

Ультразвуковая сварка пластмасс

Электрические колебания ультразвуковой частоты (18-50 кГц), вырабатываемые генератором, преобразуются в механические продольные колебания магнитострикционного преобразователя и вводятся в свариваемый материал с помощью инструмента – волновода, расположенного перпендикулярно свариваемым поверхностям (рис.7.1). Часть энергии механических колебаний трансформируется в тепловую, что приводит к нагреву зоны контакта соединяемых деталей до температуры вязкотекучего состояния.

Такая схема ввода энергии применяется для УЗС пластмасс в отличие от сварки металлов, где колебания действуют в плоскости соединяемых поверхностей, а давление прикладывается перпендикулярно к ним.

Подвод энергии УЗ колебаний осуществляется за счет контакта излучающей поверхности сварочного инструмента (рабочего торца волновода) с одной или несколькими свариваемыми деталями. Такой контакт обеспечивается статическим давлением $P_{ст}$ рабочего торца волновода на свариваемые детали. Это давление способствует также концентрации энергии в зоне соединения.

Динамическое усилие F , возникающее в результате колебаний волновода, приводит к нагреву свариваемого материала, а действие статического давления $P_{ст}$ обеспечивает получение прочного сварного соединения. Подвод энергии может быть односторонним и двусторонним.

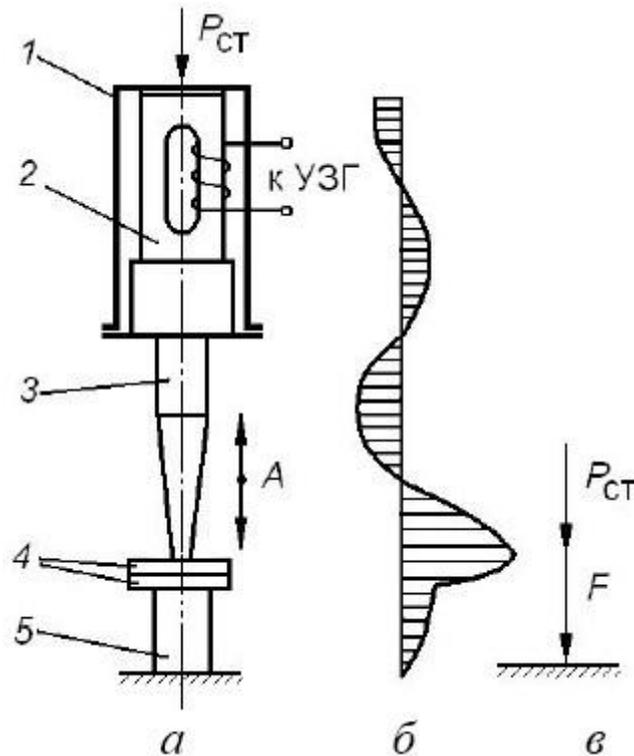


Рис.7.1. Схема ультразвуковой сварки с нормальным вводом колебаний: а – схема установки; б – эюра амплитуды смещения колебательной системы; в – расположение векторов статического давления $P_{ст}$ и динамического усилия F ; A – амплитуда смещения волновода; 1 – корпус преобразователя; 2 – преобразователь; 3 – трансформатор – волновод; 4 – свариваемые детали; 5 – опора

Нагрев обусловлен поглощением энергии механических колебаний в объеме материала. Наиболее интенсивное поглощение энергии колебаний и превращение её в теплоту происходит в несплошностях материала. Самая большая несплошность имеет место на границе контакта свариваемых деталей, поэтому скорость нарастания температуры на границе раздела выше, чем в объеме материала.

Кроме того, возникающие при сварке поперечные УЗ колебания могут вызывать поверхностное трение на границе раздела, что также способствует быстрому нагреву материала в этой зоне. Образующаяся мягкая прослойка снижает коэффициент трения, однако сама является средой, интенсивно поглощающей механические колебания.

Наконец, на границе раздела из-за наличия микронеровностей могут возникать значительные динамические напряжения, что приводит к интенсивному разогреву и оплавлению микронеровностей.

Следовательно, образование сварных соединений при УЗС возможно без проплавления всего объема материала.

Роль УЗ колебаний состоит и в том, что под действием мощных импульсов УЗ частоты происходит не только нагрев и выравнивание поверхностей, но и разрушение, и удаление различных поверхностных пленок и загрязнений. В значительной степени УЗС отличается от других способов также и в отношении физико-химических процессов, протекающих на границе раздела. Во-первых, воздействие колебаний на расплав полимера значительно ускоряет процесс диффузии молекул. Во-вторых, при УЗС происходит интенсивное перемешивание расплава за счет возвратно-поступательного движения излучателя. При движении вперед волновод выталкивает полимер, а при его движении назад в область разрежения, образующуюся на границе раздела, втягиваются новые порции полимера, которые вовлекаются в движение при следующем ходе поверхности излучателя.

Все сказанное полностью относится к сварке жестких полимерных материалов (например, полистирол, полиметилметакрилат), обладающих высоким модулем упругости и низким значением коэффициента затухания. Жесткие полимеры хорошо свариваются контактной и передаточной сваркой. Максимальная температура развивается в плоскости контакта свариваемых деталей. Мягкие пластмассы (полиэтилен высокого и низкого давления, полиамиды и др.) характеризуются малым модулем упругости и высоким значением коэффициента затухания. При их сварке, как правило, происходит разогрев верхней детали и её деформация. Толщина верхней детали не должна быть больше 1-5 мм.

Промежуточное положение занимают полужесткие пластмассы (полипропилен, непластифицированный поливинилхлорид, поликарбонат и др.), обладающие худшими упругими свойствами по сравнению с жесткими.

Эти полимеры хорошо свариваются контактной сваркой, однако передаточная сварка их затруднена из-за большой потери энергии и разогрева верхней детали.

По основной схеме осуществляется подвод энергии к свариваемым деталям и при сварке с присадочным материалом (рис.7.2). Здесь статическая и динамическая силы воздействуют на присадочный материал, уложенный в V-образную разделку между свариваемыми деталями. Воздействие УЗ колебаний на пруток приводит к его пластикации, а под действием статического давления пластифицированный материал заполняет разделку, образуя прочное соединение. Для получения протяженных швов сварочную головку перемещают вдоль присадочного прутка. По этой схеме можно получать стыковые, тавровые и угловые соединения различных листов на большой протяженности и выполнять сварку однослойных и многослойных листов большой толщины (до 10 мм) и протяженности по прямолинейному, криволинейному и замкнутому контурам.

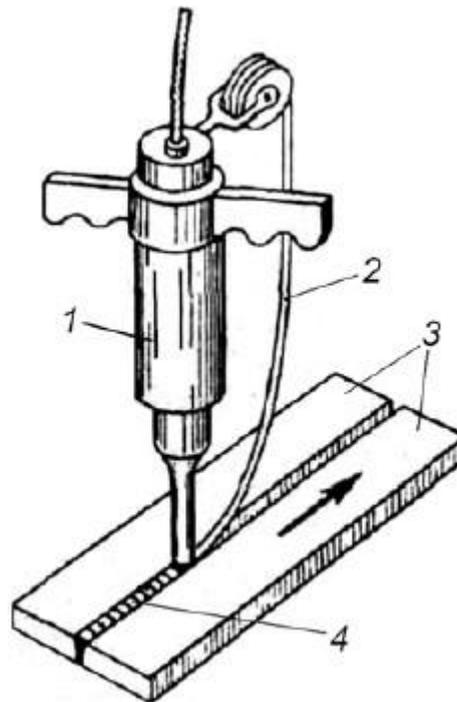


Рис.7.2. Схема ультразвуковой сварки с присадочным материалом: 1 – преобразователь с волноводом; 2 – присадочный материал; 3 – свариваемые детали; 4 – сварной шов.

Близка к описанной выше схема, разработанная применительно к сварке мягких пластмасс типа полиэтилен (рис.7.3). Здесь соединение образуется за счет расплава, выдавливаемого инструментом из зоны контакта вспомогательных технологических термопластичных деталей, играющих роль присадочного материала (сварка вытесненным расплавом).

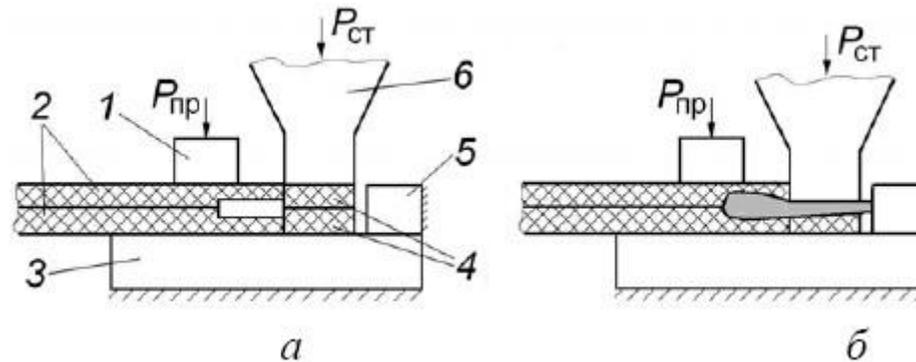


Рис.7.3. Схема ультразвуковой сварки «вытесненным расплавом»: а – перед сваркой; б – после сварки; 1 – прижим; 2 – свариваемые детали; 3 – опора; 4 - технологические детали, подвергающиеся УЗ воздействию; 5 – упор; 6 – волновод; $P_{пр}$ – давление прижима; $P_{ст}$ – статическое сварочное давление

При нормальном по отношению к соединяемым поверхностям вводе энергии упругих колебаний трудно, а зачастую невозможно получить стыковые соединения листов или деталей, имеющих форму стержней значительной длины. В этих случаях наиболее благоприятным является ввод в изделие энергии колебаний в непосредственной близости от зоны сварки. Конструкции стыковых соединений при сварке с дополнительным усилием сжатия $P_{сж}$, перпендикулярным $P_{ст}$, приведены на рис.7.4.

