолжительность технологической паузы, с	Производительность, стык/ч	Масса, кг			
						центратора	торцующего устройства	нагревательного инструмента	блока управления
УСТТ-110	63—110	1	900	2	6—8	10	1,6	2,8	32
УСТТ-225	160—225	2	3000	2	2—4	25	4	3,2	49
УСТТ-400	250—400	2	1000	2—3	2—3	80	19	8	49
УСТТ-630	500—630	4	1500	2—3	1—2	300	30	15	98
УСТТ-900	710—900	8	2000	3	1—2	600	40	20	196
УСТТ-1200	1000—1200	12	3500	3	1	1100	50	25	294

Примечания: 1. Напряжение питания нагревательных инструментов — 42 В, блоков управления — 220 В.

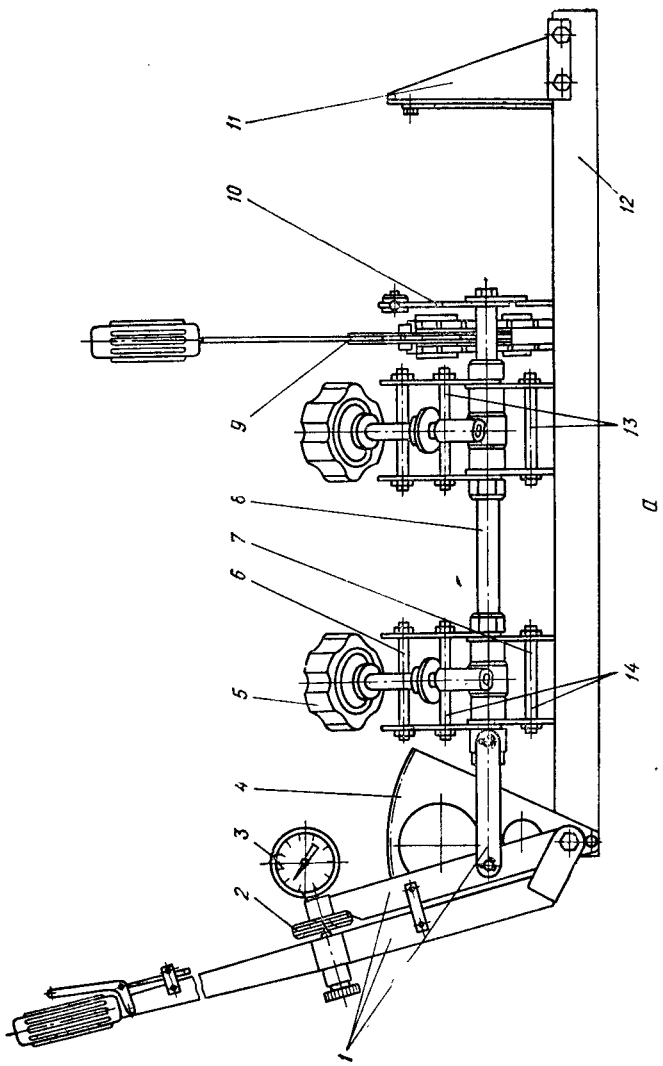
2. Диапазон регулирования температуры нагревательных инструментов — 180—240 °С с точностью ±5 °С.

3. Система управления центратором и торцующим устройством — ручная.

Для сварки пластмассовых труб в трассовых условиях могут также применяться: механизированные установки, разработанные в научно-исследовательском институте «Мосстрой» (Главмосстроя) (табл. 9); установка УМСТ-09 конструкции Государственного научно-исследовательского и проектного института «Гипрониигаз»; оборудование, созданное с участием Всесоюзного научно-исследовательского института по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), — установки УСП-5 и УСП-69, а также комплект УСКП-6 и другое оборудование. [9,10].

Для сварки монтажных соединений пластмассовых трубопроводов создан ряд специальных устройств и приспособлений. Киевским филиалом и отделом специального конструкторского бюро Всесоюзного научно-исследовательского института по монтажным и специальным строительным работам (ВНИИмонтажспецстрой) разработаны устройства УСПМ-110 и УСПМ-225 (табл. 10, рис. 15), научно-исследовательским и конструкторским институтом монтажной технологии (НИКИМТ) — устройства СА-34, СА-56, СА-59 и СА-119 (табл. 11) [35], ЦНИИКФТ — клещи МСК-70М, НИИМосстроем — комплект приспособлений для сварки труб диаметром до 630 мм (табл. 12) и др. [35].

При производстве ремонтных работ на подземных полиэтиленовых трубопроводах, связанных с вырезкой дефектных участков и заменой их вставками, а также для соединения между собой плетей трубопроводов в случае невозможности применения сварочных установок в стесненных условиях строительства рекомендуется сварка в косой стык, при которой угол торцов соединяемых труб должен быть равным 45°, а сварка должна проводиться под давлением, приложенным перпендикулярно к оси трубопровода. Для ее выполнения Гипрониигазом разработан специальный комплект устройств КУСКС-09, в который входят кондуктор для выполнения среза торцов труб под углом 45°



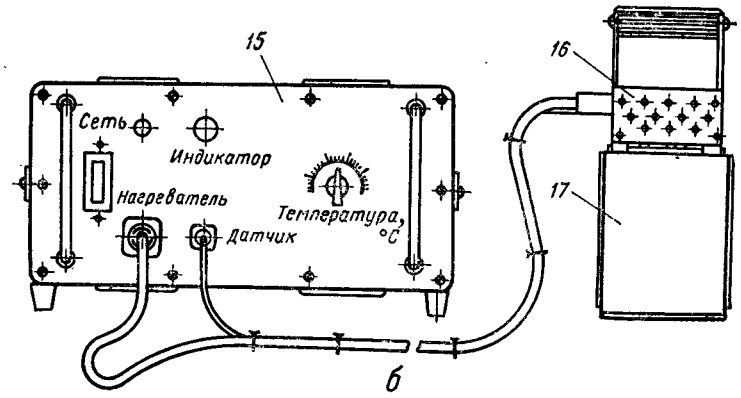
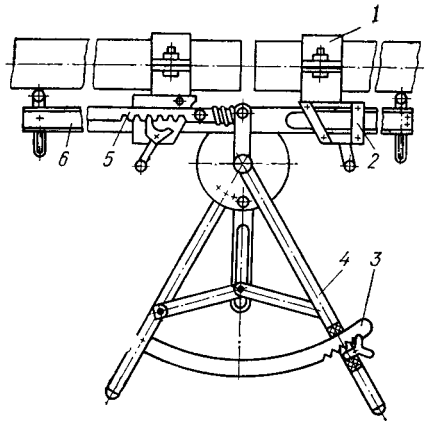


Рис. 14. Установка УСТТ-110 для стыковой сварки пластмассовых труб:

а — центратор; *б* — блок управления с нагревательным инструментом; *1* — рычажная система; *2* — индикатор давления; *3* — манометр; *4* — зубчатый сектор; *5* — зажимной винт; *6* — верхняя откидывающаяся полуобойма; *7* — нижняя фиксированная полуобойма; *8* — направляющая; *9* — торцующее устройство; *10* — захват для зажима соединительных деталей; *11* — упорный кронштейн; *12* — рама; *13* — неподвижные зажимы; *14* — подвижный зажим; *15* — блок управления; *16* — нагревательный инструмент; *17* — кассета



струбцина для прижима по вертикали концов сопрягаемых труб при оплавлении и сварке (рис. 16); нагревательный инструмент прямоугольной формы; фиксирующая муфта для временного закрепления концов труб, подлежащих сварке во вторую очередь и возможности смещения трубной вставки на необходимое расстояние в вертикальной плоскости; опоры; ручная ножовка [35].

Рис. 15. Сварочное монтажное устройство УСПМ-110:

1 — зажимной хомут; *2* — кронштейн; *3* — зубчатый сектор; *4* — рычаг; *5* — тяга; *6* — штанга

Сварка в косой стык должна выполняться следующим образом. Из трубопровода вырезают дефектный участок под прямым углом,

9. Технические характеристики установок для сварки пластмассовых труб в условиях строительной площадки

Наружный диаметр свариваемых труб, мм, не более	Производительность, стыков в смену	Потребляемая мощность, кВт	Максимальная сила сжатия, Н	Силовой привод	Максимальная температура электронагревательного инструмента, °С	Габаритные размеры, м	Масса, кг
315	15	2,5	8000	Механический	250	2,8×1,7×0,94	700
630	10	4,2	14000	Гидравлический	250	3×3×2,4 (с шатром)	1950

10. Технические характеристики специальных монтажных сварочных устройств

Тип устройства	Диаметр свариваемых труб *Dн*, мм	Наибольшая сила на рычагах ручного рычажного привода, Н	Наибольшая сила осадки, Н	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
УСПМ-110	50, 63, 75, 90, 110	80	550	520×640×150	6,5
УСПМ-225	140, 160, 180, 200, 225	100	1500	450×440×500	16

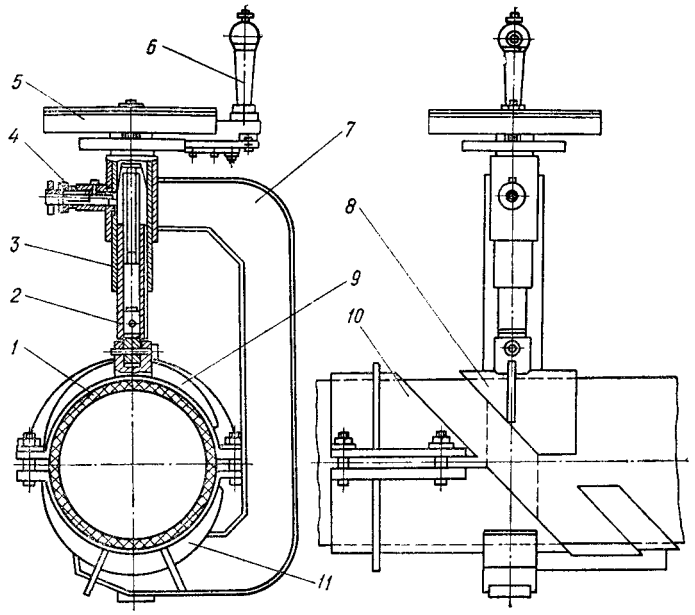


Рис. 16. Струбцина для сварки труб в косой стык:

1 — труба; *2* — пиноль; *3* — шпиндель; *4* — стопор; *5* — диск; *6* — ручка силового устройства; *7* — корпус; *8* — крышка; *9* — подушка прижимная; *10* — направляющая; *11* — основание

11. Технические характеристики монтажных устройств для сварки пластмассовых труб

Тип устройства	Наружный диаметр свариваемых труб, мм	Максимальная сила, развиваемая рычажной системой центрирующего устройства, Н	Мощность нагревательного инструмента, кВт	Габаритные размеры центрирующего устройства, мм	Масса центрирующего устройства, кг
СА-34 (СА-119)	40—110	800	0,3	210×210×380	5
СА-56	40—110	20—400	0,4	210×190×455	7
СА-59	125—160	40—800	0,4	280×240×575	12

Примечания: 1. Напряжение питания шкафа управления — 220 В, электронагревательного инструмента — 36 В.

2. Диапазон автоматического регулирования температуры рабочей поверхности нагревательного инструмента составляет 20—350 °С с точностью поддержания заданной температуры ±15 °С.

3. Устройства СА-56 и СА-59 имеют поворотные зажимные хомуты, позволяющие сваривать трубы под углом.

12. Технические характеристики монтажных приспособлений для сварки пластмассовых труб

Наружный диаметр свариваемых труб, мм	Напряжение питания электронагревательного инструмента, В	Мощность, Вт	Габаритные размеры центрирующего устройства, мм	Масса, кг		
				центрирующего устройства	торцевателя	электронагревательного инструмента
69—110	36	400	430×260×290	28	2,0	5,4
125—225	36	600	475×375×1300	45	4,4	8,0
250—315	36	1000	510×412×1500	55	6,0	9,0

13. Технические характеристики устройств для изготовления сварных соединительных деталей пластмассовых трубопроводов

Наружный диаметр свариваемых труб, мм	Напряжение питания электронагревательного инструмента, В	Мощность, Вт	Максимальная сила сжатия при сварке, Н	Ход кареток, мм		Габаритные размеры, мм	Масса электронагревательного инструмента (без кабеля), кг
				в продольном направлении	в поперечном направлении		
63—110	36	500	2000	70	±10	970×515×1080	1,4
125—225	36	1500	3600	160	±15	995×850×1350	5,8

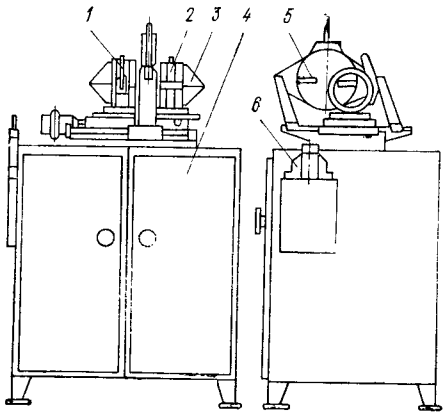


Рис. 17. Устройство для сварки соединительных деталей пластмассовых трубопроводов ($Д_н$ = 63 . . . 110 мм):

1 — левая каретка; *2* — правая каретка; *3* — сменные вкладыши зажимных хомутов; *4* — стол; *5* — инструмент для торцовки; *6* — электронагревательный инструмент

трубы вырезают вставку с косыми концами длиной на 20 мм больше, чем вырезанный участок (20 мм — припуск на оплавление при сварке). Готовая вставка с косыми концами устанавливается в рассечку трубопровода, при этом один конец вставки временно соединяют с трубопроводом фиксирующей муфтой, а другой конец вставляют в сварочную

после чего свободные концы трубопровода срезают под углом 45°. Замеряют расстояние между верхними точками вырезанного участка трубопровода и в соответствии с этим размером из

струбцину, закрепленную на трубопроводе. Осевая линия установленной вставки должна быть на 10 мм выше осевой линии трубопровода. Сварка стыков выполняется поочередно с одного, а затем с другого конца вставки. Основные параметры процесса сварки труб в косой стык такие же, как и при сварке прямых стыков.

Сварные соединительные детали следует изготовлять в условиях трубозаготовительных цехов и мастерских на специальном оборудовании, обеспечивающем правильное взаимное расположение свариваемых заготовок и соблюдение требуемых параметров сварки. При определенных навыках сварные соединительные детали трубопроводов с наружным диаметром менее 63 мм можно изготовлять вручную; в этом случае при подгонке на свариваемые заготовки наносят контрольные риски (не менее двух с одной стороны), что обеспечивает правильное взаимное расположение заготовок при их сварке.

Для изготовления сварных соединительных деталей пластмассовых трубопроводов в настоящее время созданы различные устройства, отличающиеся друг от друга конструктивным исполнением, но имеющие идентичные схемы работы [9, 10, 24]. Наиболее совершенными являются устройства, разработанные Киевским филиалом и СКБ ВНИИмонтажспецстроя (табл. 13, рис. 17).

Для стыковой сварки нагретым инструментом листов из термопластов разработаны установки МСП-8, МСФ и стан ЭКБ ЖБ, идентичные по конструкции, но отличающиеся толщиной свариваемых листов и длиной получаемого шва.

Основные параметры установки МСП-8

Толщина свариваемого материала, мм	3—30
Длина шва, мм	700
Максимальное усилие при сварке, кН	12
Потребляемая мощность, кВт	12
Габаритные размеры, мм	1550×1400×1420
Масса, кг	700

СВАРКА НАГРЕТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ РАСТРУБНАЯ

Наибольшее применение раструбная сварка нагретым инструментом нашла для соединения труб из полиолефинов. Последователь-

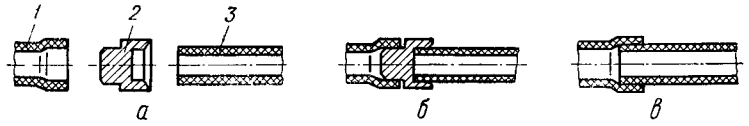


Рис. 18. Последовательность процессов раструбной сварки нагретым инструментом:

а — исходное положение труб (деталей) и нагревательного инструмента; *б* — оплавление свариваемых поверхностей; *в* — готовое сварное соединение; *1*, *3* — свариваемые трубы (детали); *2* — электронагревательный инструмент

ность процессов раструбной сварки труб (рис. 18) аналогична стыковой сварке, но при этом используется инструмент, состоящий из гильзы для оплавления наружной поверхности трубы и дорна для оплавления внутренней поверхности раструба. Размеры инструмента зависят от геометрических характеристик свариваемых труб. Внутренний диаметр гильзы должен равняться наружному диаметру трубы, наруж-

ный диаметр дорна на 0,3—0,5 мм должен быть меньше внутреннего диаметра гильзы, поэтому для соединения труб различных типоразмеров должен применяться свой инструмент. Раструбная сварка воз-

14. Оптимальные значения основных технологических параметров раструбной сварки нагретым инструментом при 20 °С [9, 24]

Материал труб	Температура инструмента, °С	Глубина проплавления материала труб, мм	Продолжительность нагрева, с, при толщине стенки, мм			Продолжительность технологической паузы, с, не более	Продолжительность охлаждения стыка под осевой нагрузкой, с
			4—5	до 8	свыше 8		
ПВД	250—280	1—2	12—30	35—45	45—50	3	20—30
ПНД	230—250	1—2	12—25	25—30	40—45	3	20—30
ПП	250—280	1,5—2	15—30	35—40	45—50	3	20—30

Примечание. При изменении температуры окружающей среды технологические параметры корректируются путем проведения пробных сварок.

можна с применением литых соединительных деталей, формованных раструбных муфт, а также с помощью раструба, отформованного на одной из соединяемых труб.

Основные технологические параметры сварки и их оптимальные значения приведены в табл. 14.

Основные типы и конструктивные элементы сварных швов пластмассовых трубопроводов при раструбной сварке нагретым инструментом регламентированы ОСТ 102-63—81.

Раструбная сварка рекомендуется для соединения труб наружным диаметром до 160 мм при любых значениях толщины стенки. По сравнению со стыковой сваркой нагретым инструментом раструбная сварка не требует высокой квалификации свар-

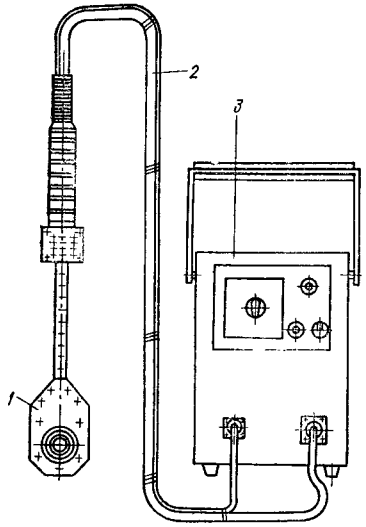


Рис. 19. Устройство УСТТР-50 для раструбной сварки пластмассовых труб:

1 — нагревательный инструмент со съемным дорном и гильзой; *2* — кабель; *3* — блок управления

щика, кроме того, значительно большая площадь сварки позволяет увеличить прочность соединения.

Для раструбной сварки труб из термопластов нагретым инструментом разработаны устройства УЭСО-1, ЭСО-2 [3] и УСТТР-50 (табл. 15, рис. 19).

15. Технические характеристики устройств для раструбной сварки нагретым инструментом

Тип устройства	Наружный диаметр свариваемых труб, мм	Напряжение питания нагревательного инструмента, В	Мощность, кВт	Максимальная температура нагрева, °С	Масса,	
					нагревательного инструмента	блока управления
УЭСО-1	20—75	36	0,7	370	3,2	14
ЭСО-2	110	36	0,8	370	4,1	14
УСТТР-50	16—50	42	1	350	4	24

СВАРКА НАГРЕТЫМ КЛИНОМ

Сварка нагретым клином применяется преимущественно для получения нахлесточных соединений пленок из термопластов, а также стыковых соединений с накладкой. При этом способе свариваемые поверхности соединяемых пленок разогреваются до температуры вязкотекучего состояния с помощью клиновидного нагревательного инструмента, входящего в щель между двумя пленками, после чего пленки сжимаются по местам сварки с помощью валиков или роликов, которые одновременно перемещают свариваемые изделия и охлаждают сварной шов (рис. 20). Применение роликов позволяет не только создать требуемое давление сварки, но и в значительной степени уменьшить величину усадочных деформаций шва, что улучшает его внешний вид и повышает работоспособность. Сварка производится непрерывно, инструмент перемещается вручную или с помощью специальных уста-

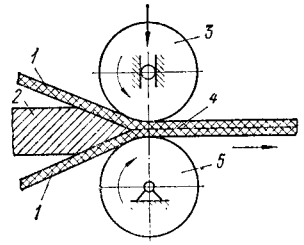


Рис. 20. Схема сварки нагретым клином нахлесточных соединений пленок:

1 — свариваемые пленки; *2* — клиновидный нагревательный инструмент; *3* — прижимной ролик; *4* — сварной шов; *5* — транспортирующий ролик

новок для механического перемещения инструмента (свариваемого материала), позволяющих в широком диапазоне регулировать давление и скорость сварки. Наибольшее распространение получил способ сварки с механизированной подачей свариваемого материала и неподвижным нагревательным инструментом.

Толщина свариваемой пленки должна быть не менее 150 мкм [29]. Более тонкие пленки не свариваются, так как при скольжении по нагревателю они размягчаются по всей толщине, теряют форму и прилипают к инструменту или прижимным роликам. Максимальная толщина свариваемых эластичных пленок практически не ограничивается, поскольку скорость нагрева соединяемых поверхностей не зависит от толщины материала.

Скорость сварки и прочность соединения в значительной мере определяются температурой, создаваемой на свариваемых поверх-

ностях соединяемых деталей. Наличие на поверхности инструмента инородных частиц, в том числе и продуктов деструкции термопласта, определяет необходимость повышения температуры нагревателя на 60—130 °С [29] сверх температуры, которая должна быть на свариваемых поверхностях. Применение инструментов, изготовленных из материалов, исключающих налипание на них оплавленного материала свариваемых поверхностей, дает возможность повысить скорость сварки.

Давление сварки на качество соединения большого влияния не оказывает.

Для сварки нагретым клином прямолинейных швов ВНИИСТом разработан специальный станок [9], состоящий из трех рольгангов и сварной консольной станины с прижимным механизмом и рабочими роликами, приводящимися во вращение электродвигателем через редуктор и коробку скоростей.

Основные параметры станка для сварки нагретым клином

Мощность, кВт:	
электродвигателя	3,2
электронагревательного инструмента	1,2
Длина нахлестки пленок, мм	18—35
Давление на рабочих роликах, Н	100—250
Скорость сварки, м/с	0,15; 0,26; 0,58; 1,6
Габаритные размеры, м	3,2×3,19×1,62
Масса, кг	1565

В качестве нагревательного инструмента применяется медный клин шириной 50 мм, внутри которого находится электроспираль. Свариваемые пленки подаются из рулонов по двум рольгангам, наклоненным друг к другу под углом 20° (один рольганг расположен горизонтально), и сходятся с перекрытием под рабочими тянущими роликами. В этом месте располагается клиновидный нагреватель. Величина перекрытия пленок регулируется предварительной настройкой станка.

СВАРКА С ОДНОВРЕМЕННЫМ ФОРМОВАНИЕМ ИЗДЕЛИЙ

Для получения профильных изделий из листовых термопластов применяется сварка с одновременным формованием: сварка с перегибом или сварка в паз [29].

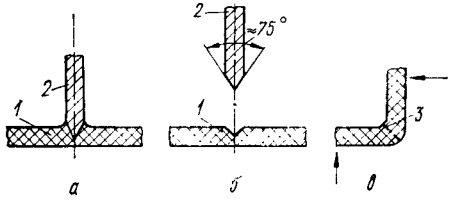


Рис. 21. Схема сварки с перегибом:

а — вдавливание нагретого инструмента в листовую заготовку; *б* — удаление инструмента; *в* — перегиб листа по продольной оси паза; *1* — лист термопласта; *2* — нагретый инструмент; *3* — сварной шов

Сварку с перегибом (рис. 21) производят с помощью инструмента, рабочая кромка которого скошена под углом, приблизительно равным 75°. V-образный паз в листе по месту будущего перегиба создают вдавливанием нагретого инструмента и размягчением материала на глубину от 2/3 до 3/4 толщины, при этом для предотвращения образования трещин во время перегиба листа целесообразно подогревать одновременно его тыльную сторону.

Сваркой в паз выполняют тавровые соединения (рис. 22). Для получения сварного шва *5* торец листа *1* нагревается на плоском инструменте 2, а паз в листе *4* создается вдавливанием торца нагретого инструмента *3*, затем, после нагрева заготовок до требуемой температуры, заготовку, разогретую с торца, впрессовывают в паз другой заготовки и выдерживают под давлением до охлаждения сварного шва.

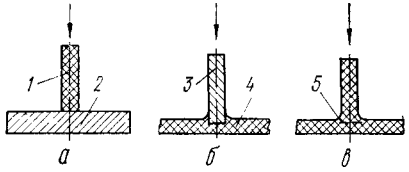


Рис. 22. Схема сварки в паз:

а — нагрев торца; *б* — формование паза; *в* — запрессовка листа в паз

СВАРКА ПРЕССОВАЯ

При прессовой сварке, как правило, используют нагретый инструмент с большой теплоемкостью (в последнее время начали применяться малоинерционные ленточные нагреватели), а сварка осуществляется шаговым способом на специальных прессах, позволяющих создавать необходимое сварочное давление.

Развитие прессовой сварки связано с увеличением применения армированных полимерных пленок, при сварке которых армировка тормозит протекание реологических процессов в зоне контакта свариваемых деталей. Поэтому приемы и режимы, применяемые для сварки обычных пленок, не дают положительных результатов. Установлено [10], что при сварке армированных пленок необходимо применять повышенное давление (причем тем больше, чем тоньше слой пластмассы, покрывающий армировку) и длительную выдержку при повышенной температуре. При этом сварочное оборудование должно допускать деформации материала соединяемых пленок в зоне шва, но ограничивать их в околошовной зоне (рис. 23), так как в противном случае в ней образуются складки армировки, что при работе конструкции приводит к концентрации напряжений и разрушению сварного соединения. Указанные технологические параметры обеспечиваются прессовой сваркой, которая применяется для сварки не только армированных, но и дублированных пленок на основе полиимидов и фторопластов, а также неармированных пленок толщиной более 250 мкм.

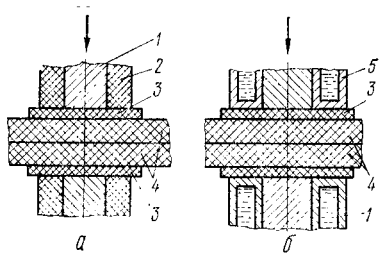


Рис. 23. Схема прессовой сварки с нагревательным инструментом без охлаждения (*а*) и с охлаждением (*б*) боковых зон шва:

1 — нагреватель; *2* — теплоизоляционная пластина; *3* — разделительная прокладка; *4* — свариваемые изделия; *5* — охлаждаемый элемент

Основное соединение пленок — нахлесточное. Возможны и другие конструкции соединений, применяемые в основном для армированных пленок (рис. 24). Иногда для улучшения условий протекания процесса сварки между соединяемыми пленками в месте их перекрытия необходимо закладывать присадочный материал из пленки того же состава, что и пленка, покрывающая армировку.

Изменяя величину перекрытия пленок, можно получать соединения, выдерживающие разрушающие нагрузки в довольно широких пределах. Определение оптимального значения этой величины производится экспериментально с учетом свойств свариваемого материала, требований, предъявляемых к соединению и технологии сварки. Для этого производятся последовательные испытания образцов с различным перекрытием, сваренных на оптимальном режиме, который также целесообразно подбирать экспериментально по значениям прочности образцов при расслаивании (по отношению усилия, необходимого для разрушения образца, к ширине нахлестки). В качественно выполненном сварном соединении кромки шва должны быть заплавлены слоем термопласта, который герметизирует шов и образует плавный переход к основному материалу. На поверхности шва и в околошовной зоне не должно быть подрезов, вмятин и гофров свариваемого материала.

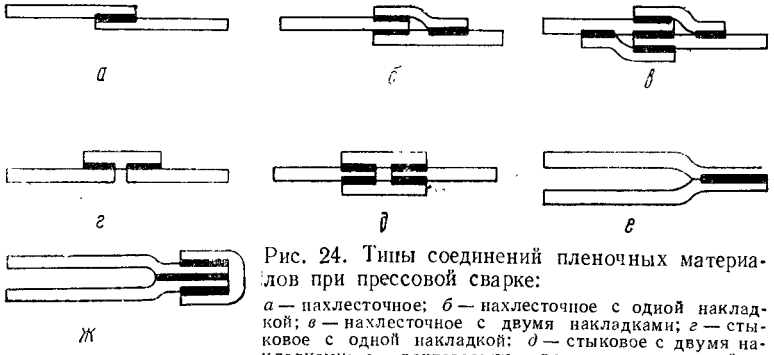


Рис. 24. Типы соединений пленочных материалов при прессовой сварке:

а — нахлесточное; *б* — нахлесточное с одной накладкой; *в* — нахлесточное с двумя накладками; *г* — стыковое с одной накладкой; *д* — стыковое с двумя накладками; *е* — рантовое; *ж* — рантовое с накладкой

Типы швов и размеры конструктивных элементов должны определяться, исходя из толщины материала, типа армировки, типа и толщины полимерного покрытия, величины исходной межслоевой прочности полимерного покрытия и армирующей основы, технических требований к соединениям [9, 10].

Основные типы выполненных прессовой сваркой соединений армированных пленок толщиной 0,5—1,5 мм, конструктивные элементы свариваемых деталей, их размеры, размеры выполненных швов и их предельные отклонения должны соответствовать требованиям ОСТ 102-47—78. Процесс прессовой сварки состоит из следующих операций: укладка свариваемых изделий, сведение нагревателей, нагревание материала в зоне шва до температуры сварки, приложение заданного давления, выдержка, охлаждение и распрессовка. Детали в зависимости от их размеров можно соединять за один цикл одновременно по всей длине шва или последовательно за несколько циклов.

При выборе режима сварки (температура инструмента, давление и продолжительность) следует учитывать тип свариваемого материала, его термомеханические свойства и термостойкость, а также конструкцию изделия и вид сварочного оборудования [10, 15]. Рекомендуемые режимы сварки некоторых армированных пленок сложного совмещения приведены в табл. 16.

ВНИИСТом и Экспериментальным конструкторским бюро по железобетону, а также другими организациями сконструировано, изготовлено и на протяжении ряда лет успешно эксплуатируется несколько типов сварочных прессов, предназначенных для сварки ар-

16. Технологические параметры сварки армированных пленок [10]

Пленка		Режим сварки		
Марка	Толщина, мм	Температура, °С	Давление, МПа	Выдержка, с
ПАК-40	1,2	170	1,2—1,4	420
СПА-БР	1,0—1,2	160—180	0,7—1,0	180—300
СПА-ЭР	1,1—1,4	150—160	1,1—1,4	180—240

17. Оборудование для прессовой сварки армированных термопластичных пленок [9, 10]

Наименование, марка пресса	Напряжение нагревателя, В	Максимальная мощность, кВт	Ширина шва, мм	Максимальное давление при сварке, МПа	Максимальная длина шва за один цикл, м	Габаритные размеры, м	Масса, кг
Консольный ПС-100	70	2,0	До 70	4,0	1,0	1,5×0,8×1,8	1400
Консольный ПС-300	70	3,0	50—70	4,0	3,0	3,5×0,8×1,8	3000
Консольный ПС-4	50	0,9	До 50	5,0	0,4	0,8×0,8×1,7	250
Портальный ПС-400	50	4,0	50	5,0	3,75	4,7×0,95×2,1	8000
Портальный ПС-12	50—70	60,0	50	4,0	1,8	13,5×1,3×3,7	24000
Переносной неразъемный ССП-4	36	0,5	50	2,0	0,35	0,8×0,47×0,18	18
Переносной неразъемный ССП-5	36	1,2	50	2,0	0,55	1,0×0,47×0,18	30
Переносной разъемный ССП-7	36	1,2	50	2,0	0,55	1,2×0,5×0,18	45

Примечания: 1. Прессы предназначены для сварки нахлесточных соединений шаговым способом пленочных материалов толщиной до 3000 мкм.

2. Нагрев при сварке — двусторонний, максимальная температура нагревателя — 250 °С.

3. Напряжение питающей сети — 380 В.

мированных пленок как в стационарных, так и в монтажных условиях (табл. 17). Для стационарных условий разработаны прессы консольного и портального типов. Характерной особенностью консольных прессов является наличие выема в станине для размещения в нем одного из свариваемых полотнищ и возможность шаговым способом (путем поэтапного наращивания) сваривать швы практически неограниченной длины. Портальные прессы позволяют получать за один цикл сварной шов длиной до 12 000 мм. Сварка в монтажных условиях

производится переносными прессами скобообразной формы разъемного и неразъемного типов (рис. 25). [9,10].

Неразъемные переносные прессы имеют цельносварной корпус С-образной формы (см. рис. 25, *а*, *б*). На нижней ветви корпуса имеется неподвижный нагреватель, а на верхней ветви шарнирно крепится подвижный нагреватель, который опускается при помощи гидропривода и поднимается при помощи возвратной пружины. Максимальный зазор между нагревателями может составлять 55 мм.

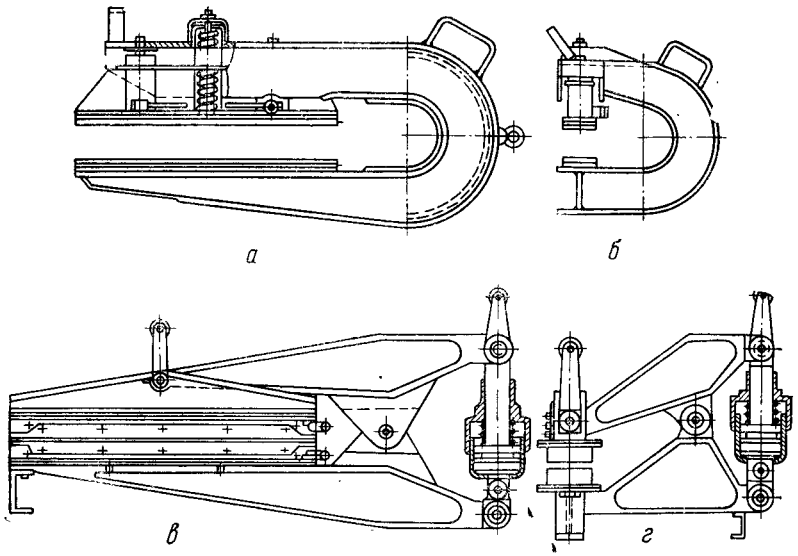


Рис. 25. Переносные скобообразные прессы типа ССП:

а — ССП-5, неразъемный для сварки продольных швов; *б* — ССП-4, неразъемный для сварки поперечных швов; *в* — ССП-7, разъемный для сварки продольных швов; *г* — ССП-6, разъемный для сварки поперечных швов

Разъемные переносные прессы имеют шарнир и по схеме работы подобны клещам (рис. 25, *в*, *г*). Перед сваркой очередного участка шва ось шарнира вынимают и верхнюю ветвь пресса отводят на шарнире гидроцилиндра. После сборки и укладки на нижнем нагревателе свариваемых кромок внахлестку верхнюю ветвь приводят в рабочее положение, серьги шарнира совмещают отверстиями и ось помещают на место. Затем при помощи гидроцилиндра верхнюю и нижнюю ветви сводят и одновременно включают электропитание нагревателей. После сварки и непродолжительного принудительного охлаждения нагревателей давление в гидроцилиндре уменьшается до нуля, а верхняя губка пресса под действием пружины поднимается на 8 мм. Затем ось шарнира вынимают, поворачивают верхнюю ветвь пресса, пресс или пленку перемещают и процесс повторяют.

18. Основные параметры прессов типа ПСТП

Тип пресса	Напряжение питания, В: электрооборудования	Напряжение питания, В: нагревателей	Максимальная мощность нагревателей, кВт	Максимально развиваемая сила, кН	Длина сварного шва за один цикл, мм	Ширина сварочного шва, мм	Толщина свариваемой пленки, мм
ПСТП-4	380/220	24,4—160	5	400	4000	15—50	0,3—2,0
ПСТП-4М	380/220	До 40	5	520	4000	30, 40, 50	0,3—2,0
ПСТП-2	380/220	24,4—160	5	200	2000	15—50	0,3—2,0
ПСТП-0,5У	380/220	24,4—160	3	50	500	15—50	0,3—2,0

Кроме указанных в табл. 17 в производстве применяются также прессы другой конструкции. Для сварки крупногабаритных изделий из полимерных пленок больших толщин в заводских условиях используются прессы ПС-1 (длина рабочего сварочного инструмента 0,4 м), ПС-3 (1,0 м), ПС-4М (1,4 м), ПС-5 (3,0 м) [3, 29], а для ручной сварки в монтажных условиях — клещи типа КС [10] и типа КТИ-301 [3]. Клещи типа КС предназначены для шаговой сварки рантовых соединений полиолефиновых, поливинилхлоридных и фторлоновых пленок толщиной до 500 мкм. За один цикл сварки получается шов длиной 180—200 мм и шириной 2—10 мм. Нагрев шва при сварке — двусторонний, напряжение питания нагревателя — 6—15 В, максимальная потребляемая мощность — 500 Вт. Габаритные размеры клещей — 0,305 × 0,208 × 0,08 м, масса — 1,5 кг.

Минским экспериментально-конструкторским и технологическим бюро кожгалантерейной и фурнитурной промышленности (Минское ЭКТБ КФП) с участием ВНИИСТ и экспериментального проектно-конструкторского и технологического бюро «Стройпластик» (ЭПКТБ «Стройпластик») разработаны прессы, обеспечивающие наиболее оптимальные условия сварочного процесса — ПСТП-4, ПСТП-4М, ПСТП-2, ПСТП-0,5У [35]. Устройство и принцип работы прессов идентичны. На прессах ПСТП-4, ПСТП-4М и ПСТП-2 можно сваривать шаговым способом прямолинейным швом любой длины пленки из полиамида, полиэтилена и поливинилхлорида, а пресс ПСТП-0,5У предназначен для сварки угловых швов. Прессы ПСТП-4 (ПСТП-4М) и ПСТП-2 отличаются длиной верхней и нижней траверс, гидроподушки и нагревательных элементов. Пресс ПСТП-0,5У имеет удлиненную поворотную верхнюю консоль, угол между нагревательными элементами может регулироваться от 90 до 130°. Технические характеристики прессов приведены в табл. 18.

В отличие от идентичного отечественного и зарубежного оборудования прессы ПСТП-4, ПСТП-4М и ПСТП-2 имеют портально-консольные станины, что позволяет сваривать поперечные и продольные швы крупногабаритных изделий, а также обслуживать прессы как с передней, так и с тыльной стороны.

Температура, °С: нагрева в зоне шва	Температура, °С: до которой охлаждается сварной шов	Сварочное давление, МПа	Время выдержки температуры сварки, с	Производительность, сварок/ч	Рабочий ход верхней траверсы, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
150—200	60	0,5—1,5	120—300	4—10	195	4340×1100×1800	3500
200	60	1,5	60—90	6—10	200	4750×1680×1825	3950
150—200	60	0,5—1,5	120—300	4—10	195	2340×1100×1800	2850
150—200	60	0,5—1,5	120—300	4—10	195	1700×1700×1920	1870

В прессе ПСТП-4М (рис. 26) произведены следующие изменения по сравнению с прессом ПСТП-4: для уменьшения деформаций при прессовании увеличена жесткость верхней и нижней траверс; с целью предотвращения смещения ленты нагревателей в процессе работы увеличена ширина гидроподушки и повышена жесткость узла натяжения ленточных нагревателей; для исключения расхождения кромок свариваемых пленок под действием массы свисающего материала увели-

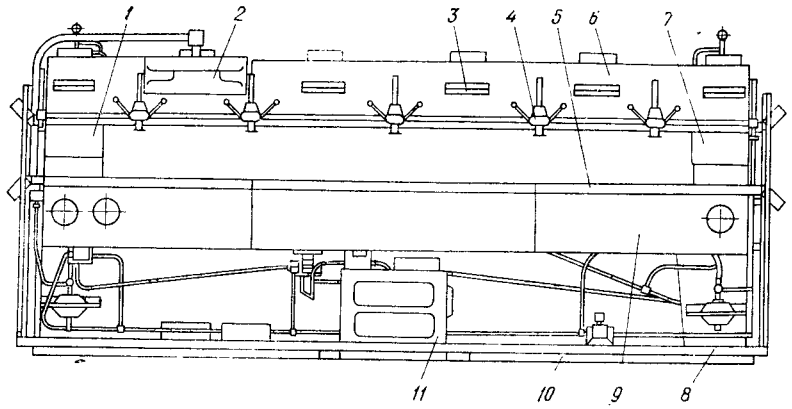


Рис. 26. Общий вид пресса ПСТП-4М:

1, 7 — стойки; *2* — пульт управления; *3* — светильник; *4* — прижим; *5* — стол; *6* — траверса верхняя; *8* — поддон; *9* — траверса нижняя; *10* — основание; *11* — гидропривод

чено количество прижимов; на верхней траверсе установлены светильники для визуального контроля требуемой длины нахлестки при укладке свариваемого материала на нижний нагревательный элемент; в качестве антиадгезионной прокладки применена лакоткань на основе фторопласта-4Д, что устранило необходимость замены целлофановой пленки при каждом цикле прессования, автономная система охлаждения заменена охлаждением проточной водой, что позволило сократить время охлаждения зоны шва и упростить конструкцию системы охлаждения; на прессе установлен поддон для раз-

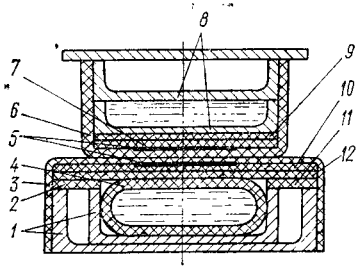


Рис. 27. Сварочный узел пресса ПСТП

1 — основание нижнего нагревателя; *2, 7, 10, 11* — упругие прокладки; *3, 6* — лакоткань; *4* — гидроподушка; *5* — ленточные нагреватели; *8* — секции верхнего нагревателя; *9, 12* — термозащитные прокладки

мещения оператора, что позволило решить проблему размещения и перемещения крупногабаритных сварных полотнищ и создало предпосылки к механизации укладки и съема свариваемых изделий.

Сварочный узел прессов типа ПСТП (рис. 27) состоит из верхнего и нижнего нагревателей и благодаря своей конструкции обеспечивает оптимальные условия протекания сварочного процесса. Верхний и нижний ленточные нагреватели изготовляются из стали

08Х19Н10Т с высоким электросопротивлением и имеют малую тепловую инерцию: практически мгновенно нагреваются до заданной температуры при включении напряжения на клеммах и быстро охлаждаются после выключения. Преимуществом ленточных нагревателей по сравнению с нагревателями другого типа является также их долговечность и легкая управляемость тепловым режимом, который может быть практически любым. Ускорение охлаждения нагревателей и сварного шва после окончания сварки производится путем циркуляции воды в герметичных полостях секций верхнего нагревателя и теплоотвода в заполненную водой гидроподушку, что значительно сократило период сварочного цикла и увеличило производительность оборудования. Применение гидроподушки (представляющей собой гибкий шланг, защемленный по концам, заполненный водой и связанный трубопроводами с камерами, имеющими диафрагмы, посредством которых и создается рабочее давление в гидроподушке) позволило создавать равномерное давление на сварной шов, исключило местные передавливания материала (подрезы) и деформацию околошовной зоны, а также компенсирует разнотолщинность свариваемых пленок.

СВАРКА ТЕРМОИМПУЛЬСНАЯ

При термоимпульсной сварке используют малоинерционный нагреватель (ленту или проволоку) с повышенным электрическим сопротивлением, который, нагреваясь импульсом электрического тока, разогревает свариваемый материал за доли секунды. Давление, необходимое для сварки, создается на лентах дополнительным приспособлением. После отключения источника электропитания сварной шов быстро охлаждается (тепло отводится через остывший нагреватель или через соответствующие устройства), находясь под давлением, что исключает прилипание материала на нагреватель и коробление пленки. Наиболее распространенная схема термоимпульсной сварки, приведен-

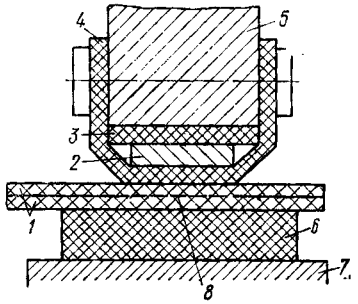


Рис. 28. Схема термоимпульсной сварки полимерных пленок:

1 — пленки; *2* — нагреватель; *3* — тепло- и электроизоляция; *4* — антиадгезионная прокладка; *5* — подвижная губка; *6* — эластичная подложка; *7* — неподвижная губка; *8* — сварной шов

ная на рис. 28, применяется для соединения преимущественно полиолефиновых пленок толщиной 20—250 мкм (при толщине более 200 мкм необходимо применять двухсторонний нагрев). Из наиболее часто встречающихся нахлесточных и раитовых соединений предпочтение следует отдавать нахлесточным, так как они имеют более высокую прочность при растяжении [15].

Чаще всего при термоимпульсной сварке шов получается за один цикл, при этом протяженность сварного шва равна длине нагревателя, которая, в свою очередь, ограничена из-за теплового расширения последнего. Нагреватели в виде проволоки применяются в случае необходимости получения двух параллельных швов с одновременным разрезанием свариваемых изделий или отделением припуска материала. Диаметр проволоки и продолжительность ее нагрева увеличиваются с толщиной пленки.

19. Основные параметры оборудования для термоимпульсной сварки полимерных пленок [3, 10, 29]

Тип оборудования	Длина сварного шва, мм	Ширина сварного шва, мм	Максимальная толщина свариваемых пленок, мм, не более	Материал свариваемых пленок	Нагрев	Продолжительность импульса, с	Потребляемая мощность, кВт	Напряжение, В: питающей сети	Напряжение, В: питания нагревателей	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МСП-15	До 500	3—20	500	ПЭ, ПП	Односторонний и двусторонний	До 60	До 1,0	220	До 20	2000×1800×1700	200
МСП-17	До 500	3—20	500	ПЭ, ПП, Ф	То же	До 900	До 0,5	220	До 25	1030×2000×1500	234,5
МСП-17 Н (настольное исполнение)	До 500	5	500	Ф	Односторонний	До 60	0,5	220	25	700×420×700	120
МСП-21	100—250	4—10	500	ПЭ, ПП, ПА, Ф	»	До 60	До 2	220	36	830×800×1200	315
М6-АП-2С	До 500	До 3	250	ПЭ, ПП	»	0,5—6,0	До 0,8	220	24	750×800×1050	40
ТСП-1-0,5-360	50, 100, 360	2	500	ПЭ, ПВХ, ПА	Двусторонний	0,25—5,75	0,5	220	14—17; 5—6; 25—30	560×510×830	40
АПС	До 500	—	500	—	Односторонний	0,3—0,35	—	220	—	670×710×1100	80
Переносной аппарат	280	3	—	—	Двусторонний	1—10	0,15	220	26	300×200×250	4

Возможна также термоимпульсная сварка длинных швов (длиной более 1—1,5 м) путем шагового перемещения материала.

Оптимальную температуру сварки устанавливают экспериментально путем изменения величины и продолжительности импульса электрического тока, пропускаемого через нагреватель. В зависимости от типа материала и его толщины продолжительность нагревания составляет от десятых долей секунды до нескольких секунд, давление — от 0,01 до 0,2—0,3 МПа.

Для термоимпульсной сварки используют различные сварочные машины (табл. 19). Кроме указанных в табл. 19 разработан также ряд других установок. Например, для одновременного получения двух параллельных швов с автоматическим разрезанием сваренных изделий (пакеты, обложки, книги и др.) создана установка М6-АБО; для упаковки продуктов — машина АСВ и автомат М6-ФУГ; для изготовления бумажных пакетов, покрытых изнутри тонким слоем полиэтилена,— автомат АП-1-Н, для сварки прямолинейных швов различных полимерных пленок — полуавтомат ЛП-1 [10].

СВАРКА ЛЕНТОЧНАЯ

Применение нагревательного инструмента в форме лент дает возможность охлаждать свариваемое изделие в процессе сварки перед снятием давления, для этого последняя зона, через которую проходит материал, снабжается охлаждающим устройством (рис. 29), что значительно повышает качество и производительность сварочных работ.

Оптимальные режимы сварки подбираются экспериментально с учетом типа материала свариваемых пленок и их толщины, а также рекомендаций, изложенных в табл. 4.

В зависимости от конструкции свариваемых изделий и условий производства при сварке пленочных изделий может быть использована как ручная, так и механизированная ленточная сварка. В первом случае применяют инструмент в виде полоза, во втором — в виде ленточных устройств.

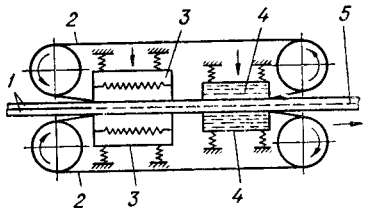


Рис. 29. Схема ленточной сварки полимерных пленок с двусторонним подогревом:

1 — свариваемые пленки; 2 — стальная лента; 3 — нагреватель; 4 — охлаждающее устройство; 5 — сварной шов

Сварочный полоз УСП-9 конструкции ВНИИСТ (рис. 30) [9] состоит из текстолитового корпуса 7 с рукояткой. Корпус несет планку, изготовленную из материала, обладающего малой теплопроводностью, на которой натянута тонкая лента из стали с высоким электро-

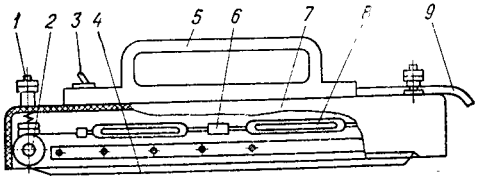


Рис. 30. Сварочный полоз УСП-9:

1 — клемма; 2 — ролик; 3 — тумблер; 4 — металлическая лента; 5 — рукоятка; 6 — регулировочная гайка; 7 — корпус; 8 — пружина; 9 — электрокабель

20. Технические характеристики оборудования для ленточной сварки полимерных пленок [3, 9, 10, 29]

Оборудование	Нагрев	Напряжение на нагревателе, В	Толщина свариваемых пленок, мкм	Ширина шва, мм	Вид соединения	Скорость сварки, м/мин	Габаритные размеры, м	Масса, кг
Ручные полозы:								
ИП-1-3	Односторонний	24—36	Суммарно 600	4 + 4 или 6 + 6	Нахлесточное	До 0,5	—	1
УСИ-1	То же	12—16	До 200	2—6	Нахлесточное, рантовое	1,5—12	0,34×0,035×0,114	2,5
УСП-9	»	36	До 200	4—10	То же	1,5—2	0,49×0,145×0,04	3,5
Машина МСП-5М	Односторонний или двусторонний	36	До 500	3—6	»	0,8—11	1,2×1,1×1,3	280
Установки:								
МСП-11к	Односторонний	36	20—200	5	Нахлесточное	1—15	1,4×1,1×1,3	235
МСП-26	Односторонний	36	20—60	4—6	Нахлесточное	2—8	Сварочная машина 2,15×1,05×1,25	460
							Шкаф с электроаппаратурой 0,75×0,54×1,075	62
							Поворотный стол ∅6,0	1500
Полуавтоматы:								
ПСП-11	То же	6—15	До 200	5—8	Нахлесточное, рантовое	3—8	0,416×0,065×0,18	4,25
ПСП-15	Двусторонний	30	300	5—8	Рантовое	3—8	0,4×0,11×0,16	5,5
ПСП-15М	Односторонний	36	До 100	4—5	»	1,4—4,1	Пульт управления 0,31×0,215×0,3	14
							Сварочное устройство 0,324×0,18×0,115	5
ПСП-16	То же	36	100	5—8	Нахлесточное, рантовое	3—8	0,48×0,055×0,013	3,8
ПСП-16А	Односторонний	27	До 100	5	Нахлесточное	6, 8, 10, 12	Пульт управления 0,31×0,215×0,25	5,5
							Сварочное устройство 0,5×0,056×0,135	3,5
УСПП-2	То же	36	До 200	5—7	Нахлесточное, рантовое	До 12	1,4×1,1×1,3	235
УСПП-3М	Двусторонний	36	До 100	8	Рантовое, стыковое с накладкой	2—8	Привод полуавтомата 0,51×0,15×0,24	21
							Сварочная головка 0,93×0,136×0,19	19

сопротивлением. Эта лента перекинута через два ролика, являющиеся токоподводящими элементами, к которым через клемму *1* подключен электрокабель. Натяжение ленты осуществляется регулировочной гайкой, а компенсация удлинения ленты при нагреве — двумя пружинами. Регулирование температуры нагрева ленты осуществляется при помощи автотрансформатора. Аналогично устроены и работают сварочные полозы конструкции других организаций (табл. 20).

