

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

Игорь ФОКША, студент факультета
реальных наук, экономики и окружающей среды
Бельцкого государственного университета имени Алеку Руссо.
Научный руководитель: **Павел ПЕРЕТЯТКУ**, доктор, конференциар

Abstract: *This scientific article describes the process of ultrasonic welding. This type of welding has many advantages, which is why it is currently widely used. The article describes the chemical and physical processes that occur during the welding process. This type of welding may be used for metals and non-metals. This method allows to get quite strong connections. Devices that make it possible to obtain a welded joint have an interesting structure. The main methods of ultrasonic welding are spot and seam welding. Thanks to this type of welding, it is possible to weld materials of different structures and different thicknesses. Ultrasonic welding has a great future.*

Keywords: *ultrasonic welding, spot and seam welding, metals, physical processes, strong connections.*

Общие сведения об ультразвуке

Волны, распространяющиеся в упругих средах, носят название волн малой интенсивности. Эти волны вызывают слабые механические возмущения. Звуковые волны, воздействуя на органы слуха, способны вызывать звуковые ощущения, если частоты звуковых колебаний лежат в пределах 16 – 20 000 Гц. Эта область называется областью слышимых звуков. Упругие волны с частотами 20 – 100 кГц называются ультразвуковыми [1].

Упругие колебания частиц материальной среды с частотой, превышающей верхний предел слышимости, нашли широкое применение в науке и технике и породили большое количество физико- и химико-технических эффектов. В области машино- и приборостроения созданы новые методы, способы и технологии преобразования свойств объекта производства, в которых ультразвуковые колебания играют определяющую роль [2, с. 372].

Понятие ультразвуковой сварки

Ультразвуковая сварка (УЗС) – это вид сварки давлением, который происходит под воздействием ультразвуковых колебаний. Неразъемное соединение под воздействием ультразвуковых волн образуется в процессе сжатия свариваемых деталей, которое происходит при относительно небольшом усилии (порядка нескольких единиц ньютона, или даже десятых долей ньютона). Одновременно с приложенным усилием, производятся механические колебания с частотой 15-80 кГц. Основой УЗС является процесс обоюдной диффузии поверхностных слоев материалов под воздействием давления и волновых возмущений ультразвука [3].

Классификация ультразвуковой сварки

По степени автоматизации различают [4]:

- ручная. Оператор контролирует параметры установки и ведет сварочный пистолет по линии шва;
- механизированная. Параметры задаются оператором и поддерживаются установкой, детали подаются под излучатель;
- автоматизированная. Участие человека исключается, как правило применяется в массовом производстве.

По способу подвода энергии к материалу [4]:

- односторонняя;
- двусторонняя.

По методу движения волновода классифицируют [4]:

- импульсная. Подразумевает работу короткими импульсами за одно перемещение волновода;
- непрерывная. Этот тип сварки характеризуется постоянным воздействием излучателя, волновод движется с постоянной скоростью относительно материала.

По принципу дозирования вводимой энергии ультразвуковая сварка бывает с [4]:

- с предварительно заданным временем протекания процесса;
- с заранее фиксированной осадкой;
- с определенно выбранным зазором;
- с кинетической составляющей процесса. Дозировка вводимой энергии в зависимости от амплитуды перемещения сварочной опоры.

По способу подачи энергии в рабочую зону различают следующие режимы ультразвуковой сварки:

- Контактная. Энергия распределяется равномерно по всему сечению детали. Ультразвук излучается только в момент сварки точки [4].

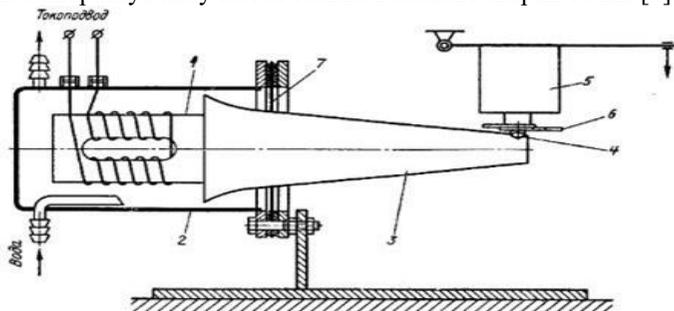


Рис. 1. Схема установки для точечной (прессовой) сварки ультразвуком состоит из [5]: 1 - электрохимического преобразователя с обмотками, заключенного в металлический корпус 2, охлаждаемый водой; 3 - трансформатора упругих колебаний; 4 - сварочного наконечника; опоры с механизмом давления 5 и свариваемых деталей 6. Крепление колебательной системы производят с помощью диафрагмы 7.