По одной из этих схем (рис.7.4, а) УЗ колебания вводятся в изделие параллельно соединяемому стыку за счет прижатия к нему волновода усилием $P_{ст}$, необходимым только для осуществления акустического контакта. Для

создания осадки материала в зоне сварки перпендикулярно к свариваемому стыку прикладывается дополнительное усилие сжатия $P_{сж} > P_{ст}$. Разновидностями такой схемы являются: сварка «замкового» соединения (рис.7.4, б) и соединения «в ус» (рис.7.4, в).

На рис.7.1 и 7.2 видно, что для отбора энергии от преобразователя используется один из его торцов. Другой торец преобразователя в этом случае соединяется с экраном – амортизатором. При одностороннем отборе звуковые колебания, отражаясь от нерабочего торца преобразователя, достигают излучающей поверхности (рабочего торца) в соответствующей фазе, при этом амплитуда колебаний увеличивается примерно в два раза, а излучаемая мощность – в 4 раза.

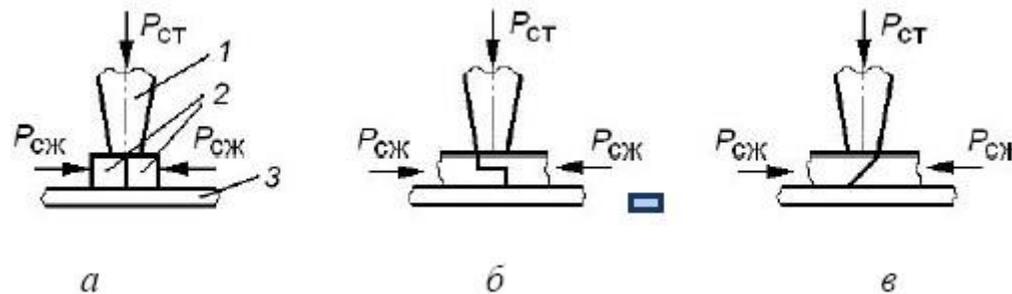


Рис.7.4. Конструкции стыковых соединений при сварке с дополнительным усилием сжатия $P_{сж}$, перпендикулярным $P_{ст}$: а – «плоский стык»; б – «замковое соединение»; в – соединение «в ус»; 1 – сварочный инструмент-волновод; 2 – свариваемые детали; 3 – опора

Отбор механической энергии от преобразователя может осуществляться и с обоих торцов, в этом случае к ним присоединяют прямые или загнутые волноводы (рис.7.5). Системы с двусторонним отбором энергии обеспечивают меньшую, чем при одностороннем отборе энергии, амплитуду колебаний рабочего торца инструмента.

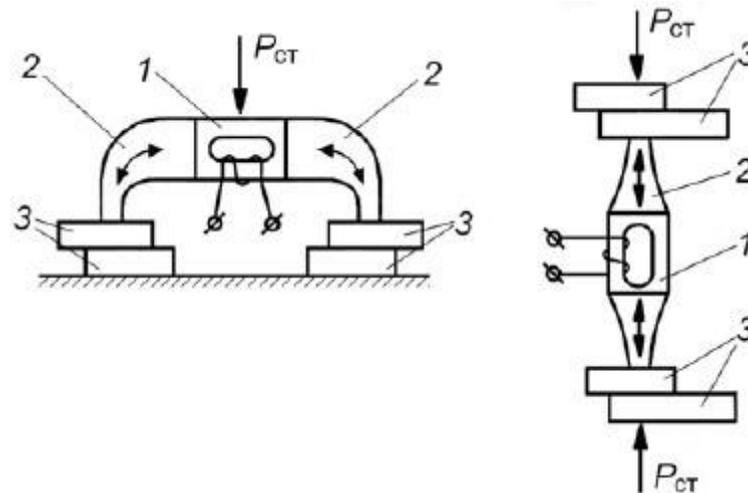


Рис.7.5. Схемы сварки с двусторонним отбором энергии от преобразователя: 1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – свариваемые детали

Подвод энергии от поверхности излучателя к свариваемым деталям может быть осуществлен также с одной или двух сторон. Односторонний ввод энергии характеризуется простотой кинематических схем сварочных устройств. Свариваемое изделие располагается между рабочим торцом волновода и опорой (см. рис.7.1). При двустороннем подводе энергии используются сварочные устройства более сложной конструкции (рис.7.6).

При одностороннем отборе энергии от преобразователя для двустороннего подвода необходимо наличие двух сварочных головок, располагаемых симметрично с обеих сторон свариваемого изделия (рис.7.6, а). При двустороннем отборе энергии возможен как односторонний подвод энергии, так и двусторонний. Двусторонний подвод энергии в этом случае осуществляется волноводами, соединенными с обоими торцами преобразователя и направленными навстречу друг другу (рис.7.6, б). Необходимый акустический контакт между частями изделия и волноводами обеспечивается при этом за счет того, что зазор между излучающими поверхностями устанавливается несколько меньше суммарной толщины свариваемых деталей. На рис.7.6, в показано устройство для сварки с односторонним отбором энергии от преобразователя и двусторонним подводом энергии, в котором рабочие торцы волнопроводов выполнены раздвоенными и загнутыми навстречу друг другу.

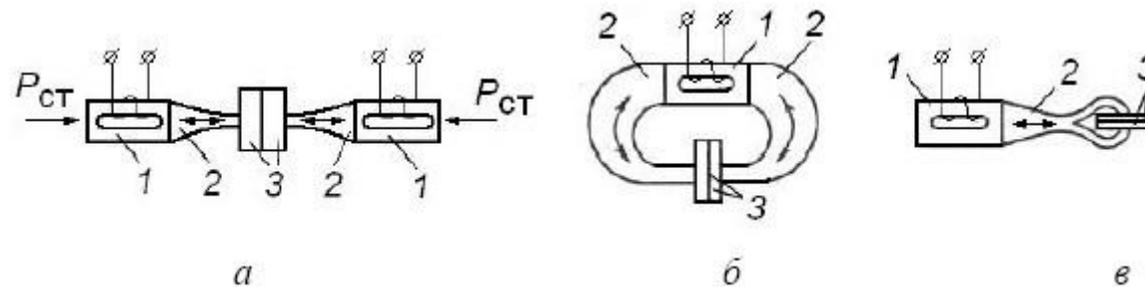


Рис.7.6. Схемы двустороннего подвода энергии с помощью двух сварочных головок (а), загнутых волноводов (б) и раздвоенного волновода (в): 1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – свариваемые детали

Интенсивность подвода энергии, тепловыделение и деформация полимера в значительной степени зависят от условий теплоотвода от нагретого изделия к волноводу. Изменение температурного режима достигается различными приемами: обдувом поверхности контакта волновода с изделием струей воздуха, дополнительным подогревом волновода или опоры, применением теплоизоляционных прокладок между изделием и волноводом или изделием и опорой.



Передача энергии в зону сварки

По характеру передачи энергии к границе раздела и распределения её по свариваемым поверхностям ультразвуковая сварка может быть разделена на контактную и передаточную. Возможность передачи механической энергии к зоне сварки зависит от упругих свойств и коэффициента затухания колебаний в свариваемых материалах.

Контактная ультразвуковая сварка. Если полимерный материал характеризуется низким модулем упругости и большим коэффициентом затухания, то сварное соединение можно получить лишь на малом удалении от плоскости ввода колебаний.

Контактная УЗС обычно применяется для соединения изделий из мягких и полужестких пластмасс, таких как полиэтилен, полипропилен, а также пленок и синтетических тканей небольшой толщины – от 0,02 до 5 мм. При сварке этим способом обычно применяют соединения внахлестку (рис.7.7). Так как плоскость контакта волновод – полимер располагается на незначительном расстоянии от плоскости раздела свариваемых материалов, определяемом толщиной верхней детали, контактную ультразвуковую сварку иногда называют «ближней».

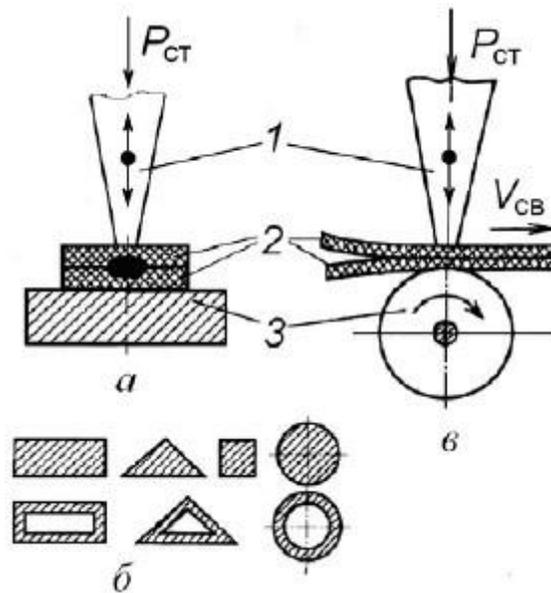


Рис.7.7. Схемы контактной ультразвуковой сварки: а – прессовая; б – возможная форма рабочего торца волновода при прессовой сварке; в – шовная; 1 – волновод; 2 – свариваемые детали; 3 – опора

Передаточная ультразвуковая сварка. Если полимерный материал обладает высоким модулем упругости и низким коэффициентом затухания, то сварное соединение можно получить на значительном удалении от

поверхности ввода механических колебаний. Благодаря хорошим акустическим свойствам материала изделия энергия УЗ волны незначительно ослабляется при прохождении через деталь, контактирующую с волноводом, к границе раздела свариваемых деталей. Тепловыделение на границе раздела в этом случае зависит от конфигурации изделия, а площадь сварки значительно отличается от площади рабочего торца волновода. Сварка по такой схеме называется передаточной ультразвуковой сваркой. Передаточную сварку рекомендуется применять для соединения объемных деталей из жестких пластмасс, таких как полистирол, полиметилметакрилат и др., наиболее рационально выполнение таким способом соединений встык или втавр (рис.7.8).