При использовании ручных полозов необходимо внимательно следить за их ориентацией по свариваемому шву, за равномерностью приложения давления и за отсутствием перекосов инструмента (в противном случае будет получаться бракованный шов — на одной стороне с надрезами, на другой — с цепроварами).

Первой отечественной машиной, разработанной для ленточной сварки полимерных пленок, была машина марки МСП-1 [29]. Затем

были разработаны другие модификации машин типа МСП (машины МСП-1 и МСП-4 сняты с производства), а также серии машин типа ПСП и УСПП. Сварочные головки машин конструктивно идентичны (рис. 31). На рис. 32—35 представлено оборудование для ленточной сварки [10].

Полуавтомат УСПП-3М предназначен для сварки соединений полотнищ из полимерных пленок и стыковых соединений с накладкой композиционных пленок при изготовлении оболочковых конструкций, противофильтрационных экранов и крупногабаритной пленочной

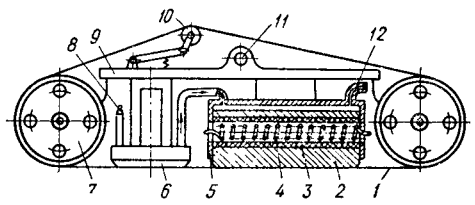


Рис. 31. Верхняя сменная сварочная головка машины МСП-5У:

1 — металлическая лента; *2*—нагревательный инструмент; *3* — керамическая трубка; *4* — электронагревательная спираль; *5* — корпус нагревательного инструмента; *6* — охладитель; *7* — приводной ролик; *8* — штуцер подвода воды; *9* — корпус сварочной головки; *10* — натяжной ролик; *11* — втулка; *12* — штуцер выхода воды

упаковки. Полуавтомат состоит из сварочной головки (рис. 33), привода полуавтомата и пульта управления. Привод полуавтомата перемещает сварочную головку по направляющей вдоль сварочного стола, при этом перемещение сварочной головки синхронизировано с перемещением замкнутых металлических лент, натянутых на ролики. Обе части сварочной головки имеют возможность перемещаться вверх и вниз. Давление при сварке регулируется системой крепления верхней части сварочной головки через тарировочную пружину, снабженную

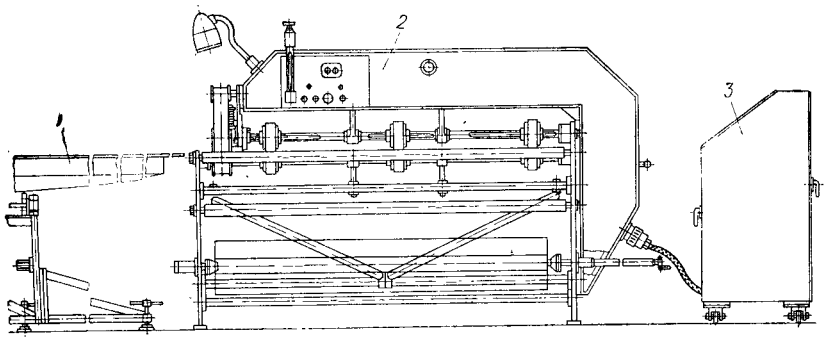


Рис. 32. Установка МСП-26 для сварки рукавов большого диаметра из рулонной полиэтиленовой пленки:

1 — поворотный стол для приема сваренного рукава; *2* — сварочная машина; *3* — шкаф с электроаппаратурой

гайкой для регулирования и указателем давления. Система крепления нижней части сварочной головки имеет ограничение хода и пружину более сильную, чем верхняя, с тем, чтобы нижняя часть устанавливалась строго по линии сварки (симметрично относительно роликов). Перед сварочной головкой размещаются бобина с намотанной на нее в виде ленты накладкой и направляющая катушка, осуществляющая

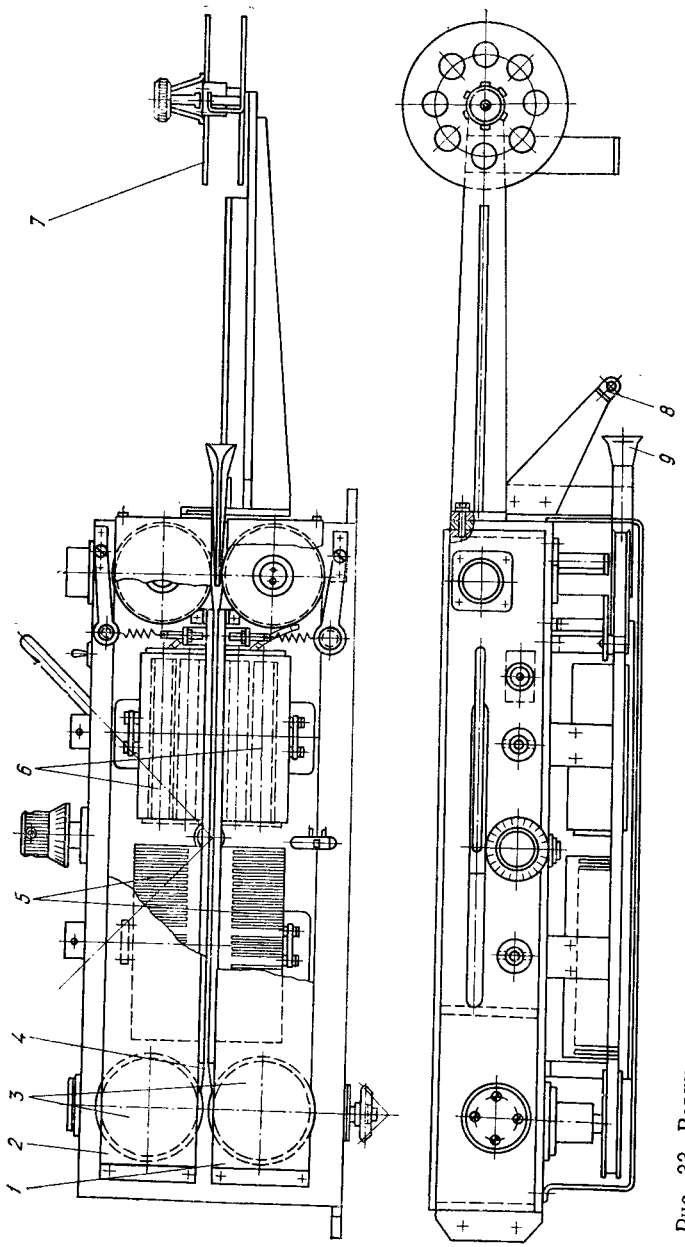


Рис. 33. Верхняя сменная сварочная головка полуавтомата УСПП-3М:

1 — нижняя часть сварочной головки; *2* — верхняя часть сварочной головки; *3* — приводные ролики; *4* — металлическая лента; *5* — охладитель; *6* — нагреватель; *7* — бобина с накладкой; *8* — направляющая катушка для натяжения накладки; *9* — устройство для складывания накладки

натяжение накладки во время сварки, а также устройство для складывания накладки пополам и направляющие для получения отбортовки накладки.

Полуавтомат ПСП-15М (рис. 34) состоит из сварочного устройства и пульта управления. Нагреватель в сварочном устройстве выполнен из двух частей — верхней и нижней, величина зазора между частями нагревателя и усилие их сжатия регулируются в зависимости от толщины свариваемой пленки. В процессе сварки или перемещается сварочное устройство вдоль шва, или, если устройство неподвижно, перемещаются свариваемые изделия.

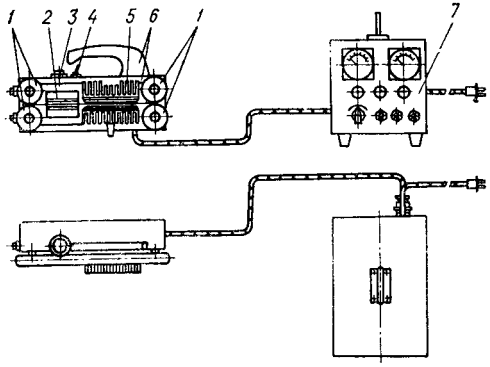


Рис. 34. Полуавтомат ПСП-15М для сварки термопластичных пленок:

1 — приводные ролики; *2* — нагреватель; *3* — регулятор зазора между частями нагревателя; *4* — тумблер включения питания нагревателя и электродвигателя перемещения; *5* — узел охлаждения; *6* — корпус с ручкой; *7* — пульт управления

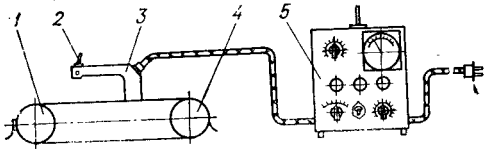


Рис. 35. Полуавтомат ПСП-16А для сварки полиэтиленовой пленки:

1 — направляющий ролик; *2* — тумблер включения; *3* — корпус с ручкой; *4* — приводной ролик; *5* — пульт управления

Полуавтомат ПСП-16А (рис. 35) предназначен для сварки полиэтиленовых пленок на рабочем столе покрытом эластичной подложкой (офсетное полотно, пористая резина, несколько слоев толстой материи), состоит из сварочного устройства и пульта управления и работает следующим образом. Сварочное устройство подключается к пульту управления, который, в свою очередь, подключается к сети напряжением 220 В. На пульте управления устанавливается требуемое рабочее напряжение нагревателя. Затем сварочное устройство устанавливается на свариваемых изделиях таким образом, чтобы указатели шва находились над линией сварки. Тумблером, находящимся на ручке сварочного устройства, включается рабочее напряжение нагревателя и запускается реле времени, включающее через определенный промежуток ведущий двигатель перемещения сварочного устройства. Рабочий, ведущий сварочные работы, не должен прикладывать усилия к рукоятке (сварочное давление осуществляется весом устройства), задерживать устройство или пытаться вести его быстрее, чем это осуществляет электропривод; он должен только направлять устройство по линии сварки. Перед сваркой пленки следует хорошо натянуть во избежание изменения величины их перекрытия. Для прекращения сварки необходимо выключить электродвигатель перемещения, оставить устройство на свариваемых изделиях на несколько секунд и только после этого снять его с рабочего стола.

СВАРКА РОЛИКОВАЯ

Роликовая сварка (рис. 36) применяется для соединения полимерных пленок при необходимости получения непрерывного шва значительной протяженности.

Для роликовой сварки полиэтиленовых пленок создана машина МШРП-1-3 [29]. Все узлы машины размещены в сварном металлическом корпусе. На верхней плоскости рабочего столика установлена головка с верхним прижимным роликом, подъем и опускание которого на 10 мм осуществляется педалью. Вторая педаль включает механизм протяжки и нагрев нижнего ролика. Механизм протяжки свариваемых пленок состоит из непрерывно движущейся ленты, охватывающей нижний нагретый ролик, натяжного ролика, электродвигателя, редуктора и клиноременной передачи (вращение от электродвигателя передается на нижний нагретый ролик). Конструкцией механизма протяжки предусмотрено ступенчатое (восемь ступеней) изменение скорости вращения нижнего ролика, что позволяет регулировать скорость сварки. Кромки свариваемых пленок подаются в зазор между верхним роликом и стальной лентой, охватывающей нижний ролик. При выбранной скорости движения ленты режим сварки определяется температурой ее нагрева от нижнего ролика и величиной усилия прижатия верхнего ролика. Поддерживание температуры нижнего ролика осуществляется автоматически.

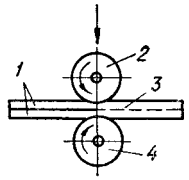


Рис. 36. Схема роликовой сварки с односторонним нагревом:

1 — свариваемые пленки; *2* — прижимной ролик; *3* — сварной шов; *4* — нагретый ролик

Основные параметры машины МШРП-1-3

Толщина свариваемой полиэтиленовой пленки, мкм	40—100
Ширина сварного шва, мм	4
Средняя производительность, м/мин, при сварке пленки толщиной, мкм:	
40	8
100	4
Пределы регулирования усилия прижима верхнего ролика, Н	10—50
Напряжение питающей сети, В	220
Потребляемая мощность, кВт	0,4
Пределы регулирования напряжения питания сварочного инструмента, В	1—8
Расход воды на охлаждение, л/ч	90
Габаритные размеры, м	0,78×0,7×1,07
Масса, кг	110

Для ручной сварки неармированных полимерных пленок предназначен ролик ВНИИСТ-3 (рис. 37) [9, 10]. Ролик снабжен комплектом сменных подвижных дисков толщиной 0,5; 1,0 и 2,0 мм (толщина диска определяет ширину сварного шва). Нагревательная спираль из нихромовой проволоки закреплена на неподвижном диске. При подключении к источнику тока спираль нагревается и за счет теплоизлу-

чения нагревает подвижный диск ролика. Рукоятка ролика изготовлена из термо- и электроизоляционного материала. Роликом можно сваривать полиолефиновые, полиамидные и поливинилхлоридные пленки толщиной до 200 мкм со скоростью 1,2—3,0 м/мин. Напряжение питающей сети 36 В, потребляемая мощность — 600 Вт, габаритные размеры — 0,22 × 0,04 × 0,08 м, масса — 0,8 кг. При сварке для предупреждения прилипания свариваемой пленки к ролику используется целлофан толщиной 15—20 мкм. Для получения качественных швов большое значение имеет подложка, на которой ведется сварка. Очень мягкая подложка приводит к образованию подрезов в шве, а твердая способствует образованию непроваров. Оптимальной является подложка из вулканизированной резины толщиной 2—5 мм.

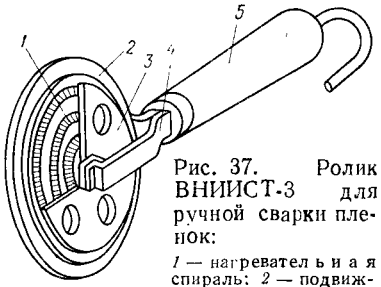


Рис. 37. Ролик ВНИИСТ-3 для ручной сварки пленок:

1 — нагревательная спираль; *2* — подвижный диск; *3* — неподвижный диск; *4* — несущая вилка с осью; *5* — рукоятка

Сварка роликом ВНИИСТ-3 дает возможность выполнять криволинейные швы, однако она требует высокой квалификации сварщика, поскольку сварку необходимо вести с равномерным давлением и равномерной скоростью перемещения ролика, которая подбирается экспериментальным путем (при завышенной скорости сварки возможны непровары пленки, а при малой скорости — пережим в зоне перехода от шва к основному материалу) [9].

К недостаткам роликовой сварки относится невозможность охлаждения сварного шва до снятия сварочного давления, что несколько ухудшает качество сварки и прочность сварных соединений.

СВАРКА ОСТАЮЩИМСЯ В ШВЕ НАГРЕТЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Процесс соединения изделий заключается в том, что металлический элемент укладывается между соединяемыми поверхностями, нагревает их и остается в сварном шве, становясь частью изделия. После сварки нагревательный элемент оказывается полностью закрытым материалом полимера. Процесс нагрева непосредственно свариваемых поверхностей не связан ни с теплопроводностью материала, ни с его толщиной, что обеспечивает более экономичный расход энергии по сравнению с другими способами сварки нагретым инструментом. Давление сварки не должно быть чрезмерно высоким, чтобы исключить выдавливание расплавленного материала.

Сварные соединения с металлическими вкладышами обладают высокими эксплуатационными характеристиками.

Основным преимуществом сварки оставшимся в шве нагретым элементом является возможность быстрого соединения деталей в труднодоступных местах или деталей сложной конфигурации.

В зависимости от метода нагрева металлических вкладышей различают сварку электросопротивлением и сварку индукционную.

При сварке электросопротивлением нагрев закладного элемента в виде проволоки, ленты или сетки из металла с высоким электрическим сопротивлением осуществляется при прохождении по нему электрического тока. Этот способ сварки наиболее детально разработан и применяется для соединения монтажных стыков

труб из полиолефинов, при этом наиболее рационально использовать литые соединительные детали, имеющие в раструбной части нагревательный элемент в виде спирали из металлической проволоки, расстояние между витками которой равно диаметру проволоки. Концы спирали, предназначенные для подключения к источнику питания, выведены на торец детали. Использование специальных монтажных колец, например формованных из материала, аналогичного свариваемому, внутри которых помещена спираль, нецелесообразно из-за большой трудоемкости их изготовления и ненадежности получаемых сварных соединений.

Технологический процесс получения сварного соединения состоит из подготовки свариваемых деталей, сборки соединения и подключения спирали к источнику питания, нагрева и оплавления свариваемых поверхностей вследствие пропускания электрического тока по спирали; отключения спирали от источника питания и охлаждения сварного соединения.

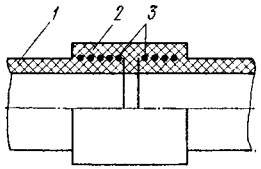


Рис. 38. Соединение труб с раструбной втулкой сваркой остающимся в шве нагретым элементом в виде спирали:

1 — труба; *2* — втулка; *3* — спираль из металлической проволоки

Подготовка труб и соединительных деталей к сварке предусматривает очистку и обезжиривание свариваемых поверхностей, а также подгонку наружного диаметра трубы к внутреннему диаметру раструбной части соединительной детали, который принят равным минимальному значению наружного диаметра трубы, что исключает большие зазоры между соединяемыми поверхностями. При подгонке с поверхности трубы механическим путем снимается излишний слой материала на длину раструба соединительной детали, что повышает качество сварки за счет удаления поверхностного окисленного слоя трубы.

При сборке соединения труба вставляется в раструб соединительной детали до упора во внутренний кольцевой выступ, что контролируется по метке на трубе.

Концы спирали подключаются к специальному источнику тока низкого напряжения (3—36 В), настроенного на оптимальный режим сварки. Поддерживаемые автоматически после включения источника питания длительность и мощность импульса электрического тока зависят от материала и диаметра труб, материала и конструкции закладного элемента. Как правило, время пропускания тока составляет несколько десятков секунд.

Для создания оптимальных условий сварки в раструбной части соединительной детали с обеих сторон спирали расположены зоны, которые не свариваются между собой. Ширина их (7 мм) подобрана так, чтобы расплавленный материал, вытекая из зоны сварки, застывал и препятствовал дальнейшему вытеканию расплава, создавая в зоне сварки давление, необходимое для получения прочного соединения. Сварка трубы с соединительной деталью происходит по межвитковым зазорам спирали (рис. 38).

Киевским филиалом ВНИИмонтажспецстроя с участием научно-производственного объединения «Пластик» (НПО «Пластик») разработаны технология и оборудование для сварки электросопротивлением с помощью литых соединительных деталей с закладными нагревательными элементами монтажных стыков трубопроводов из ПНД с $Д_н$ = = 25 — 110 мм [35].

Сварка пластмассовых труб с применением литых соединительных деталей с закладным нагревательным элементом значительно упрощает производство работ по монтажу трубопроводов, так как трубы устанавливают сразу в проектное положение, а в процессе сварки не требуются специальные инструменты. По сравнению с другими способами сварки снижаются требования к квалификации сварщика, повышается производительность сварочных работ, сокращается срок монтажа трубопровода, повышается качество сварных соединений (соединения с металлическим вкладышем в виде спирали являются наиболее устойчивыми при длительной эксплуатации трубопроводов в условиях вибрации, пульсирующей, знакопеременной и других видов динамических нагрузок). Соединения трубопроводов легко ремонтировать — закладной элемент можно снова подключить к источнику питания и повторить сварку.

При индукционной сварке нагрев закладного элемента осуществляется в электромагнитном высокочастотном поле с использованием индуктора (рис. 39), подключенного к генератору высокой частоты (несколько единиц или десятков килогерц). В качестве закладных нагревательных элементов применяются не только металлические вкладыши из стали, никеля, кобальта, но и тонкоизмельченный порошок окиси железа с частицами размером до 20 мкм [15], который наносят на соединяемые поверхности, вводят в поверхностные слои детали или включают в состав адгезивов на основе термопластов того же состава, что и соединяемые детали (в виде гранул, ленты или проволоки) [26]. При нагреве в индукторе адгезив плавится, образуя прочную связь с материалом соединяемых деталей.

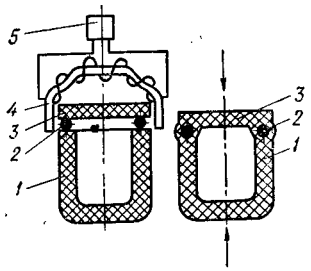


Рис. 39. Схема индукционной сварки:
1, 3 — свариваемые изделия; *2* — закладной нагревательный элемент в виде проволоки; *4* — индуктор; *5* — генератор высокой частоты

Этот способ сварки используется главным образом для соединения изделий из полиэтилена, полипропилена и других термопластов толщиной не менее 0,6 мм.

Глава 4
СВАРКА РАСПЛАВОМ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Сварка расплавом получила в последнее время широкое распространение благодаря простоте, высокой производительности, широким технологическим возможностям и высокому качеству сварных соединений.

Сварка может проводиться по непрерывной и периодической схемам. При непрерывной схеме сварки присадочный материал выходит из нагревательного устройства непрерывно, а при проведении процесса по периодической схеме периодически поступает в зазор между деталями, установленными в форму или зажатыми в приспособлении.

Сварку расплавом целесообразно осуществлять при высоких скоростях подачи расплава в шов и максимальной его массе, так как в этом случае присадочный материал теряет меньше теплоты и нагревать его можно до более низких температур.

Наиболее целесообразно выполнять сварку расплавом с предварительным подогревом соединяемых поверхностей нагретым газом или нагретым наконечником сварочного устройства (наконечник соприкасается с кромками соединяемых деталей). Последний способ более предпочтителен, так как дает возможность использовать давление, развиваемое в нагревательном устройстве, для создания необходимого сварочного давления. По производительности процесса и прочности соединений сварка расплавом с подогревом соединяемых поверхностей практически не отличается от сварки без подогрева соединяемых поверхностей, однако имеет более высокую стабильность качества [10] и рекомендуется для сварки деталей толщиной более 3 мм, так как позволяет максимально снизить потери тепла в окружающую среду.

Для обеспечения процесса сварки присадочный материал, вносимый в зону сплавления, должен иметь температуру на 40—80 °С выше температуры текучести полимера [10], поэтому сварка расплавом применяется только для соединения таких полимеров, которые характеризуются широким интервалом вязкотекучего состояния и способны нагреваться значительно выше температуры текучести без заметной деструкции. К таким полимерам относятся полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен, сополимер этилена с пропиленом, плавкие фторлоны и полистирол.

Качество сварных швов зависит от многих факторов: состава, температуры, скорости подачи и формы присадочного материала; давления, оказываемого на присадочный материал; состава и температуры материала, а также характера подготовки кромок соединяемых деталей.

Для сварки должен применяться присадочный материал, по составу аналогичный свариваемому и соответствующий требованиям нормативно-технической документации на производство сварочных работ.

Сваркой расплавом могут быть выполнены швы стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений.

Сварка расплавом применяется главным образом для соединения полимерных пленочных и листовых материалов, а также для изготовления сварных соединительных деталей трубопроводов больших диаметров из полиэтилена низкого давления.

СВАРКА ЭКСТРУДИРУЕМОЙ ПРИСАДКОЙ

По этому способу сваривают стыковые или нахлесточные соединения деталей большой протяженности с использованием экструдируемого присадочного материала (экструзионная сварка).

По наиболее типовой схеме присадочный материал непрерывно поступает из экструдера в зону соединения, где отдает свое тепло соединяемым поверхностям и вместе со свариваемыми деталями проходит между обжимными роликами (рис. 40) [29].

Экструдируемый присадочный материал обычно имеет круглое сечение. Размеры сечения прутка являются одним из факторов, определяющих теплосодержание присадочного материала. Предварительный подогрев свариваемых кромок позволяет на 20—30 °С снизить температуру присадочного материала по сравнению со сваркой без предварительного подогрева соединяемых поверхностей. Температура присадочного материала, при которой обеспечивается максимальная прочность соединений, зависит от величины сварочного давления (с понижением сварочного давления температура присадочного материала

должна повышаться, однако для каждого полимера характерен определенный интервал температур присадочного материала, за пределами которого обеспечить максимальную прочность соединений невозможно).

Оптимальные режимы сварки (табл. 21) не зависят от толщины свариваемых материалов и с изменением ее от 2 до 30 мм сохраняются практически постоянными.

Сварка стыковых швов возможна без подготовки кромок, с односторонним скосом кромок (V-образным) и с двусторонним скосом кромок (X-образным). Сварку стыковых швов без скоса кромок следует применять при толщинах до 3 мм и выполнять только с подогревом, так как в этом случае разделка шва осуществляется мундштуком экструдера в процессе сварки. При толщине свыше 3 мм следует принять X-образную или V-образную разделку. Стыковые сварные соединения из полиолефинов с V-образными швами имеют максимальную прочность при углах раскрытия 70—90°, соединения с X-образными швами — при углах раскрытия 60—80°. При оптимальных углах раскрытия швов стыковые сварные соединения с X-образными швами имеют более высокую прочность, чем соединения с

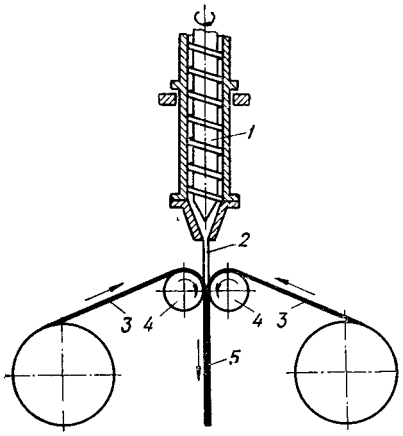


Рис. 40. Сварка расплавом, получаемым экструзией:

1 — экструдер; *2* — расплавленный присадочный материал; *3* — свариваемые пленки; *4* — прижимные ролики; *5* — сваренный материал

V-образными швами, при этом для выполнения X-образных швов требуется меньший расход присадочного материала. Поэтому при сварке листов толщиной свыше 5 мм в случае возможности двустороннего подхода к месту сварки предпочтительна X-образная разделка [10, 15].

Угловые и тавровые соединения можно выполнять без предварительной подготовки кромок, хотя прочность швов при этом несколько снижается.

21. Оптимальные режимы сварки расплавом различных термопластов толщиной 2—30 мм (соединения стыковые X-образные, угол раскрытия швов 70°) [10]

Термопласт	Температура присадочного материала на выходе из экструдера, °С		Сварочное давление, МПа	
	без подогрева свариваемых поверхностей	с подогревом свариваемых поверхностей	без подогрева свариваемых поверхностей	с подогревом свариваемых поверхностей
ПВД	190—280	180—270	0,05—0,6	0,07—0,65
ПНД, СЭП	220—270	200—270	0,05—0,4	0,05—0,4
ПП	225—270	210—270	0,1—0,8	0,12—0,6

Для получения прочных и герметичных стыковых, тавровых и угловых соединений в корне шва между кромками следует оставлять зазор 1,5—2,5 мм. Сварка без зазора из-за высокой вязкости расплава может привести к непроплавлению корня шва и образованию раковин, снижающих прочность и герметичность сварных соединений.

Основные типы конструктивных элементов швов при сварке расплавом листовых полиолефинов регламентированы ГОСТ 16310—80. Конструкция швов пленочных материалов зависит от толщины материалов и требований, предъявляемых к сварным соединениям в конструкциях. При сварке полимерных пленок, в том числе армированных, присадочный материал необходимо подавать между соединяемыми поверхностями (пленки из полиолефинов толщиной до 60 мкм можно сваривать путем подачи присадочного материала поверх двух слоев пленок). Оптимальная толщина присадочного материала при сварке пленок примерно равна толщине пленок. Оптимальную величину перекрытия пленок в каждом отдельном случае целесообразно определить экспериментально.

При сварке без подогрева соединяемых поверхностей расстояние от сопла экструдера до шва обычно не должно превышать двукратного диаметра прутка, поскольку при увеличении расстояния возможны значительные потери тепла. Поданный в шов присадочный материал должен прикатываться и уплотняться с помощью специального ролика или ползуна, располагаемого непосредственно за экструдером.

Изменение скорости сварки в интервале 0,1—3 м/мин не оказывает существенного влияния на качество соединений, особенно при высоких температурах сварки [10].

Увеличение числа проходов при сварке материалов больших толщин на прочность сварных соединений практически не влияет.

Относительная прочность сварных соединений, полученных экструзионной сваркой на оптимальных режимах, составляет 90—100 % прочности материала.

При сварке по периодической схеме целесообразно применять сварку литьем под давлением, которая используется для соединения изделий в труднодоступных местах, по поверхностям сложной конфигурации, когда сварка другими методами невозможна или нерациональна.

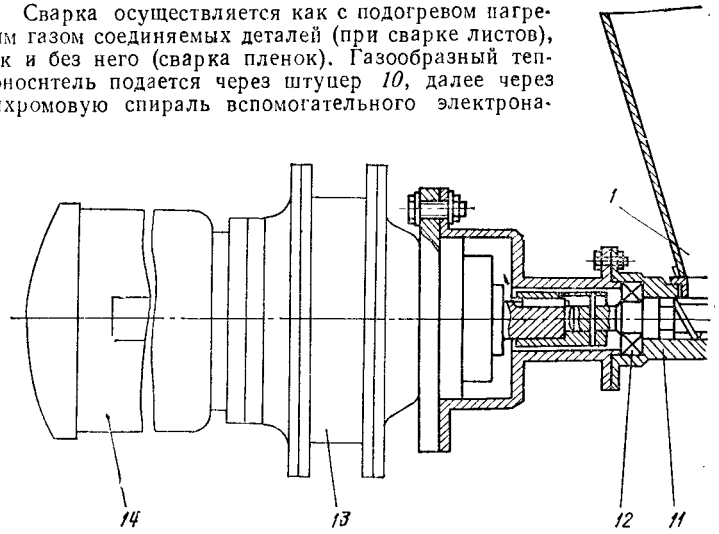
Для сварки экструдируемой присадкой разработаны различные полуавтоматы и машины, имеющие в зависимости от назначения различную конструкцию и производительность [3, 10]. Широко применяются полуавтоматы ПСП-3, ПСП-3Э и ПСП-4, состоящие из пульта управления и нагревательного (сварочного) устройства с малогабаритным шнековым экструдером, представляющим собой полый цилиндр, в котором вращается стальной шнек. Цилиндр имеет зону загрузки материала, охлаждаемую водой, и зону электрообогрева, температура которой регулируется изменением силы тока на нагревательном элементе. Переменный шаг намотки спирали нагревателя обеспечивает плавное увеличение температуры по длине цилиндра. К передней части цилиндра прикрепляется сменный мундштук, внешняя форма которого соответствует форме разделки кромок свариваемого материала. В полуавтоматах ПСП-3 и ПСП-3Э (производительность 0,57 кг расплава в час) вращение шнека экструдера осуществляется через планетарный редуктор с помощью электродвигателя СД-150, а в полуавтомате ПСП-4 (производительность 0,385 кг расплава в час) обеспечивается приводом от пневмоотвертки РПО-350. Это позволило снизить массу нагревательного устройства с 6,1 кг (для полуавтомата ПСП-3Э) до 3,3 кг (ПСП-4).

Устройство для сварки термопластов ПСТ-2 (рис. 41) предназначено для экструзионной сварки пленок, листов, труб и других изделий из термопластов в различных условиях работы [35].

Основные параметры устройства ПСТ-2

Максимальная толщина, мм:	
свариваемой пленки	0,5
свариваемого листа	10
Диаметр валика расплава при сварке, мм:	
пленки	1,5—3
листа	5—10
Производительность, кг/ч, не более	7
Скорость сварки, м/мин:	
пленок	10—18
листов	2—5
Температура, °С:	
расплавленного присадочного материала	200
газообразного теплоносителя	190—200
Напряжение питания, В:	
нагревателя	36
привода	220
Мощность привода, Вт	250

Сварка осуществляется как с подогревом нагретым газом соединяемых деталей (при сварке листов), так и без него (сварка пленок). Газообразный теплоноситель подается через штуцер *10*, далее через нихромовую спираль вспомогательного электронагревателя *8*. При сварке листов применяется дополнительная насадка.



Температура выходящего из экструдера расплава термопласта регулируется за счет изменения напряжения нагревателя *9*. Устройство ПСТ-2 применяется для сварки монтажных стыков полотнищ полиэтиленовой пленки при устройстве противофильтрационных экранов очистных сооружений.

Разработчик — Всесоюзный научно-исследовательский институт по защите металлов от коррозии (ВНИИК).

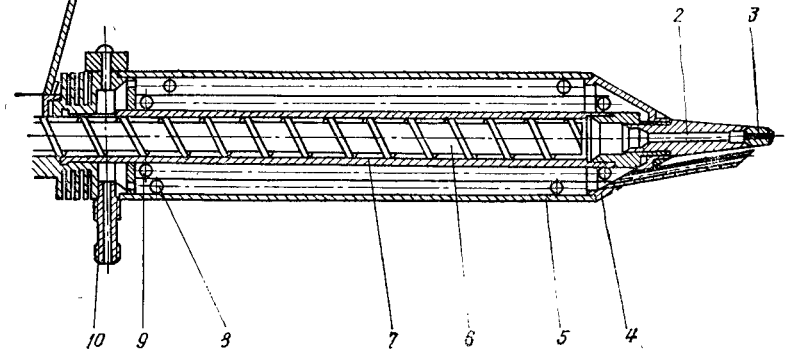
Полуавтоматическая экструзионная установка для сварки термопластов ПЭСУ-2000 предназначена для экструзионной сварки в полуавтоматическом режиме протяженных стыков полиэтиленовых пленок и листов на горизонтальных поверхностях в различных условиях работы. Полуавтоматичность режима сварки достигается за счет установки сварочного устройства на самопередвигающуюся тележку и снабжения его механизмом слежения за свариваемым стыком (при сварке гладких полиэтиленовых пленок и листов на их поверхности вдоль свариваемого стыка необходимо устанавливать направляющую таврового сечения). В комплект установки входят пульт управления и сварочный аппарат (рис. 42). В качестве присадочного материала для сварки применяется гранулированный полиэтилен высокого давления (по ГОСТ 16337—77*Е) [35].

Основные параметры установки ПЭСУ-2000

Напряжение, В:	
питающей сети	380
электронагревателя	80—120
электродвигателя тележки	140—220
электродвигателя экструдера	380
Потребляемая мощность, кВт, не более	1,0
Производительность, кг/ч	1,8—2
Скорость сварки, м/ч, полиэтиленовых пленок и листов толщиной, мм:	
0,4—0,8	До 180
1,5—2,0	100—120

Рис. 41. Устройство ПСТ-2 для сварки термопластов:

1 — воронка; *2* — наконечник; *3* — фильера; *4* — головка; *5* — кожух; *6* — шнек; *7* — трубка; *8* — нагревательный элемент для нагрева газа; *9* — нагревательный элемент для разогрева гранул термопласта; *10* — штуцер; *11* — корпус; *12* — подшипник; *13* — редуктор; *14* — электродвигатель



Температура нагрева присадочного материала, °С	160—280
Габаритные размеры, мм:	
пульта управления	340×200×240
сварочного аппарата	640×450×195
Масса, кг:	
пульта управления	15
сварочного аппарата	25
Длина электрического кабеля от пульта управления к сварочному аппарату, м, не менее	10

Разработчик и изготовитель — Донецкий проектный и научно-исследовательский институт Промстройниипроект Госстроя СССР (Донецкий Промстройниипроект).

Полуавтоматическая сварочная машина ПСМ-1 (рис. 43) предназначена для экструзионной сварки пленок из термопластов на горизонтальных поверхностях в различных условиях.

Основные параметры машины ПСМ-1

Общая потребляемая мощность, кВт	1,4
Напряжение питания привода передвижения машины, В	220
Мощность привода передвижения машины, Вт	160
Тип сварочного устройства	ПСТ-2
Толщина свариваемой пленки, мм	0,1—0,5
Габаритные размеры, мм	1200×700×400
Масса, кг	55

Сварка пленок машиной ПСМ-1 должна производиться на ровном и жестком основании с помощью направляющей планки, устанавливаемой вдоль сварного шва и служащей для перемещения машины в процессе сварки. Для сварки края соединяемых пленок заводятся под направляющую планку с перекрытием 50—100 мм. После выхода экструдера на рабочий режим производится пробный выпуск расплава до появления нормально нагретой массы. На-

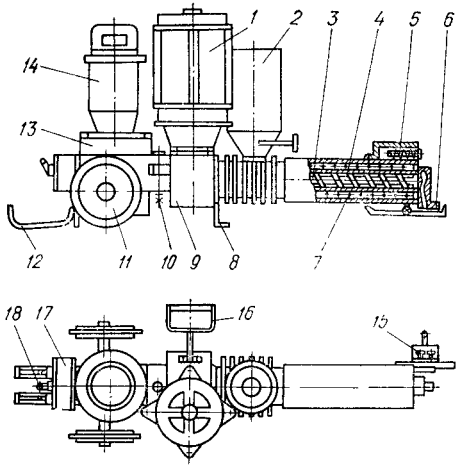


Рис. 42. Сварочный аппарат установки ПЭСУ-2000:

1 — электродвигатель экструдера *2* — загрузочная воронка; *3* — шнек; *4* — цилиндр; *5* — датчик температуры; *6* — насадка; *7* — электронагреватель; *8* — упор; *9* — редуктор экструдера; *10* — шарнир; *11* — шасси; *12* — подпружиненная пластина с прорезями; *13* — редуктор тележки; *14* — электродвигатель тележки; *15* — захват с направляющей; *16* — ручка; *17* — щиток управления; *18* — тумблер

конечник экструдера вводится между свариваемыми кромками пленок, включается двигатель экструдера, а через 1—2 с — двигатель перемещения сварочной машины и производится сварка пленок. Для обеспечения надежности сварного соединения можно сварить пленки вторым швом на расстоянии 10—15 мм от первого, что достигается перемещением направляющей планки. В процессе работы машины режим сварки поддерживается автоматически. Разработчик — ВНИИК.

Механизированная установка для изготовления противофильтрационных экранов из полимерной пленки (рис. 44) предназначена для строительства противофильтрационных экранов из рулонной полимерной пленки при сооружении различных гидротехнических комплексов — шламонакопителей, хранилищ сборных промышленных вод и т. д. Установка представляет собой тягач *1* с полуприцепом *2*, на который укладывают рулоны пленки *3* шириной 2—3 м. На раме полуприцепа шарнирно закреплен экструдер *6* с бункером для загрузки гранул полиэтилена (при изготовлении противофильтрационного экрана из полиэтиленовой пленки) или композиции клея-расплава (при изготовлении экрана из поливинилхлоридной пленки). Экструдер соединен с источником механических колебаний, выполненным в виде кривошипно-шатунного механизма с приводом от электродвигателя. Питание электродвигателя и экструдера осуществляется от генератора, установленного на полуприцепе и приводимого в движение от вала

отбора мощности тягача. На раме полуприцепа установлены также опора *7* для размещения свариваемых пленок и прижимной ролик *5* для опрессовки сварного шва. Управление установкой осуществляется с пульта *4*.

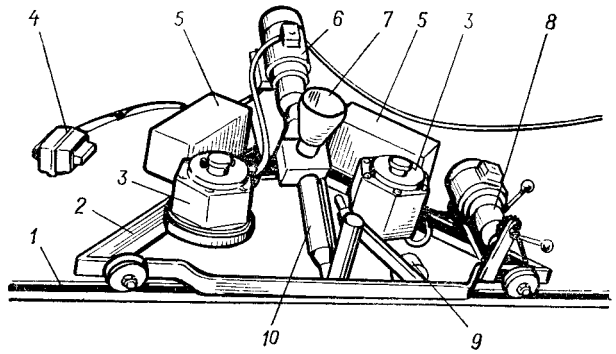


Рис. 43. Полуавтоматическая сварочная машина ПСМ-1:

1 — направляющая планка; *2* — рама; *3* — регулятор напряжения; *4* — пульт управления; *5* — пускорегулирующее устройство; *6* — электродвигатель экструдера; *7* — загрузочная воронка; *8* — привод передвижения машины; *9* — прикаточный ролик; *10* — экструдер

В процессе укладки противофильтрационного экрана тягач с полуприцепом перемещаются по дну накопителя или водоема, а опора *7* скользит по грунту под кромкой ранее уложенной полосы пленки *8*. В это время экструдер совершает синусоидальные колебания относительно продольной оси образуемого шва, причем колебания экструдера не передаются на опору и прижимной ролик. Присадочный материал выходит из экструдера и накрывается кромкой пленки, сматываемой с рулона. Зона укладки присадочного материала обжимается между опорой и прижимным роликом. Масса прижимного ролика — 4—6 кг, расстояние от сопла до прижимного ролика — 200 мм, сопло установлено наклонно под углом 45° по ходу движения установки. Получаемый при этом сварной шов имеет большую прочность при растяжении (по сравнению со швом, получаемым без колебаний экструдера), обладает большой деформативностью, расход присадочного материала незначителен (0,64 кг на 100 м шва при диаметре сопла 3 мм). Наиболее предпочтительны следующие параметры синусоидальных колебаний экструдера: амплитуда — 40—50 мм, длина волны 170—180 мм [35].

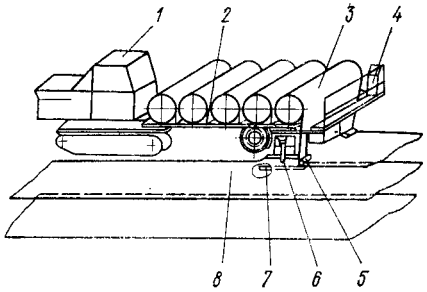
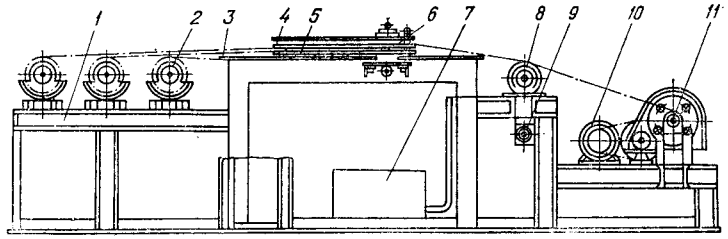


Рис. 44. Общий вид механизированной установки для изготовления противофильтрационных экранов из полимерной пленки

При встрече с препятствием опора поднимается поворотом специальных рычагов. Таким образом, опора обходит препятствие и возвращается в исходное положение под действием собственной массы, обеспечивающей ее постоянный контакт с грунтом. В этот момент экструдер, совершающий колебания относительно продольной оси



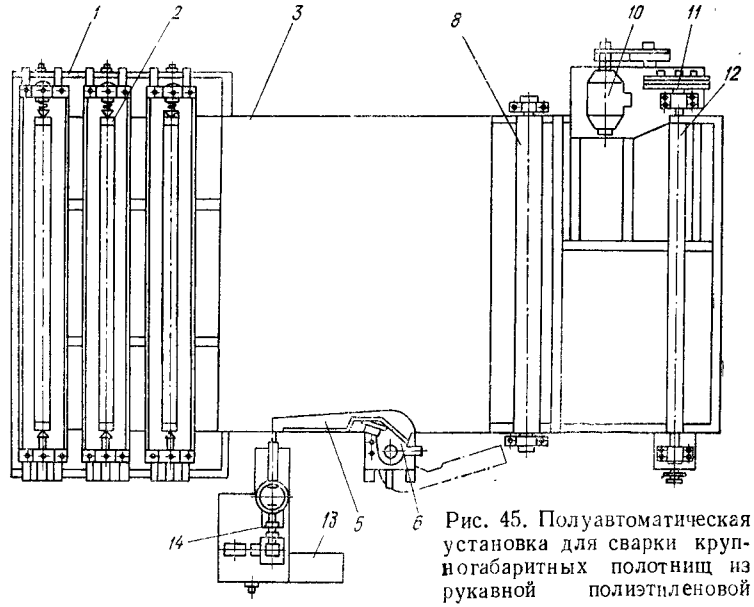


Рис. 45. Полуавтоматическая установка для сварки крупногабаритных полотнищ из рукавной полиэтиленовой пленки

образуемого соединения, поворачивается таким образом, что расстояние от конца сопла экструдера до опоры остается постоянным независимо от микрорельефа дна.

Производительность установки составляет 600—800 м/ч. Разработчик — Всесоюзный научно-исследовательский институт по применению полимерных материалов в мелиорации и водном хозяйстве (ВНИИводполимер).

Установка для сварки крупногабаритных полотнищ из рукавной полиэтиленовой пленки (рис. 45) предназначена для изготовления в заводских условиях крупногабаритных полотнищ, используемых в качестве противофильтрационных экранов. На установке одновременно сваривается три рулона пленки шириной 1400 мм, возможна также сварка рулонов шириной 2000 мм и 2200 мм, при этом ширина изготовляемых сварных полотнищ составляет 8300—12000 мм.

Установка работает следующим образом. Рулоны с рукавной пленкой устанавливают на механизме размотки *2*, расположенном на столике *1*. В зависимости от ширины свариваемых пленок устанавливают в требуемом положении разделительное приспособление *6*, после чего под столом *3* протягивается нижняя в свариваемом пакете пленка и ее конец закрепляется на оправке *12* механизма намотки. Часть пленки, находящаяся под столом, разрезается по складке и в разрез вводится нижняя пластина *5* разделительного механизма. Таким же образом производят заправку остальных пленок. После этого в зазоры между пластинами вводятся сопла экструдера *14* и на пульте управления *13* одновременно включаются привод экструдера и привод механизма намотки. Процесс сварки пленок осуществляется в автоматическом режиме. Намоточное устройство протягивает пленки с расплавленным присадочным материалом через механизм прикатки швов *4*, создающий сварочное давление 0,1—0,5 МПа. Охлаждение сварных швов до температуры, исключающей возможность сварки пакета пленок между собой, производится сжатым воздухом, подаваемым от компрессора *7*. После сварки пленки ножами разрезаются по складкам и наматываются с помощью приводного вала *11* на оправку *12*. Диаметр рулона сваренного полотнища увеличивается, что при постоянной скорости вращения оправки намоточного устройства приводит к увеличению скорости перемещения пленок и соответственно скорости вращения промежуточного валка *8*, с которым контактируют пленки. При этом кинематически связанный с промежуточным валом тахогенератор *9* вырабатывает электрический сигнал, поступающий через тиристорный преобразователь на обмотки электродвигателя постоянного тока *10*, причем при увеличении сигнала (увеличении частоты вращения промежуточного валка) величина напряжения питания электродвигателя уменьшается, что приводит к уменьшению скорости вращения его якоря.

Основные параметры установки для сварки крупногабаритных полотнищ из рукавной полиэтиленовой пленки

Напряжение питания, В	380
Потребляемая мощность, кВт	4,5
Производительность экструдера, кг/ч	≈2
Толщина свариваемой пленки, мм	0,2—0,8
Скорость сварки, м/ч, не более	600
Габаритные размеры, мм	9220×3910×1870
Масса, кг	2100

СВАРКА РАСПЛАВЛЕННЫМ ПРУТКОМ

По технологическим параметрам сварка расплавленным прутком идентична сварке экструдируемой присадкой и выполняется с применением нагревательных устройств прямоточного типа, а присадочный материал в виде прутка сматывается с бухты и с помощью тянущих роликов непрерывно подается в нагревательный цилиндр, откуда расплавленный материал выдавливается на кромки соединяемых деталей.

Сварка расплавленным прутком рекомендуется для получения коротких швов вместо сварки нагретым газом с применением присадочного материала (см. гл. 2), когда необходимо значительно повысить скорость сварки.

Для сварки термопластов расплавленным прутком разработаны портативные полуавтоматы ПСП-5, ПСП-5М, СА-124 и РЭСУ-500А [3, 10, 35].

Полуавтомат ПСП-5 состоит из переносного пульта управления и нагревательного устройства (рис. 46). Цилиндр *5* нагревательного устройства выполнен из латуни либо другого теплопроводного металла. Он ввинчен в охладитель *7*, который омывается проточной водой и охлаждает входной участок с целью предотвращения преждевременного размягчения присадочного материала и устранения его прилипания к стенке цилиндра. Присадочный материал в этой зоне играет роль поршня, проталкивающего расплав через зону нагрева. Остальная часть цилиндра нагревается спиралью из нихромовой проволоки *6*. Спираль навивается так, чтобы максимальный нагрев был на выходе присадочного материала из трубки. С наружной и внутренней сторон спираль изолирована прокладками из миканита и закрыта кожухом. Цилиндр вместе с охладителем закреплен на ручке *2*, в которой вмонтированы электродвигатель привода *1* и микровыключатель для его включения, срабатывающий при нажатии на пусковой курок. Вращение с вала электродвигателя подается на редуктор *3* и подающие ролики *4*. Давление роликов на присадочный пруток *9* регулируется винтом, что позволяет вести сварку прутком диаметром 3—5 мм, подаваемым с катушки *8*. Общая масса полуавтомата ПСП-5 составляет 20 кг, масса нагревательного устройства — 1,5 кг, производительность — 0,25 кг расплава в час.

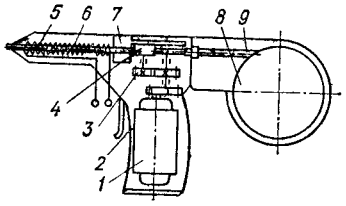


Рис. 46. Нагревательное устройство полуавтомата ПСП-5

На базе полуавтомата ПСП-5 создан ряд полуавтоматических специальных установок, например карусельный стенд УСА-1 для сварки чехлов щелочных аккумуляторов из полиэтилена высокого и низкого давления.

Полуавтомат ПСП-5М является модернизированной конструкцией полуавтомата ПСП-5 и отличается от последнего тем, что на цилиндре нагревательного устройства дополнительно смонтирована винтообразная трубка, по которой проходит газ-теплоноситель, нагреваясь от той же электроспирали, что и присадочный пруток. Расход газа-теплоносителя — до 0,5 м³/ч.

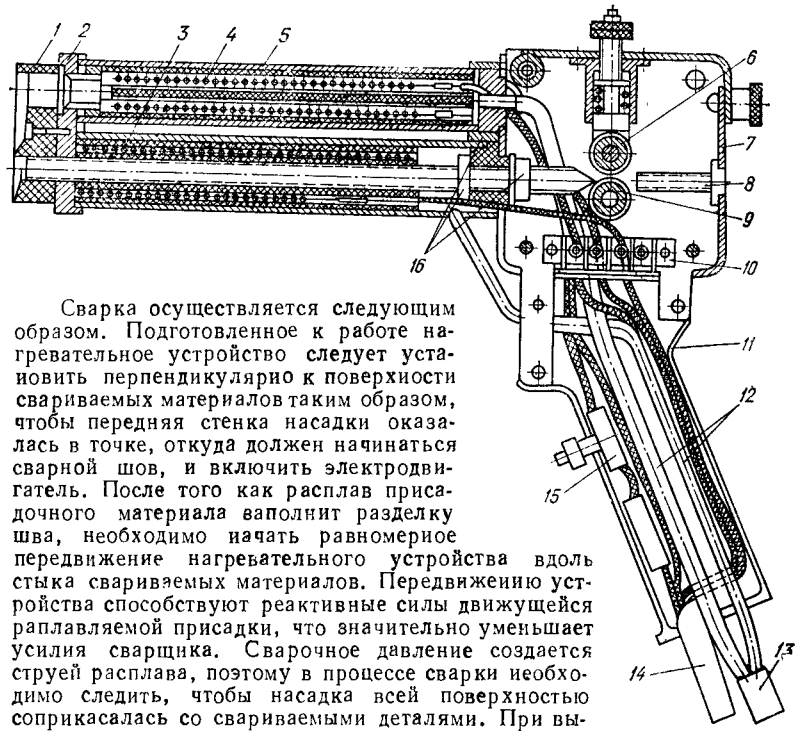
Полуавтомат СА-124 предназначен для сварки листов толщиной до 8 мм с применением присадочного прутка диаметром 3 мм. Производительность — 0,35 кг расплава в час. Масса пульта управления — 17 кг, нагревательного устройства — 1,15 кг.