- Передаточная. В случае высоких значений модуля упругости колебания возбуждаются в нескольких точках. Волна распространяется внутри

изделия и высвобождает свою энергию в зоне соединения. Ультразвук излучается непрерывно в процессе сварки. [4].

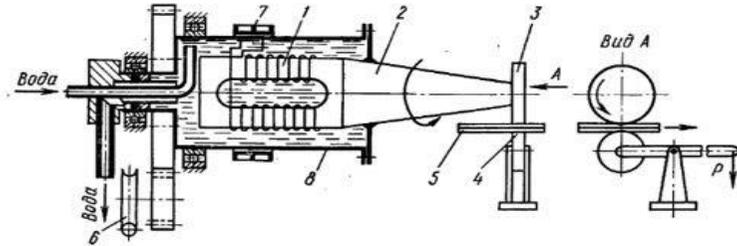


Рис. 2. Схема установки для роликовой (шовной) сварки ультразвуком состоит из [5]: 1 – электромеханического преобразователя; 2 – трансформатора упругих колебаний; 3 – сваривающего ролика; 4 – прижимного ролика; 5 – изделия; 6 – механизма привода; 7 – подвода тока от ультразвукового генератора; 8 – кожа преобразователя.

Шовная сварка ультразвуком может быть использована для получения герметичных швов на изделии. Колебательная система приводится во вращение специальным приводом. При сварке изделие зажимается между концом вращающегося трансформатора упругих колебаний, выполненного в виде ролика, и нижним прижимным роликом. Элементом колебательной системы, возбуждающей упругие колебания, является электромеханический преобразователь, использующий магнитоstrictionный эффект. Переменное напряжение создает в обмотке преобразователя намагничивающий ток, который возбуждает переменное магнитное поле в материале преобразователя. При изменении величины напряженности магнитного поля в материале возникает периодическое изменение размеров, при этом частота упругих колебаний равна двойной частоте тока [5].

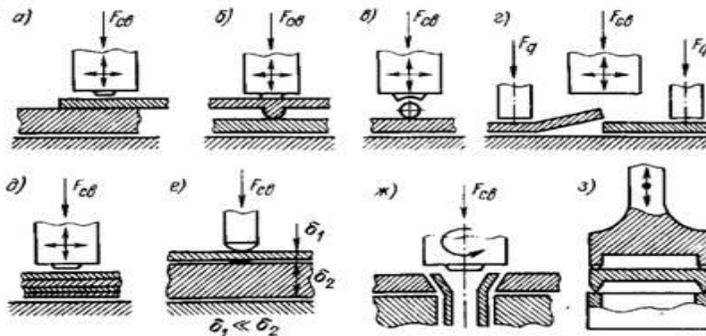


Рис. 3. Основные типы сварных соединений металлов при УЗС [6]: а – внахлест; б – по профилю; в – параллельное соединение круглого и плоского профилей; г – с деформированием кромок; д – многослойных элементов; е – детали разной толщины; ж – угловое соединение; з – контурная сварка элементов. Стрелками показано направление колебаний сварочного наконечника.

Преимущества ультразвуковой сварки

- установки для УЗС металлов имеют несложную конструкцию и обладают небольшой мощностью [3 - 6];
- высокая производительность, сравнимая только с контактной сваркой – доли секунды;
- нет нужды в тщательной механической зачистке зоны сварки;
- не требуются сварочные материалы;
- не требуется защитная газовая среда;
- нет ограничений по форме деталей;
- экономичность со стороны энергозатрат;
- соединение всегда имеет эстетичный вид и высокую надёжность;
- способ является экологически чистым, при его использовании не применяются химикаты, а выделяемые пары образуются в небольшом количестве;
- не предполагает использование сверхвысоких температур, поэтому работать можно с металлами, которые чувствительны к теплу, а также с другими материалами различными по составу;
- есть возможность полностью автоматизировать работу и с легкостью интегрировать сварку с другими производственными процессами.

Недостатки ультразвуковой сварки

- при ультразвуковой сварке металлов ограничение размера свариваемой поверхности – до 250 мм. Это объясняется отсутствием возможности сварочного наконечника, передать достаточную мощность звуковой волны;
- качественная сварка возможна только при минимальной влажности материалов [7].

Сущность ультразвуковой сварки металлов

При УЗС соединение образуется в результате совместного действия на детали сжимающего усилия и высокочастотных механических колебаний, что сопровождается относительным тангенциальным смещением малой амплитуды соединяемых поверхностей и нагревом металла в зоне сварки. Усилия действуют перпендикулярно соединяемым поверхностям, а колебания вызывают их незначительное смещение с ультразвуковой частотой. При этом происходит небольшая пластическая деформация поверхностного слоя металла в зоне сварки и образование ювенильных поверхностей и их соединений. Продолжительность процесса измеряется секундами и долями секунд [5].