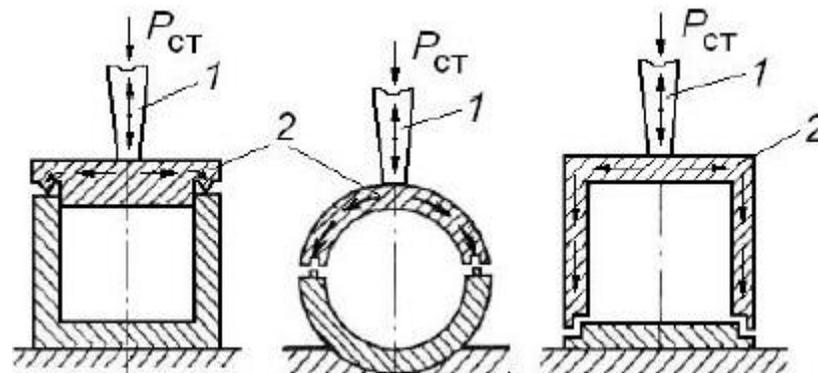


Рис.7.8. Схема передаточной ультразвуковой сварки: 1 – волновод; 2 – свариваемое изделие

При передаточной сварке волновод желательно располагать по оси симметрии свариваемого изделия. Удаление поверхности ввода механических колебаний от плоскости раздела свариваемых деталей зависит от упругих свойств материала и может достигать от 10 до 250 мм. Поэтому передаточную сварку иногда называют «дальней» или «дистанционной».

Повышение эффективности передачи энергии и расширение технологических возможностей процесса может быть достигнуто охлаждением свариваемых деталей до температуры стеклования полимера (или несколько ниже), что позволяет повысить модуль упругости и уменьшить коэффициент затухания свариваемого материала. Охлаждение свариваемых деталей целесообразно лишь в области, лежащей между зоной сварки и рабочим торцом волновода.

Охлаждение позволяет в отдельных случаях осуществлять передаточную сварку таких материалов, как полипропилен, полиэтилен и другие, уменьшать потребляемую мощность сварочного оборудования и устранять дефекты, вызываемые перегревом деталей вне зоны сварки.



Концентрация энергии механических колебаний в зоне сварки

Передача энергии механических колебаний в зону сварки является необходимым, но не достаточным условием образования сварного соединения. Практика показывает, что при УЗС образцов из материалов с хорошими акустическими свойствами, но с плоской поверхностью контакта и при равномерном распределении статического давления получить сварное соединение оказывается трудно, а порой и просто невозможно. Сварка в этом случае осуществляется не по всей поверхности, а лишь в отдельных точках или небольших зонах поверхности.

Установлено, что развитие и образование сварного соединения зависит от степени концентрации напряжений в зоне сварки и может быть интенсифицировано за счет создания искусственных концентраторов напряжений. Наиболее распространенным способом сварки с использованием искусственных концентраторов является сварка с разделкой кромок, причем лучшие результаты получают, когда одна из деталей имеет V-образный выступ. В зависимости от режима процесса и угла разделки сварка может протекать с преимущественным оплавлением выступа или с преимущественным внедрением его в другую деталь.

Соединения, выполненные с преимущественным оплавлением, нашли применение при изготовлении изделий, которые в процессе эксплуатации подвергаются значительным нагрузкам, таких как бачки, шаровые емкости и т.п. Соединения, полученные с преимущественным внедрением V-образного выступа в деталь, используются при изготовлении декоративных изделий, сувениров, корпусов приборов бытовой техники и т.п., так как они характеризуются минимальным графообразованием.

Другой путь повышения концентрации энергии на стыкуемых поверхностях заключается во введении между ними мягких прокладок с худшими акустическими характеристиками, но совместимых с основным материалом. Концентрация напряжений может быть достигнута также при увеличении шероховатости контактирующих поверхностей. Для повышения качества соединения деталей с плоскими поверхностями между последними равномерно насыпают крошку из того же полимерного материала. Частицы полимера, создавая микрзоны повышенного механического напряжения, способствуют возникновению очагов повышенной температуры и обеспечивают тем самым высококачественное соединение.

Повышение тепловыделения в зоне сварки может быть достигнуто с помощью локального подогрева зоны сварки. Местное повышение температуры локализует зону нагрева и увеличивает производительность процесса сварки. Оптимальная температура подогрева зависит от материала свариваемых деталей и составляет примерно 50-100 °С.

В некоторых случаях может быть полезен комбинированный способ сварки с нагревом соединяемых поверхностей и охлаждением свариваемых деталей в области контакта с волноводом. Изменение температурного поля в направлении передачи механических колебаний от излучателя к свариваемым поверхностям существенно перестраивает температурный режим сварки, увеличивает производительность процесса и устраняет перегрев материала в зоне контакта с волноводом.



Дозирование подводимой энергии

Возможность получения и качество сварного соединения определяются количеством тепловой энергии, генерируемой в зоне сварки, и теплоотводом из этой зоны. Так как количество энергии, выделяющейся в зоне сварки, связано с количеством энергии, подводимой к свариваемому изделию, то возникает необходимость дозирования последней. В зависимости от того, какой критерий закладывается в основу выбора момента выключения УЗ колебаний, различают следующие схемы управления процессом сварки:

- по фиксированному времени;
- по деформационному критерию;
- по кинетической характеристике.

В свою очередь, схемы управления по деформационному критерию делятся на схемы сварки по фиксированной осадке и фиксированному зазору. Сварка по фиксированному времени используется практически во всех серийно выпускаемых ультразвуковых сварочных машинах как у нас в стране, так и за рубежом. Продолжительность нагрева задается с помощью реле времени, которое отключает УЗ колебания через один и тот же промежуток времени после начала процесса. Небольшие отклонения параметров режима сварки, геометрии деталей и свойств материала могут привести к перегреву или недогреву свариваемого материала, что, в свою очередь, вызывает пережог или непровар материала. Именно этим объясняется наблюдаемая на практике нестабильность результатов, получаемых при сварке по этой схеме. Сварка по фиксированной осадке во многом позволяет избежать указанных недостатков. При использовании схемы сварки по фиксированной осадке задается величина осадки полимера δ , т.е. глубина вдавливания волновода в свариваемую деталь в результате воздействия статического усилия и ультразвука. Должно соблюдаться условие $\delta > 2A$, где A – амплитуда колебаний рабочего торца волновода. В простейшем случае (рис.7.9, а) отключение ультразвука осуществляется размыканием контактов нажимным штифтом. Расстояние между контактом и штифтом соответствует заданной осадке, величина которой определяется при отработке режимов сварки. Статическое усилие действует до окончания сварочного цикла.

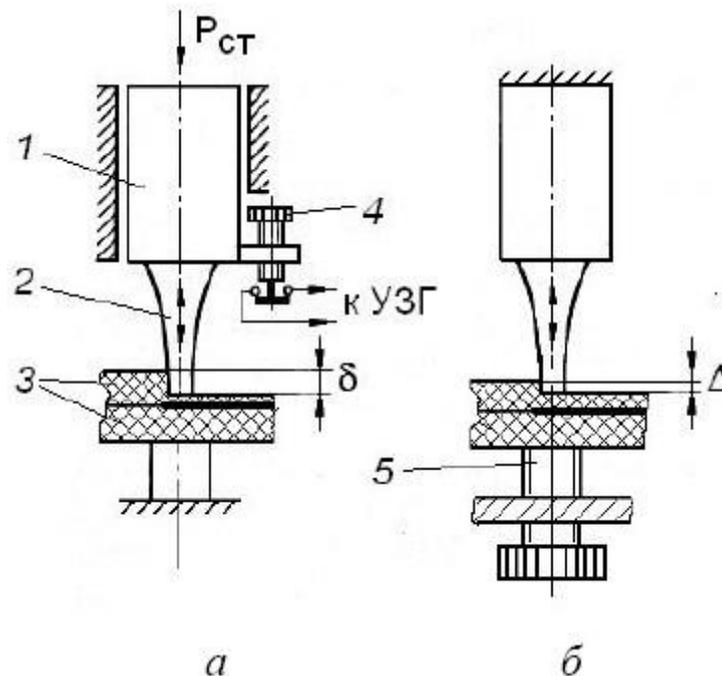


Рис.7.9. Сварка по схеме с фиксированной осадкой (а) и фиксированным зазором (б): 1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – свариваемый материал; 4 – нажимной штифт для отключения ультразвука; 5 – регулировочный винт-опора

При сварке изделий из мягких пластмасс толщиной 0,7-1,2 мм неконтролируемая деформация зоны сварки после выключения ультразвука может привести к существенному ухудшению внешнего вида и прочностных характеристик соединения.