Полуавтомат РЭСУ-500А предназначен для сварки расплавленным прутком горизонтальных, вертикальных и потолочных сварных швов полиэтиленовой футеровки железобетонных конструкций в процессе их изготовления и монтажа, а также для сварки пленок и листов из полиэтилена и полипропилена. В качестве присадочного материала при сварке изделий из полиэтилена высокого давления применяется пруток круглого сечения диаметром 4,0 ± 0,2 мм, при сварке изделий из полиэтилена низкого давления и полипропилена — диаметром 3,0—3,5 мм. Изготовление прутков осуществляется экспериментальной базой Донецкого Промстройниипроекта.

В комплект полуавтомата РЭСУ-500А входят нагревательное устройство прямоточного типа (рис. 47), пульт управления, электрический кабель, гибкий резиновый шланг для подвода газа-теплоносителя и футляр для переноски нагревательного устройства. Оптимальный температурный режим сварки зависит от свойств свариваемого материала и температуры окружающей среды. Он определяется путем контрольных сварок на различных режимах заготовок соединяемых деталей длиной не менее 250 мм с последующей оценкой качества сварки.

Рис. 47. Нагревательное устройство полуавтомата РЭСУ-500А:

1 — насадка; *2* — фигурная обойма; *3* — нагреватель присадочного прутка; *4* — нагреватель газообразного теплоносителя; *5* — кожух камеры нагрева; *6* — прижимной подпружиненный ролик; *7* — корпус; 8 — направляющая втулка; *9* — тянущий ролик; *10* — клеммник; *11* — рукоятка; *12* — воздуховоды; *13* — переходной штуцер; *14* — электрический кабель; *15* — тумблер; *16* — гайки



Сварка осуществляется следующим образом. Подготовленное к работе нагревательное устройство следует установить перпендикулярно к поверхности свариваемых материалов таким образом, чтобы передняя стенка насадки оказалась в точке, откуда должен начинаться сварной шов, и включить электродвигатель. После того как расплав присадочного материала заполнит разделку шва, необходимо начать равномерное передвижение нагревательного устройства вдоль стыка свариваемых материалов. Передвижению устройства способствуют реактивные силы движущейся расплавляемой присадки, что значительно уменьшает усилия сварщика. Сварочное давление создается струей расплава, поэтому в процессе сварки необходимо следить, чтобы насадка всей поверхностью соприкасалась со свариваемыми деталями. При выполнении горизонтальных швов прикладываемое к сварочному устройству усилие должно быть в среднем 1—3 кг. При выполнении потолочных швов и швов на вертикальных поверхностях прикладываемое к сварочному устройству усилие должно еще компенсировать его массу.

Разработчик и изготовитель полуавтомата РЭСУ-500А — Донецкий Промстройниипроект.

Основные параметры полуавтомата РЭСУ-500А

Напряжение, В:	
питающей сети	220 (127)
электродвигателей	26—42
электродвигателя механизма подачи прутка	127
Потребляемая мощность, кВт, не более	0,5

Производительность при сварке полиэтилена высокого давления, кг/ч, не менее	0,5
Пределы регулирования температуры, °С:	
расплавленного присадочного материала	170—280
газообразного теплоносителя	150—450
Расход газа-теплоносителя, м³/мин	0,25
Давление газа-теплоносителя, МПа	0,01—0,05
Скорость сварки полиэтиленовых пленок и листов, м/ч, толщиной, мм:	
0,4—0,8	50—60
1,0—2,0	20—30
Габаритные размеры, мм:	
пульта управления	310×210×180
нагревательного устройства	270×96×220
Масса, кг:	
пульта управления	20
нагревательного устройства (без кабеля и шланга)	1,5
Длина электрического кабеля от нагревательного устройства к пульту управления, м, не менее	10

Глава 5

СВАРКА ТРЕНИЕМ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Отличительными особенностями сварки трением являются малое время сварки (несколько секунд), локальное выделение тепла, высокая прочность сварного шва, возможность сварки поверхностей без их предварительной очистки, в том числе поверхностей, имеющих окисную пленку и различные инородные включения.

Сваркой трением хорошо соединяются полиэтилен, полипропилен, полиоксиметилен, поливинилхлорид, полиамиды, полиметилметакрилат, полистирол и сополимеры на его основе, а также некоторые фторполимеры [10, 38]. Сваркой трением могут соединяться не только однородные, но также и разнородные пластмассы [38].

Сварка трением широко применяется для соединения различных деталей, имеющих форму тел вращения, а также деталей любой формы, соединяемые поверхности которых находятся в одной плоскости, например, труб малых и средних диаметров, водопроводной арматуры, изделий сантехники, фильтров, резервуаров, канистр, крыльчаток насосов и др.

22. Основные параметры сварки трением вращения и вибротрением

Материал свариваемых изделий	Скорость $v_л$, м/с	Давление, МПа		Материал свариваемых изделий	Скорость $v_л$, м/с	Давление, МПа	
		$p_п \cdot 10$	$p_{ос} \cdot 10$			$p_п \cdot 10$	$p_{ос} \cdot 10$
Без применения вставки				С применением вставки			
ПНД	1,5—3	2—5	1,5—2	ПНД	8,5	0,8—1	1,3—1,5
ПВД	1,5—2,2	1,5—3	0,5—1	ПВД	8,5	0,8—1	1—1,2
ПП	1,5—3	2—5	1,5—2	ПП	8,5	0,8—1	1—1,2
ПВХ-Ж	1,6—2,5	3—8	3,5—5	ПВХ-Ж	9,5	1—1,2	1,8—2
ПА	1,5—2,2	1,5—2,5	1,5—2,5	ПА	9,0	0,6—0,8	0,8—1
САН	1,5—1,6	0,8—1,5	1—2	САН	8,5	0,5—0,6	0,7—0,8
ПММА	1,6—2,5	2—5	1,5—2,5	ПММА	9,0	1—1,2	1,2—1,4
ПОМ	0,15—0,4	6—10	0,5—1	ПОМ	9,0	1—1,2	1—1,2

В зависимости от того, каким образом создается трение, различают сварку трением вращения и сварку вибротрением. Основные параметры этих способов сварки приведены в табл. 22 [26].

СВАРКА ТРЕНИЕМ ВРАЩЕНИЯ

Возможные схемы сварки трением вращения приведены на рис. 48. Из указанных схем сварки широко используются схемы *а* и *в*.

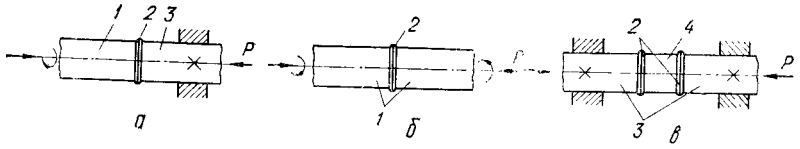


Рис. 48. Принципиальная схема сварки трением с использованием вращения одной детали (*а*), обеих деталей (*б*), вставки (*в*):
1 — вращающаяся деталь; *2* — сварной шов; *3* — неподвижная деталь; *4* — вставка

Плотность теплового потока, Вт/м², в зоне трения соединяемых деталей определяется по формуле [29]

$$q \simeq 0{,}21 f n R p_п 10^{-2},$$

где f — коэффициент трения; n — относительная частота вращения; R — радиус поверхности трения; $p_п$ — давление прижима, МПа.

Основными технологическими параметрами сварки трением вращения являются относительная линейная скорость трущихся поверхностей $v_л$, давление прижима при нагреве $p_п$, давление осадки $p_{ос}$, время сварки $t_{св}$, включающее время нагрева $t_н$ и время осадки $t_{ос}$. Время нагрева зависит от параметров $v_л$, $p_п$, теплофизических свойств соединяемых материалов и геометрических размеров деталей. В зависимости от выбранного сварочного цикла давление может варьироваться различным образом. На рис. 49 приведена одна из возможных циклограмм сварочного цикла, которая характерна также и для сварки вибротрением. По достижении температуры сварки $T_{св}$ относительное вращение соединяемых деталей быстро уменьшают до нуля и охлаждают их при $P_{ос}$. Давление прижима и давление осадки должны нарастать постепенно, что связано с необходимостью устранения нежелательных вибраций соединяемых деталей.

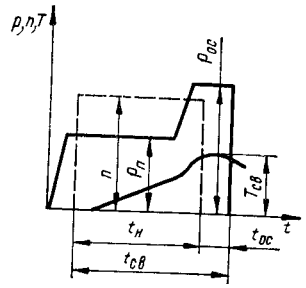


Рис. 49. Циклограмма изменения параметров режима сварки трением

При сварке трением вращения скорость $v_л$ одной из соединяемых деталей выбирается в пределах 0,2—3,0 м/с, а при сварке с применением промежуточной вставки — 8—10 м/с. Давление выбирается равным 0,05—1 МПа. Время осадки определяется временем охлаждения свариваемых деталей (не менее нескольких минут).

Вращением одной из соединяемых деталей сваривают между собой цилиндрические детали небольшой длины (стержни, трубы) и цилиндрические детали с деталями плоскими или фасонными. Сваркой с при-

23. Рекомендации по выполнению соединений при сварке трением

Соединяемые детали				Соединение		
Наименование	Толщина стенки s	Диаметр наружный D	Диаметр внутренний d	Вид	Форма	Размеры
	мм					
Трубы	≤30	≤500		Встык без разделки кромок		—
Круглые профили	—	≤40	—			
		40—220	—	Встык с галтелью		$R = 3$ мм
				Встык с фаской		$\alpha=1...2°$ (для полиэтилена $\alpha=8...12°$); $d_ф=0{,}6D$
Тела вращения	5—30	≤500	≤490	Встык в замок		$\alpha=30°$; $c=10...15$ мм
				В косой стык		$\alpha=30°$
				В выточку, встык с V-образной разделкой кромок		$\alpha=60°$

Продолжение табл. 23

Соединяемые детали				Соединение		
Наименование	Толщина стенки s	Диаметр наружный D	Диаметр внутренний d	Вид	Форма	Размеры
	мм					
Тела вращения	≤5	≤300	≤290	С отбортовкой кромки одной детали		$c=10...15$ мм
		≤500	≤490	С отбортовкой кромки двух деталей		$h=10...15$ мм

мененнем промежуточной вставки соединяют большие и громоздкие детали, вращение и торможение которых затруднено.

Важным фактором, во многом определяющим качество сварного соединения, является форма места соединения (табл. 23) [10, 26].

Сварка пластмасс трением вращения осуществляется на различных металлообрабатывающих станках — токарных, сверлильных, фрезерных, а также специализированных сварочных машинах.

Установки для сварки пластмасс трением вращения состоят из механизма вращения, узлов зажима заготовок, тормозного механизма и узла осадки.

Для сварки трением труб и других деталей, имеющих форму тел вращения, применяются отечественные машины МСТ-1 и МСТ-2.

Основные параметры машин МСТ-1 и МСТ-2

	МСТ-1	МСТ-2
Тип привода вращения	Асинхронный двигатель	
Мощность привода вращения, кВт	—	10
Частота вращения, Гц	—	24
Способ остановки вращения шпинделя	Электродинамический	
Способ создания давления	Пневматический	
Осевое усилие, кН	—	4—45
Тип зажима деталей	Самозажимные цанги	Кулачковые патроны
Диаметр свариваемых деталей, мм	10—25	До 165
Машинное время сварки, с	5—12	5—12
Габаритные размеры, м	1,6×0,65×1,2	1,7×0,7×1,35
Масса, кг	850	900

СВАРКА ВИБРОТРЕНИЕМ

При сварке вибротрением деталям сообщаются относительные возвратно-поступательные перемещения (линейная сварка вибротрением) или колебательно-вращательные перемещения (угловая сварка вибротрением), что приводит к разогреву соприкасающихся поверхностей и их соединению под давлением осадки после снятия вибраций. Так же, как и в случае сварки трением вращения, различают сварку вибротрением без использования промежуточной детали-вставки и с применением последней.

Для получения необходимых линейных скоростей перемещения соединяемых деталей используют колебания частотой порядка 50—150 Гц и относительные перемещения деталей порядка 1—10 мм для линейной сварки вибротрением или несколько градусов для угловой.

Вибротрением могут свариваться несимметричные детали размером от 30 × 30 мм до 300 × 300 мм и более с отношением длины к ширине 1 : 5.

При сварке вибротрением полистирола и поливинилхлорида следует учитывать влияние повышенного давления прижима на возникновение некоторых отрицательных явлений. Для полистирола — возможное появление поверхностных трещин, ухудшающих его оптические свойства, а для поливинилхлорида — возможность перегрева сварочной зоны, что заметно ухудшает прочностные свойства сварного шва [10].

Основные технологические параметры сварки вибротрением приведены в табл. 22 [26].

Глава 6

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Отличительными особенностями ультразвуковой сварки пластмасс являются малое время сварки (не более нескольких секунд); высокое качество сварного соединения и стабильность процесса; локальное тепловыделение в зоне сварки, что исключает перегрев пластмасс; возможность сварки по загрязненным поверхностям; возможность сварки ряда пластмасс на большом удалении от места ввода колебаний и др.

Ультразвук широко используется для сварки внахлест большинства пленочных пластмасс и синтетических швейных материалов толщиной от сотых долей до нескольких миллиметров, для сварки формованных деталей из полистирола и его сополимеров, полиамида и ряда других пластмасс. Особенно целесообразно применение сварки ультразвуком в условиях крупносерийного и массового производства.

Схема сварки ультразвуком приведена на рис. 50 [6].

Электроакустический преобразователь преобразует подаваемые на него электрические колебания в механические, амплитуда которых составляет несколько микрометров. Трансформатор упругих колебаний служит для ее увеличения до 30—50 мкм, а также выполняет функцию согласующего элемента между преобразователем и инструментом-волноводом.

Для ввода в материал ультразвуковых колебаний и создания необходимого акустического контакта между соединяемыми поверхностями к последним со стороны инструмента-волновода прикладывается

статическое усилие P_0. В колебательном режиме на свариваемые материалы дополнительно воздействует динамическое усилие F.

В зависимости от перемещения инструмента-волновода относительно свариваемого материала различают прессовую и роликовую сварку ультразвуком. Прессовая сварка выполняется за одно рабочее движение волновода и позволяет получать точечные, прямошовные и контурные швы.

Основными параметрами прессовой сварки ультразвуком являются амплитуда колебаний рабочего торца инструмента-волновода A_0, частота колебаний f, продолжительность ультразвукового импульса, статическое давление P_0 и время его действия.

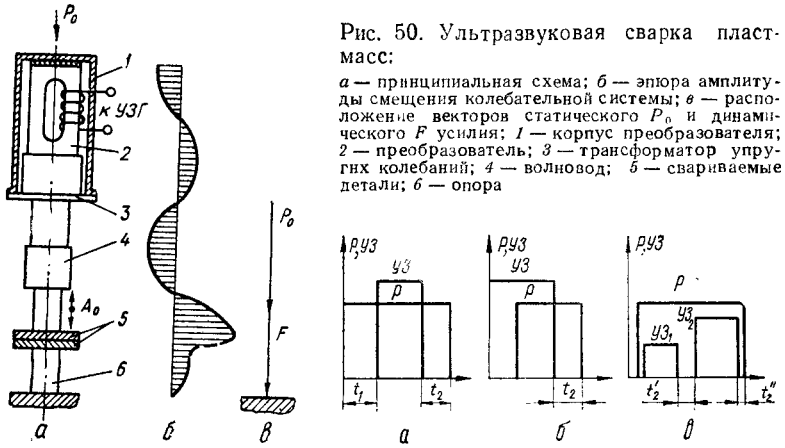


Рис. 50. Ультразвуковая сварка пластмасс:

а — принципиальная схема; *б* — эпюра амплитуды смещения колебательной системы; *в* — расположение векторов статического P_0 и динамического F усилия; *1* — корпус преобразователя; *2* — преобразователь; *3* — трансформатор упругих колебаний; *4* — волновод; *5* — свариваемые детали; *6* — опора

Рис. 51. Рабочие циклы при ультразвуковой сварке

При сварке ультразвуком существенным является последовательность и продолжительность действия основных параметров сварочного режима (рабочий цикл) [1, 6]. На рис. 51,*а* приведен наиболее распространенный рабочий цикл.

Сварочное усилие прикладывается за время t_1 до включения ультразвуковых колебаний и снимается спустя время t_2 после их выключения, оставаясь постоянным в течение всего рабочего цикла. При сварке загрязненных поверхностей ультразвуковой импульс (УЗ) подается до приложения сварочного усилия P_0 (рис. 51, *б*). При наличии заметной шероховатости свариваемых поверхностей и при необходимости получить высококачественный равнопрочный сварной шов применяют рабочий цикл, приведенный на рис. 51,*в*. Свариваемые материалы сдавливают усилием P_0, после чего на них подают ультразвуковой импульс $УЗ_1$, достаточный лишь для локального оплавления контактирующих микровыступов. По окончании указанного импульса осуществляют выдержку t_2' соединяемых материалов под сварочным усилием P_0, во время которой происходит выравнивание микронеровностей в контакте соединяемых деталей в результате течения размягченного материала под действием сварочного усилия. Затем действует сварочный ультразвуковой импульс $УЗ_2$, обеспечивающий равномерный нагрев материала на всей поверхности контакта соединяемых деталей, а спустя время t_2'' после окончания сварочного импульса снимается и сварочное усилие.

Роликовая сварка осуществляется путем протягивания материала в зазоре между колеблющимся торцом волновода и опорой. При этом опора может быть неподвижной или выполнена в виде вращающегося ролика.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Подвод энергии ультразвуковых колебаний в зону сварки обычно осуществляется по схеме, приведенной на рис. 51, когда направления P_0 и F параллельны друг другу и перпендикулярны к свариваемым поверхностям (сварка с зависимым давлением). Возможно введение энергии ультразвуковых колебаний когда P_0 и F направлены под углом к свариваемым поверхностям. В этом случае горизонтальные со-

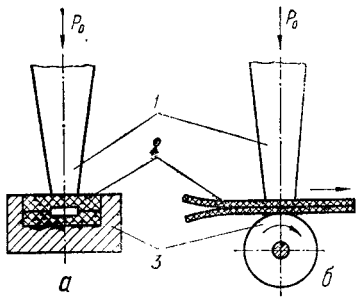


Рис. 53. Схемы ультразвуковой сварки в дальнем поле:
1 — волновод-инструмент; 2 — свариваемое изделие

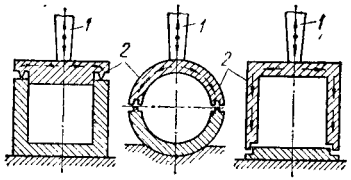


Рис. 52. Схемы ультразвуковой сварки в ближнем поле:
а — прессовая сварка; б — роликовая сварка; 1 — волновод; 2 — свариваемые детали; 3 — опора

ставляющие этих сил могут использоваться для обрезки свариваемых поверхностей одновременно со сваркой.

Интенсивность подвода энергии, тепловыделение и деформация полимера в значительной мере определяются условиями теплоотвода из зоны сварки в инструмент-волновод и в опору. Изменение условий теплоотвода может производиться различными способами, например, обдувом торца инструмента-волновода струей воздуха, применением дополнительного подогрева волновода или опоры, использованием теплоизоляционных прокладок, которые могут помещаться между торцом инструмента-волновода и изделием или между опорой и изделием и др.

Различают сварку ультразвуком в ближнем и в дальнем поле. Первая позволяет сваривать поверхности на расстояниях до 5 мм от места ввода в материал ультразвуковых колебаний, вторая — до 250 мм. При сварке в ближнем поле для равномерного распределения энергии по всей площади контакта свариваемых деталей необходимо, чтобы площадь и форма рабочего торца инструмента-волновода и плоскости контакта свариваемых деталей были идентичны. Этот способ сварки наиболее часто применяется для сварки внахлестку (рис. 52).

При сварке в дальнем поле ввод колебаний может осуществляться на небольшом участке поверхности верхней детали (рис. 53). При сварке в дальнем поле длина волны ультразвука в материале соизмерима с размерами свариваемых деталей по высоте. Поэтому необходимость получения максимальных амплитуд колебаний на соединяемых поверхностях требует учета распределения характеристик ультразвукового поля по высоте. Для выбора оптимальных размеров свариваемых деталей по высоте последние должны рассматриваться как составная часть акустической системы преобразователь — волновод — детали — опора и удовлетворять условиям [32] $l_1 = (2m + 1)\lambda/4$; $l_2 = k\lambda/2$, где l_1 — длина верхней детали; l_2 — длина нижней детали; λ — длина волны в материале деталей; $m = 0, 1, 2, \ldots$; $k = 0, 1, 2, \ldots$

При сварке пластмасс образование сварного соединения в значительной мере определяется степенью концентрации напряжений в зоне сварки. Поэтому в ряде случаев невозможно получить каче-

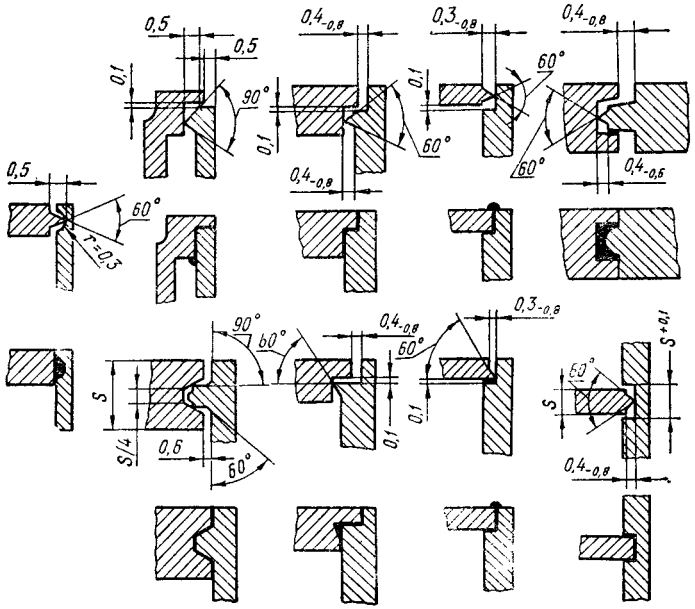


Рис. 54. Возможные типы разделки кромок жестких пластмасс при ультразвуковой сварке

ственное сварное соединение плоских поверхностей. Степень концентрации напряжений в сварочной зоне может быть увеличена путем создания искусственных концентраторов энергии [6]. Наиболее распространен способ разделки кромок, когда одна из свариваемых поверхностей имеет V-образный выступ. При этом в зависимости от режима процесса и угла разделки выступа происходит смещение зоны преимущественного разогрева в необходимое сечение, что позволяет осуществлять сварочный процесс с преимущественным оплавлением выступа или его внедрением в другую деталь. Возможные способы разделки кромок приведены на рис. 54.

Увеличение шероховатости контактирующих поверхностей также способствует концентрации напряжений. С этой целью удобно использование крошки из того же полимерного материала, которая равномерно наносится на нижнюю свариваемую поверхность.

Для создания зон с повышенной концентрацией напряжений сварка может вестись по схеме с независимым давлением (рис. 55).

С целью повышения тепловыделения в зоне сварки может применяться дополнительный подогрев зоны. Повышение температуры способствует ускоренному теплоразогреву зоны сварки при введении ультразвуковых колебаний и увеличению производительности процесса сварки. Оптимальная температура подогрева определяется свариваемым материалом и обычно составляет 50—100 °С.

По принципу дозирования вводимой энергии различают сварку с фиксированным временем действия ультразвуковых колебаний с дозированием энергии по кинетической характеристике и по деформационному критерию.

При ультразвуковой сварке с дозированием энергии по кинетической характеристике используется информация о физико-механическом состоянии свариваемых материалов. Эта информация связана с измерениями скорости или амплитуды ультразвуковых колебаний в материале, знака ускорения деформирования материала под волноводом и высокочастотной мощности, потребляемой сварочной головкой.

При ультразвуковой сварке по деформационному критерию задается фиксированная осадка материала, фиксированный зазор между инструментом и опорой или толщина шва. При сварке с фиксированной осадкой необходимо, чтобы величина осадки была больше удвоенного значения амплитуды колебаний рабочего торца инструмента-волновода.

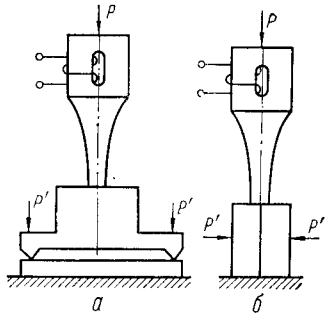


Рис. 55. Создание зон с повышенной концентрацией механических напряжений за счет различного приложения статических усилий P и P':

а — соосное; *б* — взаимно перпендикулярное

При сварке с фиксированным зазором статическое усилие отсутствует и сварка протекает только за счет динамических усилий, которые возникают при воздействии инструмента-волновода на свариваемый материал. Зазор между торцом инструмента-волновода выбирают таким образом, чтобы свариваемый материал деформировался только за счет смещения рабочего торца инструмента-волновода. В процессе сварки материал утончается, а поскольку сварочная головка строго фиксирована, то контакт волновода с материалом после деформации последнего нарушается и воздействие ультразвука на материал прекращается. Поэтому величина деформации свариваемого материала в этом случае не должна превышать удвоенной амплитуды смещения волновода и выбирается в зависимости от исходной толщины свариваемого материала и его свойств.

Количество теплоты, выделяющейся в зоне соединяемых поверхностей, определяется количеством подводимой энергии ультразвуковых колебаний и способностью материала превращать ее в тепловую [6, 10, 26]. Подводимая к соединяемым поверхностям энергия ультразвуковых колебаний тем больше, чем больше модуль упругости материала E' и чем меньше его коэффициент поглощения ультразвука β. Пластмассы, у которых $E' > 3 \cdot 10^3$ МПа и $\beta < 0{,}35 \cdot 10^{-2}$ м$^{-1}$, так называемые жесткие пластмассы (полистирол, полиметилметакрилат, поликарбонат, непластифицированный поливинилхлорид и др.), хорошо проводят ультразвуковые колебания, что позволяет производить сварку в дальнем поле — на расстоянии до 0,25 м от места ввода колебаний. Пластмассы, у которых $E' < 1{,}5 \cdot 10^3$ МПа и $\beta > 0{,}55 \cdot 10^{-2}$ м$^{-1}$, так называемые мягкие пластмассы (полиэтилен, полипропилен, пластифицированный поливинилхлорид и др.), плохо проводят ультразвуковые колебания, а поэтому могут свариваться только вблизи от места их ввода — на расстояниях не более 3—5 мм.

Способность материала превращать подводимую к соединяемым поверхностям энергию ультразвуковых колебаний в тепловую и достигать при этом вязкотекучего состояния характеризуется безразмерным критерием свариваемости

$$\psi = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\rho c}{E' \{\eta/2 + 0{,}25/\pi\, [1 - (p/p_к)^{0,7}]\, \nu\}}\, dT,$$

где T_1 — температура соединяемых материалов до сварки; T_2 — температура, до которой необходимо нагреть соединяемые материалы; ρ — плотность; c — удельная теплоемкость; η — тангенс угла механических потерь, $\eta = E''/E'$; E' — модуль упругости; E'' — модуль потерь; ν — коэффициент трения; p — статическое давление; $p_к$ — критическое статическое давление, выше которого не должен происходить относительный сдвиг деталей (для поливинилхлорида и полиметилметакрилата $p_к$ составляет 6—7, для полистирола — 5—6, для полипропилена — 3, для полиамида — 3,5 МПа).

24. Критерии свариваемости пластмасс

Полимер	Температура начала размягчения полимера T_e, К	ν	ψ при $p/p_к$				$\theta \cdot 10^2$ *
			0	0,1	0,5	1	
ПС	383	0,45	0,98	1,18	2,00	5,97	2,6
ПК	423	0,27	3,70	4,40	7,35	19,2	3,1
ПММА	383	0,50	0,54	0,60	0,81	1,19	12,0
ПВХ	353	0,45	0,34	0,38	0,48	0,69	17,1
ПП	433	0,37	11,2	12,3	15,3	19,8	22,0
ПА-6,6	533	0,46	23,7	26,7	38,0	63,3	4,0

* При $T = 293$ К.

Значения величины ψ для ряда полимерных материалов приведены в табл. 24. При низких значениях критерия свариваемости ψ и логарифмического декремента затухания Θ, характеризующего поглощение ультразвука, пластмассы хорошо свариваются в ближнем и дальнем поле (полистирол, поликарбонат). При средних и высоких ψ и высоких Θ применяется только сварка в ближнем поле; при низких ψ и средних Θ (поливинилхлорид, полиметилметакрилат) возможна сварка как в ближнем, так и в дальнем поле; при больших ψ и малых Θ сварка в дальнем поле затруднена.

Возможность применения сварки ультразвуком в ближнем и в дальнем поле для ряда широко применяющихся пластмасс указана в табл. 25.

При соединении жестких пластмасс, когда высота верхней детали соизмерима с длиной волны ультразвука в этом

25. Свариваемость пластмасс ультразвуком

Материал	В ближнем поле				В дальнем поле			
	1	2	3	4	1	2	3	4
ПС	×				×	×		
АБС	×				×	×		
САН-Т	×				×			
ПК	×				×	×		
ПММА	×	×			×			
ПНД		×					×	×
ПВД		×						×
ПП	×						×	
ПВХ-Ж		×					×	×
ПВХ-П		×						×
ПВБ			×				×	
ПВА			×	×				×
ПОМ		×					×	
ПА-6			×					×
ПА-6,6		×					×	
ПА-12		×				×		

Примечание. 1 — очень хорошая свариваемость, 2 — хорошая, 3 — удовлетворительная, 4 — низкая.

материале, применяют сварку ультразвуком в дальнем поле с разделкой кромок [6, 31].

При сварке деталей с V-образной разделкой кромок их оптимальные размеры по высоте рассчитываются исходя из условий

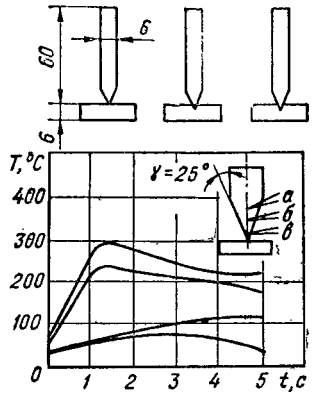
$$l_1 = (2m + 1)\lambda/4 + X_{01};$$
$$l_2 = k\lambda/2;$$
$$X_{01} = (\lambda/2\pi)\operatorname{arctg}(-2\pi l_2 S_1/\lambda S_2),$$

где l_1 — длина верхней детали (без V-образного клина); l_2 — длина V-образного клина верхней детали; S_1 — площадь поперечного сечения верхней детали; S_2 — площадь контакта V-образного клина с нижней деталью; $m = 0, 1, 2, \ldots$; $k = 0, 1, 2\ldots$, X_{01} — смещение максимума силы относительно верхней детали.

Наличие разделки кромок оказывает существенное влияние на кинетику образования соединений. При V-образной разделке кромок сварка ведется по схеме с «преимущественным внедрением» или «преимущественным оплавлением».

На рис. 56 и 57 рассмотрена кинетика образования соединений капролона В по схеме с «преимущественным внедрением» и «оплавлением» с оптимальными углами разделки верхней детали. Соединения, сваренные по схеме «оплавлением», характеризуются высокой прочностью и могут использоваться при изготовлении деталей, подвергающихся значительным нагрузкам в процессе эксплуатации. Эти схемы сварки дают возможность соединять разнородные пластмассы. Применение схемы «внедрением» дает возможность образовывать соединения несовместимых по своим теплофизическим свойствам полимерных материалов за счет чисто механического сцепления (капролон В с полистиролом, капролон В с полиметилметакрилатом и др.). При этом обязательно должен внедряться образец с большим модулем упругости.

Сварка деталей из жестких пластмасс малых толщин, у которых отсутствует разделка кромок, осуществляется путем введения мягкой прокладки между соединяемыми деталями. Прокладкой может служить как материал самого изделия после предварительного подогрева, так и другой полимер. Мерой концентрации энергии на прокладке служит безразмерный коэффициент $k = E_1'\eta_2/E_2'\eta_1$, где E_1' и E_2' — модули упругости соответственно верхней детали и прокладки; η_1 и η_2 — коэффициенты механических потерь соответственно верхней детали и прокладки ($\eta = E''/E'$, E'' — модуль потерь) [4]. Концентрацию энергии на прокладке можно увеличить, уменьшая отношение E_2/η_2.



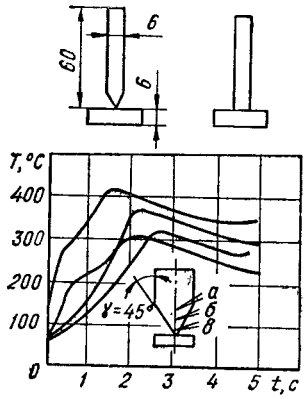


Рис. 56. Кинетика образования соединений по схеме «с преимущественным внедрением». Материал — капролон В ($A = 45$ мкм; $P = 220$ Н/см²; *а*, *б*, *в* — места расположения термопар)

Рис. 57. Кинетика образования соединений по схеме с «преимущественным оплавлением» ($A = 45$ мкм; $P = 900$ Н/см²; *а*, *б*, *в* — места расположения термопар)

Дополнительные требования к прокладке: температура плавления или перехода в вязкотекучее состояние материала прокладки должна быть ниже, а индекс текучести расплава выше, чем свариваемого материала; материал прокладки должен быть химически совместимым со свариваемым материалом; оптимальная толщина прокладки должна составлять 0,05—0,1 мм.

Сварку ультразвуком ориентированных пленок осуществляют скользящим инструментом, имеющим клинообразную форму. При использовании обычных методов сварки ориентированная структура пленок в зоне шва разупорядочивается и прочностные характеристики шва сильно ухудшаются. Отличительной особенностью ультразвуковой сварки скользящим инструментом является то, что нагрузки на инструмент требуются небольшие, так как при внедрении и перемещении в материале он контактирует с небольшим объемом полимера. Это дает возможность устойчиво поддерживать резонансную частоту системы и позволяет легко осуществлять взаимное перемещение материала и инструмента. Ультразвуковая сварка пленок скользящим инструментом характеризуется большими значениями удельной мощности механических колебаний, вводимых в материал, большим давле-

нием инструмента на материал и значительной деформацией материала [6, 10, 32].

При сварке ультразвуком пленок и синтетических тканей время сварки рассчитывается по формуле

$$t_{св} = \frac{\delta^2}{2\pi f A_0^2} \int_{T_0}^{T_{св}} \frac{2c\rho}{E\eta}\, dT,$$

где f — частота ультразвука; T_0 и $T_{св}$ — температура соответственно исходная и сварки; A_0 — амплитуда колебаний инструмента-волновода; δ, c, ρ, E, η — соответственно толщина, теплоемкость, плотность, модуль упругости и фактор потерь свариваемых материалов [10].

В табл. 26 приведены основные параметры сварки некоторых синтетических тканей [32].

26. Сварка ультразвуком синтетических тканей

Ткань	Толщина ткани, мм	Способ сварки	Амплитуда, мкм	Давление, МПа	Скорость м/с,	Предел прочности при растяжении сварного шва, МПа	
						стачного	накладного
Капроновая	80—150	Вручную	30—40	1—1,4	1,0—1,5	2—4	5—10
	80—150	Шовный и шовно-шаговый	30—40	0,6—0,8	0,6—0,8	2—4	5—10
	80—150	То же	25—30	1,8—2	5,5—8,5	2—4	5—10
Лавсановая	200—450	Шовный	40	0,6	0,6—0,7	4—8	10—16
	200—450	»	30—35	2—2,5	5,5—7,0	4—8	10—16
Полипропиленовая	400	»	40—45	0,6	0,4—0,6	8—13	1,2—25

СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Ультразвуковые сварочные установки состоят из сварочной машины и источника питания электроакустического преобразователя машины.

В табл. 27—29 приведены основные параметры отечественных и широко используемых в нашей стране зарубежных ультразвуковых установок для сварки пластмасс [10, 26, 30].

Важнейшими частями сварочной машины являются сварочная головка и опора. Сварочная головка состоит из электроакустического преобразователя, трансформатора упругих колебаний и инструмента-волновода.

В качестве электроакустических преобразователей используются магнитострикционные и электрострикционные преобразователи. В табл. 30 приведены характеристики ряда серийно выпускаемых отечественных магнитострикционных преобразователей.

В качестве трансформаторов упругих колебаний используются волноводы различной формы. Различают ступенчатые, катеноидальные, экспоненциальные и конические волноводы. Наиболее простым

по методике расчета и изготовлению, к тому же имеющим наибольшее увеличение по амплитуде колебаний, является ступенчатый волновод. Однако он обладает существенным недостатком — очень большими напряжениями в переходной по диаметру волновода зоне, что резко снижает его эксплуатационные характеристики [6, 12].

Трансформаторы упругих колебаний и волноводы изготовляют из упругих материалов с малыми акустическими потерями, обладающих высокой усталостной прочностью к циклическим нагрузкам — из алюминиевых и титановых сплавов сталей 45, 30ХГСА и 40Х и др.

Опоры могут быть активными и пассивными. Первые отражают ультразвуковые колебания, вторые поглощают. Активные опоры могут быть полуволновыми и четвертьволновыми. В качестве материала для активной опоры используются различные стали, сплавы титана а для пассивной опоры — резина, дерево, текстолит. На рис.58 приведены два типа полуволновых активных опор [6]: симметричная (с отражающим торцом) и несимметричная (с отражающей массой). Симметричная опора состоит из полуволнового стержня *1*, который поясом 2 крепится к стойкам *3* (рис. 58, *а*). Поясок проходит через узловую плоскость, расположенную на расстоянии, равном четверти волны, от обоих торцов. Длина опоры определяется по формуле $l = v/2f$, где v — скорость распространения ультразвука в материале опоры; f — резонансная частота.

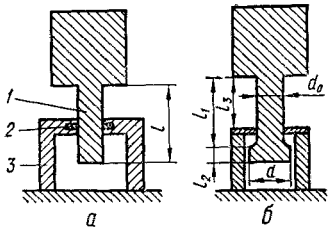


Рис. 58. Полуволновые активные опоры с отражающим концом (*а*) и отражающей массой (*б*)

Толщина пояска выбирается из условия $\delta_п \leqslant 0{,}05l$.

Для уменьшения длины опор они применяются с отражающей массой (рис. 58,*б*). При этом должны выполняться условия $l_2 \leqslant (0{,}1 \ldots 0{,}125)\lambda$, $d/d_0 = 1{,}2$.

Для элемента отражающей массы выбирают материал с наибольшей, а для стержня — с наименьшей плотностью. Длина стержня определяется уравнением $l_1 = \sqrt{\operatorname{arctg}(W_0/X_п + \pi/2)}\, v/\omega$, где W_0 — волновое сопротивление стержня; $X_п$ — инерционное сопротивление присоединенной массы, $X_п = \omega M$; $\omega = 2\pi f$. Положение узловой плоскости, в которой находится опорный поясок, определяется из выражения

$$l_3 = l_1 - \frac{v}{\omega} \operatorname{arctg}(W_0/\omega M).$$

Четвертьволновая опора представляет собой стержень длиной $l = \lambda/4$, закрепленный на резиновой основе (опора с упругим закрепителем).

Для питания электроакустических преобразователей сварочных машин служат ультразвуковые генераторы. Основными электрическими характеристиками ультразвуковых генераторов являются рабочий диапазон частот, выходная и потребляемая мощности, напряжение питания преобразователей, режим работы [3, 6, 10].

Рабочие диапазоны частот, кГц, разрешенные для промышленного использования и широко применяемые в ультразвуковых генераторах, следующие: 18 ± 1,35; 22 ± 1,65; 44 ± 4,4 и 66 ± 6,6.

Для сварки пластмасс находят применение ультразвуковые генераторы, выходная мощность которых регламентируется следующим

27. Стационарные установки для прессовой сварки ультразвуком

Марка машины	Разработчик	Назначение	Характеристика преобразователя			Максимальное усилие прижима, Н	Габаритные размеры, мм (без генератора)	Масса, кг (без генератора)
			Материал	Электрическая мощность, кВт	Частота, кГц			
МТУ-0,4	Всесоюзный научно-исследовательский институт электросварочного оборудования (ВНИИЭСО)	Универсальная	Никель	0,4	22	600	1330×620×1430	76
МТУ-1,53У4	То же	»	Пермендюр	1,5	22	392	470×626×1500	185
АУС-1,5	»	Сварка и резка трикотажно-лавсанового рукава при изготовлении фильтров	»	1,5	22	450	1640×990×540	190
УПК-15М1	Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана (МВТУ)	Сварка наполненных емкостей	Пермендюр (ПМС-15А)	3,0	19,6	700	655×945×1400	200
УЗСРФ-02-М	Ташкентский автомобильно-дорожный институт (ТАДИ)	Контурная сварка и одновременная резка синтетических тканей	Пермендюр (ПМС-15А-18)	4,0	22,0	2000	620×1025×1340	500
УСМ-19	Омский политехнический институт (ОПИ)	Сварка материалов толщиной до 4 мм по замкнутому контуру длиной до 400 мм	Пермендюр	8,0	22,0	600	800×600×1800	220
УВД-1	Институт механизации швейной промышленности ЧССР (УМОВ)	Многослойная сварка и вырубка синтетических материалов толщиной 0,4—2 мм	Пьезокерамика	0,2	21,0	60	—	—
UZB-600T	УМОВ (ЧССР)	Сварка текстильных материалов (не менее 60 % синтетики) толщиной 0,1—3,0 мм	Пьезокерамика	0,63	20,0	1500	1060×670×1450	175
US001A8	Исследовательский институт механизации и автоматизации машиностроения ЧССР (ВУМА)	Универсальная	То же	0,63	20,0	900	1990×800×700	220
US003A9	ВУМА (ЧССР)	»	»	0,6	20,0	2000	1010×800×2100	364

28. Стационарные установки для непрерывной сварки ультразвуком

Тип машины	Разработчик	Назначение	Характеристика преобразователя			Характеристика опоры	Максимальное усилие прижима, Н	Максимальная скорость протяжки, м/мин
			Материал	Электрическая мощность, кВт	Частота, кГц			
УПШ-12	МВТУ	Сварка синтетических тканей толщиной 0,1—1,0 мм	Феррит, никель	0,02 0,4	28,7 22,0	Массивный вращающийся ролик	300	4,2
УЗП-6	—	Сварка ленточных приборных шкал на лавсановой основе	Феррит	0,02	50,0	Стол с механическим прижимом	4	1,8

Продолжение табл. 28

Тип машины	Разработчик	Назначение	Характеристика преобразователя: Материал	Характеристика преобразователя: Электрическая мощность, кВт	Характеристика преобразователя: Частота, кГц	Характеристика опоры	Максимальное усилие прижима, Н	Максимальная скорость протяжки, м/мин
УЗП-4	—	Сварка распрессованным швом фотоматериалов на лавсановой основе толщиной до 0,1 мм	Феррит	0,07	28,0	Стол с вакуумным прижимом	15	1,8
АЧСК-1,5	ВНИИЭСО	Автоматическая сварка бумаги с ПЭТФ пленкой	»	0,07	28	Стол с плавающим прижимом	10	1,8
УЗП-3	—	Сварка пленок ПЭТФ, ПП, ПК-4 с толщинами до 0,01 мм прямолинейным и криволинейным швом	Пермендюр	0,4	19,0	Стол с механическим прижимом	100	1,8
УПШ-19	МВТУ	Сварка дублированных пленок ПЭВД, ПЭТФ толщиной 0,07—0,09 мм	»	1,5	22,0	Вращающийся ролик	400	9,6
UZK-600T	УМОВ	Сварка трикотажных и нетканых текстильных материалов, содержащих не менее 60 % термопластмасс, толщиной 0,1—3,0 мм	Пьезокерамика	0,63	20,0	То же	400	18
UZK-600TПА	УМОВ	Рельефная полуавтоматическая точечная сварка многослойных синтетических поясных материалов	Пьезокерамика	0,63	20,0	Сменные вращающиеся ролики с рельефной поверхностью	400	4

29. Переносные установки для сварки ультразвуком

Марка	Назначение	Составные элементы	Характеристика преобразователя: Материал	Характеристика преобразователя: Частота, кГц	Характеристика преобразователя: Электрическая мощность, кВт	Масса сварочной головки, кг
РУСУ-50, РУСУ-50-3	Непрерывная сварка пленок толщиной до 40 мкм	Сварочная головка-пистолет, генератор, соединительный кабель	Феррит	50	0,03	0,4
РУСУ-28	Непрерывная сварка пленок толщиной 20—100 мкм; точечная сварка	То же	»	28	0,07	1,5
ПУС-2	Непрерывная сварка пленок толщиной до 40 мкм	Самоходная каретка со сварочной головкой, генератор, соединительный кабель	»	50	0,03	0,4

30. Магнитострикционные преобразователи

Тип	Напряжение питания, В	Частота, кГц	Потребляемая мощность, кВт	Сила тока подмагничивания, А	Амплитуда смещения без нагрузки, мкм	Диаметр выходного торца трансформатора, мм	Габаритный размер, мм: Длина	Габаритный размер, мм: Диаметр	Расход воды для охлаждения, л/мин	Масса, кг
ПМС-15А-18	440	18	4,0	20	15	65	350	170	5	12
ПМС-27	220	22	1,6	14	15	30	290	140	2,5	4,5
ПМС-39	220	22	2,5	18	20	35	290	140	3	5
ПМС-51	11	44	0,25	8	5	24	190	140	1	1,5

рядом мощностей: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0 кВт.

Мощность магнитострикционного преобразователя определяется площадью рабочей поверхности волновода: если рабочая поверхность равна 12, 60, 150, 250, 400, 600 мм², то мощность равна соответственно 0,25; 0,40; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0 кВт. При мощности магнитострикционного преобразователя 0,16; 0,25—0,63; 1,0—1,6; 2,5 кВт напряжение выбирается равным соответственно 55; 100; 220; 440 В.

По режиму работы различают ультразвуковые генераторы, работающие в непрерывном режиме, и импульсные генераторы.

В табл. 31 приведены основные типы применяемых в сварочных установках отечественных ультразвуковых генераторов и их основные характеристики.

31. Генераторы ультразвуковых колебаний

Тип	Мощность, кВт		Рабочая частота, кГц	Максимальный ток подмагничивания, А	Система охлаждения	Масса, кг	Габаритные размеры, мм
	потребляемая	выходная					
УЗГ8-0,1/22—УЧ	0,28	0,1	22	4	В	22	216×380×230
УЗГ-0,2ЛТ	0,5	0,2	18/22	5	В	30	330×365×210
УЗГ3-0,4	1,1	0,4	18/22/44	8	ПВ	50	630×387×328
УЗМ-1,5	4,0	1,5	13—30	13	ПВ	275	660×600×1420
УЗГ5-1,6/22УЧ	4,2	1,6	22	25	ПВ	260	650×540×1265
УЗГ6-1,6	4,0	1,6	18	25	ПВ	240	616×510×1425
УЗГ2-4/18	8,0	4,0	18	25	В	420	810×637×1808
УЗГ2-4	8,0	4,0	22	25	ПВ	—	720×580×1350
УМ1-1	8,0	4,0	15—30	13	в	380	740×800×1660
УЗГ10-22	19,5	10,0	22	40	Вв	620	880×886×1860
УЗГ2-10	19,0	10,0	18/22	0,3	Вв	630	780×886×1850

Примечание. В — воздушное; ПВ — принудительное воздушное; в — водяное; Вв — воздушное и водяное охлаждение.

Глава 7
ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВАРКА

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Отличительными особенностями высокочастотной сварки пластмасс являются:

одновременный нагрев по толщине свариваемых материалов, близкий к равномерному, что исключает перегрев наружных поверхностей;

высокая скорость нагрева, позволяющая ограничивать время сварочного цикла несколькими секундами;

возможность изготовления за одну операцию изделий со сложной конфигурацией сварного шва;

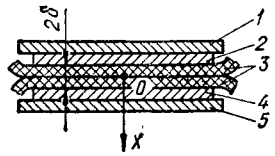
широкое использование для соединения внахлест пленочных полимерных материалов, синтетических швейных материалов.

Схема высокочастотной сварки приведена на рис. 59. Свариваемые материалы *3* помещают в электрическое поле напряженностью E, которое создается электродами *2* и *4*, образующими конденсатор, включенный в колебательный контур генератора электрических колебаний частотой f. Сварочное усилие P_0, необходимое для образования

сварного соединения, создается прессом, верхняя *1* и нижняя *5* плиты которого совмещены с электродами.

В зависимости от взаимного перемещения сварочных электродов и свариваемого материала различают прессовую и роликовую высокочастотную сварку. Прессовая сварка выполняется за одно рабочее движение электрода и позволяет получать прямошовные и контурные швы.

К основным параметрам прессовой высокочастотной сварки кроме E, f, P_0 относят время предварительного сжатия t_1, время нагрева материала в электрическом поле t_2, время действия сварочного усилия после снятия электрического поля t_3 (рис. 60).



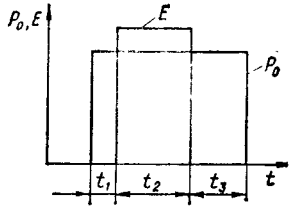


Рис. 59. Схема высокочастотной сварки

Рис. 60. Рабочий цикл при высокочастотной сварке

Роликовая сварка осуществляется путем непрерывного протягивания свариваемых материалов между электродами, один из которых или оба выполнены в виде роликов.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Тепловая мощность, выделяющаяся в единице объема полимера, определяется по формуле $p = 0{,}5 \cdot 10^{-8} f E^2 \varepsilon \operatorname{tg} \delta$, где ε и $\operatorname{tg} \delta$ — соответственно относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь свариваемых материалов [29]. Интенсификация тепловыделения, таким образом, связана с необходимостью повышения частоты и напряженности электрического поля.

Для высокочастотной сварки используются частоты 13,56; 27,12; 40,68; 81,36 и 152,5 МГц.

Увеличение интенсивности тепловыделения за счет повышения напряженности электрического поля ограничено значениями пробивного напряжения свариваемых пластмасс и используемых изоляционных материалов, в качестве которых, в первую очередь, рекомендуются капролон, полистирол и гетинакс.

Способность пластмасс нагреваться в переменном электрическом поле характеризуется коэффициентом диэлектрических потерь $K = \varepsilon \operatorname{tg} \delta$. Высокочастотная сварка применяется только для пластмасс, у которых K не меньше сотых долей единицы: ПВХ-Ж (0,046—0,087), ПВХ-П (0,075—0,085), ПВХ — пленка медицинская ПМ-1 (0,157—0,174), ПВХ — винилискожа-Т (0,128), ПММК — ЛПТ (0,076—0,14), ПММК — стекло СОЛ и СТ-1 (0,058), СММА — акрил 2М (0,054), ПА-6 (0,079—0,108), ПА-610 литьевой (0,12—0,2), ПАР — Л-3 и Д-4 (0,07—0,15), ПАР — пленка ДР-55П (0,037—0,045), АБС (0,023—0,024), Ф-3 (0,023—0,028), Ф-3М (0,05) и др. [10, 33].