Сварочный наконечник определяет площадь и объем источника ультразвуковых механических колебаний непосредственно в зоне сварки. Он должен передавать колебания для осуществления трения между поверхностями соединяемых деталей с минимальными потерями между ним и верхней деталью [5].

Таким образом, процесс ультразвуковой сварки металлов происходит в условиях трения, вызванного микроскопическим относительным возвратно-поступательным перемещением участков поверхностей в зоне сжатия, что сопровождается выделением теплоты [5].

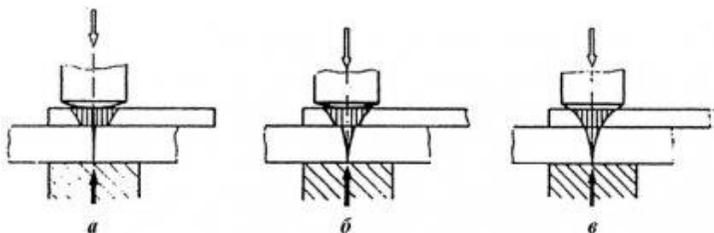


Рис. 4. Распространение ультразвуковых колебаний при сваривании: а - начало сваривания; б - процесс сварки; в - окончание процесса [5].

При ультразвуковой сварке действуют два основных источника тепла. Один находится в зоне контакта сварочного наконечника с деталью, второй - в зоне соединения деталей. Выделение теплоты у сварочного наконечника обусловлено его трением с деталью и приводит к пластическому деформированию наружной поверхности детали под наконечником. Выделение теплоты между деталями обусловлено действием нормальных сжимающих напряжений и напряжений сдвига, что приводит к внешнему и внутреннему трению в металлах и пластической деформации в зоне сварки [5].

Вибрирующий сварочный наконечник в первый момент сварки развивает интенсивное выделение тепла в зоне его контакта с деталью. Усилие сжатия обеспечивает передачу ультразвуковых колебаний в зону сварки. Его минимальное значение, при котором начинают образовываться соединения, зависит от свариваемых материалов и их толщины, а оптимальное значение возрастает с увеличением амплитуды колебаний [5].

При увеличении контактного давления начальная скорость нагрева растет за счет улучшения связи между сварочным наконечником и деталями. Скорость нагрева деталей зависит также от формы и состояния поверхности наконечника [5].

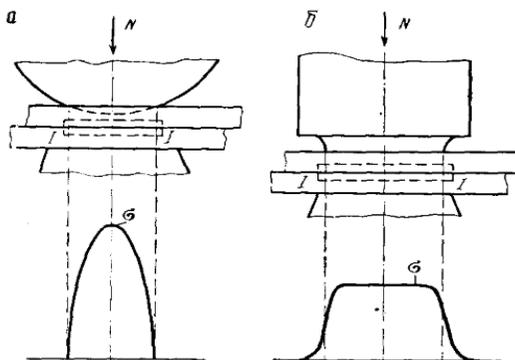


Рис. 5. Распределение удельных статических давлений в зоне соединения (а - для сферического наконечника; б - для плоского наконечника) [8, с 79].

Температура в зоне сварки зависит от твердости и теплофизических свойств свариваемых материалов, мощности колебательной системы и параметров режима сварки. Нагрев в зоне сварки обычно не превышает 0,6 температуры плавления. Под действием трения, нагрева и пластического деформирования пленки загрязнений разрушаются и удаляются из зоны сжатия, благодаря чему становится возможным образование узлов схватывания, их расширение и формирование сварного соединения. Ультразвуковые колебания способствуют удалению жировых пленок благодаря развитию кавитационных процессов в условиях действия в отдельных микрообъемах попеременных высоких давлений и разрежений. Поэтому УЗС может выполняться даже при наличии жировых загрязнений поверхностей. Однако принято обезжировать поверхности перед свариванием, поскольку это увеличивает диаметр точек сварки. Ультразвуковые колебания также снижают поверхностное натяжение металлов, значительно ускоряют образование активных центров и схватывания поверхностей, процессы диффузии и рекристаллизации. Поэтому формирование кристаллической структуры в зоне соединения при сварке происходит достаточно быстро [5].