С целью предотвращения такой деформации целесообразно обеспечить ограничение перемещения сварочной головки после выключения ультразвука за счет установки специального фиксатора или снятия статического давления без подъема сварочной головки.

Отличительным признаком схемы сварки с фиксированным зазором является отсутствие статического давления. Сварка происходит только за счет действия динамических усилий, возникающих при воздействии волновода на свариваемый материал. При этой схеме (рис.7.9, б) зазор между рабочим торцом волновода и опорой

устанавливается таким, чтобы свариваемый материал деформировался только за счет смещения рабочего торца волновода. В результате воздействия волновода материал утоняется, а так как сварочная головка зафиксирована и не имеет возможности перемещаться в вертикальном направлении, контакт волновода с материалом нарушается и воздействие ультразвука на материал прекращается. Деформация свариваемого материала при схеме – сварка с фиксированным зазором – не превышает удвоенной амплитуды смещения волновода ($\Delta \geq 2A$) и выбирается в зависимости от исходной толщины свариваемого материала и его свойств.

Сущность способа дозирования подводимой энергии по кинетической характеристике состоит в том, что опора выполняется в виде датчика амплитуды, и отключение УЗ колебаний осуществляется вручную оператором или автоматически при соответствии электрического сигнала датчика-опоры минимуму амплитуды смещения.

Виды ультразвуковой сварки в зависимости от взаимного перемещения сварочного инструмента и изделия

По этому признаку ультразвуковая сварка разделяется на прессовую и непрерывную.

Прессовая сварка выполняется за одно рабочее движение волновода и применяется как для контактной, так и для передаточной сварки. С помощью контактной прессовой сварки (см. рис.7.7, а) получают точечные, прямолинейные и замкнутые швы различного контура (в виде окружности, квадрата, прямоугольника, эллипса и т.д.) в зависимости от формы рабочего торца волновода (рис.7.10, а).

Развернутая длина сварного шва, так же как и диаметр точки при точечной сварке, определяются мощностью преобразователя. Этим способом хорошо свариваются винипласт, полиэтилен, полиметилметакрилат, полистирол, а также ткани из синтетических волокон (капрон, лавсан).

Если сварной шов имеет сложную форму или значительную протяженность, целесообразно использовать комбинированные волноводы с торцевой поверхностью, соответствующей форме шва (рис.7.10, б).

Непрерывная сварка обеспечивает получение непрерывных протяженных сварных швов за счет относительного перемещения волновода и свариваемого изделия. Она используется для сварки изделий из полимерных пленок и

синтетических тканей: мешков, непроницаемой одежды, фильтров и т.д. Для непрерывной сварки используют схемы с фиксированной осадкой и с фиксированным зазором.

По степени механизации непрерывная сварка может быть ручной и механизированной.



Рис. 7.10. Формы рабочего торца волновода

При ручной непрерывной сварке для получения непрерывных швов любой протяженности оператор вручную перемещает сварочную головку, а изделие остается неподвижным. Такую разновидность сварки называют также сваркой скользящим инструментом. Ручная сварка некоторых материалов, в частности полиэтилена, затруднена из-за периодического налипания размягченного полимера на инструмент, что в конечном счете приводит к прожогам свариваемого материала. Для устранения этого недостатка при сварке применяют технологические прокладки из полимерных материалов (фторопласт и др.), металлической фольги, чертежной кальки и др. Используют ручную сварку преимущественно для соединения в труднодоступных местах, а также для прихватки деталей перед механизированной сваркой.

Механизированная непрерывная сварка осуществляется преимущественно перемещением свариваемого изделия относительно неподвижной сварочной головки. В зависимости от способа перемещения свариваемого материала

механизированная сварка делится на шовно-шаговую и шовную. Шовно -шаговая сварка является разновидностью прессовой сварки.

Сущность способа в том, что после сварки каждого шва материал освобождается из-под волновода и передвигается на шаг сварки. Каждый последующий шов перекрывает предыдущий. Этот способ применяется для сварки синтетических тканей и соединения различных пластмасс толщиной от 0,1 до 3 мм.

Шовная сварка может осуществляться на вращающемся ролике (см. рис.7.7, б) и по схеме «на протяг» (рис.7.11), когда изделие протягивается между колеблющимся торцом волновода и опорой. В обоих случаях можно применять схему с фиксированным зазором или комбинированную схему с фиксированной осадкой и фиксированным зазором.

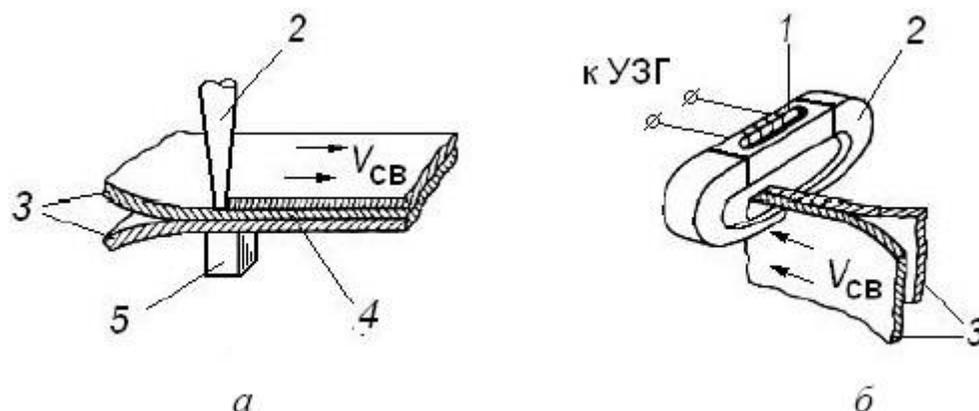


Рис.7.11. Схема шовной сварки «на протяг» с односторонним (а) и двусторонним (б) подводом УЗ колебаний: 1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – свариваемый материал; 4 – сварной шов; 5 – опора
Для непрерывной шовной сварки нашли применение также конструкции, в которых используются вращающиеся преобразователи.



Параметры режима ультразвуковой сварки

Основные параметры УЗС, определяющие выделение энергии в зоне со- единения:

- амплитуда колебаний рабочего торца волновода A (мкм);
- частота колебаний f (кГц);
- продолжительность ультразвукового импульса $t_{св}$ (с) или в случае непрерывной сварки – скорость сварки $V_{св}$ (м/с);
- сварочное статическое давление $P_{ст}$ (Па) или усилие прижатия F (Н) волновода к материалу.

Дополнительные параметры режима сварки – размеры, форма и материал опоры и волновода, материал теплоизоляционных прокладок, температура предварительного подогрева волновода и т.д.

Основные параметры режима взаимосвязаны. Время, необходимое для сварки, зависит от амплитуды колебаний и сварочного давления. При более вы- соких амплитудах необходимые свойства сварных соединений могут быть дос- тигнуты при меньшем времени сварки и наоборот. Определяющим параметром режима УЗС является амплитуда колебаний рабочего торца волновода, которая выбирается в пределах 30-70 мкм. Оптимальному значению амплитуды соот- ветствуют максимальная прочность и наилучшее качество сварного соедине- ния. Амплитуда колебаний, необходимая для обеспечения качественной сварки, связана со сварочным давлением и, кроме того, зависит от геометрических раз- меров свариваемых деталей, типа свариваемых полимеров и опоры, опреде- ляющих распределение характеристик звукового поля.

Свойства сварных соединений зависят не только от параметров режима сварки, но и от рабочего цикла.

Рабочий цикл определяется последовательностью приложения давле- ния, включения, прохождения и выключения УЗ импульса, выдержки изделия под давлением и снятия давления.

Наиболее распространенный рабочий цикл УЗС (статическое давление – ультразвук) представлен на рис.7.12, а. Статическое давление $P_{ст}$ прикладывается до включения УЗ колебаний ($t_{п}$ – время предварительного сжатия),

остаётся постоянным в течение всего цикла и снимается с запаздыванием на t_3 . Охлаждение материала сварного шва начинается, когда детали ещё сжаты между волноводом и опорой. В течение всей операции сварки УЗ колебания вводятся без перерыва в виде одного импульса. Такой цикл сварки используется на ультразвуковых установках МТУ-1,5, УПК – 15, УПМ – 21 и др.

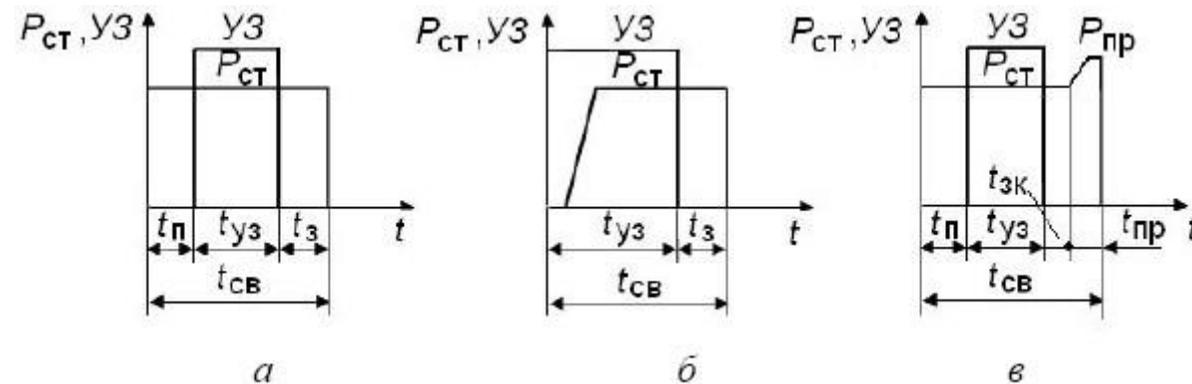


Рис.7.12. Рабочие циклы при ультразвуковой сварке. При цикле ультразвук – статическое давление (рис.7.12, б) УЗ колебания включаются до приложения давления. Первоначальное включение ультразвука позволяет очистить свариваемые поверхности от загрязнений.