При энергетической оценке процесса высокочастотной сварки пластмасс следует учитывать, что коэффициент диэлектрических потерь, как правило, увеличивается с ростом температуры [33].

Наличие электродов, которые находятся в тепловом контакте с свариваемыми материалами, приводит к тому, что в процессе высокочастотного нагрева температурное поле не остается однородным. Тепловой поток от свариваемых материалов направлен к электродам, имеющим температуру окружающей среды.

Распределение температур по толщине свариваемого материала [33]

$$\Theta = \left(\frac{16p\delta^2}{\lambda\pi^3}\right) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \cos\frac{(2n+1)\pi x}{2\delta} \left\{1 - e^{-\left[\frac{(2n+1)\pi x}{2\delta}\right]^2 t}\right\},$$

где $\Theta = T_x - T_{о.с}$; $T_{о.с}$ — температура окружающей среды; T_x — температура в рассматриваемой точке на оси OX (рис. 59); c — удельная теплоемкость; ρ — плотность; p — удельная тепловая мощность для свариваемого материала; t — время.

При большом времени нагрева ($t = \infty$) распределение температур по толщине свариваемого материала неравномерно, при малом — близко к равномерному.

Принимая $\Theta = T_{св}$ при $x = 0$, получаем общую тепловую мощность, отнесенную к единице площади поверхности шва, которая выделяется в процессе сварки:

$$P = 4\theta\lambda\delta^{-1}\left\{1 - \frac{3^2}{\pi^3}\left[e^{-(\pi a/2\delta)^2 t} + \cdots\right]\right\},$$

где λ — коэффициент теплопроводности. $T_{св}$ — температура сварки.

Тепловая мощность $P_{ак}$, аккумулированная в зоне шва и отнесенная к единице площади поверхности шва, которая не учитывает потери тепловой энергии, вызванные теплоотводом к холодным электродам, определяется по формуле

$$P_{ак} = c\rho \int_{x_1=-\delta}^{x_2=+\delta} \theta dx = \frac{2p\delta^2}{3a^2}\left[1 - \frac{96}{\pi^2}\sum e^{-(\pi a/2\delta)^2 t} + \frac{1}{81} e^{-(3\pi a/2\delta)^2 t} + \cdots\right]$$

При заданных значениях t и $T_{св}$ последние два уравнения позволяют оценить коэффициент полезного действия нагрева электродов $\eta = P_{ак}/P$.

На рис. 61—63 приведены теоретически рассчитанные величины мощностей и коэффициент полезного нагрева для различных толщин свариваемых материалов из поливинилхлорида и для различных значений времени сварки.

Из рис. 61 и 62 следует, что при сварке толщина материала имеет существенное значение: чем тоньше материал и чем меньше время нагрева, тем большей должна быть мощность. При сварке тонких пленок (менее 100—150 мкм) потребляемая мощность значительна, а коэффициент полезного действия нагрева электродов мал (рис. 63), что связано с большим теплоотводом в электроды. Для уменьшения теплоотвода рекомендуется сварка тонких пленок через диэлектрические прокладки из нетермопластичного материала. Применение неодинаковых по толщине и физическим свойствам прокладок с обеих сторон свариваемых материалов позволяет смещать максимальную температуру на заданное расстояние по толщине свариваемых материалов. С целью уменьшения теплоотвода из зоны сварки применяют предварительный подогрев электродов. Для ряда полимеров, которые недостаточно хорошо соединяются высокочастотной сваркой вследствие малого коэффициента диэлектрических потерь, предварительный подогрев электродов позволяет добиться необходимой свариваемости. Как это следует из рис. 63, для увеличения коэффициента полезного действия нагрева электродов сварка должна вестись с максимально возможной скоростью при оптимальном тепловом режиме. При температуре электродов, близкой к температуре окружающего воздуха, потери

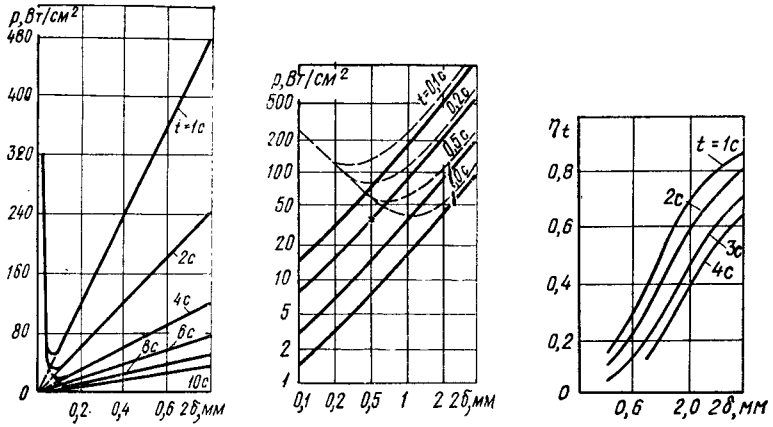


Рис. 61. Зависимость удельной мощности p, отнесенной к 1 см² поверхности шва, от полной толщины материала 2δ для различных значений времени нагрева t при сварке жесткого ПВХ

Рис. 62. Зависимость удельной мощности p, отнесенной к 1 см² поверхности шва, от полной толщины материала 2δ для различных значений времени нагрева t при сварке пластифицированного ПВХ; ——— полная мощность; ———— полезная мощность без учета потерь

Рис. 63. Зависимость коэффициента полезного действия η_t от полной толщины материала 2δ для различных значений времени нагрева t при сварке пластифицированного ПВХ

энергии за счет значительного теплоотвода от свариваемых материалов будут максимальными.

Кроме указанных технологических параметров на качество сварного соединения существенно влияет утонение материала в сварочной зоне: $B = (\delta_0 - \delta_1) / \delta_0$, где δ_0 и δ_1 — толщина материала соответственно до и после сварки в зоне сварного соединения.

Значения δ_0 и δ_1 связаны с давлением сжатия при сварке следующим образом [56]: $P_{сж} = [(\delta_0/\delta_1)^2 - 1]\,\mu b^2/t_{св}\delta_0^2$, где P — давление, Па; μ — коэффициент динамической вязкости, Па · с; $t_{св}$ — время сварки, с; b — ширина электродов, м.

При значениях $B \ll 1$, это уравнение запишется:

$$P_{сж} \cong B2\mu b^2/t\delta_1\delta_0.$$

При оценках значения $P_{сж}$ по заданной величине утонения B для данного типа свариваемого материала и выбранного технологического процесса значения $t_{св}$, b и μ могут считаться постоянными.

Требования к конструкции электродов для прессовой сварки в значительной степени определяются видом сварного соединения, а также размерами и конфигурацией изделия. На рис. 64 даны примеры взаимного расположения соединяемых изделий, определяющих вид сварного

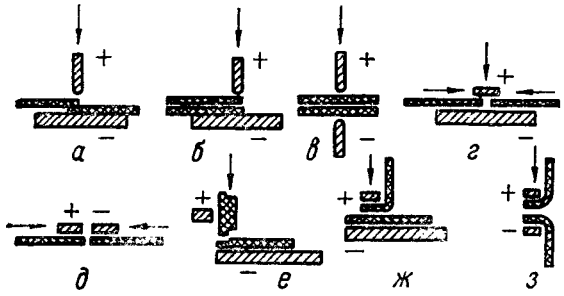


Рис. 64. Примеры взаимного расположения соединяемых изделий и варианты размещения электродов при сварке:

а, б, в — внахлест; *г, д, е* — встык; *ж, з* — с отбортовкой; высоковольтный электрод обозначен знаком «+»; заземленный знаком «—»

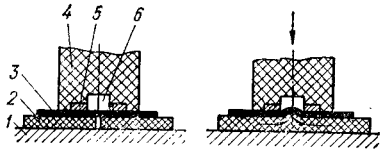


Рис. 65. Стыковая высокочастотная сварка листового пластика на упругой нетермопластичной прокладке:

1 — подложка; *2* — свариваемый материал; *3* — упругая нетермопластичная прокладка; *4* — диэлектрический корпус; *5* — сварочные электроды; *6* — технологическое пространство

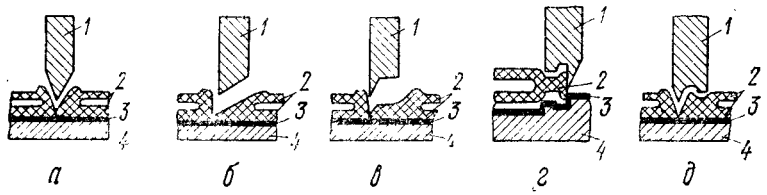


Рис. 66. Конструкция электродов для высокочастотной сварки с одновременной вырезкой изделия:

а — электрод с двусторонним скосом; *б* — электрод с односторонним скосом; *в, г, д* — комбинированные электроды для отделки шва и обрезки; *1* — верхний электрод; *2* — свариваемые пленки; *3* — предохранительная прокладка; *4* — нижний электрод

соединения, а также возможные способы размещения сварочных электродов [33].

Высокочастотная сварка может выполняться как без обрезки материала вблизи сварочной зоны, так и с его обрезкой (рис. 64, *а, б, ж*). При сварке труб и при сварке листовых материалов встык, когда невозможно разместить электроды с противоположных сторон шва, применяют расположение электродов, показанное на рис. 64. В этом случае с целью улучшения условий формирования сварного шва между свариваемым материалом и электродами располагают прокладку из упругого нетермопластичного материала (рис. 65). Расстояние между электродами при этом следует выбирать равным ширине шва.

Для получения сварных соединений с повышенными прочностными характеристиками сварной шов формируют с обеих сторон свариваемых материалов. С этой целью применяют сварку электродами, у которых подвижный электрод является зеркальным отражением неподвижного и может отличаться от последнего только наличием режущей кромки (см. рис. 64,*в*).

Для уменьшения вероятности электрического пробоя на кромках электродов их закругляют. Радиус закругления кромок рекомендуется брать равным 1/8 ширины сварочных электродов, которая, в свою очередь, должна быть равной двойной толщине свариваемых материалов.

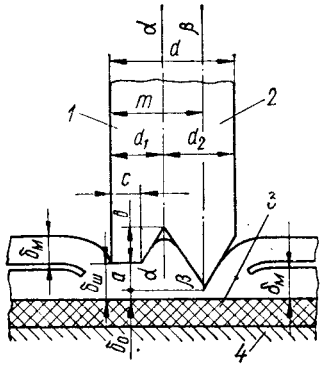


Рис. 67. Электрод для сварки с обрезкой:

1 — часть электрода, создающая основной шов; *2* — часть электрода, производящая обрезку и формирующая кромку; *3* — изоляционная прокладка; *4* — плита пресса; α—α — линия разъема составного электрода; β—β — линия обрезки

Для получения сварных швов с различной конфигурацией широкое распространение находят электроды, представленные на рис. 66. При работе с указанными электродами с целью исключения электрического пробоя электрод, совмещенный с нижней плитой сварочного пресса, рекомендуется покрывать листом материала, имеющим высокие диэлектрические характеристики, например гетинаксом.

На рис. 67 приведен эскиз электрода для выполнения фигурного шва с одновременной обрезкой [33], для которого рекомендуются

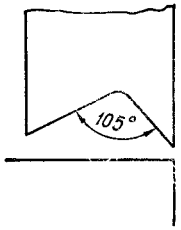


Рис. 68. Форма сварочной кромки электрода для безоблойной сварки

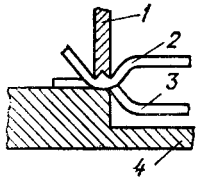


Рис. 69. Расположение и форма несимметричных сварочных электродов для безоблойной сварки:

1 — фигурный электрод; *2, 3* — свариваемые материалы; *4* — плоский электрод

следующие соотношения: $\delta_ш = 0{,}6\delta_м\ m$; $a = \delta_ш - 0{,}25$; $b = \delta_м m - a$; $d_1 = c + 0{,}65b$; $d_2 = 1{,}3\,(a + b)$; $d = d_1 + d_2$; $m = d_1 + d_2/2$, где $\delta_м$ — толщина одного слоя исходного материала, $\delta_ш$ — толщина шовной зоны; $\delta_о$ — толщина материала по линии обрезки, $\delta_о = 0{,}25$ мм; c, d_1, d_2, m — технологический размер электрода, указанный на рис. 67.

Для получения сварных соединений, где наличие видимого шва нежелательно (безоблойная сварка), применяют электроды, у которых крутая сторона режущей кромки обращена в сторону рабочей части

свариваемого изделия (рис. 68 и 69). Безоблойная сварка сопровождается большим вытеканием материала из сварочной зоны по сравнению с другими видами высокочастотной сварки, а также характеризуется большими значениями удельной мощности. Последнее вызвано тем, что давление при безоблойной сварке должно выбираться меньше обычного.

СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Основными узлами установки для высокочастотной сварки пластмасс являются генератор высокой частоты и сварочный пресс, который

32. Основные характеристики ручных установок для высокочастотной сварки

Тип установки	Толщина свариваемого материала, мм	Длина шва, мм	Ширина шва, мм	Потребляемая мощность, кВт	Высокочастотная мощность, кВт	Рабочая частота, МГц	Габаритные размеры, мм	Масса генератора, кг
ЛС2-0,3 (СССР)	0,2—2,0	100	0,8	0,80	0,25	40,68	360×400×310	20
УЗП-100 (НРБ) GU-0,3	0,2—2,0	5*		0,35	0,10	27,12	210×354×239	17
ЕДР-3 (ЧССР)	0,1—1,2	130	3	0,55	0,20	27,12	400×300×370	20
Термофрекуэнц 150 (ВНР)	—	150	2,5	0,20	0,10	—	250×180×160	6

* Площадь сварного шва, см².

33. Основные параметры прессовых установок для высокочастотной сварки (СССР)

Тип установки	Мощность, кВт: потребляемая	Мощность, кВт: высокочастотная	Рабочее усилие при сварке, Н	Длина сварного шва, мм, при ширине 2 мм	Время сварки, с	Размеры рабочего стола, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ВЧД3-1,6/27	4,1	1,6	3000	3000	2—10	200×300	1565×2160×900	530
ВЧД2-4/27	10	4±0,4	1200—14 000	—	10	800×1000	3500×1660×2300	3675
ВЧД6-4/27	9,5	4±0,4	2000—15000	3500	2—10	500×600	—	1730
ВЧД9-4/27	7,7	4±0,4	2000—15 000	3500	—	500×600	1700×2000×2100	1730
ВЧД10-4/27	7,7	4±0,4	500—5000	3500	—	500×600	1700×1700×1500	1000
ВЧД6-10/27	25	10	100 000	10000	2—10	1200×600	4200×1970×2500	2500
ВЧД7-10/27	25	10	100 000	—	5—6	—	3440×3725×1980	3000
ЛСП1-0,6	1,8	0,63	2000	16*	5	400×300	800×900×1700	150
ЛСП1-2	5,5	1,6	5000	40*	5	500×400	1100×1330×2000	570
ЛСП1-3	6,0	2,5	11000	—	5	500×600	1776×1076×200	930
ЛСП1-4М	9,0	4,0	20000	—	5	600×800	1776×1076×2250	943

* Максимальная площадь сварки, см²,

34. Основные параметры прессовых установок серии УЗП (НРБ) для высокочастотной сварки

Тип установки	Мощность, кВт: потребляемая	Мощность, кВт: высокочастотная	Рабочее усилие при сварке, Н	Длина сварного шва, мм, при ширине 2 мм	Свариваемая поверхность, см²
100	0,35	0,1	160	150	5
101	0,35	0,1	160	150	5
250	0,62	0,25	100—600	300	13
600	1,5	0,6	4000	—	32
1000	2,5	1,0	500—4000	—	50
2—2,5Е	5,86	2,5	1000—4000	—	125
2500	5,5	2,5	0—4000	—	125
2500А	5,0	2,5	0—4000	2500	125
4000	7*	4,0	4000—12000	4000	200
4001	8*	4,0	4000—12000	4000	200
6000А	12*	6,0	4000—12000	6000	300
6001	11*	6,0	4000—12000	6000	300
12000	26*	12	6000	12000	600

Тип установки	Время сварки, с	Время выдержки после сварки, с	Размеры рабочего стола, мм	Рабочий ход, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
100	Не регулируется		120×40	10	210×354×239	17
101	»		200×100	40	1000×600×900	40
250	0—10	—	300×150	30	1100×600×1075	70
600	—	—	560×450	60	720×960×1340	270
1000	0—10	0—10	560×450	60	750×960×1340	300
2—2,5Е	0—10	—	560×450	60	1330×1100×1340	500
2500	0—10	—	560×450	60	1330×1100×1340	500
2500А	0—10	—	560×450	60	1100×760×980	420
4000	0—15	0—10	600×450	380	2700×3400×980	1850
4001	0—15	0—10	600×450	110	3020×3650×1600	2200
6000А	0—10	—	1000×800	110	2780×2400×1600	980
6001	0—10	—	1000×800	110	4760×2700×1450	2000
12000	—	—	1800×1000	100	7800×1730×2360	4000

* Без учета мощности, потребляемой прессом.

включает сварочные электроды и механизм привода электродов. Генератор высокой частоты выполняется в виде отдельного модуля или в виде единой конструкции со сварочным прессом. По принципу работы различают установки периодического и непрерывного действия, по конструктивному исполнению — ручные и стационарные.

Ручные установки используются главным образом для работ при упаковке, а также для получения сварного шва небольшой про-

тяженности и представляют собой малогабаритные настольные приборы, собранные из высокочастотного генератора и ручных сварочных клещей. Основные характеристики отечественных и находящих применение в нашей стране зарубежных ручных сварочных установок приведены в табл. 32 [10, 34].

Технологическая часть стационарных установок для периодической сварки представляет собой пресс с рычажным ножным, электромеханическим, пневматическим или гидравлическим приводом. На плитах пресса располагаются пластины рабочего конденсатора (сварочные электроды). Мощность пресса и его размеры зависят от формы и размеров свариваемых изделий.

В табл. 33—35 приведены основные параметры разработанных в СССР, НРБ и ГДР прессовых установок для высокочастотной сварки полимерных материалов. Разработчик серии ВЧД — Всесоюзный научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт токов высокой частоты им. В. П. Вологдина (ВНИИТВЧ) (СССР), серии УЗП — «Промышлена електроника» (НРБ), серии «Фолипресс» — «Стеремат» (ГДР). Рабочая частота установок серий ВЧД, УЗП и Фолипресс — 27,12, а серии ЛСП (СССР) — 40,68 МГц.

35. Основные параметры прессовых установок серии «Фолипресс» (ГДР) для высокочастотной сварки

Тип установки	Мощность, кВт		Рабочее усилие, Н	Длина шва, мм, при ширине 2 мм и толщине пленки 0,3 мм	Толщина свариваемых материалов, мм	Время, с		Рабочий ход, мм	Масса, кг
	потребляемая	высокочастотная				сварки	выдержки		
100/0,4	1,2	0,4	1000	300	0,2—1	0,5—10	0,5—10	40	130
200/1	3	1	2600	800	0,2—1	0,5—10	0,5—10	40	395
400/2	5,3	2	4000	1600	0,12—1	0,5—10	0,5—10	36	610
800/4	10	4	8000	3500	0,12—1	0,5—10	0,5—10	50	890
5000/10	30	10	50000	10000	0,12—3,5	0,5—10	9,5—10	300	2750

Электрическая схема генератора установок серии ВЧД обеспечивает стабилизацию и плавное регулирование величины выпрямленного напряжения в пределах 15—100 % от максимального значения. Для предупреждения повреждений электродов при электрическом пробое свариваемого материала применена электронная защита, мгновенно отключающая анодное напряжение. Установка ВЧД 3-1,6/27 имеет сварочный пресс консольного типа. Кроме небольших позволяет сваривать последовательным способом и крупногабаритные изделия, для размещения которых в нижней части экрана имеются карманы. Установки ВЧД2-4/27, ВЧД6-4/27, ВЧД9-4/27, ВЧД10-4/27 и ВЧД6-10/27 снабжены двумя несвязанными загрузочными столами, которые поочередно подаются под пресс. Установка ВЧД7-10/27 предназначена для сварки изделий из рулонного материала шириной до 1 м, который экранируется с помощью волноводных устройств. Для установок типа ВЧД все операции сварочного цикла выполняются автоматически.

К сварочным установкам непрерывного действия относится машина ЛСГ-0,2, предназначенная для роликовой сварки пластмасс токами высокой частоты.

Основные параметры установки ЛГС-0,2

Скорость подачи материала, м/мин	0,5—3,0
Ширина шва, мм	2—3
Удельное давление на материал, МПа	0,2—2
Максимальная мощность, кВт:	
потребляемая	1,1
колебательная	0,2
Напряжение питающей сети, В	220
Рабочая частота, МГц	39

Глава 8

СВАРКА ИЗЛУЧЕНИЕМ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Сварка излучением подразделяется на сварку инфракрасным излучением (ИК-излучением), световыми лучами и лазерным излучением.

Отличительными особенностями сварки излучением являются отсутствие при нагреве прямого контакта между поверхностью излучателя и нагреваемой поверхностью; возможность в широких пределах управлять режимами нагрева, изменяя мощность излучения и поглощающую способность облучаемого материала.

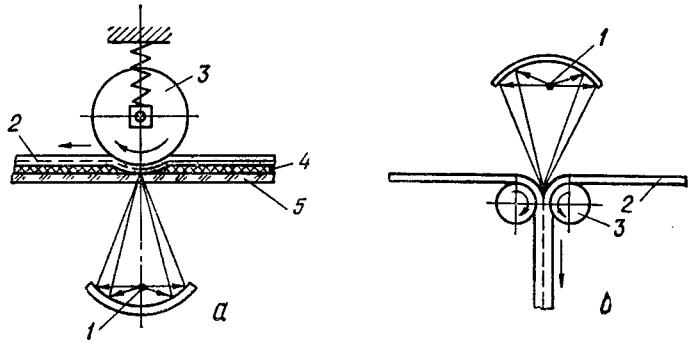


Рис. 70. Способы сварки полимерных материалов излучением:
а — подвод излучения к наружной по отношению к сварочной зоне поверхности; *б* — подвод излучения к соединяемым поверхностям; *1* — источник излучения; *2* — свариваемый материал; *3* — прижимной ролик; *4* — прокладка; *5* — прозрачная для излучения опора

При сварке излучением могут облучаться соединяемые поверхности или поверхности, которые являются наружными по отношению к сварочной зоне (рис. 70).

Сварка излучением может выполняться как без применения присадочного материала, так и с его применением. Используется она для соединения внахлест пленочных полимерных материалов, синтетических швейных материалов, а также для стыковых соединений труб и листовых пластмасс, главным образом, из полиэтилена, полипропилена, пластифицированного и непластифицированного поливинилхлорида.

СВАРКА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

ИК-излучение занимает область спектра электромагнитных колебаний от 0,76 до 1000 мкм и, также как и видимый свет, подчиняется законам геометрической и волновой оптики. При облучении соединяемых материалов ИК-лучи могут отражаться поверхностью материала, рассеиваться и поглощаться в объеме материала, а также частично пропускаться, что количественно характеризуется коэффициентами отражения, рассеяния, поглощения и пропускания. Энергия ИК-излучения, поглощенная материалом, превращается в тепловую энергию, нагревая материал до необходимой температуры. При этом эффективность нагрева в значительной степени зависит от правильного выбора типа излучателя по отношению к нагреваемым материалам, что связано со спектральным распределением энергии излучения и спектральной зависимостью коэффициента поглощения облучаемых материалов.

К основным параметрам ИК-излучения и нагрева облучаемых материалов относятся: мощность излучения P (Вт), энергетическая светимость R (Вт/м^2), спектральная плотность излучения r (Вт/м^3), энергетическая освещенность E (Вт/м^2), спектральный коэффициент поглощения α_λ, время облучения t, с.

Важнейшей характеристикой, определяющей процессы теплового излучения тел, является температура. Для абсолютно черного тела суммарная плотность излучения описывается формулой $R = \sigma T^4$, где $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м$^2 \cdot$ К^4) — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура тела излучения, К.

Распределение по спектру плотности излучения абсолютно черного тела имеет вид кривой с одним максимумом. Длина волны, отвечающая указанному максимуму излучения, определяется по формуле $\lambda_m = 2{,}899 \cdot 10^{-3}/T$, мкм.

Значения длины волны λ_m, соответствующие максимуму спектральной плотности излучения абсолютно черного тела для разных температур

t, °С	λ_m, мкм	t, °С	λ_m, мкм
1026	3,849	1326	2,752
1046	3,749	1346	2,701
1066	3,654	1366	2,651
1086	3,565	1386	2,604
1106	3,479	1406	2,558
1126	3,397	1426	2,513
1146	3,320	1446	2,471
1166	3,245	1466	2,429
1186	3,174	1486	2,389
1226	3,041	1506	2,350
1246	2,978	1526	2,313
1266	2,918	1546	2,276
1286	2,861	1596	2,190
1306	2,805		

У большинства твердых тел с шероховатыми поверхностями распределение энергии по спектру имеет такой же характер, как и у абсолютно черного тела. Это так называемые серые тела. Для таких тел суммарная плотность излучения

$$R = \varepsilon_T \sigma T^4,$$

где ε_T — коэффициент излучения, характеризующий отношение плотности излучения серых тел к плотности излучения абсолютно черного тела при одинаковой температуре. При рассмотрении излучения в узкой области спектра вместо ε_T вводится спектральный коэффициент излучения ε_λ, зависящий от материала, состояния излучающей поверхности, степени ее окисления и температуры.

Значения ε_T и ε_λ для ряда материалов, которые могут быть использованы при сварке пластмасс ИК-излучением, приведены на рис. 71 и 72.

Нагрев облучаемых материалов характеризуется их спектральными коэффициентами пропускания, данные о которых, в отличие от данных по спектральным коэффициентам поглощения, достаточно широко приводятся в справочной литературе. На рис. 73—75 приведены спектральные коэффициенты пропускания, а на рис. 76 — коэффициенты поглощения ряда полимерных материалов [21]. По степени пропускания ИК-излучения полимеры располагаются в следующем порядке: фторопласты (фторопласт-4, фторопласт-3, фторолон); полиолефины (полиэтилен, сополимер этилена с пропиленом, полипропилен); поливинилхлорид; полиэтилентерефталат; полиамиды; пентапласт (рис. 77) [29].

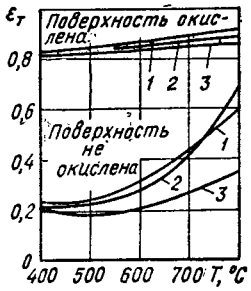
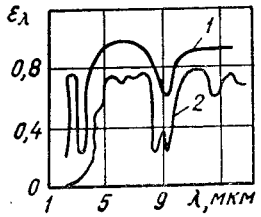


Рис. 71. Зависимость спектрального коэффициента излучения некоторых жаростойких материалов от температуры:
1 — нержавеющая сталь; 2 — никелькобальтовый сплав; 3 — нихром

При выборе материала ИК-излучателя надо принимать во внимание спектральные характеристики соединяемых полимерных материалов, которые учитывают их поглощающую способность к ИК-излучению. Учитывая, что полимеры в большинстве случаев проницаемы для ИК-излучения с длиной волны 2,5—3,0 мкм и лучше поглощают излучение волн большей длины, эффективный ИК-излучатель должен иметь максимум излучения, расположенный в этой области спектра, что отвечает температурам излучения, меньшим 700 °С. При таких температурах, однако, энергетическая светимость ИК-излучателя недостаточна, что затрудняет получение необходимой мощности излучения в узком диапазоне длин волн, отвечающих максимальным значениям спектральных коэффициентов поглощения нагреваемых полимерных материалов. Поэтому приходится пользоваться широкополосными излучателями и при расчетах учитывать степень поглощения ИК-излучения за счет дополнительных факторов, таких как различные добавки (красители, наполнители, стабилизаторы, пластификаторы



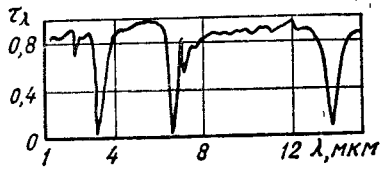
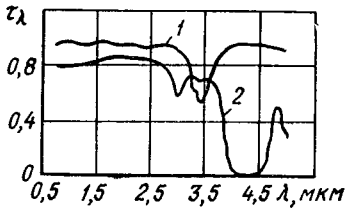


Рис. 72. Спектральные коэффициенты излучения кварцевого стекла:
1 — толщина 1,6 мм, T = 511 °С; 2 — толщина 2 мм, T = 200 °С

Рис. 73. Спектральные коэффициенты пропускания полиэтилена толщиной 0,1 мм

и др.). При сварке тонких полимерных материалов, пропускающих значительную часть ИК-лучей, необходимо принимать во внимание поглощающую способность технологической подложки.

Для сварки ИК-излучением термопластичных материалов в качестве источников излучения используются главным образом силитовые стержни, нагреватели из хромистой стали и кварцевые лампы стержневого типа [5, 10, 18].



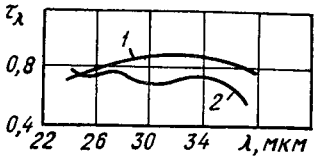
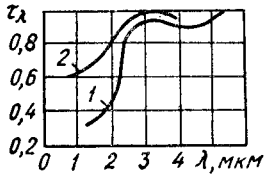


Рис. 74. Спектральные коэффициенты пропускания полиметилметакрилата толщиной 0,02 мм (*1*) и политрихлорэтилена толщиной 3 мм (*2*)

Рис. 75. Спектральные коэффициенты пропускания полистирола толщиной 0,025 мм (*1*) и полиэтилена толщиной 0,25 мм (*2*)

Источники ИК-излучения, применяемые для сварки пластмасс, должны обеспечивать возможность регулирования мощности излучения в широких пределах и ее равномерное распределение по поверхности сварки.

Наряду с перечисленными выше технологическими параметрами, определяющими процесс сварки ИК-излучением, очень важна роль подложки, на которую укладывается материал. Выбор материала подложки и ее геометрия определяют способ создания необходимого сварочного давления. При сварке внахлестку необходимое сварочное давление может быть создано примененной в качестве подложки черной микропористой резиной или черным эластичным пенополиуретаном [29]. Материал подложки влияет на скорость нарастания температуры



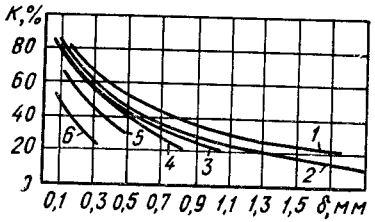


Рис. 76. Степень поглощения ИК-лучей поливинилхлоридом толщиной 0,3 (*1*) и 3,2 мм (*2*)

Рис. 77. Зависимость степени проницаемости различных полимерных материалов от их толщины (излучатель — силитовый стержень 8/150-85, нагретый до 1050 °С):

1 — фторопласт-4; *2* — полиэтилен; *3* — поливинилхлорид; *4* — сополимер этилена и пропилена СЭП-15; *5* — полиамид; *6* — пентапласт

и распределение температур по сечению свариваемых образцов (рис. 78) [10]. Наиболее эффективна в этом отношении ламповая сажа. Затем следуют черная бумага, микропористая саженаполненная резина, черная прорезиненная ткань. Подложки же из таких материалов, как фторопласт, керамика и других, плохо нагревают материал. За счет теплового потока от нагретой подложки повышение температуры тонких свариваемых материалов возможно по всей толщине. При увеличении толщины свариваемых материалов нагрев может не обеспечивать повышение температуры по всей толщине материала (рис. 79). Изменяя условия и режим ИК-излучения получают заданное распределение температуры по толщине свариваемых материалов.

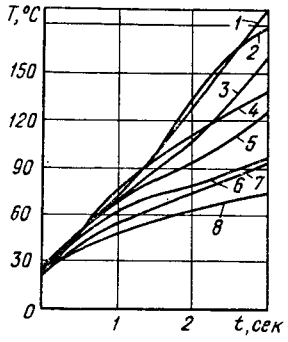


Рис. 79. Изменение температуры по сечению пакета пленок из полиэтилена. Время облучения 15 с, излучатель — силитовый стержень, нагретый до 1050 °С

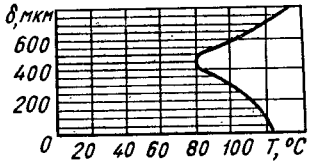


Рис. 78. Зависимость температуры, развиваемой в полиэтилене, от толщины материала подложки:

1 — сажа; *2* — черная бумага; *3* — белый поролон; *4* — белая бумага; *5* — микропористая резина; *6* — офсетное полотно—резина; *7* — стеклоткань; *8* — без подложки

Учитывая требования к подложке, связанные со способностью поглощать энергию ИК-излучения и создавать необходимое сварочное давление, рекомендуется в качестве материала подложки использовать микропористую резину, черный пенополиуретан или толстые прорезиненные ткани [15, 29]. Время сварки и предельная толщина свариваемых материалов определяются условиями ИК-излучения. Так, при использовании в качестве источника ИК-излучения силитового стержня, нагретого до температуры 1200 °С и находящегося на расстоянии 12—14 мм от свариваемых материалов (в качестве подложки использовалась черная микропористая резина), время сварки для пакета пленок из полиэтилена высокого давления толщиной около 200 мкм составляло 2—4 с, толщиной около 2 мм — 15—20 с, для поливинил-

36. Сварка ИК-излучением пленочных пакетов

Материал	Толщина пакета, мкм	Скорость сварки, см/с	Относительная прочность на расслаивание, %
ПВД	230	2,5—4	75—85
ПНД саженаполненный (2 %)	130—150	5—6,5	75—85
ПВХ саженаполненный	280—290	2—2,5	60—70

хлорида толщиной около 200 мкм — 5—7 с. Табл. 36 иллюстрирует дополнительные возможности сварки ИК-излучением полиэтилена и поливинилхлорида (температура силитового излучателя 1000 °С) [10].

В табл. 37 приведены технологические режимы сварки ИК-излучением труб из полиэтилена высокого давления и поливинилхлорида диаметром до 315 мм [10].

37. Режим сварки труб ИК-излучением

Показатель	Материал труб	
	ПВД	ПВХ
Температура излучающей поверхности, °С	900	850
Технологический зазор между излучателем и свариваемыми трубами, мм	10	10
Время нагрева, с	19	27
Глубина проплавления, мм	2	2
Давление осадки, МПа	0,2	0,15
Технологическая пауза, с, не более	3	3

Основным элементом установок для сварки излучением пластмасс является излучатель. Стыковая сварка листов, стержней и профильных заготовок без присадочного материала может выполняться ИК-излучателями, имеющими прямоугольные или фигурные нагревательные элементы. Трубы и другие профильные заготовки диаметром более 100 мм рекомендуется сваривать нагревателями, форма которых повторяет форму заготовки (табл. 38).

38. Характеристика кольцевых ИК-излучателей из стали 12Х18Н10Т для сварки труб

Диаметр труб, мм	Диаметр излучателя, мм		Температура излучающей поверхности, °С	Потребляемый ток, А
	внутренний	наружный		
125	100	156	700—1100	122—248
150	112	173	700—1100	122—248
200	186	242	700—1100	123—246
250	234	294	700—1100	123—246
300	290	330	700—1100	89—185

При использовании для ИК-излучения нихрома или жаропрочных высоколегированных сталей излучатель следует выполнять в виде полосы. Ширина полосы и зазор между полосой и деталями определяются необходимым характером поля излучения. На рис. 80 приведено [10] распределение температуры в материале свариваемых деталей от нагревательных элементов в виде полос из стали 12Х18Н10Т толщиной 0,2 мм и длиной 100 мм; температура нагревателей — 1000 °С; расстояние от нагревателя до материала — 10 мм. В табл. 39 приведены общие характеристики отечественных кварцевых ламп стержневого типа с галогенным циклом, которые также находят широкое применение в качестве ИК-излучателей при сварке пластмасс. Эти лампы выполнены в виде трубки из кварцевого стекла, вдоль оси которой размещена вольфрамовая спираль. Трубка заполнена аргоном с добавкой паров йода. Поверхностная плотность излучения этих ламп в непрерывном режиме

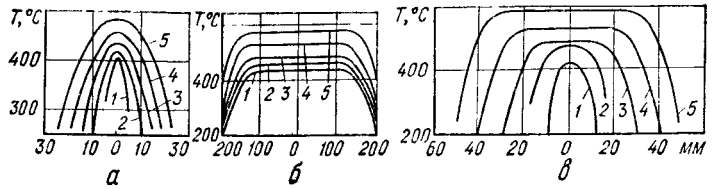


Рис. 80. Распределение температуры на поверхности нагреваемого материала по ширине (*а*) и длине (*б*) от одиночного излучателя с нагревательным элементом шириной 5 мм (*1*), 10 мм (*2*), 20 мм (*3*), 30 мм (*4*), 40 мм (*5*); по ширине (*в*) от спаренного излучателя с нагревательными элементами шириной 10 мм и зазором между ними 2 мм (*1*), 4 мм (*2*), 6 мм (*3*), 8 мм (*4*), 10 мм (*5*)

может достигать 400 кВт/м², что позволяет в сварочных установках получать энергетическую освещенность до 100 кВт/м², а в случае импульсного режима — до 1600 кВт/м². Основная часть лучистого потока вольфрамовой спирали находится в области спектра от видимого

39. Общие характеристики кварцевых галогенных ламп стержневого типа

Тип лампы	Мощность, кВт	Напряжение, В	Продолжительность работы, с · 10^7	Диаметр баллона, мм	Длина лампы, мм
НИК КТ-500	0,5	127	1,8	10,75	250
КИ 220-1000-1	1	220	1,8	10,75	375
КИ 220-1300	1,3	220	0,9	10,75	305
КИО 220-2500	2,5	220	0,72	10,75	500/140*
КИО 220-2500-2	2,5	220	0,72	10,75	470/125*
КИО 220-2500-3	2,5	220	0,72	10,75	440/110*
КИО 220-2500-4	2,5	220	1,8	10,75	470/145*
КИО 220-2500-5	2,5	220	1,8	10,75	440/130*
КИО 380-3500	3,5	380	0,72	10,75	750/140*
КИ 380-3300	3,3	380	1,8	10,75	750
КИ 380-4500	4,5	380	1,8	10,75	1000

* Приведена общая длина лампы и отогнутых концов (лампы типа КИО выпускаются с отогнутыми концами и могут эксплуатироваться в форсированном режиме).

излучения до $\lambda \approx 3$ мкм, а от поверхности кварцевой трубки — в области $\lambda \approx 3$—4 мкм.

В Ждановском металлургическом институте сконструированы установки для сварки прямых (А) и угловых (Б) соединений пластмассовых труб ИК-излучением [18, 19]. На этих установках ввод излучателя между торцами труб, выбор времени нагрева излучателя, времени оплавле-

ния торцов, вывод излучателя и осадка труб производятся по заранее установленной программе.

Основные параметры установок для сварки ИК-излучением прямых и угловых соединений труб

	А	Б
Наружный диаметр свариваемых труб, мм, не более	100	315
Температура излучающей поверхности, °С	700—1100	700—1100
Скорость осадки, мм/с	15—30	20
Усилие осадки, Н	800	16800
Габаритные размеры, мм	748×518×444	980×800×1300
Масса (без блока питания и аппаратуры управления), кг	22	76

Для односторонней сварки ИК-излучением линолеума из пластифицированного поливинилхлорида используется ручное устройство «Пилад» (разработчик трест «Ленинградоргстрой» Главленинградстроя, изготовитель — Ленинградский завод электротехнических изделий). В качестве ИК-излучателей используются стержневые лампы, каждая мощностью 1000 Вт (одна или две лампы в зависимости от модификации устройства). Для охлаждения рефлектора и корпуса устройство «Пилад» имеет воздушные радиаторы. С использованием устройства «Пилад» научно-исследовательской экспериментально-производственной лабораторией по механизации трудоемких процессов в строительстве Главкиевгорстроя (НИЛ «Мехстрой») разработана конвейерная линия для централизованного изготовления сварных ковров из линолеума размером «на комнату». Линия в смену выпускает 1000 м² ковров. Скорость сварки линолеума — 40—60 м/ч. Габаритные размеры линии 24 × 21 × 2 м. Масса — 20 т. Установленная мощность — 18 кВт. Обслуживающий персонал — два оператора.

Всесоюзным научно-исследовательским и технологическим институтом монтажа, эксплуатации и ремонта машин и оборудования животноводческих и птицеводческих ферм (ВНИИТИМЖ) разработана установка для механизированной сварки ИК-излучением гибких воздуховодов, представляющая собой полуавтоматическую линию, на которой выполняются дополнительно операции подготовки поставляемых рулонных заготовок к сварке и пробивки раздаточных отверстий.

Основные параметры установки для ИК-сварки гибких воздуховодов

Диаметр воздуховодов, мм	320—800
Скорость сварки, м/мин	0,5—5,8
Шаг пробивки отверстий, мм	100—7500
Толщина пленки, применяемой для изготовления воздуховода, мкм	25—500
Температура спирали, °С	600—1000
Сила тока нагревателя, А	10—20
Напряжение питания нагревателя, В	220
Расход охлаждающей воды, л/ч	30
Потребляемая мощность установки, кВт	5
Габаритные размеры, м	2,5×2,3×1,6
Масса, кг	650
Производительность, м/ч	348

СВАРКА СВЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Видимое излучение занимает часть спектра электромагнитных колебаний от 0,4 до 0,76 мкм и сварка пластмасс этим излучением принципиально ничем не отличается от сварки ИК-излучением. В качестве источника светового излучения используются, главным образом, кварцевые галлогенные лампы с точечными, стержневыми или

кольцевыми излучателями [15, 23]. В меньшей степени находят применение для этих целей зеркальные лампы накаливания, что связано с их малой механической прочностью и сравнительно невысокой удельной мощностью.

При сварке с подводом светового излучения к наружной по отношению к сварочной зоне поверхности материала скорость сварки листового поливинилхлорида с саженаполнителем достигает 0,5 м/с, а при сварке этого же материала с подводом светового излучения непосредственно к соединяемым поверхностям — 1,6 м/с [15].

Получила распространение схема сварки световым излучением листовых термопластов с применением присадочного материала (рис. 81). Стержневой излучатель осуществляет предварительный подо-

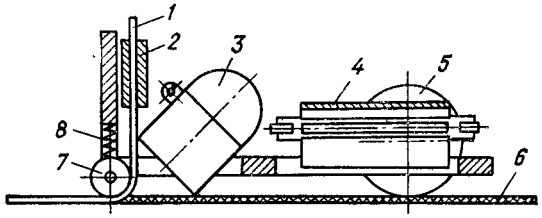


Рис. 81. Схема сварки световым излучением листового термопласта с применением присадочного материала:

1 — присадочный пруток; *2* — подогреватель; *3* — точечный излучатель; *4* — стержневой излучатель; *5*, *7* — ролики; *6* — листовой термопласт; *8* — пружина

грев кромок, вдоль которых перемещаются сварочный аппарат и пруток из присадочного материала, а точечный излучатель окончательно размягчает кромки и пруток.

СВАРКА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Сварка лазерным излучением, в отличие от сварки световым и ИК-излучением, позволяет получать очень высокие степени концентрации энергии в зоне сварки. При этом сварка пластмасс может выполняться как в непрерывном, так и в импульсном режимах излучения. Более широкое применение находит непрерывный режим. В этом случае используются главным образом газовые CO_2-лазеры с длиной волны $\lambda = 10{,}6$ мкм и мощностью излучения от десятков до нескольких сот ватт. Излучение с этой длиной волны хорошо поглощается большинством пластмасс. Так, пленка из полиэтилена высокого давления толщиной 0,2 мм поглощает 22 % энергии излучения CO_2-лазера. При импульсном режиме излучения в существующих технологических сварочных установках с твердотельными лазерами в качестве активных элементов применяются стержни из стекла с неодимом или алюмоиттриевого граната с неодимом, которые генерируют излучение на длине волны $\lambda = 1{,}06$ мкм. Последние вследствие высоких частот импульсов накачки (до 100 Гц) при средней мощности излучения порядка 100 Вт могут использоваться для шовной сварки. Сварка лазерным излучением особенно эффективна для соединения пленочных полимерных материалов, позволяющих достигать высоких скоростей сварки. На рис. 82 приведена одна из возможных схем сварки пленок лазерным излучением. Применение CO_2 - лазера в непрерывном режиме позволяет

сваривать внахлест пленки из полиэтилена высокого давления толщинами 50—150 мкм со скоростью 3,3—4 м/с [10]. В отличие от пленок из полиолефинов поливинилхлоридные пленки плохо свариваются лазерным излучением, что связано с заметной деструкцией материала в процессе нагрева.

При сварке лазерным излучением используются газовые CO_2-лазеры с длиной волны 10,6 мкм марок ЛГ-17, ЛГ-22, «Катунь», рассчитанные на непрерывный режим работы и имеющие мощность соответственно 25, 40 и 800 Вт, а также марки ТИЛУ с импульсным режимом работы и средней мощностью 2 кВт [22].

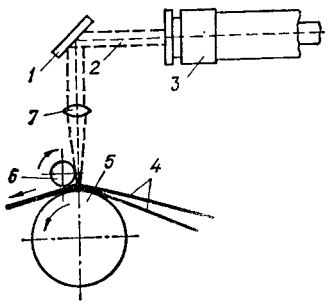


Рис. 82. Схема сварки полимерных пленок лазерным излучением:

1 — отклоняющее зеркало; *2* — луч лазера; *3* — лазер; *4* — свариваемые пленки; *5* — транспортирующий ролик; *6* — прижимной ролик; *7* — фокусирующая линза

Глава 9

СВАРКА РАСТВОРИТЕЛЯМИ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Соединение с помощью растворителей по механизму образования шва можно отнести к диффузионной сварке, а по технологическим признакам — к склеиванию.

Сварка растворителями в обычных условиях применяется для соединения аморфных термопластичных полимеров, а в некоторых случаях и кристаллизующихся полимеров при температуре, близкой к температуре плавления кристаллической фазы [29]. Так, способ широко применяют для соединения деталей, изготовленных из полиэфиров метакриловой кислоты, полистирола, поливинилхлорида, полиамида, поликарбонатов, эфиров целлюлозы и различных сополимеров, однако метод практически непригоден для полиэтилена, политетрафторэтилена и полипропилена вследствие их малой набухаемости в растворителях.

Поскольку скорость диффузии макромолекул в поверхностном слое полимера при смачивании растворителем значительно ниже, чем скорость диффузии макромолекул того же полимера, нагретого до температуры, превышающей температуру его текучести, то сварка растворителем требует значительно большего времени для образования прочного соединения по сравнению со сваркой нагревом.

Основными видами соединений при сварке растворителем листовых и пленочных термопластов являются нахлесточные соединения, соединения на «ус» и стыковые с односторонней накладкой. Для толстостенных изделий и стержней применяются стыковые соединения без накладок, для труб — раструбные соединения. Выбор того или иного вида соединения определяется условиями работы конструкции. При сварке листовых термопластов длины перекрытия в нахлесточном соединении, «уса» и накладки в стыковом соединении должны быть не меньше соответственно четырех-, трех-, пяти- и восьмикратной толщины листа [29].

Сварка растворителями применяется в тех случаях, когда методы тепловой сварки не обеспечивают надежного соединения или нерациональны (нарушаются форма и размеры деталей), в индивидуальном производстве, а также для соединения прозрачных термопластов— полиакрилатов, поликарбоната, полистирола, сварные швы которых должны иметь не только достаточно высокую прочность, но и хороший внешний вид, должны быть прозрачными. Например, практикой установлено, что сварка растворителями весьма эффективна для выполнения соединений напорных трубопроводов из непластифицированного ПВХ и АБС.

Сочетание сварки растворителями с другими способами сварки позволяет эффективно соединять детали из трудносвариваемых материалов.

Основным достоинством сварки растворителями являются малые капитальные затраты на ее проведение, так как сварка может осуществляться с помощью простых приспособлений, а недостатками являются токсичность растворителей, длительный цикл сварки, большая трудоемкость.

ВЫБОР РАСТВОРИТЕЛЕЙ

При выборе растворителя исходят из того, чтобы разность между характеристиками растворимости полимера и растворителя не превышала 2,5 $(МДж/м^3)^{1/2}$. В производственной практике применяют растворители и смеси растворителей. Растворители и их смеси, рекомендуемые [37] для сварки термопластов, приведены ниже:

Полимеры	Рекомендуемые растворители
АБС	Метилэтилкетон; метилизобутилкетон, толуол/метилэтилкетон (50/50); ксилол/метилизобутилкетон (25/75);
АБЦ, АЦ	Ацетон; этилацетат; метилацетат; ацетон/этиллактат (90/10); ацетон/метоксиэтилацетат (80/20); ацетон/метилацетат (70/30); бутилацетат/ацетон/метилацетат (50/30/20)
НЦ	Ацетон; этилацетат; метилацетат
ПА	Концентрированная муравьиная кислота; расплавленные фенол и резорцин; спиртовые растворы хлорида кальция; уксусная кислота (ледяная)
ПВС	Глицерин/вода (15/85)
ПВХ	Метилэтилкетон; метилизобутилкетон; ксилол; тетрагидрофуран/циклогексанон (80/20)
ПК	Этиленди хлорид; тетрахлорэтан; трихлорэтан; этиленди хлорид/метиленхлорид (50/50); метиленхлорид/мономер метилметакрилата (60/40)
ПММА	Этиленди хлорид; мономер метиметакрилата; дихлорэтан; метиленхлорид/мономер метилметакрилата (60/40); метиленхлорид/мономер метилметакрилата (50/50)
ПС	Этилацетат; метиленхлорид; метилэтилкетон; четыреххлористый этилен; толуол; трехх лористый этилен
САН	Этилацетат; метилэтилкетон, бутилацетат/мономер метилметакрилата (40/60)
ЭЦ	Этилацетат/этиловый спирт (80/20); толуол/этиловый спирт (90/10)

Использование смеси растворителей позволяет регулировать скорость размягчения полимера и предупреждать испарение растворителя с поверхности во время набухания. С целью ускорения процесса и повышения прочности соединения применяют растворы свариваемого полимера в растворителе (лаковые композиции) или в мономере (полимеризующиеся композиции). Последние обеспечивают наилучшее качество соединения и наиболее широко применяются для сварки деталей из полиакрилатов и полистирола. Повышение качества обусловлено тем, что растворитель длительное время выполняет функцию пласти-

фикатора в околошовной зоне, повышая в ней эластичность полимера, снижая температуру стеклования и прочность материала, кроме того, с присутствием растворителя связано и некоторое увеличение объема полимера в зоне шва, что приводит к появлению внутренних напряжений. В случае применения раствора в мономере после окончания диффузии макромолекул из раствора в поверхностные слои соединяемых деталей и из них в присадочный материал происходит полимеризация мономера. Превращение мономера-растворителя в полимер устраняет недостатки сварного соединения, пластифицированного жидким компонентом. В тех случаях, когда мономер свариваемого полимера при комнатной температуре находится в газообразном состоянии, применяют жидкий мономер иного состава, растворяющий соединяемый полимер и совмещающийся с ним после полимеризации [29].

Обычно в растворитель вводят до 15 % свариваемого полимера, что обеспечивает необходимую вязкость и снижает скорость испарения растворителя. Введение полимера, кроме того, позволяет заполнить зазоры между соединяемыми деталями и соответственно улучшить качество шва.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Основными операциями технологического процесса сварки растворителями являются подготовка соединяемых поверхностей к сварке; смачивание соединяемых поверхностей равномерным слоем растворителя или состава, содержащего растворитель (при стыковом соединении составом заполняют разделку шва); открытая выдержка соединяемых поверхностей (период времени от нанесения растворителя до сборки свариваемых деталей); приведение соединяемых поверхностей в соприкосновение; приложение давления и выдержка соединяемых деталей под давлением до момента затвердения шва.