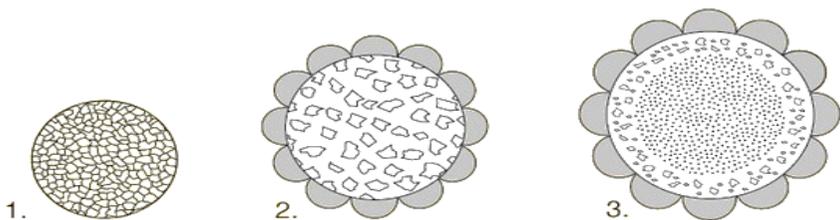


Рис. 6. Модель процесса ультразвуковой сварки [9]: 1 – первоначальные разрушения приграничных оксидных слоев в зоне упругого контакта; 2 – прогрессивное расширение слоя разрушенного оксида за счет горячего сдвига. Пятно также растет в новой кольцевой зоне; 3 – окончательное распределение частиц оксидов в пятне ультразвуковой сварки. Имеется твердотельное соединение между металлами, за исключением точек присутствия оксидов.

УЗС может выполняться с импульсным нагревом места сварки от отдельного источника тепла, что позволяет уменьшить усилие сжатия, амплитуду, время действия ультразвуковых колебаний и деформацию металла. Такой способ разработан для УЗС микродеталей. Свариваемые элементы подлежат действию ультразвуковых колебаний и нагреванию одновременно или в определенной последовательности [5].

Исследование процесса образования сварного соединения при ультразвуковой сварке медных пластин толщиной $0,35 + 0,35$ мм показывает, что при малом времени пропускания ультразвука (менее 0,05 с) сварка не происходит. После разъединения образцов на их поверхности непосредственно под сваривающим выступом наблюдается пятно, имеющее полированную поверхность (рис. 7, 1). Диаметр полированного пятна возрастает при увели-

чении времени сварки (рис. 7, 1 - 4). При пропускании ультразвука в течение 0,1 с в местах контакта обнаруживаются не только зашлифованные поверхности, но и срывы металла, свидетельствующие об образовании прочных соединений, так называемых узлов схватывания. На рис. 7, 2 виден один узел схватывания на зашлифованной поверхности [6].

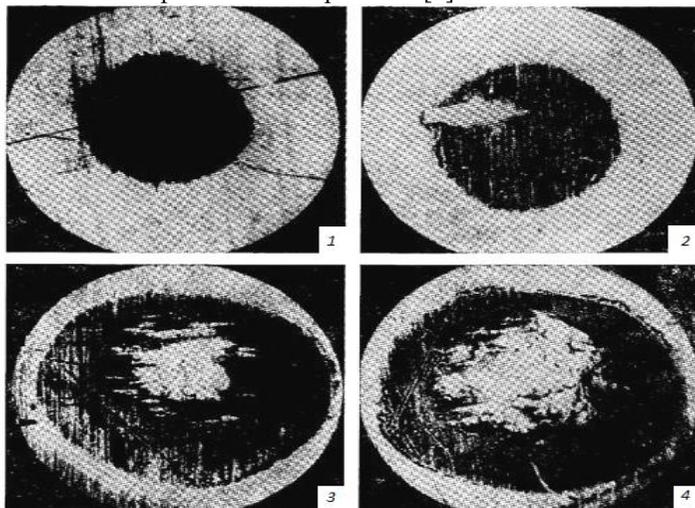


Рис. 7. Макроструктура мест разрушения сварных соединений меди после различного времени пропускания ультразвука [6].

Пропускание ультразвука в течение 0,73 с привело к дальнейшему увеличению площади зашлифованного пятна, при этом площадь узла схватывания также возросла. Вокруг основного узла схватывания возникли отдельные небольшие участки схватывания, удлиненные в направлении ультразвуковых колебаний. С увеличением времени пропускания ультразвука (больше 0,73 с), площадь зашлифованного участка почти не изменяется (рис. 7, 4), а площадь узлов схватывания начинает увеличиваться более интенсивно. При пропускании ультразвука свыше 1,06 с происходит разрушение сварного соединения с срыв точки по всему контуру [6].

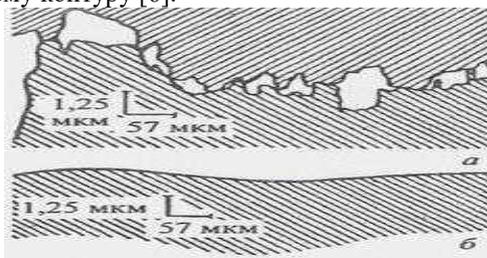


Рис. 8. Профиль поверхности: а - двух собранных медных деталей перед ультразвуковой сваркой; б - нижней детали после воздействия ультразвука [10].