При сварке изделий из жестких полимеров применяется рабочий цикл, представленный на рис.7.12, в. В этом случае с целью уплотнения и повышения прочности сварного шва непосредственно после выключения УЗ-колебаний увеличивается давление на волновод. Повышения давления $P_{пр}$ (проковка) должно следовать за выключением УЗ колебаний через небольшой, строго контролируемый интервал времени $t_{зк}$ (время контролируемого запаздывания). При большом значении этого интервала применение проковки не дает результатов, так как свариваемый материал успевает остыть до её начала. При очень малом интервале запаздывания возможно выдавливание расплавленного материала из зоны сварки под действием ковочного усилия. В этом случае возможны выплески и прожоги полимера.



Технология ультразвуковой сварки жестких термопластов

Сварка полистирола, сополимеров стирола, полиметилметакрилата, винипласта, капролона, поликарбоната и других полимеров, имеющих высокий модуль упругости и низкий коэффициент затухания, широко применяется при изготовлении различных объемных деталей и конструкций – от контейнеров и сосудов до товаров народного потребления. В этом случае УЗС позволяет значительно снизить трудоемкость процесса, увеличить производительность труда, повысить культуру производства и освободиться от применения токсичных клеев.

В зависимости от формы изделия и материала может применяться контактная и передаточная сварка или комбинация этих способов. В процессе сварки следует стремиться к концентрации энергии УЗ колебаний непосредственно на стыкуемых поверхностях.

Уменьшение площади контакта деталей значительно повышает статические и динамические напряжения на стыках, что ведет к понижению температуры перехода полимера в вязкотекучее состояние и способствует сокращению продолжительности сварки.

При большом разнообразии рекомендуемых форм и разделок деталей под УЗС в зависимости от конкретных изделий и материалов наиболее распространенной является V – образная разделка кромок, которая проста в изготовлении и дает хорошие показатели прочности сварных соединений.

Увеличение динамических напряжений в выступе при пропускании УЗ колебаний обуславливает его быстрый нагрев. Расплавляясь, материал выступа растекается между свариваемыми кромками, что вызывает интенсивный разогрев и оплавление материала деталей. Чем ниже вязкость расплава, тем быстрее растекается материал выступа между свариваемыми кромками и тем быстрее заполняет зазоры.

Вид разделки стыкуемых кромок (рис.7.13) зависит от требований к готовой продукции и теплофизических характеристик свариваемого материала.

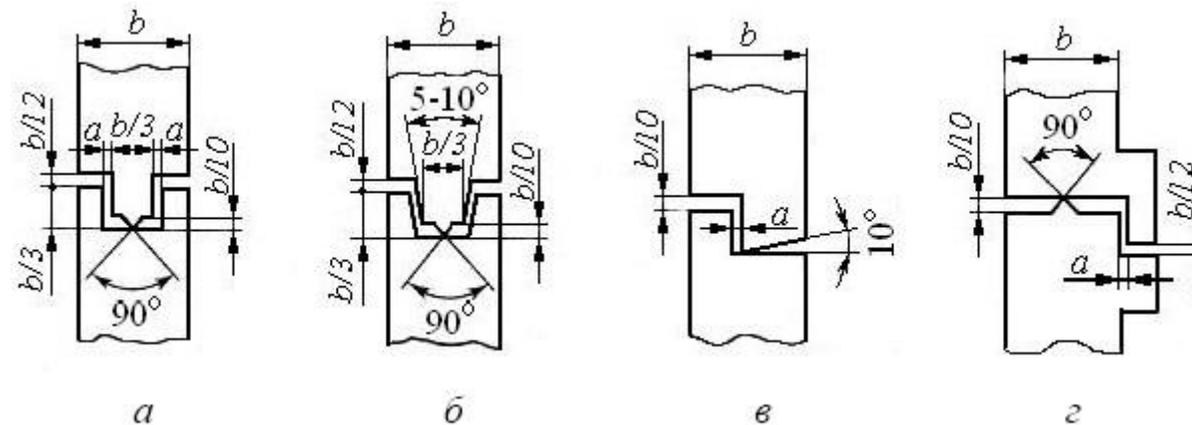


Рис.7.13. Конструкции кромок стыкуемых деталей при сварке жестких пластмасс ($a = 0,1$ мм)

Требования к готовой продукции определяются её назначением. Их можно разбить на три основные группы: прочность, герметичность, внешний вид.

Разделка кромок, представленная на рис.7.13, а, обеспечивает значительное повышение прочности и герметичности сварного шва. Конечно, такая разделка требует точной подгонки углубления в одной из стыкуемых деталей к выступу на другой, что вызывает определенные производственные трудности. Конструкция разделки кромок, представленная на рис.7.13, б, не требует такой тщательной подгонки.

При сварке изделий, к которым предъявляются повышенные эстетические требования, можно использовать разделку стыков, приведенную на рис.7.13, в. Разделки стыкуемых кромок, применяемые при сварке емкостей или контейнеров, изображены на рис.7.13, г.

При использовании разделок, показанных на рис.7,13, а, б, происходит образование видимого валика за счет выдавливания расплавленной пластмассы. Применение разделок, приведенных на рис.7.13, в, г, исключает

видимый валик или делает его малозаметным. Прочность сварных соединений достигается увеличением площади шва, герметичность – конструированием шва в виде ломаной линии, эстетичность – принудительным выдавливанием грата на невидимую сторону шва. Между сопрягаемыми по вертикали деталями необходимо предусматривать зазор, примерно равный 0,1 мм.

Часто возникает необходимость жесткой посадки одной детали в другую (рис.7.14). Эту операцию можно успешно выполнить при помощи УЗС. Для этого на ввариваемой детали делаются выступы (буртики) (рис.7.14, а), которые играют роль концентраторов напряжений и присадочного материала. Оптимальные размеры буртика приведены на том же рисунке. Если свариваемая деталь имеет большую высоту, необходимо предусмотреть несколько буртиков.

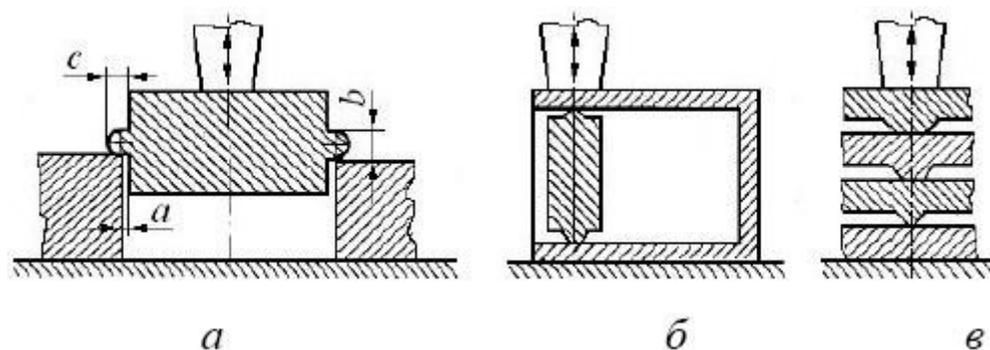


Рис.7.14. Технологическая подготовка кромок в случаях ультразвукового прессования (а), сварки в двух плоскостях (б), многоэлементной сварки (в); $a = 0,01-0,25$ мм; $b = 0,25-1,25$ мм; $c = 0,25-1,25$ мм

На рис.7.14, б и в представлены схемы подготовки кромок и сборки деталей при сварке в двух плоскостях и одновременной сварке нескольких слоев термопластичных материалов. В первом случае одновременно имеет место контактная и передаточная сварка выступов детали со стенками камеры. Во втором – площади контакта между отдельными слоями для равномерного распределения энергии имеют переменный размер.

Образование сварного соединения при сварке жестких пластмасс может происходить по двум схемам: «с преимущественным внедрением» и «с преимущественным оплавлением».

Малогабаритные детали несложной симметричной формы свариваются за один контакт волновода с изделием, причем волновод устанавливается перпендикулярно к свариваемым поверхностям по оси симметрии соединения (рис.7.15). Если деталь сложная и длина сварного шва значительная, то количество точек и место введения ультразвуковых колебаний определяются экспериментально. В зависимости от формы литого изделия для сварки могут быть использованы волноводы с плоской или фигурной рабочей поверхностью. В последнем случае рабочий торец волновода прилегает к поверхности свариваемой детали, копируя её форму.