Подготовку соединяемых поверхностей к сварке следует производить с особой тщательностью. В стыковых и усовых соединениях разница в размерах соединяемых поверхностей не должна колебаться более чем на 1 мм. Подогнанные поверхности перед нанесением растворителя необходимо очистить от пыли и обезжирить. Для очистки и обезжиривания не рекомендуется использовать растворитель полимера, так как в этом случае на набухшей поверхности материала могут оставаться загрязнения. При сварке пластифицированного поливинилхлорида необходимо обработать соединяемые поверхности специально подобранным растворителем, чтобы удалить выпотевший пластификатор, который препятствует растворению полимера.

Количество наносимого на соединяемые поверхности растворителя должно быть достаточным для набухания полимера, но в то же время его избыток ведет к снижению прочности соединения и удлинению технологического цикла. Нанесение растворителя осуществляют погружением, пульверизацией, роликом, кистью и другими способами до тех пор, пока соединяемые поверхности не приобретут липкость, характерную для сильно набухшего полимера. В помещении, где наносят растворитель, имеющий низкую температуру кипения, необходимо поддерживать минимальную температуру. Поверхности, которые не подлежат соединению, целесообразно защищать от действия паров растворителя бумагой, липкой лентой или защитной пленкой.

Технологические режимы сварки (открытая выдержка, выдержка собранных деталей до запрессовки, давление и время запрессовки) зависят, в основном, от типа полимера и растворителя и подбираются экспериментально с учетом температуры помещения и других факторов. Продолжительность открытой выдержки должна быть достаточной,

чтобы произошло набухание и размягчение полимера по всей поверхности и на достаточную глубину (до 0,5—1,0 мм). Как правило, открытая выдержка составляет несколько минут, давление запрессовки находится в интервале 0,1—1,0 МПа, а время выдержки под давлением запрессовки — от 2 до 24 ч.

Свариваемые детали запрессовывают в прессах рычажного типа, обеспечивающих постоянство давления в течение всего времени запрессовки, в пневматических, гидравлических или винтовых прессах, а также струбцинами. При запрессовке необходимо следить, чтобы не было перекосов и сдвигов свариваемых деталей (для чего рекомендуется устанавливать шпильки или упоры), а также чтобы в зоне шва не образовывались пузырьки воздуха. Распрессовка соединения допускается только после затвердевания шва, а механическая обработка и эксплуатация сваренных изделий — не ранее, чем через 24 ч после распрессовки.

Глава 10
ХИМИЧЕСКАЯ СВАРКА

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Химическая сварка основана на образовании химических связей между соединяемыми полимерами или с введенным в зону сварки присадочным материалом. Химической сваркой соединяют материалы, не поддающиеся диффузионной сварке — отвержденные реактопласты, редкосетчатые полимеры, линейные полициклические полимеры, а также некоторые способные соединяться диффузионной сваркой кристаллические или ориентированные термопласты (когда стремятся в максимальной степени предотвратить нарушение структуры свариваемых материалов). К химической сварке относят также способ соединения реактопластов в неотвержденном состоянии, проводимый аналогично прессованию слоистых пластиков [15, 29].

Тепло, необходимое для химической сварки, наиболее целесообразно генерировать высокочастотным полем или ультразвуком, при этом технология сварки принципиально не отличается от технологии высокочастотной или ультразвуковой диффузионной сварки (см. гл. 6 и 7). Специфика подвода энергии в зону соединения, присущая этим способам нагревания (высокая скорость и локальность), позволяет закончить сварку до того, как в материале начнутся нежелательные побочные процессы, например, деструкция. Тонкостенные детали могут соединяться при передаче тепла от нагретого инструмента [15].

Химическая сварка особенно целесообразна при соединении ориентированных пленок термопластов, сварные швы которых должны сохранять физико-механические свойства материала. Применяется она также для соединения разнотипных полимеров.

Технологические режимы химической сварки должны подбираться экспериментально в зависимости от типа полимера, присадочного материала и других факторов.

Процесс химической сварки является более производительным, чем склеивание, легко поддается механизации и автоматизации, соединение можно нагружать сразу же после его изготовления, параметры окружающей среды не имеют существенного влияния на качество изготовления соединения. К основным недостаткам способа можно отнести необходимость применения индивидуальной специальной оснастки, отсутствие возможности визуального контроля процесса сварки, сложность применения в монтажных условиях.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ РЕАКТОПЛАСТОВ

При химической сварке реактопластов используется способность поверхностных слоев отвержденного стеклопластика к эластическим и пластическим деформациям и к химической реакции дальнейшего отверждения, что создает условия для формирования взаимным смачиванием контакта смоляных пленок соединяемых поверхностей деталей и непосредственного химического взаимодействия связующего на соединяемых поверхностях [29, 36]. Сварка отвержденных реактопластов зависит от природы функциональных групп полимера, механизма и степени отверждения материала, поскольку степень отверждения влияет на концентрацию функциональных групп и пластичность материала и может служить критерием способности реактопластов свариваться. Отсутствие пластических деформаций в материале с высокой степенью отверждения существенно сказывается на прочностных характеристиках соединения и не позволяет получить соединение с удовлетворительной прочностью.

Для химической сварки отвержденных реактопластов в процессе формирования деталей, идущих на сборку, необходимо обеспечить недоотвержденность и остаточную пластичность полимера в поверхностном слое; сплошность поверхностного слоя полимера и отсутствие на нем антиадгезионных смазок и других загрязняющих поверхностей веществ; волнистость поверхности не выше V—VI классов.

При малой толщине поверхностной смоляной пленки на пластике и высокой степени его отверждения (более 85 %) рекомендуется применять химическую сварку с присадкой, в качестве которой используется одно- или двухкомпонентное вещество (связующее аналогичной природы), способное реагировать с функциональными группами связующего отвержденного пластика. Количество присадки, наносимой на соединяемые поверхности, должно быть минимальным (5 мг/см^2), но достаточным для заполнения межвыступного пространства микрорельефа поверхности детали. В практике в качестве присадочного материала часто применяют пленку реактопласта на основе связующего, аналогичного связующему свариваемого материала, но с меньшей степенью отверждения.

При сварке реактопластов на основе ненасыщенных полиэфиров используют привитую сополимеризацию, для чего на соединяемые поверхности наносят раствор инициатора полимеризации (например, перекиси бензоила в ненасыщенном мономере — стироле, винилтолуоле, диаллилфталате) или неотвержденную полиэфирную смолу в виде тонкой пленки. Сварка пластмасс на основе отвержденных кремнийорганических смол производится с помощью органических перекисей или растворов кремнийорганических соединений, а на основе эпоксидных полимеров — с помощью метилолфенолов [15].

Технологический процесс сварки отвержденных реактопластов включает следующие операции: подготовку поверхностей, в том числе механическую; нанесение присадки; сближение поверхностей за счет прохождения эластических и пластических деформаций поверхностного слоя смолы и всего объема детали; выдержка (от десятков секунд до нескольких минут) соединения при нагревании до 180—220 °С и давлении 4—6 МПа. В процессе последней операции происходит формирование контакта поверхностей на молекулярном уровне и образование соединения за счет химической реакции доотверждения.

Процесс химической сварки можно регулировать, изменяя режим нагревания, осуществляя подготовку поверхностей, регулируя степень отверждения связующего на стадии формирования деталей. Увеличение температуры нагревания шва и давления сварки расширяет возможные области проведения химической сварки, поэтому с ростом степени отверждения связующего в пластике необходимо повышать давление и температуру сварки.

Механическая подготовка соединяемых поверхностей при химической сварке отвержденных пластмасс в отличие от склеивания не играет существенной роли.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ТЕРМОПЛАСТОВ

Химическая сварка термопластов осуществляется с помощью присадочных материалов, способных образовать переходной слой, структура которого аналогична структуре материала соединяемых деталей. Для нанесения на соединяемые поверхности присадочные материалы растворяют в подходящем растворителе. Рекомендуемые присадочные материалы для химической сварки термопластов [15] приведены ниже:

Тип соединяемого полимерного материала	Присадочный материал
Сшитый ПЭ	Пероксиды и другие соединения
Сшитый ПВХ	Полиамины
Полиимиды	Полиамины, полиизоцианаты
ПЭТФ	Пероксиды, полиизоцианаты
ПА	Многоосновные кислоты и их ангидриды
Фторсополимеры	Полиамины

Химическая сварка термопластов с использованием присадочных материалов возможна при следующих условиях [15]: скорость взаимодействия присадки с термопластом должна быть больше скорости диффузионных процессов; пластическое течение аморфной фазы материала должно обеспечиваться только в соединяемых слоях, а остальной материал должен иметь температуру, меньшую температуры плавления или разориентации кристаллической фазы полимера; растворитель для присадки должен вызывать набухание полимера и быстро испаряться с его поверхности.

Химическая сварка термопластов без применения присадочных материалов может быть выполнена при действии на материал в зоне шва нейтронного или рентгеновского излучения достаточной мощности [15].

Глава 11
СВАРКА РАЗНОТИПНЫХ ПОЛИМЕРОВ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Постоянный рост объемов производства и применения полимерных материалов требует решения проблемы сварки изделий, изготовленных из разнотипных пластмасс, что, в свою очередь, позволяет решить ряд важных технических задач, в частности создать многослойные материалы с принципиально новыми свойствами, а также резко повысить эксплуатационные характеристики существующих многослойных материалов на основе разнотипных полимеров.

Свариваемость разнотипных полимерных материалов определяется их совместимостью, которая может оцениваться плотностью и вязкостью расплавов, наличием в составе молярной доли сополимеров более 50 %, а в ряде случаев — более 80 % идентичных звеньев. На этом основаны способы сварки разнотипных материалов, заключающиеся в подборе режимов нагрева, при которых каждый из свариваемых

материалов имеет оптимальную текучесть в зоне шва; введении низкомолекулярных добавок в зону сварки полимеров; прививке к одной из свариваемых поверхностей сополимера, частично совместимого с каждым из свариваемых материалов; использовании прослоек из сополимеров, имеющих в своем составе мономерные звенья обоих свариваемых полимеров; обеспечении реакции взаимодействия, вводимого в зону шва, полифункционального вещества с материалом соединяемых поверхностей.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СОВМЕСТИМЫХ И ЧАСТИЧНО СОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ

Для материалов, способных обеспечивать достаточно плотную упаковку макромолекулярных образований при их соединении в вязкотекучем состоянии, эффективен способ сварки с нагревом свариваемых плоскостей.

Нагрев материалов, имеющих разные температуры плавления, можно производить при помощи нагревателей с регулируемой температурой на каждой из его поверхностей. Глубина проплавления при этом регулируется по времени нагрева материалов.

Совместимость комбинаций соединяемых полимеров можно определять по величине отношения их коэффициентов линейного расширения (α_1/α_2) и энергий поверхностного натяжения (σ_1^p/σ_2^p). Высокая прочность сварного шва может быть обеспечена только в комбинациях материалов, имеющих отношение $\alpha_1/\alpha_2 < 1{,}2$ и $\sigma_1^p/\sigma_2^p < 2{,}0$ [40].

Сварка не произойдет, если $\alpha_1/\alpha_2 \geqslant 1{,}2$ и $\sigma_1^p/\sigma_2^p \geqslant 2{,}0$. Если только одно из отношений превышает указанное предельное значение, то при определенных условиях еще можно получить качественные сварные соединения (табл. 40).

40. Характеристики свариваемости ряда комбинаций полимерных материалов

Комбинации свариваемых материалов	α_1/α_2	σ_1^p/σ_2^p	Относительная прочность	Комбинации свариваемых материалов	α_1/α_2	σ_1^p/σ_2^p	Относительная прочность
ПММА+ПВХ	1,04	1,07	99	АВС+ПП	1,59	2,03	0
ПВХ+АВС	1,08	1,57	57	АВС+ПС	1,30	1,12	63
ПММА+АВС	1,13	1,67	85	ПВХ+ПП	1,72	3,18	0
ПММА+ПС	1,15	1,48	87	АВС+ПНД	1,88	1,12	0
ПНД+ПП	1,18	2,29	59	ПП+ПС	2,07	2,29	0
ПВХ+ПС	1,20	1,39	0	ПС+ПНД	2,44	1,00	4

Технологические параметры сварки нагретым инструментом комбинаций материалов, приведенных в табл. 40, подбираются по данным табл. 41.

При тепловой сварке разнотипных материалов необходимо учитывать особенности тепловых воздействий на каждый из них. Например, сварку пленки из полиэтилена, имеющей диапазон температур свариваемости 130—220 °С, и пленки полиэтилентерефталата, дублированной полиэтиленом, необходимо производить при температуре 150—160 °С. При большей температуре происходит уменьшение прочности сварного соединения вследствие дезориентации ПЭТФ [10].

41. Технологические параметры сварки полимерных изделий нагретым инструментом [40]

Материал	Температура нагревателя, °С	Время нагрева, с	Материал	Температура нагревателя, °С	Время нагрева, с
ПНД	230—280	20—90	ПММА	200—270	20—90
ПП	240—280	20—90	АВС	200—280	20—90
ПВХ	200—210	20—90	ПС	200—260	20—90

Примечания: 1. Давление при нагреве равно 0,05 МПа, при сварке — 0,3 МПа.
2. Глубина проплавления свариваемых материалов — 0,6 мм.

Сварка разнотипных полимеров с применением промежуточного слоя из одного или нескольких сополимеров используется для соединения полимеров, имеющих преимущественно неполярные или слабополярные звенья. При этом звенья, присущие макромолекулам одного из соединяемых полимеров, постепенно заменяются в сополимерах промежуточных слоев звеньями макромолекул другого полимера [15]. В результате на каждой границе можно обеспечить плотное молекулярное соединение однотипных звеньев и прочность, сравнимую с прочностью соединяемых полимеров. Значительное количество полимерных материалов имеют определенное процентное соотношение однотипных или близких по составу звеньев, которые при сварке могут образовывать достаточно прочное соединение. Поэтому условием образования качественного сварного соединения с применением промежуточного слоя из набора сополимеров считается наличие в зоне контакта молярной доли чужеродных звеньев не более 25 % [16]. Например, соединение полиэтиленовой пленки с пленками полистирола, поливинилацетата и поливинилового спирта можно осуществлять с использованием прослоек из сополимера этилена с виниловым спиртом и сополимера этилена с винилацетатом при содержании в них молярной доли звеньев этилена не менее 80 %. Возможен также набор пакетов сополимеров этилена с последовательным замещением звеньев этилена звеньями свариваемого с полиэтиленом полимерного материала (табл. 42).

Путем изменения состава макромолекул за счет использования сополимеров с последовательным изменением процентного соотношения молекулярных звеньев можно обеспечить свариваемость разнотипных материалов на уровне предела прочности менее прочного из свариваемых материалов (табл. 43).

Способ создания на поверхности одного из соединяемых изделий привитого слоя второго полимера наиболее эффективен для образования на границе соединения физических связей, которые реализуются за счет полярных групп привитого слоя. Поэтому формировать такой слой целесообразно на менее полярном из соединяемых полимеров [16].

Прививка мономера происходит за счет его проникания в аморфные участки основного полимера, что обеспечивает неравномерное покрытие поверхности основы. С увеличением количества прививаемого мономера наблюдается глубинное его проникновение. Это влечет за собой образование гетерогенности основы, снижает степень кристалличности и прочность основного материала. Оптимальное массовое содержание привитого материала составляет для указанных в табл. 44 пар 1—2 %. Но даже в этом случае прочность сварного соединения не достигает величины, требуемой для надежной эксплуатации.

42. Оптимальные параметры сварки полиэтиленовых пленок с пленками характерных полимеров

Комбинации свариваемых материалов	Пакеты сополимера этилена*	Режим сварки		
		Температура, °С	Давление, МПа	Время, с
ПЭ+ПП	СЭП 80; 20	150—160	0,3—0,5	25
ПЭ+ПС	СЭС 95; 90; 80; 63; 40; 20	160	0,5	40
ПЭ+ПВС	СЭВС 90; 70; 30	160—170	0,5	30
ПЭ+ПВА	СЭВС 90; 70; 30	160—170	0,5	30

* Цифры указывают содержание звеньев этилена в сополимерах, последовательно изменяющееся при переходе от одного свариваемого материала к другому.

43. Прочность сварных соединений характерных разнотипных фторсодержащих полимеров и сополимеров [28]

Комбинации свариваемых материалов	Предел прочности при расслаивании, Н/см	
	без присадки	с присадкой гексаметилендиамина
ПВФ+СВФГФП (85)	16	17
ПВФ+СВФТФЭ (65)	25	24,5
ПВФ+СВФТРФЭ (50)	24	21
ПВФ+СВФТФХЭ (25)	0,05	20,5
СВФГФП (85)+СВФТФЭ (65)	16,5*	17,5
СВФГФП (85) + СВФТРФЭ (50)	16	18
СВФГФП (85) + СВФТФХЭ (25)	0,05*	19,5
СВФГФП (85) + ПТФХЭ	0,05*	14,5*
СВФТФЭ (65) + СВФТРФЭ (50)	24,5	20
СВФТФЭ (65) + СВФТФХЭ (25)	0,05*	17
СВФТФЭ (65) + ПТФХЭ	0,05*	14*
СВФТРФЭ (50) + СВФТФХЭ (25)	0,05*	14,5*
СВФТРФЭ (50) + ПТФХЭ	0,05	9,5*
СВФТФХЭ (25) + ПТФХЭ	16	21,5

Примечание. Цифры в скобках указывают содержание звеньев винилиденфторида в сополимерах; * — разрушение сварного шва.

44. Примеры свариваемых пар разнотипных кристаллизующихся термопластов с промежуточным слоем привитого сополимера

Комбинации свариваемых материалов	Режим сварки			Прочность соединения на расслаивание, Н/см
	Температура, °С	Давление, МПа	Время, с	
ПС+ПЭ с привитым ПС	200	0,3	30	0,8
ПВА+ПЭ с привитым ПВА				1,2
ПС+Ф24-30 с привитым ПС	250	0,5	30	0,4
ПВА+Ф24-30 с привитым ПВА				0,9

Примечание. Ф24-30 — сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом.

Подбор температуры сварки разнотипных полимеров следует производить по оптимальным режимам сварки более низкоплавкого из них. Для плохо сваривающихся по диффузионному механизму разнотипных полимеров возможно эффективное использование способа химической сварки путем введения в зону сварки ди-, три-, тетраминов или диизоцианатов.

Химическая сварка предусматривает введение в зону сварки полифункционального вещества, способного одновременно вступать в химическую реакцию взаимодействия с макромолекулами обоих соединяемых полимеров.

На выбор реагента влияют типы функциональных групп рассматриваемых полимеров, которые способны к реакции соединения в процессе сварки. Необходимыми условиями осуществления реакции взаимодействия являются правильный выбор присадочного реагента, достаточно активного к функциональным группам свариваемых полимерных материалов, сближение компонентов на расстояния, достаточные для протекания реакции, определение интервала температур, при котором соединяемые полимеры наиболее активны к реакции взаимодействия с присадочным реагентом.

Температура реакции подбирается для каждой пары полимерных материалов так, чтобы скорости реакции были примерно равными. Например, при сварке пленки ПМ-1 из группы полиимидов с пленкой из фторсополимера Ф-32-20 (сополимер трифторхлорэтилена с винилидейфторидом) наиболее эффективным реагентом служит полиэтиленполиамин. Процесс сварки должен происходить при температуре 220 °С, давлении прижима 0,5 МПа и длительности сварки 30 с.

Химическая сварка предпочтительна, когда требуется уменьшить температурные деформации сварного шва, обеспечить стойкость соединений к действию тепла или растворителей [15].

Химическая сварка и метод соединения с помощью прослоек из сополимеров обеспечивают почти одинаковую прочность соединений, большую, чем при способе соединения по привитому сополимеру (табл. 45).

При использовании рассмотренных способов сварки свойства изделий в наименьшей степени изменяются при соединении с помощью прослоек из сополимеров.

45. Влияние способа сварки пленок из разнотипных полимеров на прочность соединений [16]

Комбинации свариваемых материалов	Разрушающее условие, Н/см, при расслаивании соединений, изготовленных с применением		
	прослойки из сополимера	прослойки из привитого сополимера	химической сварки
ПЭ+ПП	13	—	1,2
ПЭ+ПС	10	0,8	0,5
ПЭ+ПВС	11	1,5	—
Ф-2+Ф-3	13	—	13,5
ПМ-1+Ф32-20	—	—	19

Для ряда соединений разнотипных полимерных материалов (например, при сварке полиэтилена с полипропиленом или фторопласта-2 с фторопластом-3) целесообразно сочетать разные способы сварки. Так, прививка сополимера к одной из свариваемых плоскостей используется для подготовки поверхности при химической сварке, поскольку она способствует улучшению смачиваемости и приводит к образованию в поверхностном слое материала функциональных групп, необходимых для реакции с присадочным реагентом.

В ряде случаев для повышения теплостойкости и стойкости к растворителям сварных соединений используют комбинации прослоек из сополимеров и способа химической сварки. Сочетанием разных способов сварки можно упростить соединение материалов, повысить их качество и прочность.

Глава 12

СКЛЕИВАНИЕ

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Склеивание пластмасс — это метод создания неразъемного соединения элементов конструкции с помощью клея. Процесс склеивания основывается на явлении адгезии — сцепления в результате физических и химических сил взаимодействия клея с пластмассой при определенных условиях. Прочность клеевого соединения зависит от ряда факторов: свойств склеиваемой пластмассы (структуры и полярности молекул, растворимости и смачиваемости, состояния поверхности, степени модифицирования), свойств применяемого клея (структуры и полярности макромолекул, смачивающей способности, реологических свойств, когезионной прочности), а также от конструктивных и технологических параметров. Например, пластмассы с достаточной концентрацией полярных групп (эпоксиды, полиуретаны, полиамиды и т. п.) имеют, как правило, высокую начальную адгезию со многими известными клеями. Неполярные полимеры (полиолефины, фторопласт и т. п.) обладают низкой адгезионной способностью и для их склеивания используются специальные технологические приемы.

По способности пластмасс к склеиванию их можно разделить на следующие группы [15]: I — легкосклеиваемые, требующие несложной подготовки поверхностей (полиакрилаты, целлюлозные материалы, АБС-пластики, непластифицированный поливинилхлорид, поликарбонат, пентапласт, фенопласты, эпоксипласты, аминопласты); II — условно легкосклеиваемые, требующие несложной подготовки поверхностей и применения специальных клеев и грунтов (полиамиды, полистирол, пластифицированный поливинилхлорид, полифениленоксид, реактопласты на основе полиэфирных смол); III — трудносклеиваемые, требующие специальной подготовки поверхностей (полиформальдегиды, ударопрочный полистирол, полипропилен, полиэтилен, фторсодержащие полимеры, полиамиды, реактопласты на основе кремнийорганических смол).

Промышленные марки пластмасс практически всегда содержат определенное количество модификаторов — пластификаторы, стабилизаторы, антипирены, антистатики, красители и другие, что может привести к значительным изменениям в адгезионных свойствах их поверхностного слоя. Поэтому в каждом конкретном случае следует проводить оценку адгезионной способности пластмассы, чтобы установить необходимость предварительной подготовки поверхности, направленность в выборе клея и технологии склеивания.

Для получения качественного клеевого соединения необходимо обеспечивать смачивание клеем соединяемых поверхностей; создавать определенное давление и предотвращать смещение склеиваемых деталей в процессе отверждения клея; в отвержденной клеевой прослойке не должны присутствовать компоненты, отрицательно влияющие на прочность клея (растворители, вода, летучие продукты, выделяющиеся в процессе отверждения, и т. п.).

Наиболее часто применяются способы склеивания жидким или пастообразным клеем, за счет активации высушенных или пленочных клеев, за счет липкости [37].

Жидкие или пастообразные клеевые композиции наносятся на поверхность одного или обоих субстратов, после чего соединение собирается. Если в рецептуру клея входят растворители, применяется частичная сушка нанесенного клеевого слоя до липкого состояния (открытая выдержка). Эта операция сокращает время фиксации собранного соединения под давлением и способствует получению качественного клеевого соединения. Нанесение клеевого слоя на поверхность обоих субстратов повышает прочность соединения, но замедляет процесс склеивания.

Склеивание за счет активации высушенных или пленочных клеев применяется при сборке изделий, имеющих большие сопрягаемые поверхности, когда затруднено регулирование процесса отверждения клея.

Активация растворителем заключается в увлажнении высушенного клеевого слоя перед соединением деталей специальным быстровысыхающим растворителем. Способ применим только к клеям, которые могут активироваться при воздействии растворителей, например, к клеевым композициям на основе термопластичных смол и каучуков, содержащих в своем составе растворитель.

Активация нагревом используется для теплостойких пластмасс, а процесс склеивания заключается в нанесении клеевого слоя (обычно пленочного клея), сборке клеевого соединения с приложением определенного давления, нагреве соединяемых деталей до оплавления клея, охлаждении изделия и формировании клеевого соединения.

Склеивание за счет липкости осуществляется в результате соприкосновения поверхностей с предварительно нанесенным клеем, сохраняющим липкость в течение длительного времени, и сжатия их, благодаря чему обеспечивается формирование клеевого соединения.

Склеивание может быть единственно возможным способом соеди-

нения, если анализ свойств соединяемых пластмасс или специфических эксплуатационных требований к конструкции показывает, что применение сварки может привести к ухудшению механических характеристик материалов, изменению цвета, а механического крепления — к короблению и т. п.

Склеивание может быть также более предпочтительным по сравнению с другими способами соединений пластмасс вследствие возможности соединять самые разнообразные пластмассы, а также чувствительные к нагреву полимерные материалы, элементы конструкции сложной формы, где требуется точная подгонка между сопрягаемыми деталями, получать соединения, обладающие высокой степенью герметичности и хорошими электроизоляционными свойствами. Многообразие клеев и технологических способов склеивания позволяет приспособить их ко многим производственным процессам, создает возможности для снижения веса конструкции.

В то же время применение склеивания может значительно усложнить производственные процессы, из-за многооперационной технологии изготовления конструкций (в некоторых случаях требуется сложная предварительная обработка поверхностей и сохранение их в чистоте, приготовление и нанесение клеев, обеспечение определенной температуры и влажности в помещении в процессе склеивания, длительное время отверждения, использование различных приспособлений и специального оборудования). Кроме того, высокая токсичность многих клеевых композиций, взрыво-, пожаробезопасность особенно при работе с клеями на растворителях требуют принятия специальных мер безопасности.

По мере роста производства полимерных материалов и расширения областей их применения в строительстве, машиностроении, авиа- и судостроении, легкой промышленности склеивание становится одним из распространенных способов соединения пластмасс. В зависимости от назначения определилось несколько направлений использования клеевых соединений: в конструкциях общего назначения, когда не предъявляется особых требований к прочности и надежности; силовых соединениях, обладающих высокой прочностью и долговечностью в эксплуатационных условиях; в конструкциях специального назначения (для герметизации, электроизоляции).

В случае проектирования силовых клеевых конструкций оптимальные результаты могут быть достигнуты при тщательной проработке каждой стадии технологического процесса склеивания, который включает следующие взаимосвязанные основные этапы: конструирование клеевых соединений для конкретного назначения; выбор клея, соответствующий конструктивным, технологическим и эксплуатационным требованиям; разработка технологии склеивания; обеспечение контроля качества процесса склеивания.

Получение клеевых соединений с заданным уровнем надежности возможно только при многократном рассмотрении предъявляемых к конструкции требований на каждом этапе и принятии оптимальных решений.

Проектирование несиловых соединений осуществляется исходя из обеспечения минимальной трудоемкости при изготовлении.

КОНСТРУИРОВАНИЕ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При проектировании клеевого соединения необходимо учитывать следующие эксплуатационные параметры: назначение соединения; тип нагрузки, передаваемой соединением; величину нагрузки; среду, в которой будет работать соединение; надежность в эксплуатации.

Величина и тип нагрузки, воспринимаемые клеевым соединением, в значительной степени определяют размеры, конфигурацию соединения, а также тип выбираемого клея. В процессе эксплуатации клеевые соединения воспринимают различные нагрузки, которые могут быть приведены к четырем основным типам (рис. 83).

При нагружении на сдвиг или равномерный отрыв условно принимается, что клеевая прослойка передает напряжения равномерно по всей площади склеивания. Показатель прочности характеризуется напряжением, которое представляет собой отношение разрушающего усилия к площади склеивания. Его широкое применение объясняется

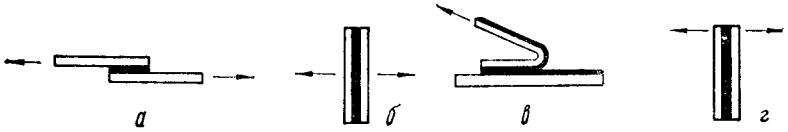


Рис. 83. Основные типы нагружения клеевого соединения:
а — сдвиг; *б* — равномерный отрыв; *в* — отдир; *г* — внецентровой отрыв

простотой расчетной формулы и тем, что при его определении используются легко доступные для измерений результаты испытаний.

Нагружение при неравномерном отрыве (см. рис. 83) характерно: а) внецентровой отрыв — для жестких соединений в случае смещения растягивающей нагрузки относительно центра площади склеивания или при наличии момента сил; б) отдир — для гибких элементов конструкции.

Для количественной оценки неоднородности распределения напряжений по площади склеивания необходимо использовать довольно громоздкий математический аппарат. На практике прочностные характеристики определяют при испытании моделей клеевых соединений.

В табл. 46 представлены типы конструкций клеевых соединений, способных воспринимать различные нагрузки. Они не должны рассматриваться как обязательные. Для удовлетворения специфических требований их можно видоизменять, но при этом необходимо сохранять заложенные в них принципы: проектирование соединения для восприятия преимущественно нагружений сдвига и сокращение до минимума напряжений, возникающих от неравномерного отрыва.

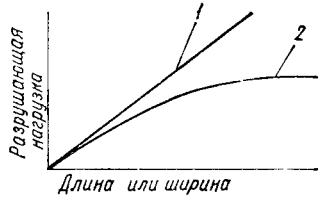


Рис. 84. Зависимость разрушающей нагрузки клеевого нахлесточного соединения от ширины (*1*) и длины (*2*) нахлестки

Наиболее эффективным и распространенным клеевым соединением является нахлесточное соединение. Характерная его особенность — пропорциональное увеличение несущей способности при увеличении ширины нахлестки; в то же время увеличение длины нахлестки (перекрытия деталей) после достижения определенных размеров практически не оказывает влияния на несущую способность соединения (рис. 84). Имеется ряд работ, посвященных расчету распределения напряжений в клеевых соединениях [13, 15], однако конструктор часто не располагает необходимыми исходными данными (критерием прочности клеевого шва и его деформационными свойствами, механическими характеристиками склеиваемых пластмасс и т. д.). Наиболее широко

46. Рекомендуемые формы различных типов клеевых соединений в зависимости от направления нагрузки

Типы соединений	Рекомендуемые формы
Угловые встык	
Угловые с загибом кромки	
Угловые в паз	
Тавровые встык	
Тавровые с уголком	

Продолжение табл. 46

Типы соединений	Рекомендуемые формы
Тавровые в паз	
Стыковые с нахлестом	
Стыковые в паз	
Стыковые на ус	
Стыковые с одной и двумя накладками	
Стыковые внахлестку	

Продолжение табл. 46

Типы соединений		Рекомендуемые формы
Соединения полых профилей		
Соединения труб	с формованным гладким раструбом	
	с двухраструбной муфтой	
	с гладкой надвижной муфтой	
	различного диаметра	

распространен подход к расчету соединений,основанный на использовании эмпирических зависимостей при выборе конфигурации и размеров соединений, с последующим упрощенным анализом напряженного состояния [37].

Приближенный расчет площади клеевого соединения осуществляют, исходя из предела прочности клея и установленного коэффициента запаса прочности. Затем изготовляют образцы с учетом свойств выбранного клея, свойств склеиваемых пластмасс, характера подготовки поверхности склеиваемых пластмасс, требуемой температуры и давления при отверждении клея, толщины слоя клея, конструкции клеевого соединения, условий эксплуатации клеевого соединения.

Для определения длины нахлестки клеевого соединения строят диаграмму зависимости прочности при сдвиге (по средним показателям) от коэффициента качества соединения (t/l), являющуюся результатом испытания образцов с различной длиной нахлестки l и толщиной субстрата t. Эти значения затем преобразуют при расчетах с помощью статистически определенных коэффициентов, зависящих от разброса данных при испытаниях.

Следует отметить, что полученную диаграмму можно использовать только для полученной серии испытаний, а при изменении любого из вышеуказанных условий она становится недействительной.

Эти диаграммы дают возможность рассчитать оптимальную длину нахлестки или оптимальную толщину субстрата с учетом конкретной нагрузки, действующей на клеевое соединение.

Связь между параметрами соединения описывется уравнениями $\sigma = P/t$; $\tau = P/l$; $\tau = \sigma t/l$, где σ — значения нормальных напряжений в субстрате, Н/мм²; τ — значения напряжений сдвига в клеевом шве, Н/мм²; P — нагрузка, приложенная к единице ширины клеевого соединения, Н/мм; t — толщина субстрата в зоне нахлестки, мм; l — длина нахлестки, мм.

ВЫБОР КЛЕЯ

В настоящее время не существует универсальных клеев, способных склеивать любые пластмассы и обеспечивать при этом надежность клеевого соединения в эксплуатации. Промышленностью выпускается множество клеевых композиций, обладающих разнообразными физико-химическими, прочностными и технологическими свойствами.

Клеи, в зависимости от химической природы главного компонента, делятся на термореактивные и термопластичные [13, 14].

Термореактивные клеи представляют собой композиции, которые переходят в неплавкое и нерастворимое состояние под действием тепла, катализаторов или при одновременном их воздействии. Они обладают высоким сопротивлением ползучести и предназначены для применения в высоконагруженных конструкциях, при воздействии жестких внешних условий. Синтетические термореактивные клеи получают на основе эпоксидных, фенолоформальдегидных, полиэфирных и других термореактивных смол. Клеевые композиции, получаемые на основе смесей термореактивных и термопластичных смол благодаря более высокой эластичности, обладают лучшей работоспособностью, особенно при ударах и циклических нагрузках.

Термореактивные клеи для соединения пластмасс используются в виде жидких или пастообразных продуктов. Как правило, это одно- или многокомпонентные системы, имеющие сухой остаток 100 % в поставке. Для придания клеевой композиции необходимых технологических свойств могут вводиться инертные растворители. При добавлении модифицирующих агентов пастообразные клеи приобретают тиксотропные свойства, позволяющие сохранять равномерную толщину клеевого слоя на наклонных, криволинейных и вертикальных поверхностях деталей в процессе сборки и склеивания конструкции.

Термопластичные клеи подразделяют на две основные категории: клеи на основе термопластичных смол и на основе термопластичных каучуков. Термопластичные клеи способны растворяться, плавиться и размягчаться при нагревании, склонны к ползучести при нагружении. В отличие от термореактивных клеев, они не изменяют химического строения при формировании клеевого соединения.

Для получения клеев на основе термопластичных смол используются различные синтетические материалы — поливинилхлорид, полистирол, полиамиды, полиметилметакрилат и др. Для придания клеям специфических свойств в смолы вводят различные добавки (пластификаторы, наполнители, армирующие материалы и др.). Жидкие термопластичные клеевые композиции представляют собой растворы, дисперсии или эмульсии полимера и других модифицирующих компонентов в среде летучих продуктов.

Для получения термопластичных клеев на основе каучуков чаще всего применяются синтетические эластомеры (бутилкаучук, хлоропреновый, нитрильный каучук и др.). Большинство эластомеров вы-

пускается в виде растворов, иногда в сочетании с вулканизирующими агентами. В состав термопластичных клеев на основе каучуков входят наполнители, пластификаторы и другие ингредиенты.

Термопластичные клеи-расплавы представляют собой пленки, для активации которых применяется нагрев собранного клеевого соединения. Они применяются для склеивания пластмасс, обладающих достаточной термостойкостью. Свойства основных типов клеев широко освещены в технической литературе [13, 14, 25].

Эпоксидные клеи представляют собой термореактивные синтетические продукты, получаемые при взаимодействии эпоксидной смолы и основного или кислотного отверждающего агента. Поставляются в виде одно- или двухкомпонентной композиции. В отечественных эпоксидных смолах на основе дифенилолпропана примерное содержание эпоксидных групп (в процентах) указывается в марке смолы и обозначено числом, стоящим после букв ЭД (ЭД-20 содержит 19,9—22,0 % эпоксидных групп).

Для отверждения эпоксидных смол при нагревании в качестве отвердителей применяются ангидриды кислот (тетрагидрофталевой, изо-метилтетрагидрофталевой и др.), а для отверждения при комнатной температуре — азотосодержащие отвердители (полиэтиленполиамин, Л-20 и др.).

Требуемое количество азотсодержащего отвердителя X может быть рассчитано по формуле $X = K\,[Э\,(M/n)\,/\,43]$, %, где $Э$ — содержание эпоксидных групп в смоле; M — молекулярная масса полиамина; n — число атомов водорода в первичных и вторичных аминных группах; 43 — молекулярная масса эпоксидной группы; $K = 1,2 \ldots 1,3$ — коэффициент, определяемый экспериментально и зависящий от природы полиамина.

Расчет количества ангидрида для отверждения эпоксидных смол X' проводят по формуле $X' = K'(ЭM/43)$, %, где M — молекулярная масса ангидрида; $K' = (0,85 \ldots 1,20)$ — коэффициент, зависящий от типа отвердителя.

В зависимости от технологических свойств клеев и требований, предъявляемых к клеевому соединению, количество отвердителя может колебаться в широких пределах. Так, для алифатических полиаминов $K = 0,9—1,3$, для полиаминоолигоамидов — до 1,5, для ароматических аминов — 0,8—1,2, для ангидридов ди- и поликарбоновых кислот — 0,6—1,0 от стехиометрического. Оптимальное массовое содержание катализатора подбирают эмпирически, обычно оно составляет 2—10 % на 100 % эпоксидной смолы. Если катализатор используется в комплексе с отвердителем, его содержание понижается до 0,05—1,5 % на 100 % эпоксидной смолы.

Азотосодержащие отвердители вводят в клеевую композицию непосредственно перед применением, так как жизнеспособность клея ограничена.

Эпоксидные клеи имеют ряд преимуществ перед другими клеевыми композициями: высокую поверхностную активность и хорошую адгезию к большинству материалов; высокую когезионную прочность; малую усадку (напряжения, возникающие в клеевом шве при отверждении, незначительны); возможность улучшения требуемых свойств путем модифицирования композиции.

Полиуретановые клеи — термопластичные или термореактивные продукты реакции полифункциональных изоцианатов с многоосновными спиртами или некоторыми полиэфирами. Термопластичные композиции — однокомпонентные с растворителем и небольшим количеством катализатора, обеспечивающего определенную степень сшивки полимера.

Термореактивные композиции — двухкомпонентные, с растворителем или без него, с катализатором, обеспечивающим полимеризацию смеси.

Склеивание однокомпонентной композиции с растворителем производят при контактном давлении после достижения липкости нанесенного клея за счет испарения растворителя. Двухкомпонентные композиции тщательно перемешиваются и полностью отверждаются за 6 суток при 20 °С. Полиуретановые клеи обладают высокой реакционной способностью и адгезией к различным пластмассам. Это обусловлено высокой полярностью NCO-групп, которые могут вступать в химические реакции с реакционноспособными группами на поверхности склеиваемых пластмасс (например, амино-, имино-, карбоксильными и гидроксильными группами). Полиуретановые клеи устойчивы к действию воды и растворителей, имеют хорошую эластичность, особенно при низких температурах. Однако из-за токсичности изоцианатов и их способности взаимодействовать с влагой воздуха требуется специальная технология склеивания и тщательный контроль содержания исходных компонентов. Изоцианаты используются в качестве адгезионного грунта, а также модифицирующей добавки в другие клеи, для повышения адгезии к пластмассам.

Цианакрилатные клеи — однокомпонентные, низковязкие жидкости на основе амил-2-цианакрилата. Хранение (до 12 мес) осуществляется в герметичных емкостях при температуре 1—5 °С. Отверждение осуществляется за счет полимеризации в тонком слое при контактном давлении. Процесс ускоряется при наличии на поверхности следов влаги или слабых оснований гидроксилсодержащих соединений (например, спиртов). Время отверждения зависит от химической природы склеиваемых пластмасс и их состояния. Склеивание цианакрилатными клеями рекомендуется для конструкций, требующих быстрой сборки. Для получения надежных клеевых соединений необходима тщательная подгонка сопрягаемых поверхностей. Клей обладает хорошей стойкостью к воздействию органических растворителей, удовлетворительной влагостойкостью, однако постоянное воздействие воды приводит к постепенному ослаблению клеевого соединения. Следует соблюдать осторожность при работе с клеем, так как он мгновенно прилипает к коже.

Полиакрилатные клеи — представляют собой композиции на основе производных акриловой и метакриловой кислот. Применяются в виде растворов в органических растворителях или мономерах, иногда с введением катализаторов (жидких или порошкообразных). Клеи в виде растворов отверждаются за счет испарения и абсорбции растворителя. Полимерные смеси отверждаются в результате реакции полимеризации при воздействии тепла или катализаторов. Клеи стойки к воздействию щелочей, соляного тумана, нефтепродуктов. Чувствительны к воздействию спиртов, сильных растворителей и углеводородов.

Особую группу составляют клеи на основе олигоэфиракрилатов — анаэробные клеи, способные быстро полимеризоваться в тонком слое при комнатной температуре без доступа воздуха. Используются для склеивания реактопластов и некоторых термопластов. Необходимо учитывать агрессивность воздействия неотвержденных анаэробных клеев на термопласты винилового, акрилового, стирольного, целлюлозного типов.

Поливинилацетатные клеи — малоконцентрированные, высоковязкие растворы синтетических термопластичных смол в органических растворителях. Отверждение осуществляется в результате испарения или абсорбции растворителя. Поливинилацетатные клеи

имеют малую влагостойкость, что ограничивает их применение в конструкциях, контактирующих с атмосферой. Клеи устойчивы к воздействию жиров, масел и нефтепродуктов. Повышение влагостойкости и теплостойкости достигается при модифицировании фенолоформальдегидными смолами.

Полихлоропреновые клеи — термопластичные эластомеры, состоящие из раствора хлоропренового каучука в смесях ароматических углеводородов. При склеивании пористых пластмасс производят открытую выдержку нанесенного клея в течение 10—20 мин. После соединения поверхностей растворитель постепенно мигрирует из клеевого шва через субстрат. Для непористых материалов основную часть растворителя удаляют испарением с открытой выдержкой от 20 мин до нескольких часов (сушку можно ускорить обдувкой горячим воздухом, ИК обогревом и т. п.). Затем производится контактное склеивание липких поверхностей при минимальном давлении. Повышение прочности достигается вулканизацией каучука за счет нагрева, либо введением катализатора. Клеевые соединения обладают хорошей водостойкостью, стойки к воздействию алифатических углеводородов, этилового спирта, слабых кислот и щелочей. Не пригодны для эксплуатации в контакте с ароматическими и хлорированными углеводородами.

Перхлорвиниловые клеи — представляют собой растворы перхлорвиниловой смолы в органических растворителях с добавками модификаторов и наполнителей. Клеи хранят в герметичной таре при температурах 5—35 °С, в помещениях, исключающих попадание влаги и солнечных лучей. Для повышения прочности клеевого соединения клеи модифицируют эпоксидными и фенолформальдегидными смолами. Перхлорвиниловые клеи применяются для соединения пластмасс на основе поливинилхлорида.

Клеи на основе бутилкаучука — термопластичные эластомеры, представляющие собой сополимер изобутилена и изопрена, растворенного в углеводородных растворителях (бензин, циклогексан) или хлорированном углеводороде.

Клеи на основе бутилкаучука стойки к минеральным маслам, кислотам и химическим средам (исключая углеводороды) и обладают низкой газо-, паро- и водопроницаемостью.

Клеи на основе бутадиеннитрильных каучуков представляют собой растворы сополимера бутадиена с нитрилом акриловой кислоты в органических растворителях (обычно кетоны и эфиры, хлорированные углеводороды). Отверждение осуществляется удалением растворителя с поверхности покрытых клеем субстратов. Повторное активирование высушенных клеевых пленок перед склеиванием производится нагреванием или растворителем. Клеи имеют хорошую стойкость к маслам, воде и пластификаторам. Из клеев на основе каучуков общего назначения наиболее универсальны клеи на основе бутадиен-нитрильных каучуков. При совмещении их с фенольными смолами получают высокопрочные клеевые композиции.

Полиэфирные клеи — синтетические термореактивные смолы ненасыщенного полиэфира в сочетании с некоторыми мономерами (стиролом, метилметакрилатом, винилацетатом, олигоэфиракрилатами и др.). В качестве отвердителя обычно применяют перекись бензоила. Механизм отверждения — сополимеризация смолы и активного растворителя. Условия отверждения зависят от рецептуры клеевой композиции: открытая выдержка от 5 мин до 1 ч, температура склеивания 20—110 °С; с катализатором клеи отверждаются за относительно короткий срок без предварительной сушки. Заметная объемная усадка при отверждении создает значительные внутренние напряжения в клеевом слое, которые могут быть уменьшены введением наполнителей. Клеевые соединения устойчивы к воздействию климатических условий, воды, растворителей.

Полиимидные клеи — представляют собой раствор полиимидного форполимера в полярных растворителях (диметилацетамид, диметилформамид, диметилсульфоксид, пиридин и др.).

Механизм отверждения — реакция поликонденсации при высоких температурах. Удаление растворителя для жидких клеев осуществляется нагреванием, а образование форполимера (частичное отверждение смолы) происходит обычно при температуре 100—150 °С. Окончательное отверждение производят ступенчатым нагревом в интервале температур 150—300 °С. Клеевые соединения в интервале температур от —196 до 260 °С стойки к воздействию органических растворителей, топлив, масел и сильных кислот, но медленно разрушаются при воздействии слабых щелочей.

Клеи-расплавы (КР) — представляют собой многокомпонентные системы, содержащие когезионные, адгезионные и целевые добавки. Когезионные компоненты — вещества, придающие прочность, эластичность и жесткость клеевому шву. Они играют роль пленкообразователей и имеют, как правило, наибольшую температуру плавления. К ним относят сополимеры этилена и винилацетата, винилацетата и винилхлорида, винилацетата и акриловой кислоты, полиолефины, полиамиды, полистирол и его сополимеры. Адгезионными компонентами служат природные и синтетические смолы с активными функциональными группами, предназначенными для улучшения клейкости адгезионной способности композиции (канифоль, жиры, кумаронинденовые и терпеновые смолы, фенолформальдегидные и другие алифатические и ароматические смолы). Для придания КР требуемых эксплуатационных и технологических свойств в их состав вводят наполнители, пластификаторы, антиоксиданты и др. Применение КР основано на повышении смачивающей способности клеевой композиции при расплавлении. Отверждение КР происходит в процессе охлаждения клеевого соединения.

В табл. 47 приведены физико-химические и технологические характеристики ограниченного ассортимента клеев, выпускаемых промышленностью. Технологические параметры склеивания, указанные в табл. 47, рекомендуются разработчиками и изготовителями клеев для получения клеевых соединений, обладающих оптимальной прочностью при определенных условиях. Поэтому при разработке клеевых соединений пластмасс необходимо самостоятельно оценивать целесообразность использования определенных клеев для каждого конкретного материала и существующей технологии склеивания.

При выборе клея для конкретного назначения в первую очередь необходимо учитывать следующие основные факторы: физические и механические свойства склеиваемых пластмасс и возможные способы подготовки поверхности, требуемую прочность соединения с учетом воздействия эксплуатационной среды, технологические требования производства. Указатель типов клеев приведен ниже:

Условный номер типа клея	Марка клея
1. На основе эпоксидных смол	КЛН-1, Л-4, Д-9, ГИПК-23-11, ЭД-19, ВК-9, К-400, ГИПК-113, ГИПК-116, УП-5-213, ГИПК-238, ГИПК-117
2. Полиуретановый	Вилад-6к, Вилад-11к-1, Вилад-11к-3, ГИПК-92, ГИПК-21-25, ГИПК-216А, ГИПК-21-18
3. Полиэфирно-полиизоциа-натный	ПУ-2, ВК-5

47. Технологические свойства клеев [13, 14, 25, 27]

Марка	Техническая документация	Состав	Состояние, консистенция	Жизнеспособность	Режим склеивания			Интервал рабочих температур	Примечание
					Температура, °С	Время	Давление, МПА		
КЛН-1	Инструкция ВИАМ 940—68	ЭД-20 (100)*; тиокол (30); ДЭГ-1 или ТЭГ-1 (20); ПЭПА (10—15)	Вязкая жидкость	1,5 ч	18—25 95—105	48 ч 4 ч	0,01	—60···+80	
Л-4	Инструкция ВИАМ 827—70	Э-40 (100); дибутилфталат (10—15); ПЭПА, ГМДА (8—12); наполнитель	Паста	45—90 мин	20—25	24 ч	0,01—0,1	—60···+85	
Д-9	—	ЭД-16 или ЭД-20 (100); ДБФ или МГФ-9 (10—15); ПЭПА (12—15); аэросил (2—5) или кварц молотый (80—200)	»	45—90 мин	15—35 70 100	24 ч 5 ч 2—3 ч	0,01—0,3	—60···+85	
ГИПК-23-11	ТУ-6-05-251-139—81	Эпоксидный, 2-компонентный	Однородная пастообразная жидкость	1,5 ч	18	48 ч	0,001—0,005	—60···+70	Для склеивания пенополиэтилена
ЭЛ-19		ЭД-20 (100); полиамид Л-19 (80) или ПЭПА (10)	Вязкая масса	4—5 ч	25±10 70—80 100—120	50—70 ч 6 ч 4 ч	0,05—0,2	—60···+70	
ВК-9	Инструкция ВИАМ 958—69; ОСТ 90143—74	ЭД-20 (60); полиамид ПО-300 (40); АГМ-3 и АДЭ-3 соответственно 98 % и 2 % (0,6); асбест (5)	Вязкотекучая масса	2,5 ч	18—30 60	24 ч 1 ч	0,01—0,05	—196···+125	Малостоек, хранить при 5 °С
К-400	Инструкция НИИПМ 961	Смола Т-111 (100); полиамид Л-20 (200); наполнитель: окись хрома, нитрид бора или двуокись титана (60)	Паста	2 ч	15—30 80	48 ч 4 ч	0,05—0,2	—198···+250 кратковременно до +400	Стоек к кремнийорганическим маслам, водо- и маслостоек, тропикостоек
ГИПК-113	ТУ 6-05-251-118—80	Эпоксидная смола Целевые добавки (2-компонентный)	Однородная пастообразная жидкость	6 ч	20±5 80	24 ч 1 ч	0,01	—20···+140	Для склеивания фторопластов Ф-2М, Ф-42
ГИПК-116	ТУ 6-05-251-102—79	Эпоксидная кремнийфторорганическая смола, целевые добавки (2-компонентный)	То же	3 ч	205	24 ч	0,01	—20···+130	Для склеивания фторопластов Ф-3М, Ф-2М, Ф-30
УП 5-213	ТУ 6-05-241-200—79	ЭД-22 (40); ЭД-8 (30); УП 632 (30); УП 0639 (40)	Вязкая жидкость	1 ч	70 100	30 мин 15 мин	—	—50···+70	Влагостоек
ГИПК-238	ТУ 6-05-251-105—79	Эпоксидная смола, целевые добавки (1-компонентный)	Однородная жидкость	3 мес	18—35 120±5	10 мин 2—2,5 ч	—	—50···+50	Для склеивания реактопластов
ГИПК 117	ТУ 6-05-251-69—78	Эпоксидокремнийорганическая смола, целевые добавки (2-компонентный)	Однородная густая масса	3 ч	18—30	10—15 ч	—	—50···+70	Стоек к действию ацетона, толуола, воды, минеральных кислот
Вилад 6к:				48 ч	Термоактивация при 80—120 °С и прикатка роликом			—40···+100	Для дублирования
компонент А	ТУ 6-05-1829—79	Вилад А-6к (25);	Вязкая однородная жидкость						
компонент Б	ТУ 6-03-375—75	полиизоцианат марки Б (1) (2-компонентный)							
Вилад 11к-1				3 ч	20 80	7 сут 5 ч	$0,1—10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-2}$ Па	—40···+100	
компонент А	ТУ 6-05-221-574—81	Вилад А-11к-1 (100);	Паста тиксотропная						
компонент Б	ТУ 6-03-375—75	полиизоцианат марки Б (85) (2-компонентный)							
Вилад 11к-3				5 ч	25 120	12—16 ч До 7 сут 3 ч		—60···+100	
компонент А	ТУ 6-05-1907—81	Вилад А-11к-3 (100);	Жидкость						
компонент Б	ТУ 6-03-375—75	полиизоцианат марки Б (80)							

* В скобках приведен массовый состав компонентов клея, г.