Процесс образования соединения металлов с помощью ультразвуковых колебаний в общем случае можно разделить на три стадии [9-12]:

- получение первичных «мостиков схватывания»;
- повышение температуры соединяемых металлов в зоне контакта, вызывающее повышение пластичности поверхностных слоев металла, испарение пленок жира и влаги, растрескивание оксидных пленок;
- сближение соединяемых поверхностей на расстояния, достаточные для появления межатомных взаимодействий, обуславливающих образование монолитного соединения. Образование соединения сопровождается интенсивным протеканием в поверхностных слоях диффузии, релаксации и в ряде случаев – плавлением металла на глубину нескольких атомных слоев

Основные схемы процесса сварки ультразвуком

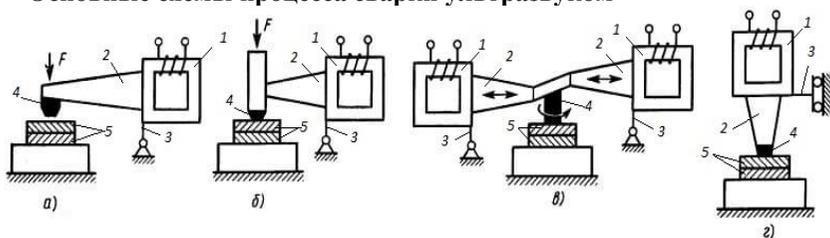


Рис. 9. Основные схемы типовых установок для УЗС металлов: а) продольная; б) продольно-поперечная; в) продольно-вертикальная г) крутильная [3].

Трансформирование электромагнитных волн в механические колебания и подача их в зону сварки осуществляется с помощью колебательной системы. Основным узлом колебательных систем является преобразователь (рис. 9, 1). Преобразователь производит механические колебания. При помощи волноводного звена (рис. 9, 2) происходит передача энергии к сварочному наконечнику и увеличивается амплитуда колебаний, по сравнению с амплитудой исходных волн преобразователя. Кроме этого, преобразователь трансформирует сопротивление нагрузки и концентрирует энергию в заданной области сварного соединения (рис. 9, 5) [3].

При помощи акустической развязки (рис. 9, 3) от корпуса машины почти вся энергия механических колебаний преобразовывается и концентрируется на участке контакта. Сварочный наконечник (рис. 9, 4) является проводным волноводным звеном между нагрузкой и колебательной системой. При помощи него задаётся необходимая площадь и объём непосредственного источника ультразвуковых колебаний в зоне сварки [3].

Заключение

Область использования ультразвуковой сварки обширна. С помощью этого метода удастся скреплять как металлы, так и неметаллические материалы. Хотя для работы с оборудованием нужны определенные навыки, освоить оборудование не сложно. Качество точечных и шовных соединений выше,

чем при традиционных технологиях. Получаемые сварные соединения отличаются аккуратностью. Экономия на электродах, сварочной проволоке, защитных флюсах сокращает сроки окупаемости оборудования. Производители, в свою очередь, предлагают широкую гамму моделей для ручной и автоматической ультразвуковой сварки. Каждый может выбрать аппарат для работы в зависимости от материала, толщины и размеров соединяемых деталей.

Библиография:

1. <https://info.wikireading.ru/84269>
2. ЕЛИСЕЕВ Ю.С., КРЫМОВ В. В., МИТРОФАНОВ А.А., САУШКИН Б. П., СЫЧКОВ Г. А., ТРОШИН А. Н. *Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей*, Москва: Изд. Коллектив авторов, 2002. 656 с. ISBN 5-7101-6055-2.
3. <http://taina-svarki.ru/sposoby-svarki/svarka-davleniem/ultrazvukovaya-svarka-metallov-shema-i-tehnologiya.php>
4. <http://stankiexpert.ru/spravochnik/svarka/ultrazvukovaya-svarka.html>
5. <https://shallot.ru/ultrasonic-welding-of-plastics-is-a-method-of-highfrequency-oscillations-what-is-ultrasonic-welding.html>
6. <https://www.autowelding.ru/index/0-43>
7. <http://www.tehnoinfra.ru/ultrasvarka/24.html>
8. <http://www.fluorine.ru/sposoby-svarki/17-dostoinstva-ultrazvukovoj-svarki.html>
9. РОЗЕНБЕРГ Л. Д. *Физические основы ультразвуковой технологии*, Москва: Изд. «Наука», 1970, 686 с.
10. <http://microsvarka.com/catalog/ultrasonic-metall-welding.html>
11. <https://www.samsvar.ru/stati/ultrazvukovaya-svarka.html>
12. <https://studfiles.net/preview/5282552/page:12/>