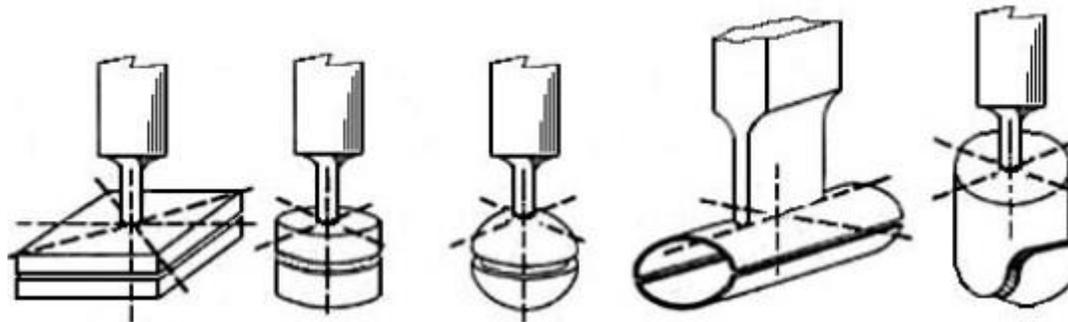


Рис.7.15. Расположение волновода при сварке деталей несложной формы

В зависимости от формы изделия для фиксации деталей в процессе сварки применяются различные опоры. Использование опор-держателей преследует три цели: предотвратить смещение деталей; предотвратить смещение изделия относительно волновода; предотвратить контакт изделий с руками сварщика-оператора.

При использовании волноводов с большой излучающей поверхностью (ножевых, контурных и т.д.) обязательным условием получения сварного соединения высокого качества является строгая параллельность рабочего торца волновода и поверхности свариваемого изделия.

Оптимальный режим сварки: время сварки 1-2 с; амплитуда смещения рабочего торца волновода 25-30 мкм; статическое усилие прижима 50-100 Н.



Технология ультразвуковой сварки мягких термопластов

При сварке мягких пластмасс (полиэтилен высокой и низкой плотности, полипропилен, пластифицированный поливинилхлорид и др.), характеризующихся низким модулем упругости и большим коэффициентом затухания УЗ колебаний, в основном используется контактная УЗС. Характерной особенностью УЗС этих материалов является значительное тепловыделение не только на границе раздела свариваемых материалов, но и в объемах, прилегающих к волноводу и опоре.

Это приводит к существенной деформации поверхностей свариваемых деталей, выражающейся во внедрении рабочего торца волновода в пластмассу с вытеснением пластифицированного материала, причем глубина внедрения может составлять более 50% от суммарной толщины деталей. Поэтому УЗС мягких пластмасс рекомендуется использовать для соединения по контуру, чаще с одновременным обрезанием материала, выступающего за внешний контур рабочего торца волновода.

Такие соединения широко применяются при изготовлении емкостей, контейнеров и труб, использующихся, как правило, для хранения пищевых продуктов, косметики или продуктов бытовой химии. Поэтому при разработке технологии сварки таких изделий из мягких пластмасс следует, в первую очередь, обращать внимание на влияние затариваемых продуктов на свариваемость или исключать их контакт при сварке со свариваемыми материалами. Наиболее типичными дефектами УЗС мягких пластмасс являются подрезы, непровары и свищи.

Подрезы образуются вследствие того, что при сварке торец волновода под действием сварочного давления внедряется в поверхностный слой, вытесняя размягченную прослойку. В результате в месте контакта волновода с деталью происходит утонение соединения. Место утонения является концентратором напряжений, поэтому при приложении небольшого внешнего усилия в нем происходит разрушение.

Утонение полимера в зоне сварного шва может являться причиной образования свищей.

Непровары при УЗС могут быть обусловлены также разнотолщинностью свариваемых изделий по периметру. В зависимости от вязкости жидкого продукта разнотолщинность допускается до 15%.

Специальная заточка рабочего торца волновода дает возможность избежать подрезов и свищей в зоне сварного шва, а также добиться уменьшения грата. Наиболее хорошее формирование и усиление шва достигается при использовании волновода с насечкой или накаткой на рабочей поверхности. Существенное влияние на качество сварного соединения оказывают форма и расположение опоры по отношению к волноводу. При изготовлении системы опора-волновод необходимо соблюдать соосность и параллельность рабочих поверхностей волновода и опорных стаканов.

УЗС с успехом применяется для сварки труб, заполненных пищевыми продуктами (плавленный сыр, сметана, сгущенное молоко и т.д.) или продуктами бытовой химии (кремы, шампуни, вазелин, клей и т.д.), шприц-тюбиков для одноразовой инъекции лекарственных растворов, синтетических тканей, искусственных кож и полимерных пленок.



Оборудование для ультразвуковой сварки пластмасс

В настоящее время действуют два отраслевых стандарта – ОСТ 16 0.539.080-79 и ОСТ 0.800.875-81. Первый документ устанавливает единые требования к разработке, изготовлению, испытанию и приемке машин для УЗС, а второй устанавливает рациональную номенклатуру машин (их основные параметры и размеры).

На основе тщательного анализа структуры технологического оборудования разработана унифицированная терминология для основных узлов сварочных машин, к которым относятся:

- сварочный узел (акустическая система), включающий в себя преобразователь энергии, трансформатор упругих колебаний, волновод;

- механизм давления, обеспечивающий сжатие свариваемого материала между волноводом и опорой;
- вспомогательные устройства, обеспечивающие транспортирование материала;
- станина, предназначенная для размещения названных выше элементов и узлов;
- блок управления, служащий для контроля и управления процессом сварки.

Современные ультразвуковые сварочные машины можно классифицировать по следующим признакам:

- по видам свариваемых соединений – на машины для точечной, многоточечной, контурно-рельефной, шовной и шовно-шаговой сварки. Первые три типа машин позволяют осуществлять прессовую контактную или передаточную сварку; последние два типа машин служат для получения непрерывных протяженных прямолинейных или криволинейных швов;
- по степени автоматизации – на автоматы, полуавтоматы и машины с ручным управлением основными и вспомогательными операциями;
- по назначению – универсальные машины общего назначения, позволяющие производить сварку изделий широкой номенклатуры, и специализированные машины;
- по характеру установки машины – на стационарные и переносные; стационарными являются, как правило, машины для прессовой и шовной УЗС; к переносным машинам относятся, например, ручные пистолеты небольшой мощности;
- по характеру взаимного перемещения свариваемого материала и волновода – на машины с подвижным и неподвижным акустическим узлом;
- по способу создания статического давления – на машины, в которых давление осуществляется через волновод и через опору;
- по количеству рабочих позиций – на одно-, двух- и многопозиционные; однопозиционные машины имеют одну рабочую позицию, на которой может осуществляться односторонняя или двусторонняя сварка; в многопозиционных машинах сварка изделий может производиться одновременно или поочередно с помощью нескольких акустических головок от одного или нескольких сварочных генераторов.

Промышленностью выпускается большое количество моделей машин для ультразвуковой сварки, предназначенных для выполнения различных типов сварных соединений деталей различной сложности и из различных материалов.



Стационарная универсальная сварочная машина модели УПМ-21, разработанная в МГТУ им. Н.Э. Баумана, предназначена для контактной и передаточной ультразвуковой сварки сложных изделий из полистирола различных марок и других пластмасс, а также для запрессовки в них металлической арматуры. Машина УПМ-21 (рис.7.16) состоит из станины 3 со столом 15, на котором установлена стойка 14. По направляющим стойки 14 перемещается суппорт 13 с закрепленным на ней установочным кронштейном 12, в котором крепится сварочный узел 10.

В состав сварочного узла входит волновод 9, соединяемый с трансформатором упругих колебаний резьбовой шпилькой. Перемещение суппорта 13 осуществляется нажатием педали 1. Педаль и суппорт связаны тягами 2 и 8. Для возвращения сварочного узла в верхнее положение служат пружина 18 и противовес 17.

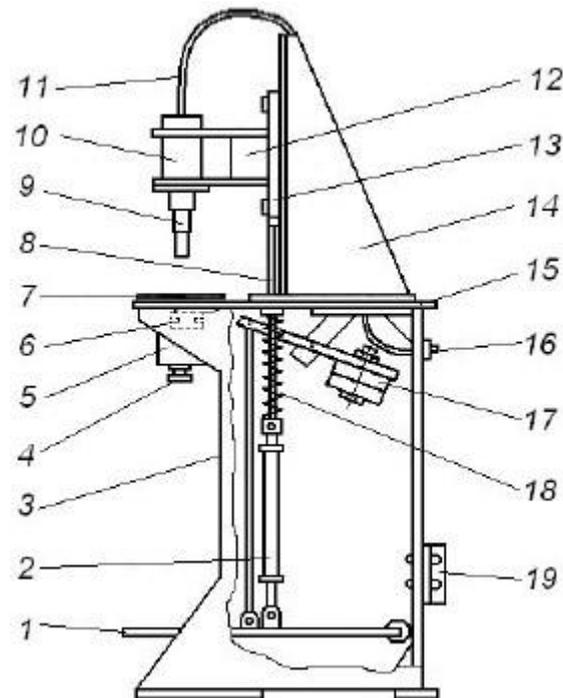


Рис.7.16. Конструктивная схема сварочной машины УПМ-21: 1 – педаль; 2, 8 – тяги; 3 – станина; 4 – регулирующий винт; 5 – механизм давления; 6 – концевой выключатель; 7 – пружинная опора; 9 – волновод-инструмент; 10 – сварочный узел (акустическая система); 11 – шланги для подвода охлаждающей воды; 12 – крон-штейн; 13 – суппорт; 14 – стойка; 15 – стол; 16 – штуцер; 17 – противовес; 18 – пружина; 19 – клеммная коробка

Изделие, предварительно уложенное в кондуктор, располагается на столе 15 (на пружинной опоре 7). При нажатии педали 1 опускается кронштейн 12, преобразователь и волновод 9, в результате чего изделие зажимается между волноводом и опорой. Давление регулируется со стороны опорного стола опорой винтом 4. В момент зажатия изделия включается ультразвук и производится сварка.