Марка	Техническая документация	Состав	Состояние, консистенция	Жизнеспособность	Режим склеивания			Интервал рабочих температур	Примечание
					Температура, °С	Время	Давление, МПа		
Циакрин Э0	ТУ 6-09-14-1240—75	На основе этилового эфира α-цианакриловой кислоты	Жидкость	от 10—12 с до 1—5 мин	20—30 60	24 ч 1—3 ч	0,01—0,03	—60...+80	Механическая обработка через 48 ч
КМ-200	—	То же	»	До 1 мин	20—30 125	24 ч 1 ч	0,01—0,03	—196...+120	Стоек к вибрации и термоударам
ПУ-2	Инструкция ВИАМ 596—69, 701—58, 588—64	Полиэфир 24К (200); продукт 102Т (100); портландцемент (25); ацетон (200)	Паста	2 ч	25 60 80	24 ч 10 ч 6 ч	0,05—0,3	—60...+80	Вибростоек
ВК-5	Инструкция ВИАМ 596—69; ОСТ 90-123—74	Полиэфир 24К диэтиленгликольуретан калиевая соль метакриловой кислоты, ацетон	Жидкость	5 ч	18—25	Открытая выдержка 30—40 мин, отверждение 24 ч	0,3	—196...+60	Выдержка после снятия давления 48 ч
ВАК	ТК 6-0304—73	Раствор полибутилметакрилата в метилметакрилате (100); АТЖ (10); перекись бензоила (6—8); диметиланилин (0,5—1)	»	1—3 ч	—5—+35	1—3 ч	0,02	—40...+80	Склеивает под водой
ГИПК 234	ТУ 6-05-251-83—78	На основе раствора акрилатной смолы в хлористом метилене и целевых добавок (1-компонентный)	»	6 мес	25	24 ч	—	+15...+30	Для склеивания ПММА
ПММ	—	Полиметилметакрилат (2); дихлорэтан (98)	»		25	24 ч	0,05—0,2	—60...+60	
ГИПК-61	ТУ 6-05-1710—74	Смесь поливинилацетата и целевых добавок (1-компонентный)	»	Срок хранения 12 мес	20	10 мин	0,01	—60...+60	Открытая выдержка 10—15 мин, для склеивания пеноматериалов марок ПСБ, ПС-1, ПС-4, ПВХ-1
ГИПК 141	ТУ 6-05-251-13—72	Смесь сополимерной эмульсии винилацетата с бутилмалеатом и целевых добавок (1-компонентный)	Пастообразная масса	Срок хранения 6 мес	20	24 ч	—	—40...+60	Для приклеивания пленки
ГИПК 143	ТУ 6-05-251-25—74	На основе сополимера винилацетата с этиленом и целевых добавок (1-компонентный)	Каучукоподобный продукт	Срок хранения 12 мес	105—110	10 мин	—	—40...+30	Температура размягчения 75—85 °С
ГИПК 14-13	ТУ 6-05-251-99—79	То же	То же	То же	120	30 с	—	—40...+50	Для термоусаживаемых изделий
ГИПК 14-17	ТУ 6-05-251-122—80	»	»	»	120	30 с	—	—40...+50	То же
ГИПК 218	ТУ 6-05-251-31—74	Смесь сополимера винилхлорида с винилацетатом и целевых добавок	Однородная жидкость	Срок хранения 4 мес	70	40 мин	—	—40...+30	Для склеивания листового ПВХ
ГИПК 21-29	ТУ 6-05-251-101—79	То же	Однородная пастообразная масса	Срок хранения 6 месяцев	Открытая выдержка до высыхания		0,1	—40...+30	
ГИПК 237	ТУ 6-05-251-130—81	На основе полихлоропренового каучука и целевых добавок (1-компонентный)	Жидкость	Срок хранения 4 мес	20	Открытая выдержка 2—7 мин	0,1	—40...+50	Для склеивания рифленого полиэтилена с пенополиуретаном
ГИПК 21-11	ТУ 6-05-251-39—75	На основе хлоропренового каучука модифицированного фенолформальдегидной смолой и целевых добавок (2-компонентный)	»	8 ч (при хранении в герметической упаковке 24 ч)	20	10—12 ч	—	0...+110	Для приклеивания ПВХ пластиката
ГИПК 92	ТУ 6-05-251-05—73	На основе уретанового каучука и целевых добавок (2-компонентный)	Однородная жидкость	24 ч	20 100	72 ч 2 ч	0,05—0,1	—60...+100	Для склеивания лавсана, полиолефинов и фторопластов после специальной обработки поверхности

Марка	Техническая документация	Состав	Состояние, консистенция	Жизнеспособность	Режим склеивания			Интервал рабочих температур	Примечание
					Температура, °С	Время	Давление, МПа		
ГИПК 21-25	ТУ 6-05-251-97—79	На основе уретанового каучука и целевых добавок (2-компонентный)	Жидкость	2 ч	85—95	20—30 мин	0,1—0,2	—40···+60	Для склеивания алюминированной лавсановой пленки с целлулоидом
ГИПК 216А	ТУ 6-05-251-30—74	Смесь полиуретанового и модифицированного хлоркаучуков и целевых добавок (1-й компонентный)	»	12 мес	Открытая выдержка до состояния «сухой на отлип»		0,25—0,50	—40···+50	Для склеивания всех видов ПВХ пленок
ГИПК 21-18	ТУ 6-05-251-76—78	На основе полиуретана и целевых добавок (2-компонентный)	»	6 ч	20	3—5 сут	—	—40···+50	Открытая выдержка при 60±±5 °С — 40—50 с, затем при 80—110 °С — 1 мин для соединения полимерных пленок (ПЭ, целлофан) и алюминиевой фольги
ГИПК 21-20	ТУ 6-05-251-78—78	Смесь раствора полиэфира терефталевой кислоты и целевых добавок	»	6 мес	120	3 мин	—	—40···+50	Для склеивания полиэтилентерефталатных пленок
88Н	ТУ 38-105540—73	Раствор резиновой смеси 31Н на основе наирита и бутилфенолформальдегидной смолы 101 в смеси этилацетата с бензином	»	3 мес	18—30	Открытая выдержка 5—10 мин	0,1—0,3	—40···+50	Вибростоек
ГИПК 214	ТУ 6-05-251-09—73	Наирит, хлорнаирит, фенолформальдегидная смола, толуол	»	3 мес	18—23	Открытая выдержка 10—15 мин	0,18	—40···+70	
ГИПК 241	ТУ 6-05-251-37—75	Раствор хлоропренового каучука с модифицированной фенолформальдегидной смолой в смеси толуола и этилацетата	»	1,5 ч	120	Открытая выдержка 10—15 мин	—	—40···+100	
ЛН	—	Раствор наиритового каучука в дихлорэтане (2); клей «Лейконат» (1)	»	24 ч	25—70	24 6	0,05—0,2	—60···+120	
ПЭД-Б	ВТУ П-293-62	Перхлорвиниловый лак (15); эпоксидная смола ЭД-20 (13); циклогексанон (10); метиленхлорид (90)	Вязкая жидкость	2 ч	18—20	Открытая выдержка 90 мин	0,2—0,3	—40···+50	Выдержка после снятия давления 6 ч
ПВ 16	—	Перхлорвиниловая смола (100); дибутилфталат (20—30); дихлорэтан (200)	Жидкость	6 мес	20	4 ч	0,1—0,2	—40···+60	
ФЭП	ТУ 6-05-251-01—71	На основе перхлорвиниловой смолы и целевых добавок (1-компонентный)	»	6 мес	15—35	2—3 ч	0,01	—20···+50	Открытая выдержка 2—3 мин; для приклеивания отделочных изделий из ПВХ
ГИПК 14-12	ТУ 6-05-251-98—79	На основе бутилкаучука, полиизобутилена и целевых добавок (1-компонентный)	Паста	12 мес	усадки 120—130	30 с	—	—40···+50	Открытая выдержка 2 ч при (20±5) °С; для термоусаживаемых изделий
ГИПК 14-16	ТУ 6-05-251-124—80	Смесь битума, бутилкаучука и целевых добавок (1-компонентный)	Лента	12 мес	120—130	30 с	—	—40···+50	Температура размягчения 80—100°С; для термоусаживаемых деталей

Марка	Техническая документация	Состав	Состояние, консистенция	Жизнеспособность	Режим склеивания			Интервал рабочих температур	Примечание
					Температура, °С	Время	Давление, МПа		
ГИПК 23-10	ТУ 6-05-251-107—79	На основе нитрильных каучуков и целевых добавок (2-компонентный)	Жидкость	8 ч	23±6	10—120 мин 20—30 с	—	—40···+60	Открытая выдержка 10—120 мин; для формования покрытия из ПВХ, АБС, пенополиуретана (эластичного и жесткого)
КР-5-18р	ТУ 38-00512—70	Каучук СКН-40Т, синтетическая смола ФР-12	»	8 ч	20	48 ч	—	—50···+120	Склеивание вулканизованных резин и резино-тканевых материалов на основе нитрильных каучуков
ГИПК 127	ТУ 6-05-251-95—79	ПВХ смола, модифицированная фенолформальдегидная и эпоксидная смола с наличием стабилизатора и наполнителя в смеси 3-компонентного растворителя		9 мес	5—35	—	—	0···+40	Открытая выдержка 1,5 мин (1 слой), 1 мин (2-й слой)
БФ-2 БФ-4 БФ-6	ГОСТ 12172-7—74	Спиртовый раствор резольной смолы, модифицированной поливинилбутиральфурфуралем	»	6 мес	140—150	1 ч	0,5—0,6	—60···+60	
РАФ-10	ВТУ П-160—59	Спиртовый раствор резорцина поливинилацетальноформальдегидной смолы, ускоритель № 6	»	6 мес	70	1 ч	0,05—0,1	—60···+120	Открытая выдержка при 50—60 °С 60 мин (1 слой), до отлипа (2-й слой)
ДФК 4	ТУ 38-1095—74	Продукт конденсации сланцевых алкилрезорцинов с формальдегидом в присутствии капролактама; наполнитель (гипс, алюминиевая пудра, портландцемент)	»	6 мес	20—25	24—48 ч	0,05—0,1	+10···+30	
ГИПК 21—20	ТУ 6-05-251-78—78	На основе раствора полиэфира терефталевой кислоты, полиэфирацетальуретанов, полиуретанового каучука и целевых добавок	»	6 мес	120	3 мин	—	—40···+60	Для склеивания пленок

Марка	Техническая документация	Состав	Состояние, консистенция	Жизнеспособность	Режим склеивания			Интервал рабочих температур	Примечание
					Температура, °С	Время	Давление, МПа		
ПН-1		Полидиэтилеигликоль-фталатмалеинат (65); стирол (35); кварц молотый (100—150); гиперия (3); нафтенат кобальта (5)	Паста	1 ч	20	24 ч	0,05—0,1	—60···+80	
ТМ 60	Инструкция ВИАМ 938-68	Полиэфирная смола ТМ-60 (4—10); хлористый метилен или дихлорэтан (90—96)	Жидкость	6 мес	150—160	2,5 ч	0,05—0,2	—150···+100	Открытая выдержка 40 мин
ВК 2	МРТУ 6-05-1214—69	Раствор кремнийорганической смолы К-9 в спирте, наполнитель, отвердитель	»	1 ч	250—270	3 ч	0,8—1,5	—60···+200	Открытая выдержка 60 мин при 15—30 °С (1 слой), 30 мин при 50—60 °С (2-й слой)
ВК 8	ТУ 6-05-1676—74	Фенолкремнийорганическая каучуковая композиция, наполнитель	Паста	1 ч	195—205	3 ч	0,8	400 в течение 5 ч и 1000 в течение 5 мин	Открытая выдержка 60 мин (1 слой), 18 мин (2-й слой)
КТ 15	МРТУ 6-07-6036—64	Раствор кремнийорганической смолы в толуоле, отвердитель	Жидкость	3 мес	200	2—3 ч	0,02—0,03	—50···+250 в течение 200 ч; +150···+300 в течение 15 ч	Открытая выдержка 120—360 мин (1 слой), 150—300 — (2-й слой)
СП 6К	ТР 24-1039	Полибензимидальная смола, наполнитель, термостабилизатор	Вязкая масса	30 сут	300	1 ч	0,05—0,1	—60···+300	Открытая выдержка 30 мин при 18—25 °С, 90 мин при 60—65 °С
КТ 75К	ТУ 6-02-1-348—80	Толуольный раствор азотсодержащего кремнийорганического полимера	Жидкость	3 мес	15—35	48 ч	0,02—0,03	—60···+300	Открытая выдержка 3—10 мин

4. Полиакрилатный	ВАК, ПММ, ГИПК-234
5. Цианакрилатный	Циакрин ЭО, КМ-200
6. Поливинилацетатный	ГИПК-61, ГИПК-141
7. На основе сополимеров винилацетата и этилена	ГИПК-14-13, ГИПК-14-17, ГИПК-143
8. На основе сополимеров винилацетата и винилхлорида	ГИПК-218, ГИПК-21-29
9. Полихлоропреновый	ГИПК-237, ГИПК-21-11, ГИПК-241, ГИПК-214, 88Н, ЛН
10. Перхлорвиниловый	ПЭД-Б, ПВ-16, ФЭП
11. На основе бутилкаучука	ГИПК-14-12, ГИПК-14-16
12. На основе бутадиеннитрильного каучука	ГИПК-23-10, КР-5-18Р
13. Фенолоформальдегидный	БФ-2, БФ-4, БФ-6, ГИПК-127
14. Резорциноформальдегидный	РАФ-10, ДФК-4
15. Полиэфирный	ПН-1, ТМ-60, ГИПК-21-20
16. Кремнийорганический	ВК-2, ВК-8, КТ-15, КТ-75 «К»
17. Полиимидный	СП-6к

При выборе клея для склеивания одного материала с другим условный номер типа клея, помещенный в строке, соответствующей склеиваемой пластмассе (табл. 48), должен быть одинаковым для обоих материалов. Например: склеивание полиамида с поликарбонатом рекомендуется клеями с условными номерами 1; 2; 3.

Если несколько различных по свойствам клеев имеют адгезию к склеиваемой пластмассе, выбор клея будет определяться степенью адгезионных связей, устойчивостью клеевого соединения к агрессивному воздействию эксплуатационных сред, условиями технологических процессов склеивания и специфическими требованиями по обеспечению надежности клееной конструкции.

Наглядным свидетельством достижения критического уровня прочности является когезионное разрушение при испытании образцов с выбранным клеем. Однако когезионное разрушение не обязательно означает получение клеевого соединения с оптимальной прочностью

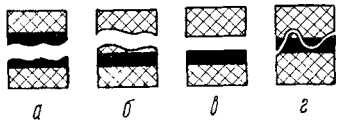


Рис. 85. Характер разрушения клеевого соединения:

а, б — когезионный; *в* — адгезионный; *г* — адгезионно-когезионный (смешанный)

[27, 37]. На практике стремятся к созданию такого соединения, разрушение которого имеет смешанный характер — когезионно-адгезионный (рис. 85).

Важными характеристиками субстратов является их прочность, толщина, модуль упругости и коэффициент линейного расширения, особенно в случаях получения клеевого соединения, обладающего достаточной эластичностью. Для склеивания гибких материалов (пластин, пленок, резин и т. п.) не следует использовать жесткие, высокопрочные клеи.

Наличие усадки в клеевом слое, существенное различие в эластичности или коэффициентах температурного расширения между клеем и субстратом, набухание одного из компонентов соединения в химически активной среде вызывают появление напряжений на границе раздела клей — субстрат. Эти напряжения могут привести к разрушению соединения сразу же после приложения эксплуатационных нагрузок [14]. Использование клеевых композиций, близких по реологическим характеристикам и химическому составу к склеиваемым пластмассам,— один из эффективных способов получения надежного клеевого соединения.

48. Рекомендуемые типы клеев для склеивания различных пластмасс

Склеиваемый материал	Условный номер типа клея																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Сополимеры акрилонитрила, бутадиена и стирола	+	+	+	+					+			+			+		
Полиформальдегид	+	+	+									+	+			+	
Полиакрилаты	+	+							+			+					
Целлюлоза	+	+		+		+		+	+			+	+			+	
Поливинилхлорид:																	
непластифицированный	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+				+	
пластифицированный	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+				+	
Полиамиды	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+			+	
Поликарбонат	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+			+	
Полистирол	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+			+	
Полипропилен	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+			+	
Пентапласт	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+			+	
Полифениленоксид	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+			+	
Полиэтилен	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+			+	
Фторопласты	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+			+	
Фенопласты	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Эпоксипласты	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Полиэфиры	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
На основе кремнийорганических смол	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Полимиды	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Аминопласты	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Полиуретаны	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Знаком «плюс» указан рекомендуемый тип клея.

Следует учитывать, что клеевые композиции могут воздействовать на склеиваемые пластмассы (например, действие растворителя, входящего в состав клея) и, в свою очередь, подвергаться их воздействию (миграция пластификатора из глубины пластмассы на границу раздела с клеем) [13]. Конструкция соединения и режимы нагружения определяют характер и уровень напряжений, которые будут возникать в клеевом слое. Большинство клеев проявляют оптимальные прочностные свойства или при нагружении на сдвиг, или при равномерном отрыве. А некоторая группа клеев, например термопластичные клеи на основе каучуков, обычно имеют высокую прочность при отдире, но относительно низкую при равномерном отрыве и сдвиге.

Клеи различной химической природы значительно отличаются по несущей способности и чувствительности к скорости нагружения. Например, термопластичные клеи не рекомендуются для применения в силовых конструкциях, так как подвержены текучести при действии постоянных нагрузок, в то же время они обладают высокой работоспособностью в условиях низких температур и воздействия ударных нагрузок.

Термореактивные клеи образуют жесткие клеевые соединения, даже при повышенных температурах. Они хорошо работают при длительном и вибрационном нагружении, но достаточно чувствительны к отдирающим нагрузкам или внецентренному растяжению.

Определенные условия сборки конструкции, существующая технология процесса склеивания конкретного производства, наличие необходимого оборудования могут ограничить выбор клея из гаммы клеев, имеющих адгезию к применяемой пластмассе. Типичными технологическими факторами, которые учитываются при сборке клеевых изделий, являются физическое состояние клея в состоянии поставки, срок хранения, способ его приготовления и нанесения, жизнеспособность, метод склеивания и необходимое оборудование, технологические режимы (открытая выдержка, время и температура сушки, температура нанесения и отверждения клея, удельное давление при отверждении и способ его создания), а также токсичность, запах и горючесть, которые могут потребовать уникального оборудования или особых мер предосторожности.

В каждую группу клеев определенной химической природы входят клеи с широким диапазоном свойств по вязкости: от низковязких жидкостей до густых паст. Требование использовать определенный метод нанесения клеевой композиции в значительной степени определяет и выбор исходного физического состояния клея, а также особенности обращения с ним [37]. Геометрические параметры склеиваемых элементов и их взаимное расположение в конструкции оказывают влияние на выбор клеевой композиции, обладающей требуемой вязкостью и липкостью. При соединении плохо подогнанных деталей необходимо использовать пастообразные зазорозаполняющие клеевые композиции, в то время как для склеивания тщательно подогнанных деталей следует использовать низковязкие клеи. Липкость значительно облегчает сборку, так как клей обеспечивает фиксацию деталей после их соприкосновения. Хорошую липкость проявляют клеи на основе растворов каучуков.

При склеивании некоторых конструкций на выбор клея оказывает влияние температура отверждения клея. Многие термореактивные клеи образуют клеевое соединение при нагреве и создании давления, что позволяет применять их только для склеивания термостойких пластмасс. Особенности получения и эксплуатации клеевого соединения часто требуют выбора клея с учетом обеспечения технологичности его применения и достаточно высокой надежности клеевого соединения

в условиях конкретного производства. Учитывая это, при выборе клея необходимо рассматривать следующие важнейшие факторы [37]: сведения о склеиваемых пластмассах (химическая природа, физическое состояние, степень модифицирования, тип и марка); форму поставки клея (жидкий, пастообразный, твердый, с растворителем, одно-, двух-, многокомпонентный); метод нанесения (ручной или механизированный); технологические требования (вязкость, температурно-временные параметры при открытой выдержке и отверждении, жизнеспособность, давление при отверждении, способ подготовки поверхности пластмасс, условия использования технологического оборудования, операции, следующие после склеивания — очистка, окраска и т. д.); конструктивные особенности (тип соединения — нахлесточное, стыковое и другие; площадь склеивания; количество склеиваемых деталей); прочностные требования к соединениям: временная фиксация, умеренная, низкая, высокая (конструкционная) прочность; нагрузки, действующие на соединение (постоянно действующая, циклическая или малоцикловая); направление приложения нагрузки; отдир, сдвиг, сжатие, равномерный отрыв, внецентренное растяжение; условия эксплуатации: непрерывное, повторяющееся, циклическое, воздействие тепла или холода, уровень рабочих температур, климатические условия, воздействие влажности, воды (горячая или холодная), химикатов, солнечного света и радиации, жидких растворителей и их паров, воздействие биологической среды; масштабы использования клея: ограничено или в больших количествах.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОД СКЛЕИВАНИЕ

Предварительная подготовка поверхности обязательна для большинства пластмасс. Известны и применяются в производстве следующие методы подготовки поверхностей деталей из пластмасс к склеиванию: обезжиривание, механическая обработка, физическое или химическое активирование.

Обезжиривание осуществляется с помощью органических растворителей или моющих средств (водные растворы щелочей или поверхностно-активные вещества). Выбор метода и средств обезжиривания определяется видом загрязнений, требуемой степенью очистки, воздействием обезжиривающего раствора на пластмассу, безопасностью при работе.

Органические растворители должны хорошо растворять загрязнения, но быть инертными по отношению к пластмассе, т. е. не вызывать ее набухание или растворение. Моющие средства применяются для очистки от пыли, жировых и других загрязнений, попадающих на детали в процессе хранения.

Эффективными моющими растворами являются: ТМС-31 (80 г на 1 л воды), препараты «Аполир», «Термос-1», «Термос-2» и др. Качество очистки поверхностей значительно возрастает при сочетании обработки моющими средствами и ультразвуком [27]. По окончании обработки моющими средствами склеиваемые поверхности необходимо тщательно промыть водой.

Особое внимание необходимо уделять предварительной обработке поверхности пластмасс под склеивание, если в процессе изготовления деталей применялись антиадгезионные разделительные смазки.

Для удаления разделительных смазок, состоящих из смеси спирта с глицерином, касторового масла или стеарата цинка, применяют многокомпонентный растворитель, объемное содержание этанола в котором равно 50 %: бутанола — 15; этилацетата — 25; целлозольва — 10%.

Кремнийорганические разделительные жидкости удаляют промывкой изделий в 2 %-ном растворе карбоната калия в спирте с добавкой небольшого количества смачивающего вещества. Однако такая обработка применяется лишь для изделий общего назначения.

Механическая обработка производится с целью образования более развитой поверхности, удаления слабосвязанного поверхностного слоя и обнажения глубинных слоев, обладающих более высокой когезией. Используется два вида механической обработки: абразивная (режущее или царапающее воздействие наждачной шкурки, металлической щетки или абразивных кругов); ударно-абразивная (удар о поверхность абразивных частиц, движущихся по инерции в потоке газа или жидкости). Наиболее простым и доступным методом механической обработки поверхности пластмасс является зачистка вручную абразивными шкурками определенной зернистости. Как правило, после механической обработки поверхности пластмасс обезжиривают органическими растворителями.

Для получения клеевых соединений пластмасс, к которым предъявляются требования высокой прочности и долговечности, обязательно проведение дополнительных операций по активированию склеиваемых поверхностей.

Различают физические (коронный разряд, ионизационное излучение, тлеющий разряд и др.) и химические (обработка травлением и химическая модификация) методы подготовки поверхностей пластмасс под склеивание.

В результате физических методов подготовки поверхностей пластмасс происходит их окисление, сшивание и деструкция макромолекул поверхностного слоя. Окисление поверхности приводит к гидрофильности и повышению полярности, что способствует увеличению адгезионных связей. При сшивке возникают поперечные связи (образуется сетчатая структура) и повышается когезионная прочность поверхностных слоев полимера. В результате деструкции возникает развитый микрорельеф поверхности, что способствует усилению сцепления субстрата с клеем благодаря повышению площади склеивания и проникновению клея в микронеровности.

Обработка в тлеющем разряде производится в рабочей камере вакуумной установки. Эффективность активирования поверхности зависит от вида полимерного материала, его состава и надмолекулярной структуры, степени разрежения, плотности тока разряда и напряжения на электродах.

Режим обработки тлеющим разрядом полиолефинов следующий: разрежение 1,5—15,0 Па, напряжение 0,5—5,0 кВ, сила тока 160 мА, время обработки 2—5 мин.

Данный метод применяется преимущественно для обработки поверхности деталей, изготовленных литьем или прессованием, трудно поддающихся обработке другими методами активирования. Он также предпочтителен в случае склеивания сложных по форме поверхностей.

Обработка в газовой плазме производится следующим образом. В рабочую камеру под давлением в несколько сот паскалей подается газ (воздух, кислород, азот, гелий и др.). Ионизация газа обеспечивается подачей радиочастотной энергии на электроды, расположенные внутри или вне рабочей камеры. Вся поверхность изделия обволакивается плазмой. Модифицирование полимерного материала происходит на глубину 50—100 нм. Этот метод эффективен для большинства пластмасс (ПТФЭ, ПЭ, ПП, ПС, ПА, ПЭТФ, ПЭФ, ПК).

Обработка в коронном разряде используется для активации поверхности пленок. В процессе перемотки пленка прижимается к поверхности барабана, являющегося заземленным электродом. Параллельно оси барабана над активируемой поверхностью пленки расположен второй электрод, на который подается напряжение 5—30 кВ, частотой 0,2—20 кГц. Расстояние между электродами 0,5—2,0 мм.

При обработке газовым пламенем применяются горелки инжекционного типа или с принудительной подачей воздуха. Подготавливаемую поверхность вводят в определенную зону факела горящих газов. Воздействие высоких температур (900—1000 °С) и кислорода приводит к окислению, деструкции и фазовым превращениям полимера в поверхностном слое. Особенно успешно этот метод применяется при активации поверхностей экструзионных изделий (например, толстых листов).

Механохимические методы подготовки поверхностей значительно повышают адгезионную прочность клеевых соединений. Суть способа сводится к механическому воздействию на поверхность пластмассы под слоем предварительно нанесенного клея. Возникающие на поверхности высокоактивные макрорадикалы, взаимодействуя с клеем, образуют многочисленные адгезионные связи. Механохимический метод рекомендуется для склеивания ПНД, ПВД, ПП, ПС, фторопластов [7].

Химическое модифицирование поверхности пластмассы заключается в ее обработке водными растворами кислот, щелочей, солей, а также органическими растворителями. Активирующее воздействие химических агентов проявляется в окислении поверхности и частичном ее вытравливании. Появление полярных групп и двойных связей, а также развитие микрорельефа на поверхности способствуют повышению адгезии клея к субстрату [8, 27].

Для травления могут применяться многочисленные рецептуры растворов, отличающиеся количеством компонентов и их соотношением (табл. 49).

Оптимальные параметры процесса травления (концентрация раствора, длительность и температура обработки) обычно подбираются опытным путем в зависимости от марки полимерного материала, способа его получения, геометрических размеров и формы склеиваемого изделия. Рекомендуемые параметры травления представлены в табл. 50.

Химическое травление поверхности, даже при осуществлении определенной механизации, является весьма трудоемким процессом. Помимо необходимости подачи реагентов, приготовления раствора, его подогрева и обработки изделий, необходима последующая промывка и сушка поверхностей. Внедрение химического активирования требует наличия специальных установок по очистке сточных вод, мероприятий по охране здоровья рабочих и окружающей среды.

Качество подготовки поверхности пластмасс к склеиванию оценивают разрушающим методом (оценкой прочности клеевого соединения при испытании образцов), а также методом оценки смачиваемости (определение краевого угла, угла смачивания, натяжения смачивания и др.).

Испытание на натяжение смачивания осуществляется в следующем порядке. На подготовленную поверхность пластмассы наносят индикаторную жидкость, поверхностное натяжение которой известно (например, смесь третичного бутилового спирта и дистиллированной воды, табл. 51). Если в течение минуты нанесенный тонкий слой жидкости не собирается в капли, то считается, что поверхностное натяжение индикаторской жидкости соответствует натяжению смачивания поверхности пластмассы. Определение начинают с жидкости, отличающейся меньшим поверхностным натяжением.

Удовлетворительной адгезионной прочностью обладают клеевые соединения пластмасс, обработка поверхности которых повысила поверхностное натяжение свыше 38 мН/м [14].

49. Составы для химической обработки поверхностей полимеров

Индекс	Состав	Число массовых частей
1	Бихромат натрия	5
	Серная кислота	100
	Вода	8
2	Бихромат калия	65
	Сульфат меди	25
	Сульфат железа	25
	Серная кислота	1410
	Вода	225
3	Бихромат калия	0,5—2,5
	Серная кислота	100
	Вода	40
	Ортофосфорная кислота	20
4	Паста:	
	Серная кислота	3
	Бихромат калия (порошок) тонкоизмельченный	1
	аэросил до требуемой консистенции	
5	Бихромат калия	15
	Серная кислота	300
	Вода	30
6	Хромовый ангидрид	40
	Серная кислота	20
	Вода	До 80
7	20 %-ные растворы стабильных органических радикалов (аминокислых, вердазильных, гидразильных, феноксильных)	
8	20—30 %-ный раствор в ацетоне винилацетиленового олигомера или пиперидинового	
9	10—20 %-ный раствор в спирте димера 3,3-диметилен-2, 2, 6, 6-тетраметил-4-оксопиперидина или 3,3-диметилен-2, 2, 6, 6-тетраметил-4-оксопиперидина-1-оксила	
10	12—20 %-ный раствор в органическом растворителе 4,11-флуорантенилдикетональдегида	
11	М-метилбензойная кислота	
12	Фосфортрихлорид	
13	Калий перманганат	1—2
	Серная кислота	20
14	85 %-ная фосфорная кислота	
15	Хромовая кислота концентрированная	
16	20 %-ный раствор едкого натра, затем 1 %-ный раствор хлористого цинка	
17	2 %-ный раствор винилтрихлорсилана в ксилоле	
18	Антрацен	18
	Натрий	10
	Тетрагидрофуран	45—90
19	Перманганат калия	4—7
	Едкое кали (натр)	40—80
	Вода	23—50
20	Надсерная кислота	25
	Вода	75

Продолжение табл. 49

Индекс	Состав	Число массовых частей
21	Персульфат аммония	35
	Вода	65
22	Персульфат калия (натрия)	15
	Вода	85
23	»	30—180
	Фосфорный ангидрид	50—90
	Серная кислота ($d = 1{,}84$)	1500—1800
	$Zn^{2+} + Mg^{2+}$	0,05—0,5
	ПАВ	0,5
24	Нафталин	15
	Тетрагидрофуран	100
	Натрий (металлический)	2
25	Едкий натр	10
	Диаллилмеламин	8
26	Пара-толуолсульфокислота	1
	Диоксан	10
	Перхлорэтилен	150
27	Диоксан	100
	Дифенил	10
	Калий	2,7
28	Диоксан	100
	Дифенил	16
	Калий	3
	Натрий	3

Примечание. Плотности серной и ортофосфорной кислот равны соответственно 1,84 и 1,17 г/см³.

Качественно адгезионную способность пластмассы оценивают иногда по виду (форме) растекающейся капли индикаторной жидкости, состоящей из раствора 60 %-ного этилового спирта. При удовлетворительной адгезионной способности диаметр капли достигает 35 мм.

Окончательный выбор метода подготовки поверхности пластмасс под склеивание производится только после испытания образцов или макетов, склеенных выбранным клеем, в условиях, воспроизводящих эксплуатационные.

Подготовленные к склеиванию поверхности весьма чувствительны к случайным загрязнениям, в процессе промежуточной обработки, транспортирования и хранения. Время от момента подготовки поверхности до начала склеивания деталей ВПП должно быть минимальным. При длительном ВПП подготовленные детали упаковываются в специально обработанную бумагу и хранятся при постоянной температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 50 %.

Одним из надежных средств сохранения свойств подготовленной поверхности является нанесение адгезионного грунта [27]. Его использование позволяет увеличивать объем деталей, подготовка поверхностей которых проводится одновременно, и время до начала склеивания, т. е. повышает технологическую гибкость производства, предохраняет подготовленные поверхности от загрязнения в ходе прочих технологических операций, повышает надежность и долговечность клеевого соединения. Обычно адгезионные грунты представляют собой

50. Методы предварительной подготовки поверхности пластмасс

Склеиваемый материал	Обезжиривающие составы	Методы обработки поверхности*	Примечание
АБС	Ацетон	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 220)	Для клеевых соединений общего назначения
		2. Химическая обработка любым из составов 6 (15 мин при $t = 65$ °С); 1, 2, 3, 19, 20. После обработки промыть в обычной, затем в дистиллированной воде и просушить теплым воздухом	Для обеспечения максимальной прочности; режимы обработки составами 1, 2, 3, 19, 20 подбираются опытным путем
На основе целлюлозы	Метанол, изопропиловый спирт	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 220)	Для клеевых соединений общего назначения
		2. После обработки по методу 1 поверхность просушить в течение 30 мин при 93 °С; на теплую поверхность нанести клей или грунт	Для обеспечения максимальной прочности
ПВХ	Трихлорэтилен, метилэтилкетон	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Для жестких ПВХ
		2. Протирка тампоном, смоченным растворителем (кетоном)	Для пластифицированного ПВХ общего назначения
		3. Химическая обработка любым из составов 7, 8, 9	Для повышения прочности
		4. Механохимическая обработка	Для пластифицированного ПВХ
ПА	Ацетон, метилэтилкетон, не содержащие хлора моющие вещества	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Для клеевых соединений общего назначения
		2. Химическая обработка любым из составов 2, 7, 10, 11, 12, 23, затем промывка в обычной и в дистиллированной воде, после чего следует просушка	Для обеспечения максимальной прочности
		3. Нанесение подслоя пасты на основе склеиваемого каучука в смеси с изоцианатом	Для склеивания полиамидных текстильных материалов с натуральными и синтетическими каучуками
		4. Нанесение грунта — подслоя резорцинформальдегидного клея	Для обеспечения адгезии эпоксидных клеев к слою грунта
ПК	Метанол, изопропанол, гептан, бензин, моющие средства	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100), затем обезжиривание растворителем или протирка щеткой в растворе моющего средства, не содержащем хлора	
ПС	Метанол, изопропанол, моющие средства	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Для жесткого пластика
		2. Химическая обработка любым из составов (в течение 15 мин при 65 °С), 4 (после нанесения пасты деталь нагреть до 93 °С, выдержать 2—3 мин, пасту смыть дистиллированной водой; температура сушки не более 65 °С)	Для получения максимальной прочности
ПП	Ацетон, метилэтилкетон, метиленхлорид, бензин, гептан, этанол	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	
		2. Обработка растворителем в течение 15 с: циклогексаном при 50—87 °С, трихлорэтиленом при 70—87 °С, бензолом при 70—87 °С, бутанолом при 87 °С	Для склеивания с малой прочностью
		3. Химическая обработка любым из составов 1 (2—3 мин при 66—71 °С), 2, 3, 15 (в течение 5 мин при 100 °С)	Режимы обработки составами 2, 3 подбираются опытным путем
		4. После травления составом 1 нанести адгезионный грунт эпоксиднополиамидного клея	Для обработки жестких пластиков

* Составы для химической обработки приведены в табл. 54.

Продолжение табл. 50

Склеиваемый материал	Обезжиривающие составы	Методы обработки поверхности*	Примечание
		5. Обработка пламенем газовой горелки, промывка мыльным раствором, затем водой	Для деталей, получаемых литьем или экструзией
		6. Механохимическая обработка	Для жесткого пластика
		7. Обработка искровым разрядом в течение 3—9 с; напряжение поля ионизации 25—50 кВ	Пленочные материалы склеивать не позднее чем через 15 мин после обработки
		8. Выдержка в среде газов, активируемых коронным разрядом: в сухом воздухе — 15 мин, в увлажненном — 5 мин, в закиси азота — 10 мин, в азоте — 15 мин	
		9. Обработка в течение 2—3 мин в газовой плазме	Детали, имеющие сложную поверхность склеивания, склеивать не позднее чем через 15 мин после обработки
		10. Обработка тлеющим разрядом при низком давлении ($P = 66$ Па, плотность тока $i = 1 \ldots 2$ мА/см^2) в течение 2—3 мин	
Полифениленоксид	Метанол	1. Обезжиривание растворителем	Можно нанести слой грунта — клея, содержащего в качестве растворителя ксилол
ПЭ	Ацетон, метилэтилкетон	1. Обезжиривание растворителем	Для склеивания с малой прочностью
		2. Химическая обработка любым из составов 1 (в течение 90 мин при 20 °С, 2—3 мин при 65—71 °С, 2—3 с при 80—85 °С), 5 (в течение 8—12 мин при 68—74 °С), 9, 20, 21, 22	Режимы обработки составами 9, 20, 21, 22 подбираются опытным путем
		Выдержка в течение 15—30 с в горячих растворителях или их парах (тулуол, перхлорэтилен, трихлорэтилен)	
		3. Обработка окислителем в сочетании с УФ-излучением	Для пленочных материалов
		4. Обработка в среде, активируемой коронным разрядом	
		5. Обработка пламенем газовой горелки	До получения глянцевой поверхности
		6. Обработка в газовой плазме в течение 2—3 мин	Для деталей, имеющих сложную поверхность склеивания, склеивать не позднее чем через 15 мин после обработки
		7. Обработка тлеющим разрядом в течение 2 мин	
		8. Механохимическая обработка	
Ф	Трихлорэтилен	1. Химическая обработка любым из составов 24 (в течение 1,5 мин), 1 (в течение 90 мин при 20 °С, 2—3 мин при 65—71 °С, 2—3 с при 80—85 °С), 18 (в течение 5—15 мин при 20 °С), 15, 27, 28, 13 (пока поверхность не станет светло-коричневой)	Обработанные поверхности нельзя подвергать абразивной обработке
		2. Нанесение слоя эпоксидного клея и вплавление его в поверхность нагревом в течение 10 мин при 370 °С, а затем 5 мин при 400 °С	Для литых изделий
		3. Кипячение с обратным холодильником 30 мин в смеси 10 масс. частей едкого натра, 8 масс. частей диалилмеламина	Для пленочных материалов
		4. Погружение на 30 мин при 295 °С в расплав ацетата калия. Промывка обычной, затем дистиллированной водой и просушка теплым воздухом	Для склеивания криволинейных поверхностей
		5. Выдержка в среде газов, активизированных коронным разрядом: в сухом воздухе — 5 мин, в увлажненном — 5 мин, в закиси азота — 10 мин, в азоте — 5 мин	Пленочные материалы склеивать не позднее чем через 15 мин после обработки
		6. Механохимическая обработка	
		7. Дублирование полимером, наполненным окислами железа, порошками металлов, кварцевой мукой, цементами	
Полиформальдегид	Ацетон, метилэтилкетон	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Для клеевых соединений общего назначения

Продолжение табл. 50

Склеиваемый материал	Обезжиривающие составы	Методы обработки поверхности*	Примечание
Полиформальдегид	Ацетон, метилэтилкетон	2. Химическая обработка любым из составов 1 (в течение 10—20 с при 20 °С), 5 (в течение 15—30 с при 20 °С), 14 (в течение 5—10 с при 50 °С), 15 (в течение 10 с при 20 °С), 26 (в течение 5 мин при 120 °С). Промыть в холодной, затем в горячей воде и просушить горячим воздухом	Перед травлением подвергнуть термической обработке в течение 1 ч при 120 °С для снятия напряжений, возникающих при формовании
Фенопласты	Ацетон, метилэтилкетон, моющие средства	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Декоративные стеклопластики, не подвергаемые обработке, обезжирить раствором моющих средств
		2. Напрессовка на пластик «жертвенного» слоя ткани	Свежая поверхность образуется при отдирании этого слоя перед склеиванием
Эпоксипласты	Ацетон, метилэтилкетон	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Для полного удаления растворителя нагреть деталь не более чем до 65 °С
Полиэфиры	Моющие средства, ацетон, метилэтилкетон	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100)	Для клеевых соединений общего назначения
		2. Химическая обработка любым из составов 18 (в течение 5 мин при 80 °С), 1 (в течение 5—10 мин при 65—71 °С), 17 (в течение 10 с при 20 °С); нанесение адгезионного грунта из 2 %-ного раствора эфира ортотитановой кислоты (тетрабутилтитаната) в петролейном эфире или хлорированном углеводороде и выдержка во влажной атмосфере для гидролиза эфира и образования сплошной пленки грунта	Обработка составом 1 применяется для пленочных материалов, 18 — для пленок на основе линейных полиэфиров
ПУ	Ацетон, метилэтилкетон	1. Механическая обработка (зачистка наждачной шкуркой зернистостью 100).	

51. Ступенчатый набор индикаторных жидкостей на основе третичного бутилового спирта и дистиллированной воды

Номер индикаторной жидкости	Объемное соотношение, %		Поверхностное натяжение, мН/м	Номер индикаторной жидкости	Объемное соотношение, %		Поверхностное натяжение, мН/м
	спирт	вода			спирт	вода	
1	0	100	73	7	60	40	43
2	10	90	68	8	70	30	38
3	20	80	63	9	80	20	33
4	30	70	58	10	90	10	28
5	40	60	53	11	100	0	23
6	50	50	48				

растворы используемых клеев [14]. В случае склеивания пластмасс, способных неблагоприятным образом взаимодействовать с клеем, подбирают такой состав грунта, который создает барьер между субстратом и слоем клея, исключающий взаимный контакт несовместимых материалов [37]. При склеивании разнообразных материалов используются адгезионноактивные грунты — аппреты, обеспечивающие прочную связь на границе клей-субстрат [27].

ПРИГОТОВЛЕНИЕ И СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ КЛЕЯ

Возможна различная поставка клеев: с растворителем, пастообразный, жидкий, пленочный, одно-, многокомпонентный.

При получении клеев или их компонентов необходимо проверить наличие паспорта завода поставщика, состояние тары и упаковки, наличие на таре наклеек или бирок с указанием названия продукта, массы, номера партии, времени изготовления и наименования завода-изготовителя.

Хранить клеи следует в строгом соответствии с требованиями технических условий.

Перед употреблением необходимо проверить физико-химические и технологические свойства поступившей партии клея: внешний вид, концентрацию, вязкость, жизнеспособность и т. п.

Производится осмотр жидких клеев в пробирках или стеклянных стаканах, определяется характер стекания клея со стеклянной палочки. Клеи должны быть однородны, не иметь посторонних включений, сгустков или осадка.

Концентрацию клея проверяют путем испарения растворителей, входящих в клеевую композицию. Для этого навеску клея 1—2 г помещают в предварительно взвешенный сосуд и высушивают в термостате при определенных для каждого клея температуре и времени выдержки до постоянной массы. Содержание сухого остатка, %, вычисляют по формуле $X = 100\,(a - c)\,/\,(b - c)$, где a — масса сосуда и остатка клея после сушки, b — масса сосуда и навески клея до сушки, c — масса сосуда.

Вязкость жидких клеевых композиций проверяют вискозиметрами ВЗ-1 (диаметр сопла 5,4 мм) и ВЗ-4 [25].

Под жизнеспособностью клея понимается время с момента окончания приготовления, в течение которого возможно его использование для нанесения и склеивания. Клеи, обладающие длительной жизнеспособностью, технологичнее при нанесении и сборке склеиваемых

деталей, однако для формирования клеевого соединения требуется более длительное время. Жизнеспособность ряда клеев приведена в табл. 47.

Приготовление клеев проводят в посуде, стойкой к воздействию компонентов клея и органических растворителей (фарфоровой, фаянсовой, полиэтиленовой и др.). Посуда должна плотно закрываться крышкой, на ее внутренних поверхностях не должно быть следов влаги, остатков старого клея и других загрязнений. Компоненты клея должны иметь температуру близкую к температуре помещения, в котором проводятся работы. Если компоненты хранились при пониженной температуре, то во избежание конденсации влаги из воздуха их необходимо выдержать в отапливаемом помещении.

Подготовка однокомпонентных клеев к склеиванию заключается в тщательном перемешивании композиции. Жизнеспособность этих клеев определяется временем, в течение которого соединение должно быть собрано после их нанесения (например, открытая выдержка для клеев, содержащих растворитель).

Приготовление многокомпонентных клеев состоит в смешивании отдельных компонентов в определенной последовательности и при точном соблюдении рецептуры. В процессе приготовления клеев холодного отверждения в последнюю очередь следует вводить компоненты, вызывающие отверждение клея (отвердители, катализаторы, ускорители).

Для перемешивания клеев используются различные механические смесители и клеемешалки. При получении вязких клеев с большим количеством наполнителя лопасти мешалки должны делать не более 50 об/мин, а клеев без наполнителя — не более 80 об/мин. Повышение числа оборотов лопастей мешалки не рекомендуется во избежание сильного вспенивания клея.

Для контроля качества перемешивания клея и его однородности в смесь компонентов добавляется небольшое количество инертного красителя, по которому определяется равномерность распределения компонентов в клеевой композиции.

Способ нанесения клея выбирается в зависимости от физико-химических свойств клеевой композиции, формы и размеров склеиваемых поверхностей, массовости производства и возможности использования существующего производственного оборудования. Клеи, приготовленные из различных компонентов, должны наноситься с учетом их жизнеспособности (в определенных пределах вязкости).

Нормы расхода жидкого клея или выбор толщины клеевой пленки задаются в зависимости от концентрации клея (содержания в клее сухого остатка) и его плотности, качества подгонки склеиваемых поверхностей, степени пористости или неровности поверхности и т. п. Недостаточная толщина клеевой прослойки приводит к образованию местных непроклеев, а избыток клея, помимо непроизводительного расхода, загрязнения оборудования и рабочих мест — к образованию чрезмерно толстых клеевых прослоек. Расход жидких и пастообразных клеевых композиций задается в граммах на квадратный метр склеиваемой поверхности. Расход пленочных клеев рассчитывается по площади и толщине клеевой пленки.

Для нанесения клеев, поставляемых в жидком виде, используются следующие способы.

Нанесение кистью производится на отдельные участки поверхности и на детали сложной формы. Способ малопроизводителен, затруднено получение равномерного по толщине клеевого слоя. Более качественное покрытие получают при использовании кисти с мягкой щеткой.

Нанесение поливом производится на плоские поверхности крупногабаритных деталей: клей подается под давлением через сопловые устройства, регулирующие расход и равномерность распределения его по поверхности. Способ используется при высокопроизводительных сборочных работах.

Нанесение распылением осуществляется пульверизацией жидких клеев с вязкостью 7—15 с по вискозиметру ВЗ-1 или до вязкости 20—30 с с пульверизацией теплым воздухом (до 50—60 °С). Равномерность нанесения клея зависит от строгого регулирования консистенции композиции, температуры в помещении и постоянства давления. Обычно используется оборудование, аналогичное тому, которое применяют для окраски распылением [8]. Необходимо применять специальные меры по технике безопасности, чтобы исключить возможность воздействия на организм тумана, образующегося при распылении клеев.

Нанесение валиками основано на переносе клея из ванны при помощи частично погруженного в нее захватывающего ролика к контактирующему с передающим валком листовому или пленочному материалу. Заданная толщина клеевого слоя регулируется зазором между передающим и прижимным валками.

Вязкие пастообразные клеевые композиции наносятся шпателем или при помощи шприца-пистолета.

Пленочные клеи, обладающие липкостью, прикатываются к поверхности склеиваемого материала холодным или разогретым валиком. В случае нелипкой клеевой пленки для ее фиксирования используются липкие грунты [37].

ФОРМИРОВАНИЕ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Технологические операции формирования клеевого соединения заключаются в сборке и фиксации соединения и отверждении клеевой прослойки. Способы отверждения зависят от химической природы клеящих материалов. Отверждение клеевых композиций по механизму полимеризации или поликонденсации требует введения отвердителей или воздействия тепла, излучений высокой энергии или катализатора. Для отверждения клеев в виде растворов достаточно обеспечить удаление растворителя за счет испарения или абсорбции. Отверждение клеев-расплавов осуществляется в процессе охлаждения клеевого соединения.

Параметрами отверждения клеев являются температура и продолжительность, а также давление склеивания. Рекомендуемые режимы отверждения для некоторых клеев представлены в табл. 47.

Для получения качественных соединений на клеевых композициях в виде растворов или включающих в себя растворители необходима промежуточная технологическая операция — открытая выдержка. В процессе открытой выдержки происходит заполнение клеем неровностей поверхности, вытеснение воздуха из пор и удаление растворителей, повышение вязкости клея в клеевом слое. Продолжительность выдержки зависит от скорости указанных процессов. Подогрев интенсифицирует процессы смачивания клеем поверхности и удаление растворителя из слоя клея. Однако при быстром начальном испарении на поверхности клеевой пленки может образоваться корочка, которая в дальнейшем препятствует удалению растворителя из клеевого слоя. Особое внимание длительности этой операции необходимо уделять при наличии в клеевой композиции реакционных растворителей или летучих отвердителей, так как их частичное испарение послужит причи-

иой получеиия клеевого соединения с иизкой прочностью. Оптимальные режимы открытой выдержки обычио указывают в техническнх условиях на клей и проверяются для каждого конкретного производства. При склеивании пористых пластмасс время открытой выдержки сокращается до минимума, так как полное удалеиие растворителя из клеевой прослойки осуществляется за счет абсорбции.

Важным технологическим параметром является давлеиие склеивания, которое определяется типом используемого клея, конструкцией и размером клеевых соединений, качеством их подгонки. Давление создаетси дли фиксации склеиваемых деталей во время отверждеиия клеи, обеспечения полноты контакта между склеиваемыми поверхностями и клеем, улучшеиия растекания и смачивания поверхиостей клеями-расплавами в процессе нагрева и отверждении.

Существуют разнообразиые способы и приспособления для обеспечеиия требуемого давления при отверждении клеевой прослойки и взаимиой фиксацин склеиваемых деталей. Это неподвижные грузы, пружинные зажимы, внутренние распорки, гидравлические зажимы, струбциины, электромагиитиые зажимы, гидравлическне н пневматические прессы, автоматы, стягивающие леиты, сборочные стапеля и т. п. Преимущество неподвнжных грузов и пружинных зажимов заключаетси в обеспечении стабильности давлеиия склеивания. Недостаток струбции заключается в том, что при выдавлнвании клея из нахлеста или при иагреве клеевого соединеиия зажимное усилие изменяетси и может потребоваться дополнительное затягиваиие винтов либо их ослаблеиие в процессе отверждении. Кроме того, прв использовании струбцин трудно измерить усилие аажима. Для массового производства иаиболее приемлемы гидравлические и пневматические зажимы и прессы, а также электромагнитиые зажимы. Эти приспособлеиии дают возможиость быстро собирать соединеиия, поддерживать неизмеиным и легко измерять давление в течение всего процесса отверждении.

Величина давления склеивания ие должна превышать параметров, устаиовлеииых техническими условиями на клей (табл. 47), поскольку это может повлечь за собой вытекание клея и образование «голодного» клеевого соедииения с низкой прочностью.

При использоваиии термореактивных клеев оптимальная прочность достигается при толщине клеевого слоя 0,06—0,12 мм. Увеличеиие толщины слоя эластичного клея повышает прочность соедииения при действии отдирающих нагрузок [27, 37].