Коммутирующие элементы обеспечивают включение и выключение ультразвуковых колебаний в ручном режиме с помощью кнопки, установленной на генераторе, и в автоматическом режиме - с помощью концевого выключателя 6, установленного под рабочим столом. Охлаждение водяное. После незначительных конструктивных изменений машину можно применять для двусторонней сварки.

В машине используются сменные волноводы (ножевые, контурные или точечные) в зависимости от формы свариваемых изделий и характера сварки. Время сварки одного изделия от 0,1 до 10 с. Усилие прижима до 500 Н. Максимальное расстояние между рабочим торцом волновода и опорой до 200 мм. В комплекте с машиной УПМ-21 возможно применение ультразвуковых генераторов типа УЗГ 5-1,6/22 и УЗГ 3-0,4, габаритные размеры машины 530x740x1300, масса 85 кг.

Универсальная стационарная сварочная машина типа МТУ-1,5-3У4 разработана ВНИИЭСО и серийно выпускается Калининградским заводом "Электросварка". Она предназначена для точечной и контурной ультразвуковой сварки изделий из полимерных материалов. На машине можно получать нахлесточные, тавровые и угловые соединения изделий различной конфигурации из полистирола, полиамидов, капрона, полиметилметакрилата, полиэтилена.

Машина состоит из сварочного устройства и источника питания - ультразвукового генератора УЗГ 5-1,6/22 или УЗГ 13-1,6.

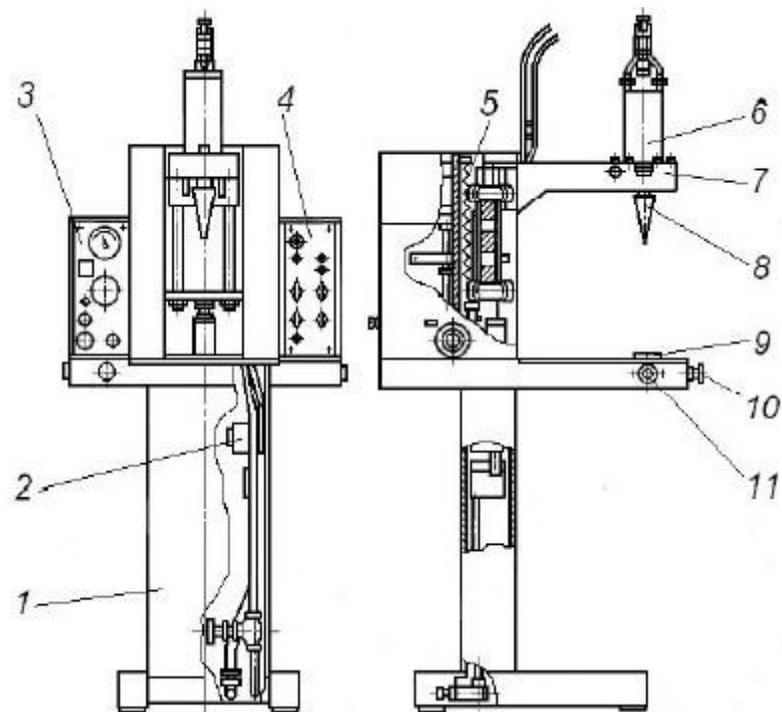


Рис.7.17. Конструктивная схема сварочной машины МТУ-1,5-3У4: 1 – стойка; 2 – реле давления воды; 3 – регулятор давления; 4 – регулятор цикла сварки; 5 – пружина; 6 – сварочный узел; 7 – кронштейн; 8 – волновод; 9 – опора; 10 – кнопка аварийного отключения; 11 – кнопка включения

Сварочное устройство (рис.7.17) крепится на сварной стойке 1, на верхнем кронштейне которой в направляющих перемещается Г-образный кронштейн. На переднем конце кронштейна находится сварочный узел 6. Кронштейн соединен со штоком пневмоцилиндра, корпус которого закреплен на вертикальной стенке кронштейна стойки 1.

На машине предусмотрено плавное регулирование расстояния по высоте (на 200 мм) между сменным волноводом 8 сварочного узла и сменной опорой 9, предназначенной для установки свариваемых деталей. Вылет акустического узла 300 мм. Две пружины 5 предназначены для компенсации веса подвижных частей. На верхней плоскости стола установлены регулятор цикла сварки 4 и панель 3 с кнопками управления манометром и

воздушным редуктором. Внутри вертикальной части стойки установлено реле 2 давления воды в системе охлаждения.

Электрическое устройство включает в себя регулятор цикла сварки и элементы, обеспечивающие включение, выключение, сигнализацию и защиту сварочного устройства. Регулятор цикла сварки обеспечивает автоматическое управление машиной по следующему циклу: опускание сварочного узла; включение и выключение ультразвуковых колебаний; дополнительное сжатие и выдержка изделия под давлением без действия ультразвуковых колебаний; подъем сварочного узла.

В машине предусмотрена возможность работы по сложной циклограмме приложения сварочного (от 80 до 400 Н) и проковочного усилия с увеличением последнего после окончания воздействия ультразвуковых колебаний от 160 до 800 Н или с выдержкой свариваемых деталей под давлением, равным сварочному. Мощность преобразователя 1,5 кВт, частота 22 кГц; материал - пермендюр; охлаждение водяное; привод механизма давления пневматический; время сварки регулируется от 0,1 до 10 с; масса машины (с генератором) 445 кг. Специализированная стационарная сварочная машина типа УПК-15М1, разработанная в МГТУ им. Н.Э. Баумана, предназначена для сварки емкостей из полиэтилена (рис.7.18). Сварочная операция по всему контуру изделия осуществляется за одно движение волновода. Применение контурного волновода диаметром 110 мм позволяет производить надежную герметизацию изделия за 2-6 с при толщине изделия от 0,4 до 1,5 мм. Машина предназначена для выпуска крупных серий продукции при работе в неблагоприятных условиях (попадание на установку воды и агрессивных сред). Машина многопозиционная, имеет один вертикально перемещающийся сварочный узел и поворотный стол с шестью гнездами-опорами.

Машина УПК-15М1 работает следующим образом. Коробки из полимера, наполненные пищевыми продуктами и закрытые крышками, вручную укладываются в стаканы 7 поворотного стола 8. При повороте стола на 60° толкатель 2 сходит с выступа кулачка 1, в результате чего опускается кронштейн 3 со сварочным узлом 5, который с определенной силой (регулируемой подвижной пружиной 4) зажимает коробку между волноводом и стаканом. В момент зажатия коробки включается ультразвук и производится сварка изделия. Поворот стола осуществляется с помощью мальтийского креста. Во время сварки, когда стол неподвижен, кулачок продолжает вращаться; при подходе выступа к толкателю 2 последний поднимает сварочный узел 5; стол 8 поворачивается в следующую позицию, а сваренная коробка снимается с машины толкателем 9. Регулирование положения

сварочного узла 6 выполняется шестью винтами, расположенными в кронштейне под ним. При помощи этих винтов удастся обеспечить точное и быстрое регулирование параллельности поверхности контурного волновода 6 и поверхности опорных стаканов 7.

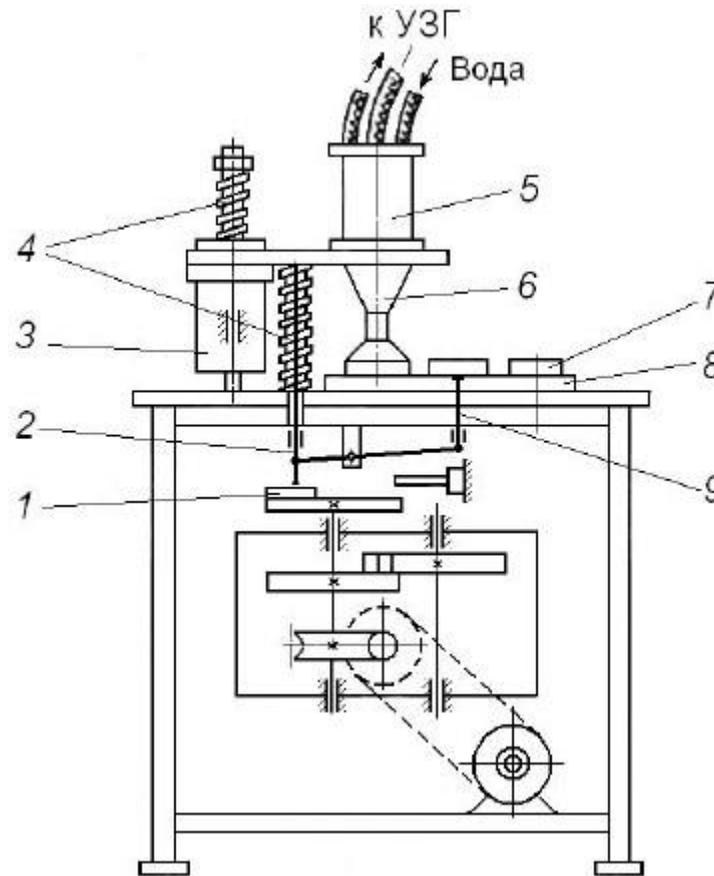


Рис. 7.18. Устройство сварочной машины типа УПК.-15М1: 1 – выступ кулачка; 2, 9 – толкатели; 3 – кронштейн; 4 – пружины; 5 – сварочный узел (акустическая система); 6 – волновод-инструмент; 7 – опорный стакан; 8 – поворотный стол