Обеспечение требуемой толщины клеевого слоя осуществляется иескольким путими: применеиием клея в виде плеики, помещаемой между склеиваемыми поверхиостями; прнменением прокладок н ограничителей (упоров) с толщиной, равной требуемой толщиие клеевого слоя (этот способ применяется для жидких клеевых композиций); применеиием клеевых композиций, обладающих определенной тиксотропией (выдавливанне клеи из соедивения при постоянном давлеиии прекращается, когда слой клея достигвет устаиовленной толщины); регулированием усилия сжатия соединення (при достижеини определеиной толщиины сжатие прекращают и не возобновляют до конца отверждения).

Продолжнтельиость выдержки склеиваемых деталей под давлеиием определяетси, главным образом, скоростью отверждения клеевой прослойки. Основным фактором, влняющим на процесс отверждеиия клеев с отвердителем и без иего, является температура. Склеиваиие термореактивными клеями без отвердителя возможио только при нагревавии. Клеими холодного отверждения можно склеивать и при повышеиных температурах, что сокращает продолжительность отверждеиия и повышает прочность клеевого соединении.

Для передачи тепла и давлеиия к склеиваемым деталям используются различные способы и оборудование. Отверждеиие за счет прямого иагрева осуществляется при помощи печей, жидких ваин или прессов для горячего прессоваиия. Скорость иарастаиия температуры клеевого шва устаиавливается экспериментальио, при правильном выборе режима и продолжительности нагрева обеспечиваетси полное отверждение клеевого слои. Использоваиие печей являетси одним из иаиболее распространениых способов иагрева клеевых соединений, так как они могут быть вспользованы в сочетании с устройствами, обеспечнвающими приложение давлевия к склеиваемым деталям. Для печей (за нсключением печей с замкнутой циркуляцией воздуха) характерно неравномерное распределение температуры по объему. Передача тепла осуществляется в результате конвекции.

Для более быстрого иагрева склеиваемых деталей, осуществляемого за счет конвекции, используют различиые жидкости. Обычно для этих целей применяют воду; для более высоких температур отверждения используются минеральные или креминйорганические масла. Эффективность отверждеиия клея при использовании данного способа зависит от теплостойкоств и теплопроводности склеиваемой пластмассы.

Для отверждения при горячем прессованив используются электронагреватели или пар для нагрева пластин, между которыми запрессовано склеиваемое соединение. Даниый способ эффективен для отверждения клеевых соединений под давлением.

При радиационном отверждении используются инфракрасные радиационные иагреватели, позволяющие увеличить скорость передачи тепла на локальные участки поверхности субстрата. Этот способ является эффективным также для удаления растворителей из контактиых клеев перед формированием клеевого соединения.

В последнее время широкое распространение приобретает способ внутреинего разогрева клеевого слоя, осуществляемый за счет прохождения электрического тока через токопроводящие клеи или проводники, находящиеся внутри или в непосредственной близости от клеевого шва. В качестве внутреннего электронагревателя сопротивления используются полоски металла или углеродные волокна. Указанный способ обладает следующими преимуществами по сравнению с традиционными способами внешнего иагрева: быстрым достижеиием температуры отверждения благодаря непосредственному нагреву клея; равномерным нагревом токопроводящей сетки, что нсключает местный перегрев; ограничением области нагрева клеевого шва, позволяющим избежать нежелательного нагрева субстратов и приводящим к меньшему расходу энергии; возможным сокращением продолжительности процесса склеивания.

Активация ультразвуком основана на передаче механических колебаний от ультразвукового преобразователя к клею, иаходящемуся иа поверхности раздела между соединяемыми деталями. При выделении тепла в результате поглощения ультразвуковой энергии расплавляются термопластичные клеевые композиции или отверждаются термореактивные. Способ позволяет механизировать процесс соединения трудносклеиваемых пластмасс, а также снижать требования к подготовке склеиваемых поверхиостей [27].

Глава 13
ПРИФОРМОВКА

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В производстве приформовка наиболее широко применяется при изготовлении крупногабаритных изделий сложной формы (в судостроении и резервуаростроении) преимущественно из стеклопластиков.

Процесс приформовки по механизму и по природе вспомогательных материалов близок к склеиванию, а соединения приформовкой под действием нагрузки ведут себя аналогично клеевым соединениям внахлестку и встык с накладками.

К преимуществам приформовки относятся герметичность и высокая коррозионная стойкость соединения; эксплуатационная надежность и длительный срок службы в различных климатических условиях; плавность сопряжения поверхностей соединяемых деталей; отсутствие соединительных элементов; исключение необходимости использования индивидуальной оснастки (если не применяется напыление), точной подгонки соединяемых деталей и приложения давления при отверждении материала накладок.

Недостатками приформовки являются зависимость качества соединения от параметров окружающей среды и соблюдения технологических приемов; трудоемкость процесса (если не применяется метод напыления); продолжительное время отверждения связующего приформовочной массы или необходимость применения для ускорения этого процесса специальных источников подогрева; токсичность связующего и большой расход приформовочной массы; недопустимость нагрузки соединения сразу же после его изготовления; большой объем подготовительных работ; неравномерное распределение нагрузки по толщине материала соединяемых деталей.

КОНСТРУИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ

Независимо от формы соединяемых деталей и места расположения шва приформовкой можно осуществлять все типы соединений (рис. 86). При выполнении нахлесточных соединений приформовку целесообразно применять в комбинации со склеиванием. Когда есть возможность, приформовку следует выполнять с обеих сторон соединяемых изделий, так как при односторонней приформовке соединение помимо сдвига начинает работать на отрыв. При толщине соединяемых листов до 10 мм скос их кромок обычно не выполняют, так как хотя он снижает концентрацию напряжений и повышает прочность соединения, выполнение этого мероприятия очень трудоемко. При толщине соединяемых листов более 12 мм выполнение скосов на их кромках обязательно [36].

Для стыковых соединений допускаются следующие отклонения деталей по толщине: при толщине деталей до 5 мм разнотолщинность не должна превышать 25 % толщины деталей; при толщине деталей 5—10 мм — 15 % и для деталей толщиной более 10 мм — 8 %. При большей разнотолщинности требуется обработка стыкуемых кромок (например, снятие слоя материала на кромке детали большей толщины) [15].

Практически во всех случаях соединения приформовкой имеют переменное сечение за счет укладки слоев армирующего материала разной ширины (ширина слоя увеличивается, начиная с первого, внутреннего). Это снижает концентрацию напряжений, уменьшает вес и возможность задиров и отклонений, придает соединению лучший вид.

Для стыковых соединений принимают длину накладки $l_н = 150 + 10\delta$, где δ — толщина наиболее тонкой из соединяемых деталей. Толщину приформовочной накладки в месте стыка следует принимать равной половине толщины соединяемых деталей: $\delta_н = 0{,}5\delta$. При увеличении этой толщины сверх рекомендованной прочность соединения остается практически стабильной [36].

Длина одной стороны приформовочного угольника $l_н = (7...8)\delta$.

Толщина приформовочной накладки в районе угла принимается равной половине толщины наиболее тонкой из соединяемых деталей. Прочность углового соединения резко снижается, если соединяемые детали различаются по толщине [15, 36].

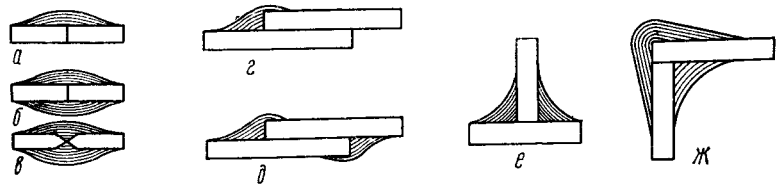


Рис. 86. Типы соединений приформовкой:

а — стыковое одностороннее; *б* — стыковое двустороннее; *в* — стыковое двустороннее со скосом кромок; *г* — нахлесточное одностороннее; *д* — нахлесточное двустороннее; *е* — тавровое; *ж* — угловое

Для стыковых соединений приформовкой наиболее опасным видом нагружения является растяжение. Прочность соединения при растяжении увеличивается с уменьшением толщины соединяемых листов и при малых толщинах возможно получение соединения равнопрочного материалу листов. Прочность стыкового соединения при сжатии и изгибе практически равна прочности материала соединяемых деталей. Для углового соединения наиболее опасный вид нагружения — отрыв. Прочность угловых соединений при изгибе и сдвиге определяется прочностью материала соединяемых деталей [15, 36].

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИФОРМОВКИ

Технологический процесс соединения деталей стеклопластика с помощью приформовки включает [15, 36] очистку мест соединения от грязи, пыли, остатков целлофана и т. д.; механическую обработку мест соединения, а при необходимости — выполнение скосов на кромках соединяемых деталей; обезжиривание соединяемых поверхностей; подготовку приформовочной массы (пропитка армирующей стеклоткани связующим); нанесение приформовочной массы (с приглаживанием слоев стеклоткани) до получения накладки необходимой толщины; выдержку соединяемых деталей в зафиксированном положении (без давления) для обеспечения отверждения связующего приформовочной массы; контроль качества соединения.

Механическую обработку мест соединения целесообразно вести с помощью устройств, снабженных шлифовальными кругами или наждачными полотнами. Обработка производится до полного удаления с соединяемых поверхностей лаковой пленки связующего.

Обезжиривание поверхностей после механической обработки производят тампоном, смоченным ацетоном, уайт-спиритом или хлорпроизводными углеводородов.

Приформовку полиэфирных стеклопластиков обычно выполняют на полиэфирном связующем, а эпоксидных и феиольных — иа эпоксидном. Отверждение полиэфирных связующих происходит в присутствии инициирующей системы, состоящей из гидроперекиси изопропилбензола и иефтаната кобальта.

При изготовлеиии накладок в качестве армировки используют стеклянные ткани сатинового или полотияного переплетения (для деталей, подверженных действию больших растягивающих и изгибающих иагрузок), а также рубленое стекляниое волокно длиной около 15 мм (для угловых соединений). Содержание связующего в приформовочиой массе составляет около 50 % в случае применения ткаией и около 75—80 % в случае применеиия стекляниого волокна. При нанесении приформовочной массы выдавливанием в нее вводят 10—20 % порошкообразного наполнителя (тальк, каолин, асбестовый порошок и др.). Для выполиения приформовок в вертикальном, наклоином и потолочном положениях в связующее добавляют до 3 % тиксотропных наполнителей (аэросила) [15].

Для всех способов соединеиия деталей оптимальной формой продольного сечения накладок из приформовочной массы является сегментообразная [15]. При такой форме накладок сокращается расход связующего и стеклянной ткаии иа 40—50 %, уменьшается трудоемкость изготовлеиия соединения почти на 40—45 %, увеличивается прочиость коиструкций при изгибе и растяжении, получаются изделия, характеризующиеся лучшей обтекаемостью и большей иадежностью в эксплуатации по сравиению с соедиияемыми, в которых применяются накладки прямоугольной формы. На практике обычно примеияют иакладки, длина которых значительно больше оптимальной, что обусловлено возможностью появления воздушных включеиий и других дефектов в приформовке в производствениых условиях.

Наиесеиие приформовочной массы может осуществляться путем ручной выкладки слоев материала, намоткой или иапылением.

Приформовочную массу на основе стеклянной ткани наносят преимущественно вручную, при этом применяют метод послойной укладки, поскольку при укладке приформовочной массы в производственных условиях прочность стыковых соединеиий сиижается на 25—34 % [15]. Перед укладкой первого слоя ткани детали покрывают слоем связующего, затем иа них укладывают первый слой ткани наимеиьшей длины и пропитывают связующим. Аналогично поступают со вторым и последующими слоями стекляииой ткани до получения накладки необходимой толщины. Для обеспечеиия равномерности пропитки ткани и удаления из иее воздушных пузырей накладку иеобходимо прикатывать валками, имеющими рифленую (перфорированиую) поверхность или поверхиость из проволочной сетки, так как они не разбрызгивают смолу, хорошо вытесняют воздушные пузырьки и не приклеиваются к приформовочной массе в отличие от гладких валков. Для ускорения ианесеиия приформовочных накладок можио использовать предварительно пропитанную сырую ткань, одиако при этом повышается трудоемкость процесса и ухудшаются саиитарные условия труда. Возможна также пропитка уложениой ткани одиовременио с уплотнением формируемой иакладки, для чего связующее подается по шлангу непосредственно в прикатывающие полые рифленые валки с отверстиями. Недостатком нанесения приформовочиой массы вручную является неравномерная пропитка иакладок связующим, так как при ручной прикатке валков трудно поддерживать постояиное

усилие прикатки, особенио для потолочных соедииеиий. Поэтому прочность стыковых и угловых соедииений в потолочном положении меиьше прочности тех же соединеиий в нижнем и вертикальном положеиии соответственно на 20—40 и 24—30 % [15].

Приформовка методом иамотки выполияется при соедииении изделий, имеющих форму тел вращения.

Приформовка методом напыления позволяет в 3—3,5 раза повысить производительность труда и применить более дешевые материалы по сравиению с приформовкой методом ручиой выкладки слоев материала. Для этого способа приформовки Центральным научно-исследовательским институтом технологии судостроения создана специальная установка марки УНПС, позволяющая напылять приформовочную массу в горизоитальном, наклоином и вертикальном положениях.

При нанесении приформовочной массы методом иапыления или намотки достигается более высокий уровень механизации работ (снижается трудоемкость процесса), а также обеспечивается повышеиие прочности соединения на отрыв примерно на 15 % [36].

Если между кромками соединяемых деталей имеются зазоры до 5 мм, то их заполияют массой, в состав которой входят рубленая стеклянная ткань или стеклянный жгут и связующее в равных соотношениях. При большей величине зазора он заполияется отрезками из того же стеклопластика, что и соединяемые детали, а оставшиеся зазоры заполияются указаиной приформовочной массой.

Обычно отверждение связующего в процессе приформовки происходит без приложеиия давления при комнатной температуре с выдержкой не менее трех суток. Качество соедииений можно улучшить подвергая зону шва через 30—70 часов после иаиесеиия приформовочной массы дополнительной обработке в поле токов высокой частоты, с помощью ультразвука, в электростатическом поле, радиоактивным излучением.

При визуальном контроле качества приформовочиых соединеиий проверяют наличие складок в материале, смещений наружных слоев накладок, разрывов армирующих наполнителей, участков с неоднородной пропиткой связующим.

Влажность помещения, в котором ведется приформовка, не должна превышать 65 % [36].

Глава 14

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ И КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ И КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Дефекты сварных и клеевых соединений подразделяются на наружные, выявляемые поверхностиым осмотром, и внутреиние, обнаруживаемые только специальными методами коитроля. Основными дефектами в сварных швах термопластов являются несоответствие шва требуемым геометрическим размерам, подрезы, трещины, поры, непровары, усадочные раковины и участки материала, подвергнутые термоокислительиой деструкции [10, 20].

Несоответствие шва требуемым геометрическим размерам является в основном результатом нарушения сварщиком технических требований на размеры сварного шва. При уменьшении размеров шва снижаются прочностные характеристики соединеняя; увеличение этих размеров экономически нерационально.

Подрезы — узкие, продольные углубления, образующиеся по краям шва в основном материале, максимальная глубина которых обычно составляет 1—2 мм. Подрезы являются местом концентрации напряжений и началом образования трещин. Швы с подрезами нестойки к динамическим нагрузкам.

Трещины — наиболее опасный вид наружных и внутренних дефектов шва. Трещины в швах трудно обнаружить, так как они могут быть тонкими и находиться внутри шва. При эксплуатации изделия эти трещины увеличиваются, в результате чего соединение может разрушиться. Трещины в швах бывают продольными и поперечными. Швы, в которых возможно образование трещин, следует тщательно осматривать, а обнаруженные трещины тщательно заваривать. Предупредить образование трещины можно строгим соблюдением технологических режимов сварки и термической обработки сварных швов.

Основная причина образования пор при сварке нагретым инструментом — длительное присутствие на воздухе оплавленных поверхностей перед их соединением и недостаточное давление осадки, неспособное выдавить поры на поверхность стыка. Наибольшую опасность для сварного стыка создают поры, расположенные в рабочем сечении шва. В зависимости от температуры окружающей среды, места концентрации и размера пор может наблюдаться хрупкое или пластическое разрушение образцов по зоне сплавления. Причиной образования пор при сварке нагретым газом с применением присадочного материала является несоответствие присадочного материала основному, высокая температура теплоносителя, приводящая к перегреву присадочного или основного материала, наличие пор в присадочном материале и др.

Непровары — самые распространенные и опасные дефекты сварных швов, ослабляющие прочность сварного соединения. Опасность непроваров заключается в том, что по наружному виду шва нельзя установить этот дефект, так как он может находиться в любом месте шва. Причины непровара — некачественная сборка и неправильная разделка кромок; нарушение технологического режима сварки (малое давление и недостаточная длительность осадки); неудовлетворительная очистка присадочного материала и сварочных кромок от грязи, масла, окисленной пленки. Непроваренные участки целиком вырезают и заваривают.

Усадочные раковины вызываются усадочными напряжениями, возникающими вследствие недостаточного давления, малой выдержки под давлением осадки и неравномерного охлаждения шва при его остывании. Повышенную опасность для работоспособности сварного соединения представляют раковины в зоне сплавления.

Наиболее опасным дефектом сварного соединения термопластов является наличие в зоне шва участка материала, подвергнутого термоокислительной деструкции вследствие завышенной температуры сварки.

Основными дефектами клеевых соединений являются «голодная», «сухая», «мокрая», пористая склейки, перекос соединения, несмачиваемость клеем соединяемых поверхностей, недоотвержденная клеевая прослойка, непроклеи. «Голодная» склейка является следствием нанесения недостаточного количества клея на склеиваемые поверхности. При «сухой» склейке клей пересушен до такой степени, что не происходит его склеивание с другой пересушенной клеевой пленкой. «Мокрая» склейка является следствием неполного удаления из клея входящего в его рецептуру растворителя или неполного отверждения жидкого клея. Пористая склейка обуславливается неполным удалением растворителя или неправильным смешиванием и отверждением клеевой композиции; наличием воздушных включений, появившихся в процессе нанесения клея; высокой влажностью склеиваемых поверхностей; применением нерастворимого отвердителя. Перекос соединения возникает при недостаточной фиксации склеиваемых поверхностей, а также при смещении соединяемых изделий во время отверждения клея. Несмачиваемость клеем соединяемых поверхностей — это результат неправильного выбора способа подготовки или загрязнения поверхности. Недоотверждение клеевой прослойки указывает на неправильное соотношение компонентов клея, низкую температуру или недостаточное время отверждения, а также неполное удаление растворителя. Непроклеи возникают при недостаточном или позднем применении давления, неравномерном нанесении клея, большой неровности склеиваемых поверхностей.

Большинство дефектов сварных и клеевых соединений может быть вызвано неправильной подготовкой соединяемых поверхностей и некачественной сборкой соединения (неправильным углом разделки, отсутствием зазора или слишком большим зазором между кромками, перекосом кромок и т. д.); нарушением установленных технологических режимов сварки и склеивания; недостаточной квалификацией рабочего персонала.

РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Разрушающими методами контроля качества сварных и клеевых соединений определяется механическая прочность при растяжении, сдвиге, равномерном и неравномерном отрыве, отслаивании, напряженном и ударном изгибе.

В соответствии с ГОСТ 16971—71 в качестве разрушающих методов контроля качества швов сварных соединений пленок и листов из поливинилхлорида и полиэтилена применяются механические испытания на растяжение, напряженный и ударный изгиб. Если изделия, выполненные методом сварки, должны эксплуатироваться в условиях агрессивных сред, швы сварных соединений необходимо выдерживать в этих средах, а затем подвергать испытаниям, при этом для испытаний отбирают не менее 20 образцов, половину из которых помещают в среду.

Для всех видов испытаний образцы следует вырезать из контролируемого сварного соединения фрезерованием, если толщина материала более 1 мм, а пленочные материалы — специальным приспособлением (ГОСТ 14236—81). Материал пробы (по свойству, виду, марке, толщине), технологический режим и условия сварки, а также тип и конструкция шва сварного соединения должны быть такими же, как и при изготовлении контролируемого изделия. Для всех видов испытаний шов сварного соединения должен быть расположен в середине образца и перпендикулярно к плоскости его вырезки.

Образцы для всех видов испытаний вырезаются по истечении 24 часов после сварки. Испытания допускается проводить через 16 часов после вырезки образцов.

Испытания на растяжение листовых материалов толщиной более 1 мм проводятся по ГОСТ 11262—80, пленочных материалов — по ГОСТ 14236—81; для испытания необходимо брать не менее пяти образцов.

Испытание проводят на разрывной машине, которая при растяжении образца должна обеспечивать измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины.

Скорость перемещения зажимов разрывной машины должна составлять 20—50 мм/мин.

Предел прочности при растяжении рассчитывается по формуле $\sigma_p = F_{max}/A_0$, где σ_p' — предел прочности при растяжении, МПа; F_{max} — максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н; A_0 — начальное поперечное сечение образца, мм².

Для определения площади начального поперечного сечения перед испытанием измеряется ширина и толщина образца с обеих сторон сварного шва с точностью до 0,1 мм. Для расчета принимается минимальная величина поперечного сечения образца.

Испытание на растяжение сварных соединений труб диаметром до 20 мм проводят на трубных образцах длиной (160 ± 5) мм. При замере патрубков за базу относительного удлинения при разрыве принимают базу, равную 50 мм. Для труб диаметром 20—50 мм испытания проводят на трубных образцах длиной (235 ± 5)мм с базой 100 мм. Метки, отмечающие базу, наносят на патрубок на равном расстоянии от его концов.

Прочность шва сварного соединения выражается коэффициентом сохранения свойств, %, как отношение прочности шва сварного соединения к прочности свариваемого материала: $K = 100 \cdot \sigma_p'/\sigma_p$. В среднем для сварных швов из термопластических материалов $K = 70...90$ %.

При испытаниях на растяжение швов сварных соединений после воздействия на них агрессивных сред рассчитывают условный коэффициент сохранения свойств $K_{усл} = 100 \cdot \sigma_{ср}'/\sigma_{ср}$, %, где $\sigma_{ср}'$ и $\sigma_{ср}$ — средние арифметические значения предела прочности при растяжении образцов, соответственно подвергшихся и не подвергшихся воздействию агрессивной среды.

Шов сварного соединения считается качественным при $K_{усл} \geqslant 75$ %.

При испытаниях методом напряженного изгиба образец нагружают подбором нагрузки таким образом, чтобы расстояние l_1 между концами образца после изгиба (изгиб должен происходить по сварному шву) было равно 0,8 l, где l — расстояние между концами образца до изгиба. Образцы считают выдержавшими испытания, если на поверхности натяжения шва не образовались трещины и надрывы.

Испытания на ударный изгиб швов сварных соединений листовых материалов проводят по ГОСТ 4647—80 на образцах, регламентированных ГОСТ 16971—71; образцы должны быть без надреза как в случае соединения с гратом, так и со снятым гратом. Со стороны удара маятника копра грат удаляется в обязательном порядке. Удар маятника копра проводят по всей ширине образца. Центр удара должен находиться на середине шва.

Обработку результатов механических испытаний производят по ГОСТ 14359—69*.

Определение прочности клеевых соединений при сдвиге и при отрыве проводится по методикам, изложенным соответственно в ГОСТ 14759—69* и ГОСТ 14760—69*. Определение предела прочности стыкового клеевого торцевого соединения рекомендуется проводить согласно ГОСТ 156132—77.

Основные технические характеристики приборов и оборудования для механических испытаний приведены в прил. 4.

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Для контроля качества сварных и клеевых соединений изделий из пластмасс могут применяться следующие методы неразрушающего контроля: наружный осмотр и обмер, испытания на герметичность,

рентгенографический контроль, ультразвуковая дефектоскопия, капиллярные и другие методы контроля. Однако в настоящее время такие традиционные методы контроля, как рентгенографический, ультразвуковой и др., не нашли широкого практического применения из-за отсутствия разработанных методик проведения контроля качества и отсутствия оборудования, удобного для работы в условиях производства.

Эффективность наружного осмотра и обмера основана на том, что геометрические характеристики и внешний вид соединения связаны с технологическими параметрами процесса изготовления соединения. Например, форма, размеры и внешний вид наплывов при стыковой сварке нагретым инструментом зависят от времени и температуры оплавления, а также давления осадки. Поэтому наличие разности высот валиков указывает на различную глубину проплавления двух сваренных изделий; неоднородности валика по периметру шва — на неравномерность нагрева; сдвига поверхностей — на недостаточную центровку; пористый валик свидетельствует о перегреве. В качественном сварном соединении, полученном сваркой нагретым инструментом, наплывы должны быть с обеих сторон круглыми, равномерными и одинаковыми, не должны превышать установленных размеров, впадина между ними должна быть видимой, скругленной формы, кроме того наплывы не должны иметь разрывов и других дефектов. При наружном осмотре выявляются трещины, непровары, подрезы основного материала, смещение кромок, наружные газовые поры, неправильность геометрической формы сварного шва, несоответствие размеров сварного шва, а также недопустимые поверхностные дефекты, возникающие в результате механических повреждений (например, царапины, проколы). Швы сварных соединений следует осматривать при хорошем освещении по возможности с обеих сторон по всей протяженности с применением увеличительных стекол с фокусным расстоянием 125—12,5 мм и увеличением в 2—20 раз. Чаще всего применяют складные обзорные лупы ЛПК-470 и ЛПК-471 двукратного увеличения [10]. Для осмотра соединений с внутренней стороны трубчатых конструкций диаметром более 35 мм (если соединения расположены не далее 900 мм от люков и торцов) можно применять перископический дефектоскоп ПД-60. Дефектоскоп представляет собой телескопическую трубку с объективом, дающим четырехкратное увеличение, подвижным окуляром и прямоугольной оптической 90-градусной призмой. Дефектоскоп снабжен осветителем.

Проверка размеров включает в себя измерение линейных и угловых размеров изделий, а также измерение линейных размеров сварочного грата. Линейные размеры изделий, указанные в спецификации, относятся к температуре + 20 °С, поэтому, если измерение производится при другой температуре, учитывается тепловое расширение материала. Измерение линейных размеров изделий, сварного шва и выявленных дефектов производится с точностью до ± 0,01 мм с помощью специальных приспособлений: измерительных линеек, циркулей, лент и др.

Испытания на герметичность проводят следующими способами: обдувом, химическими индикаторами, воздушным давлением, гидравлическим давлением, наливом воды. Способ испытаний выбирают в зависимости от конструкции изделия, его габаритных размеров и условий эксплуатации. Контроль герметичности производится после внешнего осмотра и очистки изделия от загрязнений.

При *испытании обдувом* струя сжатого воздуха должна быть направлена перпендикулярно к поверхности шва. Сжатый воздух под давлением до 250 кПа подают по гибкому шлангу с наконечником,

причем расстояние между наконечником шланга и швом сварного соединения должно быть не более 50 мм. До обдува или одновременно с обдувом противоположную сторону шва смачивают мыльным раствором (0,1 кг нейтрального мыла на 1,0 л питьевой воды по ГОСТ 2874—73). При температуре ниже 0 °С вода заменяется 60 %-ным раствором спирта или незамерзающей жидкостью, растворяющей мыло и не реагирующей с материалом, из которого изготовлено контролируемое изделие. Негерметичность шва сварного соединения определяется по появлению мыльных пузырей на смоченной раствором стороне. После испытания раствор должен быть смыт водой.

Сварные изделия с замкнутым объемом *испытываются химическими индикаторами*. На сварной шов накладывают бумажную ленту, пропитанную 5 %-ным водным раствором азотнокислой ртути по ГОСТ 4521—78 или спирто-водным раствором фенолфталеина. Ширина ленты должна быть на 20 мм больше ширины шва. После укладки и закрепления ленты на шве внутрь испытуемого изделия вводят аммиак в количестве 1 % от общего объема воздуха в изделии при давлении окружающей среды, а затем сжатым воздухом создают требуемое давление. Изделие выдерживают под давлением в течение 3—5 мин, после чего бумажную ленту отгибают и осматривают. Места негерметичности шва сварного соединения устанавливают по черным пятнам на бумажной ленте, которые появляются в результате химической реакции аммиака с азотнокислой ртутью или фенолфталеином. Достоинством данного метода является высокая чувствительность и надежность контроля, а также возможность получения документации о качестве шва.

Испытание воздушным давлением применяется для контроля герметичности швов сварных соединений малогабаритных изделий, при этом изделие герметизируют газопроводными заглушками и погружают в воду таким образом, чтобы над изделием был слой воды 20—40 мм. После погружения в изделие подают сжатый воздух. Величина давления, создаваемого в изделии, и время выдержки изделия под давлением регламентируются соответствующей технической документацией. В изделиях, которые не могут быть полностью погружены в воду, контролируемые швы должны поочередно находиться в воде. Допускается проводить испытания швов сварных соединений воздушным давлением при смачивании швов мыльным раствором. Места негерметичности устанавливаются по появлению пузырьков воздуха в воде или мыльных пузырей на смоченной мыльным раствором поверхности шва. Этот способ контроля широко применяется при массовом производстве однотипных изделий.

Испытание гидравлическим давлением (ГОСТ 22161—76*) проводят с целью определения состояния всей сварной конструкции (различных сосудов и трубопроводов, работающих под давлением). Испытание начинают под давлением, равным рабочему. Если дефекты не обнаружены, давление увеличивают до испытательного, устанавливаемого документацией на проведение испытаний данной конструкции. После этого тщательно осматривают швы. Места с порами, трещинами, непроварами и другими неплотностями пропускают влагу или запотевают и могут привести к разрушению шва или расширению трещины. Дефектные места отмечают краской, после снятия давления и удаления воды их вырезают, а затем заваривают.

Испытания наливом воды проводят при температуре не ниже 5 °С. Перед испытанием швы сварных соединений с наружной стороны обтирают ветошью или обдувают воздухом до получения сухой поверхности. Изделие заполняют водой, имеющей температуру 5—50 °С, и выдерживают в течение нескольких дней. Места негерметичности шва сварного соединения устанавливают по появлению течи.

Испытания соединений на герметичность также можно осуществить с помощью гелиевого или галоидного течеискателей.

При *контроле гелиевым течеискателем* в контролируемую емкость подают под небольшим избыточным давлением смесь воздуха с гелием, а при *контроле галоидным течеискателем* — с галоидным газом (фреон-12, хлороформ, четыреххлористый углерод). Для данного способа контроля герметичности наибольшее распространение получили передвижные гелиевые течеискатели типа ПТИ-4А и ПТИ-6, а также галоидный течеискатель ГТИ-2.

Рентгенографический контроль относится к радиационным методам контроля — наиболее распространенным методам дефектоскопии. Радиационные методы контроля основаны на воздействии рентгеновских или гамма-лучей, прошедших через контролируемое изделие на фотопленку. Степень почернения пленки зависит от интенсивности падающего на нее излучения. По контрастности различных участков пленки можно обнаружить дефект в изделии. Для рентгенографического контроля сварных соединений из пластмасс в качестве источников рентгеновского излучения могут быть использованы только рентгеновские аппараты, которые позволяют получить мягкое рентгеновское излучение (табл. 52) [10].

Выбор рентгеновской пленки зависит от требований, предъявляемых к контролю. В производственных условиях, когда скорость контроля имеет существенное значение, рекомендуется применять пленку РТ-1 или РТ-3 [10]. Для контроля особо ответственных изделий следует использовать высококонтрастную пленку РТ-5, позволяющую выявлять мелкие дефекты.

Качество рентгенографического контроля определяется по результатам обнаружения эталонных дефектов, создаваемых эталонами чувствительности (пенетрометрами), изготавливаемыми из того же материала, что и контролируемое изделие, или из материала, аналогичного ему по радиационным характеристикам.

К преимуществам рентгенографического контроля относятся высокая чувствительность при обнаружении мелких дефектов, объективность получаемых результатов, возможность определения линейных размеров и глубины залегания дефектов. К недостаткам метода относятся низкая производительность контроля, связанная с потерей времени на фотообработку, высокая стоимость, связанная с расходом пленки, и необходимость в обеспечении радиационной защиты.

Повышение производительности рентгенодефектоскопии возможно за счет автоматизации фотообработки пленки, а также за счет применения для регистрации рентгеновского излучения визуального метода контроля и ксерографии [2].

Для контроля сварных соединений из пластмасс наиболее применимыми методами ультразвуковой дефектоскопии являются теневой метод и импульсный эхо-метод [2]. При *теневом методе* от дефекта, встречающегося на пути ультразвуковых волн, падает тень на противоположную сторону изделия. Поэтому интенсивность ультразвуковых волн, дошедших до приемной головки, расположенной по другую сторону от излучающей головки, будет меньше. Необходимость двустороннего доступа к контролируемому изделию ограничивает применение теневого метода. *Импульсный эхо-метод* основан на способности ультразвука отражаться от границы раздела двух сред с различными акустическими сопротивлениями. Отраженная от дефекта ультразвуковая волна регистрируется приемной головкой раньше, чем волна, отраженная от «дна» изделия. При ультразвуковой дефектоскопии важным является вопрос акустической связи искательной головки с изделием. Поскольку через воздух нельзя передавать

52. Основные параметры низковольтных рентгеновских аппаратов [2]

Тип аппарата	Напряжение на аноде, кВ	Тип рентгеновской трубки	Максимальный анодный ток, мА	Размер фокусного пятна, мм	Напряжение питания, В	Потребляемая мощность, кВт	Масса аппарата, кг	Материал контролируемых изделий	Назначение
РУП-60-20-1	10—60	1БПВ1-60	20	3×3	127/220	2,5	280	ПА, ПММА, ПП, ПС, ПЭ	Передвижной, для работы в лабораторных и цеховых условиях
РУП-120-5-1	50—120	0,4БПМ-2-120	5	2×2	220/380	2	55	ПА, ПВХ, ПММА, ПП, ПС, ПЭ, Ф, стеклопластики	Портативный, для работы в цеховых и полевых условиях
РУП-150-10-1	35—150 35—150	0,3БПВ-6-150 1,5БПВ-7-150 с выносным анодом	2 10	∅ 0,3—1,4 ∅ 5	220/380 220/380	2,5 2,5	670 670	То же	Передвижной, для работы в лабораторных и цеховых условиях
РУП-150/300-10-1	35—150 35—150	0,3 БПВ-6-150 1,5 БПВ-7-150 с выносным анодом	2 10	∅ 0,3—1,4 ∅ 5	220/380 220/380	5 5	1000 1000	ПВХ, Ф, стеклопластики	То же
РУП-160-6П	70—250 160 160	2,5 БПМ-4-250 Опытная 0,7 БПК-160	10 6 6	∅ 4 3,5×1,2 2×2	220/380 220 220	10 2,6 2,5	1000 150 150	ПА, ПВХ, ПММА, ПП, стеклопластики	»

ультразвуковые колебания от искателя в контролируемое изделие (коэффициент отражения ультразвуковых волн для воздуха равен 99,9 %), то промежуток между ними заполняют смачиваемой жидкостью — иммерсионной средой (вазелин, машинное масло, глицерин, вода, трансформаторное масло и др.) или изделие погружают в резервуар с жидкостью.

Теневым методом можно контролировать нахлесточные соединения, а стыковые соединения контролируют эхо-импульсным методом сдвиговыми ультразвуковыми колебаниями (ГОСТ 14782—76*).

53. Характеристики ультразвуковых дефектоскопов, применяемых при контроле сварных соединений пластмасс

Тип дефектоскопа	Рабочие частоты, МГц	Напряжение, В	Потребляемая мощность, Вт
ДУК-8	0,16; 0,25; 0,5; 2,0	220	300
ДУК-66	0,62; 1,25; 2,5; 5,0; 10	127, 220	300
ДУК-6В	0,7; 1,5; 2,5; 4,0	220	550
УДМ-3	0,6; 1,8; 2,5; 5	36, 220	180
УЗДС-18	0,5; 1,0; 1,75; 2,5; 4,0	110, 127, 220	240

С помощью ультразвуковой дефектоскопии можно не только обнаружить дефект в изделии, но и определить глубину его залегания, так как импульс от дефекта будет находиться между зондирующим и данным сигналами.

Для ультразвукового контроля соединений пластмассовых изделий рекомендуется использовать дефектоскопы, характеристики которых приведены в табл. 53 [2].

Капиллярные методы дефектоскопии основаны на способности жидкости проникать в поверхностные дефекты изделия и обнаруживать все типы поверхностных трещин, расслоений и течей в сварных соединениях пластмассовых изделий (табл. 54). Для цветной и люминесцентной дефектоскопии можно применять переносные комплекты типа ДМК-3, а для люминесцентной дефектоскопии — стационарные дефектоскопы типа ЛД-2 и ЛД-4, а также механизированные дефектоскопы ЛДА-1 и ЛДА-3 [2].

54. Характеристика дефекта предельно малого размера, выявляемого капиллярным методом [2]

Метод	Раскрытие, мкм	Глубина, мм	Протяженность, мм
Люминесцентный	10	0,03	0,5
Цветной	1	0,01	0,3
Люминесцентно-цветной	1	0,01	0,01

Электростатический метод основан на трибоэлектрическом эффекте — возникновении электростатического поля за счет трения — и позволяет выявить поверхностные дефекты в сварных соединениях пластмасс. Методика проведения контроля подобна методике контроля с использованием жидкости [2]. После проникновения жидкости в дефект изделие высушивают, а затем поверхность опыляют порошком, частицы которого несут электрические заряды. Напыленный порошок в дальнейшем удаляют с поверхности изделия путем стряхивания или сдувания, при этом в области дефекта за счет кулo-

новского притяжения между положительными частицами порошка и отрицательными ионами жидкости образуется его видимое изображение.

Электроискровой метод контроля основан на электроизоляционных свойствах пластмасс, относящихся к материалам с высокими диэлектрическими показателями. Если поместить изделие из пластмассы в пространство между электродами, к которым приложена большая разность потенциалов (15—20 кВ), то в области дефекта в сварном соединении (непровар, трещина, пора и др.) проскакивает искра. Электроискровой метод может быть применен для контроля швов сварных соединений тонких пленок. При синхронном движении электродов вдоль шва через сквозной дефект происходит разряд, что может фиксироваться визуально или с помощью загорающейся сигнальной неоновой лампы. Для контроля могут быть использованы искровые дефектоскопы типа ДЭП (ДЭП-1М, ДЭП-2М) [10].

Электролитный метод также основан на электроизоляционных свойствах полимерных материалов. Изделие с контролируемым соединением погружают в электролит (обычно 3—4 %-ный раствор поваренной соли) или, наоборот, электролит заливают в сварную конструкцию. Один электрод помещают в электролит — другим электродом-щупом проверяют все швы. Наличие дефекта в сварном соединении обнаруживается по отклонению стрелки гальванометра.

Радиотехнические методы контроля основаны на применении радиоволн сверхвысоких частот — 1000 МГц — 100 ГГц. В отличие от ультразвуковых методов контроля при радиодефектоскопии не требуется соприкосновения зондирующего устройства и контролируемого изделия, радиоволны хорошо проникают в диэлектрики. При наличии в изделии дефекта, радиоволны, отражаясь или проходя через него, меняют фазу, амплитуду или характер поляризации радиоволн. В существующих радиодефектоскопах используется как отражение, так и затухание радиоволн. Контроль по методу затухания требует двустороннего доступа к изделию, в то время как контроль методом отражения радиоволн проводят при одностороннем доступе. Уменьшение глубины проникновения радиоволн сверхвысокой частоты в контролируемую среду с укорочением длины волны не позволяет одновременно сочетать контроль больших толщин с выявлением дефектов малых размеров. Радиотехнические методы применимы для контроля сварных швов не имеющих грата. Эти методы позволяют выявить трещины, непровары; особенно хорошо выявляются инородные включения. Для контроля пластмассовых изделий, имеющих ось вращения, могут быть использованы промышленные радиодефектоскопы типа ИМ-1-120 и ИМ-1-143 [2].

Оптические методы дефектоскопии основаны на регистрации светового (видимого) или инфракрасного излучения, отраженного или прошедшего через контролируемое изделие. Оптические методы подобны методам с использованием проникающего излучения, но их чувствительность значительно ниже радиационных методов [2].

Тепловой метод контроля основан на изменении распределения теплового излучения, испускаемого исследуемым изделием, при наличии в нем дефекта. Тепловой метод может быть применен для контроля сварных соединений листовых изделий из пластмасс со снятым гратом. Для проведения теплового метода контроля с одной стороны изделия размещают источник нагрева, а с другой — приемную аппаратуру. Применяемая приемная аппаратура (типа ОГ-1 и ОГ-2) дает возможность представить картину распределения температуры по поверхности изделия в виде изображения на экране электронно-лучевой трубки или на фотобумаге, а также в записи амплитудных

профилей при сканировании по отдельным строкам. Тепловой метод позволяет определить форму, размеры и местоположение больших дефектов типа нарушения сплошности [2].

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

Требуемое качество соединений необходимо обеспечить комплексом мероприятий, проводимых на различных стадиях: до начала изготовления соединения — предупредительный контроль, во время изготовления — технологический контроль и после изготовления — приемочный контроль. Объем работы, выполняемый для обеспечения качества, зависит от требований к надежности соединений [17, 20].

Предупредительный контроль предусматривает контроль соответствия соединяемых изделий и вспомогательных материалов техническим требованиям нормативной документации, контроль размеров соединяемых изделий, качества подготовки соединяемых поверхностей, технического состояния применяемых инструментов и оборудования, квалификации рабочего персонала, а также контроль технологической подготовленности производства.

Соответствие соединяемых изделий и вспомогательных материалов техническим требованиям нормативной документации проверяется внешним осмотром. Поверхность изделий должна быть ровной и гладкой, без трещин, пузырей, раковин, посторонних включений (видимых без применения увеличительных стекол), следов холодных спаев, разложения материала и т. д. Для контроля должны быть представлены сертификаты — документы завода-изготовителя, в которых указаны физико-химические и механические свойства, время изготовления и другие данные. При отсутствии сертификата материал проверяют в заводской лаборатории и берут технологическую пробу на свариваемость. Особое внимание следует уделять контролю клеев (или исходных компонентов), присадочных сварочных материалов, обезжиривающих и травильных растворов. Клеи должны быть снабжены документацией с указанием продукта, массы, номера партии, времени изготовления, завода-изготовителя. По истечении сроков хранения допускается переиспытание клеев на соответствие требованиям технических условий. Хранение и транспортировка соединяемых изделий и вспомогательных материалов должны производиться согласно указаниям нормативной документации.

При контроле размеров проверяются линейные размеры соединяемых изделий, необходимые для обеспечения требуемых размеров сварного (клеевого) шва и установки изделия в сварочном оборудовании.

При контроле качества подготовки заготовок к сварке (склеиванию) устанавливается зазор между торцами заготовок, смещение кромок и проверяется чистота соединяемых поверхностей. Величину зазора контролируют лепестковым щупом по ГОСТ 882—75*, смещение кромок — штангенциркулем по ГОСТ 166—80. При необходимости контроль других линейных и угловых размеров производится с помощью измерительных линеек и циркулей.

Оценка технического состояния применяемых инструментов и оборудования производится по отдельным показателям, характеризующим рабочие параметры и точность их соблюдения, а также безотказность в работе (для установления возможности выполнения на этом оборудовании работ по заданной технологии сварки или склеивания).

При контроле квалификации рабочего персонала необходимо убедиться, что к работе допущены только рабочие, прошедшие специальную подготовку и соответствующую аттестацию.

Технологическая подготовка производства должна обеспечивать наличие полного комплекта технической и технологической документации и технологического оснащения для изготовления данного соединения. На данном этапе проверяется наличие чертежей изделий, технологических карт, технических условий на изготовление, инструкций на оборудование и др. Обращается внимание на соблюдение требуемых условий выполнения работ — освещенность рабочего места, отсутствие атмосферных осадков, обеспечение требуемой температуры окружающей среды и др.

Технологический контроль предусматривает постадийный контроль правильности технологических параметров сварки и склеивания, влияющих на качество соединения. При этом контролируются температура сварки и склеивания, давление при нагреве свариваемых поверхностей и при охлаждении сварного шва, давление при формировании клеевой прослойки, время нагрева и охлаждения при сварке, время отверждения клеевой прослойки и другие параметры, указанные в технологической документации на производство работ по сварке и склеиванию.

Контроль длительности технологических этапов производят секундомерами и реле времени; температуры нагревательных инструментов — электрическими и другими приборами; глубины прогрева изделий в месте соединения — термочувствительной лентой, выпускаемой ВНПОбумпромом по ТУ81-04-08—77 (при нагреве лента, укладываемая на поверхность изделия в месте соединения, изменяет свой цвет, что позволяет наблюдать за перемещением температурного фронта в изделии); осевых усилий — прямыми или косвенными измерениями с помощью динамометров, манометров и других приборов.

Приемочный контроль предусматривает контроль качества швов соединений неразрушающими и разрушающими методами, на основе результатов которых производится отбраковка соединений. С учетом экономического фактора в производственных условиях наиболее целесообразно применение неразрушающих методов контроля, проводимого с учетом требований нормативно-технической документации на изготовление изделий и конструкций. Результаты контроля считают удовлетворительными, если установленные при контроле показатели не выходят за пределы, регламентированные данной нормативно-технической документацией.

Глава 15

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ ШВОВ

В стыковом шве (рис. 87) распределение напряжений по длине шва принимается равномерным; рабочая толщина шва принимается равной толщине стыкуемых элементов (и меньшей, если толщины различны). Расчет прочности сварных соединений из пластмасс производится по тем же формулам сопротивления материалов, что и для металлических сварных соединений. Так, допускаемые усилия P_1 при растяжении и P_2 при сжатии определяются по формулам

$P_1 = [\sigma']_p l_ш \delta$; $P_2 = [\sigma']_{сж} l_ш \delta$, где $l_ш$ — длина шва; δ — толщина стыкуемых элементов; $[\sigma']_p$ и $[\sigma']_{сж}$ — допускаемые напряжения для сварного соединения соответственно при растяжении и сжатии.

Допускаемые напряжения при растяжении устанавливаются в зависимости от свойств пластмасс, точности расчета и качества сварки.

Допускаемое напряжение при растяжении $[\sigma'] = \sigma_p/n$, где σ_p — предел прочности при растяжении, МПа; n — коэффициент запаса прочности.

При изгибе элемента допускаемый момент $M = [\sigma']_p W$, где W — момент сопротивления сечения шва, см³.

Расчет кольцевых швов труб от внутреннего давления производится по формуле $Pr/2\delta \leqslant [\sigma']_p$, где P — внутреннее давление, МПа; r — внутренний радиус, м; δ — толщина стенки, м.

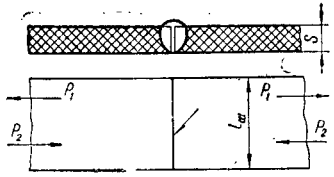


Рис. 87. Стыковое соединение

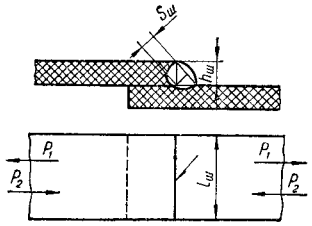


Рис. 88. Нахлесточное соединение

При расчете пластмассовых трубопроводов коэффициент запаса прочности основного материала предлагается для ПВД и ПНД $n = 1{,}6$; для ПВХ $n = 3{,}0$ [11]. Для сварных швов таких рекомендаций пока не имеется. Учитывая разброс данных исследований прочностных характеристик пластмасс и особенности технологии сварки, коэффициент запаса прочности должен определяться экспериментальным путем для каждого конкретного случая. При этом необходимо учитывать особенности условий эксплуатации (характер нагрузки, климатические условия и т. д.).

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ УГЛОВЫХ ШВОВ

При расчете сварных угловых швов усиление шва не учитывают и считают, что в поперечном разрезе угловой шов имеет форму прямоугольного равнобедренного треугольника (рис. 88). Минимальное сечение этого треугольника, т. е. рабочее сечение, по которому будет происходить разрушение шва, совпадает с биссектрисой прямого угла шва и может быть выражено следующим образом: $S_ш = h_ш \times \cos 45° \approx 0{,}7 h_ш$, где $h_ш$ — высота катета шва. Распределение напряжений по длине шва принимается равномерным.

Допускаемые усилия при растяжении P_1 и при сжатии P_2 для сварного соединения, выполненного угловыми швами, определяется по формуле $P_1 = P_2 = 0{,}7 [\tau']_{ср} h_ш \sum l_ш$, где $[\tau']_{ср}$ — допускаемое напряжение на срез для шва, МПа; $\sum l_ш$ — суммарная длина угловых швов, м.

Расчетная длина флангового и лобового шва должна быть не менее $4h_ш$. Расчетная длина флангового шва должна быть не больше

55. Факторы, влияющие на значение коэффициента сохранения свойств

Способ сварки	Факторы, влияющие на прочность сварного соединения	Свариваемый материал	K, %
Нагретым инструментом	Толщина свариваемых материалов, температура нагретого инструмента, время нагрева, технологическая пауза, усилие осадки, скорость охлаждения, чистота свариваемых торцов, квалификация сварщика	ПВД ПНД ПП ПВХ ПС ПК	90—100 90—100 90—100 85—100 80—100 70—80
Экструдируемой присадкой	Форма разделки кромок, толщина свариваемых материалов, скорость сварки, температура присадочного материала, температура свариваемых материалов, скорость охлаждения, квалификация сварщика	ПВД ПНД ПП	90—100 90—100 90—100
Электросопротивлением	Диаметр нагреваемой проволоки, число витков спирали, тщательность подбора труб и муфт с минимальным зазором между ними	ПВД ПНД ПП	80—90 80—90 70—90
Газовым теплоносителем с присадочным прутком	Толщина соединяемых материалов, форма соединения, число слоев шва, температура сварки, давление на присадочный материал, скорость сварки, качество присадочного материала, квалификация сварщика	ПВХ ПВД ПНД ПП ПММА Пенопласт	50—90 50—90 50—90 50—90 50—70 50—90
Инфракрасным излучением	Толщина свариваемых материалов, плотность излучения, спектральная плотность лучистого потока, энергетическая оснащенность, время нагрева, время остывания свариваемых материалов под давлением	ПВД ПНД ПВХ	80—100 80—100 80—90
Трением	Размер сечения свариваемых материалов, относительная линейная скорость трущихся поверхностей, время нагрева, шероховатость свариваемой поверхности материала, осевое усилие при нагреве, осевое усилие при осадке, время остывания свариваемых материалов под давлением	ПВД ПНД ПВХ ПП	90—100 80—100 80—100 80—100

Способ сварки	Факторы, влияющие на прочность сварного соединения	Свариваемый материал	K, %
Токами высокой частоты	Толщина свариваемых материалов, напряженность электрического поля, частота электрического поля, время нагрева в электрическом поле, время сварки, время остывания свариваемых материалов под давлением	ПВХ	60—100
Ультразвуковая	Толщина свариваемых материалов, амплитуда колебания рабочего торца инструмента-волновода, частота колебаний, время сварки, время остывания свариваемых материалов под давлением, подготовка соединяемых поверхностей к сварке	ПА ПК ПП ПЭТФ	70 80 75 70
Химическая	Содержание в свариваемом материале высокоактивных функциональных групп достаточной концентрации, температура нагрева, сварочное давление в процессе отверждения, чистота свариваемых поверхностей	Стеклопластик	80—100

$60h_ш$. Если усилие, воспринимаемое фланговым швом, возникает на всем его протяжении, длина флангового шва не ограничивается. В соединениях внахлестку поверхности свариваемых элементов должны перекрывать друг друга на участке, длина которого должна быть не менее пяти толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Механические свойства сварных соединений пластмасс зависят от прочности материала шва; прочности основного материала соединяемых элементов; формы и вида соединения и связанной с этим концентрации напряжений; применяемого способа сварки. В зависимости от этого прочность сварного соединения может быть ниже, равной или выше прочности основного материала. Прочность шва сварного соединения согласно ГОСТ 16971 — 71 характеризуется коэффициентом сохранения свойств $K = \sigma_р'/\sigma_р$, %, где $\sigma_р'$ и $\sigma_р$ — пределы прочности при растяжении соответственно шва сварного соединения и основного материала.