В целях стабилизации механических свойств сварного шва выбран способ отключения ультразвукового импульса по заданной деформации или по остаточной толщине сварного шва. Мощность преобразователя 2,5 кВт; частота 19,5 кГц; материал – пермендюр; статическое усилие прижима от 10 до 700 Н; производительность до 7800 изделий в смену; генератор УЗГ 3-4М. Стационарная полуавтоматическая машина модели УПШ-12, разработанная в МГТУ им. Н.Э. Баумана, предназначена для сварки синтетических тканей из лавсанового, полипропиленового и капронового волокон толщиной от 100 до 1000 мкм (рис.7.19). Особенность машины УПШ-12 состоит в том, что для повышения прочности сварного соединения за волноводом установлен прокатывающий ролик, укрепленный на кронштейне станины. Вследствие того, что ткани имеют большую теплоемкость и малый коэффициент теплоотдачи, сварной шов подходит к ролику ещё не остывшим, поэтому прокатка происходит при повышенной температуре. В результате прокатки прочность сварного соединения повышается на 4-5% по сравнению с прочностью сварного шва, полученного без прокатки. Предусмотрено регулирование положения прокатывающего ролика в зависимости от толщины свариваемой ткани, что позволяет при сварке прокатывать ткань с различной силой прижима. Установочный винт служит для регулирования зазора между торцом волновода и опорой от 0 до 5 мм. Установка УПШ-12 комплектуется никелевым преобразователем мощностью 0,4 кВт с частотой 22 кГц, работающим от ультразвукового генератора УЗГ 3-04. При использовании генератора малой мощности (20 Вт) в машине может быть использован ферритовый преобразователь с воздушным охлаждением. Скорость перемещения ткани до 0,07 м/с; статическое усилие прижима до 300 Н.

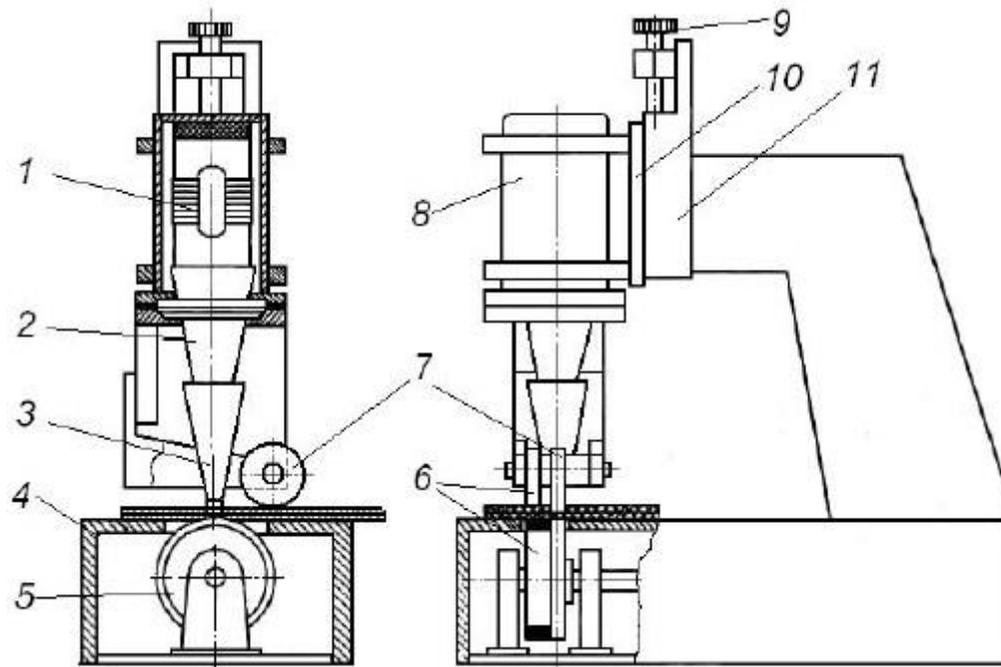


Рис. 7.19. Устройство сварочной машины модели УПШ-12: 1 – преобразователь; 2 – трансформатор упругих колебаний; 3 – волновод-инструмент; 4 – рабочий стол; 5 – роликовая опора; 6 – протягивающие ролики; 7 – прокатывающий ролик; 8 – сварочный узел; 9 – установочный винт; 10 – подвижная суппорт; 11 – станина

Переносная установка РУСУ-44-250 предназначена для точечной сварки полистирола, запрессовки крепежной металлической арматуры в детали из термопластов и проведения клепки пластмассовыми заклепками при использовании волноводов определенной формы. Установку можно использовать для сварки и резки пленочных материалов и синтетических тканей. Установка состоит из сварочного пистолета и генератора, выполненного на мощных транзисторах. Акустическая система сварочного пистолета работает на двух дисковых преобразователях из высокоэффективной пьезокерамики ЦБТС-17. В сварочном пистолете используется несколько типов волноводов, выполненных из титановых сплавов. Охлаждение системы - естественное. Мощность генератора 250

Вт; частота 44 кГц; амплитуда колебаний волновода 35-45 мкм; масса пистолета 1,5 кг; размеры генератора 380x320x180 мм.

Сварочный ультразвуковой пресс модели УЗПК-12 — новая разработка фирмы ООО "ПУТЕК" (Украина). Пресс УЗПК-12 (рис.7.20) позволяет сваривать детали из пластмасс периметром до 400 мм. Конфигурация свариваемых деталей однозначно определяет тип и размеры соответствующего инструмента - волновода и сварочной опоры для фиксации детали на сварочном столе. Установка позволяет выполнять также и другие технологические операции: закладывание металлических деталей в пластмассовую основу, клепку и резку полимерных материалов. Главное отличие новой модели — возможность изменения параметров сварки (время/энергия, давление сварки) на протяжении сварочного импульса. Необходимость в этом может возникнуть при выборе технологических режимов в зависимости от материалов и конструкции свариваемых изделий.



Рис.7.20. Сварочный ультразвуковой пресс УЗПК-12

Установка укомплектована источником питания с процессорным управлением и простым интерфейсом с десятью ячейками памяти для сохранения параметров технологических режимов сварки.

Являясь в Украине официальным дистрибьютором швейцарской фирмы Telsonic Ultrasonics, ООО "ПУТЕК" предлагает на российском рынке продукцию и этой фирмы, среди которой и ручной инструмент для сварки «Handy Star» (рис.7.21, а).



Рис.7.21. Ручной инструмент для сварки «Handy Star» (а) и волноводы с различной рабочей поверхностью (б)

Handy Star - универсальный инструмент для ультразвуковой сварки, прихватки, клепки пластмасс, а также интенсификации процесса полимеризации термореактивных клеев при креплении разнообразных деталей к несущим конструкциям. На рис.7.21, б представлены волноводы с различной рабочей поверхностью.

ООО "Ультразвуковая техника - ИНЛАБ" разрабатывает, изготавливает и поставляет оборудование для ультразвуковой сварки и резки пластмасс, армирования пластмасс металлами, развальцовки заклепок из полимеров. Ультразвуковой сварочный пресс ИЛ100-7 этой фирмы предназначен для ультразвуковой контактной сварки изделий из термопластичных полимеров.

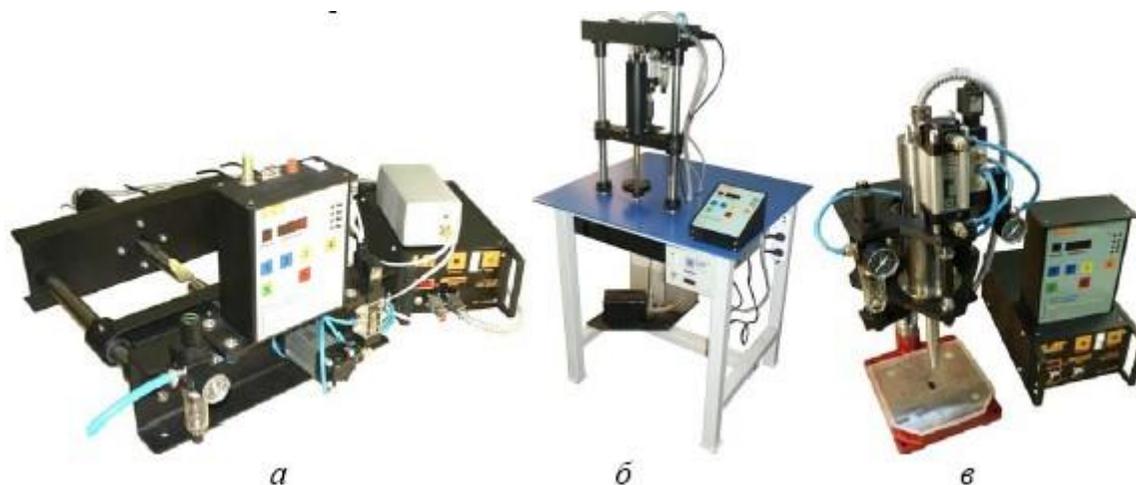


Рис.7.22. Различные комплектации ультразвукового сварочного пресса ИЛ100-7

Ультразвуковой сварочный пресс ИЛ100-7 выпускается в различной комплектации (рис.7.22): - УЗ сварочный пресс для встраивания в технологические линии (рис.7.20, а), - УЗ сварочная установка (рис.7.20, б), - настольная сварочная машина (рис.7.20, в).



Рис.7.22. Различные комплектации ультразвукового сварочного пресса ИЛ100-7

Сварочные волноводы разрабатываются и изготавливаются под конкретную конфигурацию сварочного шва.

Мощность машин может быть от 400 Вт до 4 кВт.