Необходимо стремиться, чтобы значение коэффициента K приближалось к 100 %, так как в конечном итоге прочность несущих сварных соединений определяет прочность и работоспособность всей сварной конструкции. В литературе этот коэффициент называют также коэффициентом прочности сварного соединения.

В случае неравнопрочности сварного соединения требуемая несущая способность может быть обеспечена только за счет увеличения площади сечения шва, а, следовательно, и сечения свариваемых элементов, что в свою очередь увеличивает расход материала на конструкцию и ее вес. Увеличение расхода материала повышает стоимость конструкции, а площади поперечного сечения соединения — трудоемкость сварочных работ. Увеличение массы сварной конструкции повышает транспортные расходы и стоимость монтажных работ.

Таким образом, коэффициент K является важным технико-экономическим показателем сварного соединения.

В табл. 55 приведены значения коэффициента K для сварных соединений, выполненных различными способами сварки, а также указаны основные технологические факторы, влияющие на значение коэффициента [10, 26, 36].

Глава 16

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

В процессе производства работ по сварке и склеиванию пластмасс необходимо соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные СНиП III-4—80 «Техника безопасности в строительстве», ГОСТ 12.1.004—76* «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования», ГОСТ 12.3.003—75 «ССБТ. Работы электросварочные. Общие требования безопасности», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» утвержденных Госэнергонадзором, а также специальными инструкциями по эксплуатации сварочного оборудования и инструмента.

К работам по сварке и склеиванию пластмасс допускаются лица не моложе 18 лет, предварительно прошедшие медицинское освидетельствование, специальное обучение, вводный инструктаж по технике безопасности, мерах пожарной безопасности и инструктаж непосредственно на рабочем месте, а также сдавшие экзамен специальной комиссии.

Работы по сварке и склеиванию пластмасс следует производить на открытом воздухе или в предназначенных для этого помещениях, которые должны соответствовать санитарным и противопожарным нормам строительного проектирования промышленных предприятий. Освещенность рабочего места должна составлять не менее 20—30 лк.

Сварочные работы в помещениях, где опасность возникновения пожара не может быть устранена, выполняют только при наличии письменного разрешения руководителя предприятия, в обязательном присутствии пожарного надзора.

При сварке пластмасс выделяются вредные газы и пары (табл. 56 и табл. 57). При сварке пластифицированного поливинилхлорида и при использовании сварочных прутков из поливинилхлорида с добавкой пластификатора при сварке дополнительно выделяются пары пластификатора.

Концентрация вредных паров, газов и пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должна превышать предельно допустимую, установленную требованиями ГОСТ 12.1.005—76 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования» (см. табл. 56). В производственном помещении предусматривают систематический контроль за содержанием в воздухе рабочей зоны

56. Вредные вещества, выделяемые при переработке основных видов пластмасс и их предельно допустимые концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны (по ГОСТ 12.3.030—83)

Свариваемые полимеры	Вредные вещества	ПДК, мг/м³	Класс опасности
ПА	Капролактам (аэрозоль)	10,0	3
	Капрон (аэрозоль)	5,0	3
	Аммиак	20,0	4
	Гексаметилендиамин	0,1	1
	Окись углерода	20,0	4
ПАР	Нитрил акриловой кислоты*	0,5	2
	Бутиловый эфир акриловой кислоты	10,0	3
	Метиловый эфир метакриловой кислоты (метилметакрилат)	10,0	3
	Метиловый эфир акриловой кислоты	20,0	4
	Окись углерода	20,0	4
	Полимер метилметакрилата (М-90) (аэрозоль)	10,0	4
	Цианистый водород*	0,3	2
ПВХ	Дибутиловый эфир о-фталевой кислоты (дибутилфталат)	0,5—1,0	2
	Диметиловый эфир фталевой кислоты (диметилфталат)	0,3	2
	Ди (2-этилгексил) фталат	1,0	2
	Хлористый водород	5,0	2
	Хлористый винил	0,1	2
	Окись углерода	20,0	4
	Поливинилхлорид (аэрозоль)	6,0	3
ПВА, ПВС	Ацетальдегид	5,0	3
	Винилацетат	10,0	3
	Окись углерода	20,0	4
	Уксусная кислота	5,0	3
	Формальдегид	0,5	2
ПЭ	Формальдегид	0,5	2
	Окись углерода	20,0	4
	Ацетальдегид	5,0	3
	Уксусная кислота	5,0	3
	Полиэтилен низкого давления (аэрозоль)	10,0	3
ПП	Формальдегид	0,5	2
	Полипропилен (нестабилизированный) (аэрозоль)	10,0	3
	Окись углерода	20,0	4
УПС	Стирол	5,0	3
	Дивинил — (1,3-бутадиен)	100,0	4
САН	Стирол	5,0	3
	α-метилстирол	5,0	3
	Нитрил акриловой кислоты+	0,5	2
	Метиловый эфир метакриловой кислоты (метилметакрилат)	10,0	3
	Дивинил — (1,3-бутадиен)	100,0	4
	Сополимер стирола с α-метилстиролом (аэрозоль)	5,0	3

Продолжение табл. 56

Свариваемые полимеры	Вредные вещества	ПДК, мг/м³	Класс опасности
ПТП	Фосген	0,5	2
	Формальдегид	0,5	2
	Окись углерода	20,0	4
	Хлористый водород	5,0	2
ПЭТФ	Ацетальдегид	5,0	3
	Окись углерода	20,0	4
	Терефталевая кислота	0,1	1
	Уксусная кислота	5,0	3
	Диметилтерефталат	0,1	1
ПК	Ацетальдегид	5,0	3
	Спирт метиловый+	5,0	3
	Окись углерода	20,0	4
	Формальдегид	0,5	2
Ф	Фтористый водород	0,05	1
	Окись углерода	20,0	4
	Фторопласт-4 (аэрозоль)	10,0	3
	Перфторизобутилен	0,1	1

Примечания: 1. Состав выделяющихся веществ может меняться в зависимости от рецептуры пластических масс и композиций.
2. Знак «+» означает, что вещество проникает через неповрежденную кожу.

57. Показатели пожароопасности и взрывоопасности паров и газов, выделяющихся при сварке, и растворителей, используемых для очистки поверхностей

Вещество	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Область воспламенения, объемная доля, %		Температурные пределы воспламенения, °С	
			минимальная	максимальная	нижний	верхний
Окись углерода	—	610	12,5	74,0	—	—
Формальдегид	—	430	7,0	73,0	—	—
Дивинил	—	420	2,0	11,5	—	—
Хлористый водород	Не пожароопасен					
Толуол	4	536	1,3	6,7	0	30
Стирол	30	530	1,1	5,2	26	59
Фосген	Не пожароопасен					
Уайт-спирит	33	227	—	—	33	68
Ацетон	—18	465	2,2	13,0	—20	6
Спирт этиловый	13	365	3,6	19,0	11	41

токсичных и взрывоопасных газов и паров, производимый с помощью газоанализаторов по ГОСТ 6329—74* Е «Газоанализаторы химические стеклянные переносные ручного действия» и других приборов для определения состава газообразных сред.

При сварке в закрытых помещениях рабочие места сварщиков оборудуют местными отсосами для удаления выделяющихся вредных газов, паров и пыли или применяют сварочное оборудование со встроенными отсосами.

Каждое рабочее место для сварки и склеивания пластмассовых заготовок и изделий должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с обменом воздуха не менее 1500—2000 м³/ч. Особая осторожность необходима при сварке внутри резервуара и в небольших закрытых помещениях. К месту сварки в резервуаре надо вентилятором подавать свежий воздух и отсасывать выделяющиеся газы.

При нарушении требований безопасности и длительном воздействии на организм человека газов и паров, выделяющихся при сварке и склеивании, а также работе с растворителями, возможно нарушение обмена кислорода, поражение центральной нервной системы, раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей.

Напряжение тока переносных электрофицированных инструментов при работе в помещении с повышенной опасностью, а также вне помещений должно быть не выше 36 В. В помещениях без повышенной опасности допускается напряжение 127 и 220 В с обязательным применением диэлектрических перчаток, галош и ковриков.

Технологическое, электрическое, монтажное оборудование и электроинструменты, работающие при напряжении свыше 36 В, должны быть надежно заземлены в соответствии с требованиями «Инструкции по устройству сетей заземления и зануления в электроустановках» СН 102—76. Изоляция электропроводов должна быть исправной и регулярно проверяться.

При работе электрических инструментов на пониженном напряжении его получают от понижающих трансформаторов или от сети пониженного напряжения, питаемого, в свою очередь, от стационарных трансформаторов. Применение для получения пониженного напряжения автотрансформаторов, дроссельных катушек и реостатов запрещается.

Для предохранения от ожогов теплоносителем и нагретыми частями сварочных инструментов и оборудования сварщик должен иметь специальную одежду (комбинезон из трудновоспламеняющегося материала, перчатки, берет). При сварке потолочных швов необходимо пользоваться защитными очками.

Рукоятки нагревающихся сварочных инструментов должны быть выполнены из теплоизоляционного материала и не должны нагреваться выше температуры 40 °С. Сварочный инструмент должен иметь специальные подставки и футляры с защитными асбестовыми покрытиями.

В случае ожога необходимо место ожога промыть слабым (около 0,2 %) раствором марганцевокислого калия, закрыть стерильным индивидуальным пакетом и отправить пострадавшего в медпункт. При тяжелой форме ожога необходимо вызвать скорую медицинскую помощь.

Рядом с местами складирования заготовок и изделий из пластмасс запрещается разводить огонь, производить электро- и газосварочные работы и хранить легковоспламеняющиеся вещества. Места складирования должны оборудоваться средствами пожаротушения.

РАБОТА С РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Нарушение правил работы с растворителями, применяемыми для очистки соединяемых поверхностей и при сварке растворителями, может привести к поражению организма работающих, пожару и взрыву.

Работы с растворителями проводят в местах, снабженных местной вытяжной вентиляцией. Концентрация паров растворителя в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должна превышать предельно допустимую по санитарным нормам, утвержденным Минздравом СССР, и составляющую 300 мл/м^3 для уайт-спирита, 1000 для этилового спирта, 200 для ацетона, 100 для бензина, 10 мг/м^3 для дихлорэтана и трихлорэтилена. Показатели пожароопасности и взрывоопасности основных растворителей приведены в табл. 57. Во избежание пожаров и взрывов запрещается курение и разведение открытого огня на рабочих местах и в местах хранения растворителей.

Растворители должны находиться в металлической таре емкостью не более 200 см^3 с герметической пробкой. Следует избегать разбрызгивания растворителей, смоченную ими ветошь после использования немедленно удалять из помещения.

При работе с растворителями кожный покров рук защищают резиновыми перчатками.

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

При сварке нагретым газом с использованием газовых и электрических нагревателей, редукторов и баллонов необходимо строгое соблюдение «Правил техники безопасности и гигиены труда при сварочных работах и термической резке металлов в строительстве» РД 36 УССР 3—81, а также правил техники безопасности труда при работе со сжатым воздухом и другими газами (азот, аргон и т. д.).

Следует помнить, что горючие газы в смеси с воздухом образуют взрывчатые смеси. При работе со сжиженными газами (пропанбутановой смесью) необходимо иметь в виду, что они тяжелее воздуха и при утечке, скапливаясь в приямках, подвалах и углублениях, создают очаг взрыва. Смеси сжиженных газов с воздухом взрывоопасны при содержании в воздухе 1,5—9,5 % горючего газа.

При использовании в качестве теплоносителя азота или аргона указанные газы ухудшают состав воздуха (снижают процентное содержание кислорода), вдыхаемого сварщиками.

Отбор горючего газа не должен превышать 1,2 м^3/ч из каждого баллона. При этом баллоны должны эксплуатироваться в строгом соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденными Госгортехнадзором СССР. Перевозят, хранят, выдают и получают баллоны лица, сдавшие экзамен техминимума по обращению с баллонами для горючих газов. На постоянных местах работы баллоны с горючим газом хранят в закрытых шкафах с отверстиями для естественной вентиляции. Баллоны перевозят на тележках или переносят на носилках.

Теплоноситель, подаваемый к нагревателю или сварочному полуавтомату, создает внутри трубопроводов (шлангов, нагревателя, полуавтомата) избыточное давление. Для систем, работающих под давлением 200 кПа и более, должны соблюдаться «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов», утвержденные Госгортехнадзором СССР.

При сварке нагретым инструментом с использованием антиадгезионного покрытия из фторопласта, предотвращающего налипание оплавленного материала на рабочие поверхности сварочных электронагревательных инструментов, необходимо следить за тем, чтобы температура инструмента не превышала 250 °С, так как при более высоких температурах фторопласт начинает разлагаться, выделяя токсичные газы.

Признаки острого отравления продуктами разложения фторопласта появляются сразу же после вдыхания или спустя 15—20 мин: слабость, головная боль, головокружение, чувство стеснения в груди, кашель, иногда рвота, резь в глазах, выделение слизи из носа, бледность или синеватая окраска кожных покровов лица, может повыситься температура. Это состояние может быстро пройти, но спустя несколько часов возобновиться в более резкой форме. При первичных признаках отравления продуктами термического разложения фторопласта следует немедленно прекратить работу и покинуть опасную зону, а затем сообщить о случившемся ответственному лицу. Пострадавшего необходимо вывести из помещения на свежий воздух, расстегнуть одежду, чтобы облегчить дыхание, уложить, вызвать скорую помощь и до приезда врача непрерывно давать вдыхать кислород, а при необходимости произвести искусственное дыхание.

При сварке расплавом запрещается направлять ствол экструдера (сварочного устройства) в сторону людей, заглядывать в канал сопла (нагревательной трубки), так как при нарушении теплового режима экструдера возможен выброс расплавленной массы. Запрещается проталкивать гранулы в бункер экструдера какими-либо предметом или руками.

При эксплуатации установок для сварки трением необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности, изложенных в ГОСТ 12.01.2—78* «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности». В процессе сварочных работ не допускается возникновение резонансного режима возбуждения сварочной установки в целом и отдельных ее узлов на рабочей частоте узла сварки, что связано с отрицательным воздействием низкочастотных вибраций на организм человека, а также разрушительным их воздействием на оборудование, фундаменты, сооружения, здания. Предупреждение возникновения низкочастотных вибраций достигается изменением параметров вибраций системы (жесткость, масса и др.), вибродемпфированием, применением элементов динамического гашения колебаний. В процессе непосредственной эксплуатации это достигается изменением рабочего режима (скорости вращения или возвратно-поступательного движения элементов узла сварки).

Должны быть предусмотрены средства индивидуальной защиты (перчатки, рукавицы, виброобувь и др.).

К проведению ультразвуковой сварки допускаются лица, квалификация которых не ниже IV квалификационной группы по технике безопасности, знакомые со схемой и описанием установки, а также требованиями по технике безопасности, изложенными в ГОСТ 12.1.001—83. «ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности».

При эксплуатации ультразвуковых установок, имеющих пневмопривод, допускается использование только сжатого воздуха или инертных газов (предпочтительно азот). Эксплуатация баллонов со сжатым газом и компрессоров должна производиться с учетом требований соответственно «Правил устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением» и «Правил устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов», утвержденных Госгортехнадзором СССР.

При эксплуатации ультразвуковых сварочных установок запрещается работа при открытых дверцах кожуха установки, касание руками колеблющегося волновода, замена акустического устройства без выключения установки и отключения от сети сжатого воздуха, включение генератора без акустического устройства.

Проводить высокочастотную сварку должны лица, квалификация которых не ниже IV квалификационной группы по технике безопасности, знакомые со схемой, конструкцией и описанием установки, а также требованиями по технике безопасности, изложенными в ГОСТ 12.1.006—76* «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности».

Перед включением установки в электрическую сеть необходимо проверить состояние пружинных контактов на дверцах и корпусе, которые должны обеспечивать надежное соприкасание плоскостей по всему периметру, прилегание всех обшивочных листов установки.

При эксплуатации высокочастотных сварочных установок запрещается: производить сварку при снятых боковых крышках генератора; снимать фильтры для чистки при включенной установке; открывать дверцу генератора, не отключая напряжение, а также производить под напряжением замену ламп, предохранителей и пр.; касаться руками токоведущих частей и концевиков пресса; производить ремонт установки лицам, не прошедшим инструктаж и не использующим средства защиты (резиновые боты, инструмент с диэлектрическими ручками, электрические коврики, диэлектрические перчатки).

Высокочастотные установки следует содержать в чистоте, не допуская появления на них пыли и влаги.

Необходимо регулярно, не реже двух раз в неделю осматривать и чистить высоковольтные контакты и электроды установок; не реже одного раза в неделю продувать установку сухим сжатым воздухом.

При сварке излучением должны быть обеспечены средства для защиты лица и глаз щитками или очками с защитными стеклянными светофильтрами.

При эксплуатации баллонов со сжатым газом, который используется в проточных излучателях газовых лазеров, работы должны выполняться в строгом соответствии с «Правилами устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденными Госгортехнадзором СССР.

СКЛЕИВАНИЕ

Рабочих необходимо снабжать спецодеждой (куртки, брюки), спецобувью на кожаной приклеенной или пришитой подошве, средствами защиты органов дыхания изолирующего типа (респиратор и т. п.), головным убором и очками. Руки необходимо защищать резиновыми перчатками, смазывать их предохранительными пастами (типа ПМ-1, ХИОТ) или мазями типа «биологические перчатки».

Каждый рабочий должен знать технологию применения клеев и растворителей, специальные инструкции по технике безопасности, способы тушения пожаров и предотвращения взрывов, правила личной гигиены, способы оказания первой помощи пострадавшим. Повторный инструктаж по технике безопасности следует проводить не реже одного раза в месяц. К работе с клеем ГИПК-127 допускаются только лица мужского пола.

Работающих с клеями необходимо подвергать ежемесячному медицинскому освидетельствованию и при обнаружении кожных заболеваний временно или постоянно (по заключению врача) переводить на другую работу, не связанную с синтетическими клеями.

Компоненты клеев следует взвешивать и смешивать в вытяжных шкафах, а для больших количеств клея — в смесителях, оборудованных местной вентиляцией.

Клеевые вещества и растворители должны храниться в сосудах с герметически закрывающимися крышками и пробками в специально отведенных прохладных вентилируемых местах. Чтобы избежать излишнего выделения в атмосферу паров клеящихся веществ, крышки сосудов с клеями надо своевременно закрывать, кисти хранить в закрытых коробках.

Склеенные изделия следует сушить в специальных вентилируемых помещениях или вытяжных шкафах.

Курить и применять электронагревательные приборы в помещениях, где находятся банки с клеями и растворителями и где производят склеивание, категорически запрещается, так как это может привести к взрыву паров растворителя.

Закончив работу, работающий должен растворителями и теплой водой с мылом смыть клей с рук и перчаток, после чего принять горячий душ.

Особые требования безопасности необходимо соблюдать при работе с клеем марки ГИПК-127. Храниться клей должен в помещениях, предназначенных для хранения огнеопасных грузов. Оставлять банки с клеем, а также освобожденную из-под клея тару вне помещений для хранения категорически запрещается. При погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке клея должны соблюдаться правила, распространяющиеся на работы с огнеопасными грузами. Подогревать клей и его растворители запрещается. Для исключения искрообразования вскрытие тары с клеем и растворителем должно производиться пластмассовыми, резиновыми или деревянными шпателями. При работе надлежит пользоваться минимальным количеством клея и растворителя, необходимым для выполнения разового задания и не превышающим сменной потребности. Пролитый клей необходимо засыпать песком и убрать в специально отведенное место. Уборку клея следует производить совком, изготовленным из материала, не вызывающего искрения. Перед входом в помещения и на участках, где производят работы с клеем ГИПК-127, должны быть вывешены плакаты: «Не курить», «Огнеопасно», «Взрывоопасно», а также инструкции о мерах пожарной безопасности. В процессе работы дверные проемы, ведущие в смежные помещения, должны быть закрыты.

На период клеевых работ помещение должно быть оснащено средствами пожаротушения (два пенных огнетушителя на каждые 100 м² площади помещения, войлок или асбестовое полотно, ящик с песком и лопатой или две песочницы).

Вентиляционные установки и приводящие их в действие электромоторы должны быть во взрывозащищенном исполнении и заземлены. Помещения, не имеющие принудительной вентиляции, должны быть оборудованы временными мобильными центробежными вентиляционными установками, работающими на вытяжку, обеспечивающим и семикратный воздухообмен в час. В случае выхода из строя вентиляционной установки работы следует немедленно прекратить, открыть окна и двери, выходящие на улицу, прикрыть очаги испарения, удалить работающих из помещения.

1. Свойства основных марок полиамидов, хлорсодержащих пластиков и полиолефинов [9]

Материал	Механические свойства									Теплофизические свойства		Электрические свойства	
	Плотность, г/см³	Показатель текучести расплава, г/10 мин	Предел прочности, МПа			Модуль упругости, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Удельная ударная вязкость по Шарпи (без надреза), кДж/м²	Твердость по Бринеллю, МПа	Температура плавления, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	Абсолютная диэлектрическая проницаемость ε, пФ/м, при частоте 10⁶ Гц	Тангенс угла диэлектрических потерь tg δ при частоте 10⁶ Гц
			при растяжении	при сжатии	при статическом изгибе								
Поли-ε-капролактам: капрон	1,13	—	65	85—100	90	—	80—150	100—120	140—150	210—218	0,210	32—35	0,03
капрон В	1,15—1,16	—	70—90	100—110	120—150	—	10—30	150—160	—	220—226	0,228	30—36	0,022—0,032
Полигексаметиленадипиамид (полиамид П-66), ОСТ 6-06-С23—79	1,14	3,5—6	80	—	100	—	15—40	90—100	60—100	225—265	0,205	32—35	0,02
Полигексаметилсебацинамид (полиамид П-610), ГОСТ 10589—73*	1,09—1,11	4—7 (при +235 °С и давлении 2,16 кг/см²)	50—60	70—90	80—90	1500—1700	100	100	100—150	215—221	0,180—0,200	35—44	0,06
Сополимер гексаметилендиаммонийадипината 50 % с ε-капролактамом 50 % (полиамид П-54)	1,12	—	45—50	—	28—30	—	300—350	—	45—50	168—175	—	—	—
Сополимер гексаметилендиаммонийадипината 93 % и ε-капролактама 7 % (полиамид П-АК-93/7), ГОСТ 19459—74*	1,14	—	60—70	100—120	100—120	—	80—100	100—130	150—180	240—243	0,200—0,218	41	0,033
Поливинилхлорид непластифицированный (винипласт листовой), ГОСТ 9639—71*	1,38	—	45—70	60—90	70—120	—	10—15	Не разрушается	130—160	—	0,113—0,128	—	—
Поливинилхлорид пластифицированный (пластикат листовой)	1,18—1,30	—	10—15	6—10	4—20	—	160—200	—	—	—	0,111—0,120	27—30	0,025
Полн-3,3-бис (хлорметил)- оксациклобутан (пентапласт)	1,14	—	40—55	80—85	60—85	—	15—40	140	80—110	185	0,100	28	0,011
Полиэтилен высокого давления (ПВД), ГОСТ 16337—77*Е	0,918—0,93	0,16—23	10—17	—	12—17	90—215	500—600	Не разрушается	14—25	108—115	0,216	20—21	0,0002—0,0003
Полиэтилен низкого давления (ПНД), ГОСТ 16338—77	0,949—0,955	0,1—16	20—35	—	20—35	650—850	300—800	То же	45—58	125—132	0,308	21	0,0002—0,0005
Сополимер этилена с пропиленом (СЭП)	0,93—0,945	0,3—4,0	22—30	—	—	200—330	600—900	»	—	120—125	0,197	20—21	0,0002—0,0004
Полипропилен (ПП)	0,90—0,91	0,2—25	25—40	—	—	—	200—800	»	60—65	160—170	—	20	0,0002—0,0005

2. Свойства основных промышленных марок фторлонов, стирольных пластиков, поликарбоната и некоторых марок листового неориентированного полиметилметакрилата [9]

Материал	Механические свойства								Теплофизические свойства			Электрические свойства	
	Плотность, г/см³	Показатель текучести расплава, г/10 мин	Предел прочности, МПа		Модуль упругости, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость по Шарпи (без надреза), кДж/м²	Твердость по Бринеллю, МПа	Температура плавления кристаллитов, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м × × К)	Коэффициент линейного теплового расширения, °С⁻¹ · 10⁻⁵	Абсолютная диэлектрическая проницаемость, пФ/м, при частоте 10⁶ Гц	Тангенс угла диэлектрических потерь tg δ при частоте 10⁶ Гц
			при растяжении	при статическом изгибе									
Фторлон-2М	1,75—1,8	1—8 (при 220 °С и нагрузке 100 Н)	40—55	55—85	—	300—450	250—300	70—90	160—165	0,256	—	80—86	0,02*
Фторлон-30	1,67	—	40—50	42—50	—	250—400	—	60—80	215—235	—	4,7—7,6	22—23	0,015
Фторопласт-3, ГОСТ 13744—76*	2,09—2,16	—	25—35	35—60	1160—1450	140—180	19,6—156	100—127	210—215	0,170	6—12	20—24	0,01
Фторлон-40	1,65—1,7	0,1—15 (при 300 °С и нагрузке 100 Н)	27—50	33—34	—	150—400	125	58—63	260—275	—	6—9	23	0,006—0,007
Фторопласт-42	1,9—1,93	—	35—42	25—33	—	380—470	140—200**	40—50	155—160	—	9—16	86—98	0,02*
Фторопласт-4, ГОСТ 10007—80Е	2,19—2,2	—	14—25	11—14	470—830	350	100**	30—40	327	0,250	12—22	18—19	0,00025
Фторопласт-4М, ТУ 6-05-393—80	0,7—0,9	4—12	25	20—30	—	50	125**	30—50	270—290	0,190	9	17—20	0,0006—0,001
Полистирол блочный, ГОСТ 20282—74*	1,05—1,08	2—8 (при 200 °С и нагрузке 50Н)	40—42	100	2700	1,5—3,0	20—22	140—150	—	0,07—0,103	6—7	23	0,0003—0,0004
Ударопрочный полистирол, ОСТ 6-05-406—80	1,04—1,06	8,0—3,6	20—25	35—60	2000—2500	25—40	35	120—150	—	—	—	23—24	0,0003—0,0008
Сополимер стирола с акрилонитрилом (СН-20, СН-25)	1,04	0,4—2 (при 200 °С и нагрузке 50 Н)	50—70	100—115	—	2	20—23	160—170	—	—	9,5	25	0,007—0,009
Сополимер стирола с α-метилстиролом (САМ, САМП)	1,06—1,07	0,5—3 (при 220 °С и нагрузке 50 Н)	26,5	100	—	1,2	20—23	160—170	—	—	6—8	23	0,0004
Поликарбонат на основе дифенилпропана (дифлон)	1,2	—	60—70	90—100	—	50—100	120—140**	100—110	220	0,145	6	27—30	0,007—0,008
Полиметилметакрилат пластифицированный (СОЛ), ГОСТ 15809—70*Е	1,206	—	71	99	—	3,6	13	215	155***	0,135	7	29—31	0,01—0,03

* При частоте 10⁶ Гц.
** Образцы прогибаются без разрушения.
*** Температура текучести.

3. Нормативные документы, регламентирующие вопросы сварки и склеивания пластмасс

1. Временная инструкция по изготовлению и монтажу трубопроводов и бальнеотехнического оборудования из пластмасс.— М.: Бальнеотехн. экспедиция ЦНИИКФТ, 1972.

2. ВСН 01—80: Инструкция по креплению скважин пластмассовыми трубами при бурении на воду.— К.: Минсельстрой УССР, 1980.

3. ВСН 9—81: Рекомендации по сварке полиэтиленовой транспортерной ленты для сбора яиц.— К.: ЭПКТБ «Стройпластик», 1981.

4. ВСН 440—83: Инструкция по монтажу технологических трубопроводов из пластмассовых труб.— М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1983.

5. ВУ34-48-ЭПП-01—78: Временные указания по монтажу трубопроводов из полиэтилена высокой плотности диаметром 225—630 мм. — М.: СКТБ «Энергопромполимер». Информэнерго, 1979.

6. Инструкция по изготовлению газоходов из полипропилена, № 28—27.— М.: НИИхиммаш, 1977.

7. Инструкция по контролю качества соединений труб из полиэтилена при сборке опытных трубопроводов.— М.: НПО «Пластик», 1981.

8. Инструкция по монтажу поливинилхлоридных и полиэтиленовых труб для электропроводки, применяемой в сельском строительстве.— М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1982.

9. Инструкция по расчету, изготовлению, монтажу и эксплуатации воздуховодов из полиэтиленовой пленки.— М.: Минсельстрой СССР, 1975.

10. Инструкция по сварке полипропилена присадочным прутком, № 24—74.— М.: НИИхиммаш, 1974.

11. Инструкция по сварке полиэтиленовых покрытий строительных конструкций ручным экструзионным устройством РЭСУ-500А.— Донецк: Донецкий Промстройниипроект, 1981.

12. Инструкция по сварке полиэтиленовых труб с применением соединительных деталей с закладными нагревательными элементами.— К.: ВНИИмонтажспецстрой. Киев. фил., 1974.

13. Инструкция по устройству из полиэтиленовой пленки противофильтрационных экранов очистных сооружений.— М.: ВНИИК, 1973.

14. Инструкция по эксплуатации полуавтоматической экструзионной установки для сварки термопластов ПЭСУ-2000.— Донецк: Донецкий Промстройниипроект, 1977.

15. Методические указания по изготовлению и монтажу полиэтиленовых воздуховодов.— Минск: ВНИИТИМЖ, 1978.

16. ОСТ 6-05-430—77: Сварка газовая прутковая полиолефинов, поливинилхлорида и пентапласта. Типовой технологический процесс.— М.: НПО «Пластик», 1977.

17. ОСТ 6-19-505—79: Сварка контактная встык труб из полиэтилена. Типовой технологический процесс.— М.: НПО «Пластик», 1979.

18. ОСТ 36-55—81: Детали сварные и формованные из полиэтиленовых и полипропиленовых труб для напорных трубопроводов. Типы и размеры.— М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1982.

19. ОСТ 36-56—81: Детали сварные и формованные из полиэтиленовых и полипропиленовых труб для напорных трубопроводов. Технические требования.— М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1982.

20. ОСТ 102-47—78: Сварка контактная тепловая армированных пленок. Швы сварных соединений. Основные типы и конструктивные элементы.— М.: ВНИИСТ, 1979.

21. ОСТ 102-52—80: Сварка пластмасс контактная тепловая. Термины и определения.— М.: ВНИИСТ, 1980.

22. ОСТ 102-63—81: Соединения сварные и швы пластмассовых трубопроводов. Контактная тепловая сварка. Основные типы и конструктивные элементы.— М.: ВНИИСТ, 1981.

23. Отраслевые нормативы времени на работы по свариванию деталей токами высокой частоты на предприятиях кожгалантерейной промышленности.— М.: ЦНИИТЭИлегпром: Центрнотлегпром, 1979.

24. Производственная инструкция по обработке и сварке труб из пластмасс, № 36—72.— Магнитогорск: Востокметаллургмонтаж, 1973.

25. Р 300—77: Руководство по проектированию и строительству нефтегазопромысловых трубопроводов и примыкающих участков из пластмассовых труб.— М.: ВНИИСТ, 1978.

26. Р 330—78: Руководство по технологии контактной сварки полимерных пленок проплавлением.— М.: ВНИИСТ, 1979.

27. Рекомендации по заготовке, сварке и монтажу полиэтиленовых трубопроводов, применяемых в сельском строительстве.— М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1981.

28. Рекомендации по изготовлению и монтажу трубопроводов внутреннего водоснабжения из винипластовых труб.— М.: Россоргтехстрой, 1982.

29. Рекомендации по изготовлению сварных соединительных деталей пластмассовых трубопроводов.— К.: ЭПКТБ «Стройпластик», 1984.

30. Рекомендации по изготовлению соединительных деталей и склеиванию труб из ПВХ $Д_н$= 20...32 мм с применением клея ГИПК-127.— К.: ЭПКТБ «Стройпластик», 1983.

31. Рекомендации по применению и сварке труб из полиэтилена низкого давления диаметром до 1200 мм в строительстве подземных трубопроводов водоснабжения и канализации.— М.: НИИмосстрой, 1982.

32. Рекомендации по проектированию и монтажу наружных водопроводных и канализационных сетей из поливинилхлоридных раструбных труб.— М.: ЦНИИЭП инж. оборуд., 1983.

33. Рекомендации по склеиванию труб из поливинилхлорида клеем марки ГИПК-127.— К.: ЭПКТБ «Стройпластик», 1982.

34. РСН 251—82: Инструкция по сварке и ремонту полиэтиленового слоя в комплексных конструкциях из железобетона и полимеров.— Донецк: Госстрой УССР, 1982.

35. Руководство по сварке труб газонефтепромыслового сортамента из полиэтилена.— М.: ВНИИСТ, 1982.

36. СН 478—80: Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб.— М.: Стройиздат, 1981.

37. СН 493—77: Инструкция по проектированию и строительству подземных газопроводов из неметаллических труб.— М.: Стройиздат, 1977.

38. Технологическая инструкция по сварке труб из полиэтилена низкой плотности, контролю качества сварных соединений труб из ПВП и ПНП и их соединений со стальными трубами для строительства газопроводов.— Саратов: Гипрониигаз, 1981.

39. ТУ 6-19-218—83: Детали соединительные из полиэтилена низкого давления сварные и гнутые для напорных труб.— М.: НПО «Пластик», 1983.

40. ТУ-34-48-ЭПП-31—79: Детали соединительные полиэтиленовые для напорных труб.— М.: СКТБ «Энергопромполимер», 1979.

4. Оборудование и приборы для механических испытаний полимерных материалов и их соединений

Вид испытаний	Наименование и марка оборудования	Основные технические параметры оборудования
Растяжение (ГОСТ 11262—80), изгиб (ГОСТ 4648—71*), сдвиг (ГОСТ 24778—81), срез (ГОСТ 17302—71)	Машины для испытания на растяжение и разрыв:	
	2055Р-0,5	Диапазон нагрузок 20—5000 Н, скорость перемещения захватов 1—1000 мм/мин
	2054Р-5	Диапазон нагрузок 200—50 000 Н, скорость перемещения захватов 1—100 мм/мин
	БРП-5-3	Диапазон нагрузок 4—50 000 Н, скорость перемещения захватов 0,5—1000 мм/мин Возможность испытания в интервале температур —90 . . . + 300 °С
Двухопорный ударный изгиб по Шарпи (ГОСТ 4647—80)	Копер маятниковый 2083КМ-0,4	Запас потенциальной энергии сменных маятников 1,2 и 4 Дж
Изгиб по Шарпи (ГОСТ 4647—80) и Изоду (ГОСТ 19109—84)	Копер маятниковый 2121КМ-0,05	Запас потенциальной энергии сменных маятников по методу Шарпи: 50; 15; 7,5; 5 и 2,5 Дж; по методу Изода: 15; 7,5; 5 и 2,5 Дж; на ударное растяжение: 15; 7,5 и 5 Дж
Измерение твердости по Роквеллу (ГОСТ 24622—81*)	Прибор для измерения твердости 2074ТПР	Диапазон измерения твердости 0—115 HR
Определение температуры хрупкости (ГОСТ 16783—71*)	Прибор для определения температуры хрупкости ПХП-2	Скорость движения пуансона в процессе деформирования образца: в динамическом режиме (2,0 ± 0,20) м/с; в статическом режиме (0,0075 ± 0,001) м/с; диапазон температуры среды +40 . . . —160 °С
Абразивный износ (ГОСТ 11012—69)	Машины для испытания материалов на трение и износ:	
	УМТ-1	Частота вращения 15—3000 об/мин; момент силы трения 2—40 Н · м
	2070 СМТ-1	Частота вращения 75—1500 об/мин; момент силы трения 1—20 Н · м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **А.с.** 713692 (СССР).
2. **Балабина Г. В., Истратов И. Ф.** Контроль качества сварных соединений из пластмасс в строительстве.— М.: Стройиздат, 1975.— 196 с.
3. **Безкоровайный К. Г.** Сварка изделий из пластмасс.— Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1979.— 120 с.
4. **Бекмурзаев Л. А., Волков С. С.** Ультразвуковая сварка жестких пластмасс малых толщин.— Свароч. пр-во, 1978, № 3, с. 36—38.
5. **Бураковский Т., Гизиньский Е., Саля Л.** Инфракрасные излучатели.— Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1978.— 408 с.
6. **Волков С. С., Орлов Ю. Н., Черняк Б. Я.** Сварка пластмасс ультразвуком.— М.: Химия, 1974.— 263 с.
7. **Генель Л. С., Вакула В. Л., Акутин М. С.** Клеевое соединение ПО и Ф-4 механохимическим способом.— Пласт. массы, 1980, № 10, с. 27—28.
8. **Гольдберг М. М., Корюкин А. В., Кондрашов Э. К.** Покрытия для полимерных материалов.— М.: Химия, 1980.— 288 с.
9. **Зайцев К. И.** Контактная сварка пластмасс в строительстве.— М.: Стройиздат, 1982.— 80 с.
10. **Зайцев К. И., Мацюк Л. Н.** Сварка пластмасс.— М.: Машиностроение, 1978.— 222 с.
11. **Кагаи Д. Ф.** Трубопроводы из пластмасс.— М.: Химия, 1980.— 296 с.
12. **Казанцев В. Ф.** Расчет ультразвуковых преобразователей для технологических установок.— М.: Машиностроение, 1980.— 40 с.
13. **Кардашов Д. А.** Синтетические клеи.— М.: Химия, 1976.— 504 с.
14. **Кардашов Д. А., Петрова А. А.** Полимерные клеи: Создание и применение.— М.: Химия, 1983.— 256 с.
15. **Комаров Г. В.** Способы соединения деталей из пластических масс.— М.: Химия, 1979.— 288 с.
16. **Комаров Г. В., Тростянская Е. Б., Рузаков В. И.** Проблемы сварки разнотипных полимерных материалов.— Пласт. массы, 1981, № 12, с. 27—29.
17. **Кораб Г. Н., Адаменко А. А.** Комплексное обеспечение качества сварных соединений пластмассовых трубопроводов.— В кн.: Состояние и перспективы развития сварки и склеивания термопластов. К.: ИЭС, 1982, с. 92—99.
18. **Кошелев В. В.** Электрический инфракрасный излучатель сварки труб из термопластов.— Автомат. сварка, 1977, № 2, с. 58—60.
19. **Кошелев В. В., Савенков В. В., Грищенко В. И.** Установка для автоматической сварки труб из термопластов.— Стр-во трубопроводов, 1977, № 8, с. 36—38.
20. **Криксунов Л. З.** Справочник по основам инфракрасной техники.— М.: Сов. радио, 1978.— 400 с.
21. **Крикунова И. И., Некрасов Ю. И.** Газовая сварка пластмасс.— М.: Машиностроение, 1974.— 88 с.
22. **Лазеры** в технологии / Под ред. М. Ф. Стельмаха.— М.: Энергия, 1975.— 275 с.
23. **Левитин И. Б.** Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве.— Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1981.— 264 с.
24. **Новиченко Ю. А., Персиян А. А., Шестопал А. Н.** Справочник по изготовлению и монтажу технологических трубопроводов из полимерных материалов.— К.: Будівельник, 1979.— 148 с.
25. **Справочник** по клеям / Под ред. Г. В. Мовсияна.— Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1980.— 304 с.
26. **Справочник** по сварке, пайке, склейке и резке металлов и пластмасс: Пер. с нем. / Под ред. А. Ноймана, Е. Рихтера.— М.: Металлургия, 1980.— 463 с.
27. **Тризно М. С., Москалев Е. В.** Клеи и склеивание.— Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1980.— 120 с.
28. **Тростянская Е. Б., Комаров Г. В., Рузаков В. И.** Соединение разнородных полимерных материалов.— Пласт. массы, 1976, № 3, с. 54—56.
29. **Тростянская Е. Б., Комаров Г. В., Шишкин В. А.** Сварка пластмасс.— М.: Машиностроение, 1967.— 252 с.
30. **Тынный А. В., Тарноруцкий В. К.** Соединение пластмассовых деталей с помощью ультразвука.— Львов: Выща шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1979.— 174 с.
31. **Ультразвуковая** сварка изделий из жестких пластмасс с V-образной разделкой кромок / А. Н. Советов, Ю. Я. Черняк, А. И. Исаев и др.— Свароч. пр-во, 1978, № 12, с. 31—32.
32. **Ультразвуковая** сварка термопластичных материалов / С. С. Волков, Ю. Н. Орлов, Б. Я. Черняк, Л. А. Бекмурзаев.— Пласт. массы, 1976, № 3, с. 40—42.
33. **Федорова И. Г., Безменов Ф. В.** Высокочастотная сварка пластмасс.— Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980.— 89 с.
34. **Фирсова М. Г., Кириллова А. И.** Технологические процессы и оборудование для высокочастотной сварки и тиснения термопластичных материалов.— М.: Информэлектро, 1975.— 27 с.
35. **Шестопал А. Н.** Сварка и склеивание пластмасс в строительстве.— К.: Будівельник, 1983.— 93 с.
36. **Шестопал А. Н., Шишкин В. А., Новиков В. А.** Способы соединения элементов конструкций из листовых полимерных материалов.— К.: О-во «Знание» УССР, 1982.— 31 с.
37. **Шилдз Д.** Клеящие материалы.— М.: Машиностроение, 1980.— 368 с.
38. **Шрадер В.** Обработка и сварка полуфабрикатов из пластмасс: В вопр. и ответах: Пер. с нем.— М.: Машиностроение, 1980.— 408 с.
39. Энциклопедия полимеров / Под ред. В. А. Кабанова.— М.: Сов. энцикл., 1977.— Т. 3. 1152 с.
40. **Potente H., Cabler K.** Schweissen unterschiedlicher Thermoplaste.— Plastverarbeiter, 1980, Vol. 31, N 4, S. 203—207.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Адгезионные грунты 143
Вредные вещества, выделяемые при сварке пластмасс 172—174
Вязкость клея 149
Газ-теплоноситель 13
Дефект соединения клеевого 157—159
— — свариого 157—159
Дефектоскопия методом капиллярным 165
— — электростатическим 165, 166 166
— — оптическим 166
Допускаемые напряжения при растяжении 169
— — — сжатии 169
Жизнеспособность клея 149 150
Испытание давлением воздушным 162
— — гидравлическим 162
— методом изгиба напряженного 159, 160
— — — ударного, 159, 160
— — налива воды 162, 163
— на герметичность 161—163
— на растяжение 159, 160
— течеискателем галоидным 163
— — галиевым 163
— химическими индикаторами 162
Класс опасности вредных веществ 173, 174
Клеи анаэробные 123
— на основе бутадиеннитрильных каучуков 124
— — бутилкаучука 124
— перхлорвиниловые 124
— полиакрилатные 123
— полиамидные 125
— поливинилацетатные 123, 124
— полиуретановые 122, 123
— полихлоропреновые 124
— полиэфирные 124, 125
— расплавы 125
— термореактивные 121
— термопластичные 121, 122
— цианакрилатные 123
— эпоксидные 122
Контроль качества сварных соединений 157—166
— неразрушающий 160—166
— предупредительный 167, 168
— приемочный 168
— радиотехнический 166
— разрушающий 159, 160
— рентгенографический 163, 164
— тепловой 166, 167
— технологический 168
— электроискровой 166
— электролитиый 166
Критерии оценки свариваемости 6
Коэффициент диэлектрических потерь 87
— запаса прочности 169
— излучения 96
— поглощеиия ультразвука 76
— сохраиения свойств 170, 171
— трения 69
Нагрев двусторонний 22
— односторонний 22
Нанесение клеев валиками 151
— — кистью 150
— — поливом 151
— — распылением 151
Наружный осмотр 161
Недоотверждение клеевой прослойки 159
Непровар 158
Непроклеи 159
Область воспламенения вредных веществ 174
Отвердители 122
Отверждеиие 151
Открытая выдержка 151
Пластификаторы 121
Подготовка поверхности абразивная 140
— — газовой плазмой 140
— — газопламенная 141
— — коронным разрядом 140
— — механическая 140
— — механо-химическая 141
— — очисткой и обезжириванием 139, 140
— — тлеющим разрядом 140
— — травлением 141
— — химическая 141
Подрез 158
Поры 158
Предельно допустимая концентрация вредных веществ 173, 174
Приформовка методом намотки 157
— — напыления 157
— ручной выкладкой 155, 156
Прочность шва сварного соединения 160
Растворители 105, 106, 139, 142, 143
Расчет предела прочности при растяжении 160
Расчет швов кольцевых 168, 169
— — стыковых 168, 169
— — угловых 169, 171
Сварка безоблойная 90—92
— вибротрением 10, 68, 72
— — линейная 72
— — угловая 72
— высокочастотная 10, 86—94
— излучением 11, 95—104
— — инфракрасным 11, 95—102
— — лазерным 11, 103, 104
— индукционная 10, 54, 56
— косвенным нагревом 17, 22
— ленточная 9, 46—53
— литьем под давлением 10, 56, 57
— нагретым газом 9, 13—18
— — — без присадочного материала 9, 16—18
— — — с применением присадочного материала 9, 13—16
— — инструментом 22—56
— — — в косой стык 31—35
— — в паз 39
— — — раструбная 9, 35—37
— — — с одновременным формованием изделий 9, 38, 39
— — — с перегибом 38
— — — стыковая 9, 23—35
— — клином 37, 38
— пластмасс 6, 7
— прессовая высокочастотная 11, 87
— — нагретым инструментом 9, 39—45
— — ультразвуковая 11, 73
— прямым нагревом 17, 22
— разнотипных полимеров 109—114
— расплавленным прутком 10, 56, 57, 65—68
— расплавом 10, 56—68
— растворителями 7, 104—107
— роликовая высокочастотная 11, 87
— — нагретым инструментом 9, 53, 54
— — ультразвуковая 11, 73, 74
— световым излучением 11, 102, 103
— соединительных деталей трубопроводов 25—28, 34, 35
— термоимпульсная 9, 45, 46
— трением 10, 68—72
— — вращения 10, 68—71
— ультразвуковая 10, 11, 72—86
— — ближняя 74
— — дальняя 74
— — по деформационному критерию 76
— — с дозированием энергии по кинетической характеристике 76
— — скользящим инструментом 79
— — с независимым давлением 75, 76
— — с преимущественным внедрением 75, 78
— — с преимущественным оплавлением 75, 78
— — с фиксированной осадкой 76
— — с фиксированным зазором 76
— химическая 7, 107—109
— — реактопластов 107—109
— — термопластов 107—109
— формованием изделий 9, 38, 39
— экструдируемой присадкой 10, 56—65
— электросопротивлением 10, 54—56
— элементом, остающимся в сварном шве 10, 54—56
Свариваемость 6, 7
Сварные соединительные детали трубопроводов 25—28, 34, 35
Склейка «голодная» 158
— «мокрая» 158
— «сухая» 158
— пористая 158, 159
Температура вспышки вредных веществ 174
— самовоспламенения вредных веществ 174
Толщина клеевого слоя 152
Требования к сварным соединениям конструктивные 12
— технологические 12
— эксплуатационные 12, 13
Трещины поперечные 158
— продольные 158
Усадочные раковины 158

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие . . . 3
Глава 1. **Способы сварки пластмасс** . . . 6
Свариваемость пластмасс . . . 6
Классификация способов сварки . . . 7
Факторы, влияющие на выбор способов сварки . . . 11
Глава 2. **Сварка нагретым газом** . . . 13
Характеристика и области применения . . . 13
Сварка с применением присадочного материала . . . 13
Сварка без присадочного материала . . . 16
Сварочное оборудование . . . 18
Глава 3. **Сварка нагретым инструментом** . . . 22
Характеристика и области применения . . . 22
Сварка нагретым инструментом стыковая . . . 23
Сварка нагретым инструментом раструбная . . . 35
Сварка нагретым клином . . . 37
Сварка с одновременным формованием изделий . . . 38
Сварка прессовая . . . 39
Сварка термоимпульсная . . . 45
Сварка ленточная . . . 46
Сварка роликовая . . . 53
Сварка остающимся в шве нагретым элементом . . . 54
Глава 4. **Сварка расплавом** . . . 56
Характеристика и области применения . . . 56
Сварка экструдируемой присадкой . . . 57
Сварка расплавленным прутком . . . 65
Глава 5. **Сварка трением** . . . 68
Характеристика и области применения . . . 68
Сварка трением вращения . . . 69
Сварка вибротрением . . . 72
Глава 6. **Ультразвуковая сварка** . . . 72
Характеристика и области применения . . . 72
Технология сварки . . . 74
Сварочное оборудование . . . 80
Глава 7. **Высокочастотная сварка** . . . 86
Характеристика и области применения . . . 86
Технология сварки . . . 87
Сварочное оборудование . . . 92
Глава 8. **Сварка излучением** . . . 95
Характеристика и области применения . . . 95
Сварка инфракрасным излучением . . . 96
Сварка световым излучением . . . 102
Сварка лазерным излучением . . . 103
Глава 9. **Сварка растворителями** . . . 104
Характеристика и области применения . . . 104
Выбор растворителей . . . 105
Технология сварки . . . 106
Глава 10. **Химическая сварка** . . . 107
Характеристика и области применения . . . 107
Технология сварки реактопластов . . . 108
Технология сварки термопластов . . . 109
Глава 11. **Сварка разнотипных полимеров** . . . 109
Характеристика и области применения . . . 109
Технология сварки совместимых и частично совместимых полимеров . . . 110
Глава 12. **Склеивание** . . . 114
Характеристика и области применения . . . 114
Конструирование клеевых соединений . . . 116
Выбор клея . . . 121
Подготовка поверхностей под склеивание . . . 139
Приготовление и способы нанесения клея . . . 149
Формирование клеевого соединения . . . 151
Глава 13. **Приформовка** . . . 154
Характеристика и области применения . . . 154
Конструирование соединений . . . 154
Технология приформовки . . . 155
Глава 14. **Контроль качества сварных и клеевых соединений** 157
Дефекты сварных и клеевых соединений . . . 157
Разрушающие методы контроля . . . 159
Неразрушающие методы контроля . . . 160
Обеспечение качества соединений в условиях производства . . . 167
Глава 15. **Расчет прочности, технико-экономические и эксплуатационные характеристики сварных соединений** . . . 168
Расчет прочности сварных стыковых швов . . . 168
Расчет прочности сварных угловых швов . . . 169
Технико-экономические и эксплуатационные характеристики сварных соединений . . . 171
Глава 16. **Техника безопасности** . . . 172
Общие требования . . . 172
Работа с растворителями . . . 176
Сварочные работы . . . 176
Склеивание . . . 178
Приложения . . . 180
Список литературы . . . 187
Предметный указатель . . . 189

Анатолий Николаевич Шестопал,
Юрий Степанович Васильев,
Эдуард Алексеевич Минеев, канд. техн. наук,
Олег Васильевич Тарасенко, канд. физ.-мат. наук,
Валентин Павлович Тарногродский, канд. техн. наук

СПРАВОЧНИК ПО СВАРКЕ И СКЛЕИВАНИЮ ПЛАСТМАС

Редактор *Т. А. Кузьмук, Е. Н. Деркач*
Оформление художника *Л. А. Дикарева*
Художественный редактор *И. В. Рублева*
Технический редактор *Н. А. Бондарчук*
Корректор *Л. А. Сергеева*

Сдано в набор 20.09.85. Подписано в печать 23. 01.86. БФ 07117. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типогр. № 2. Гарн. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт. 10,29. Уч.-изд. л. 15,37. Тираж 13000 экз. Зак. 5-393. Цена 95 к.

Издательство «Техніка», 252601, Киев. 1, Крещатик, 5.

Отпечатано с матриц Харьковской книжной фабрики им. М. В. Фрунзе на Харьковской книжной фабрике «Коммунист». 310012, Харьков-12, Энгельса, 11.