

# Ультразвуковая пайка и лужение в электронике

**Интерес к процессам бесфлюсовой ультразвуковой пайки и лужения деталей и выводов электронных компонентов вызван переходом на бессвинцовые припои и экологическими проблемами пайки в электронике. Для формирования качественных соединений применяют методы и устройства локальной ультразвуковой активации расплавов припоев.**

**Владимир Ланин**

vlanin@bsuir.by

## **Возможности ультразвуковой активации**

Переход на бессвинцовые припои и применение технологии «чистой» пайки по экологическим соображениям приводят к проблеме выбора активирующего воздействия при формировании контактных соединений в жидкой фазе. Поскольку остатки флюса после пайки сохраняют некоторый уровень коррозионной активности, их необходимо удалить, чтобы гарантировать адекватную надежность службы изделий [1]. Бесфлюсовая пайка в электронике приобретает актуальность по целому ряду причин:

- Увеличение температуры пайки для бессвинцовых припоев затрудняет удаление остатков содержащих смолу флюсов [2].
- Традиционные методы очистки хлорированными фторуглеродами и углеводородными растворителями ввиду их экологической опасности запрещены или строго ограничены.
- Применение водосмываемых флюсов требует водных процессов очистки, в результате поток сточных вод потенциально загрязняет ресурсы питьевой воды.

Альтернативной техникой пайки, заменяющей химическую активность флюса для удаления оксидов, является энергия в форме ультразвуковых (УЗ) волн. УЗ-энергия вызывает в жидком припое кавитацию, которая удаляет оксидный слой на поверхности основного металла. УЗ-активация успешно заменяет функцию удаления оксида флюсом, но не может защитить очищенную поверхность до пайки, а также изменить поверхностное натяжение расплавленного припоя, чтобы увеличить его растекание и капиллярное проникновение.

Флюсовая пайка микроплат в корпуса микросборок легкоплавкими припоями имеет существенные недостатки, обусловленные наличием остатков флюса. При пайке важно обеспечить сплошной контакт поверхности платы и металлического основания, так как пустоты и/или флюсовые включения ухудшают теплоотвод, снижают прочность соединений и являются причиной коррозии, которая может привести к отказу микросборки. Альтернативой является УЗ-пайка микроплат в корпуса модулей.

В производстве электронных и функциональных элементов, таких как монолитные конденсаторы и сборки, пьезоэлектрические преобразователи, вариконды, электреты, широко применяют металлизацию контактных поверхностей пастами серебра, палладия, платины или других металлов. УЗ-металлизация более дешевыми припоями позволит экономить драгоценные металлы, повысить производительность процессов и качество контактных соединений в электронных компонентах.

Настольные УЗ-ванны применяют для горячего лужения деталей и выводов электронных компонентов, а УЗ-паяльники — для пайки и металлизации керамических и ферритовых материалов. Применение современных электронных источников УЗ-колебаний делает пайку надежным, экологически чистым процессом, исключающим применение флюсов.

Для процессов УЗ-пайки в электронике к настоящему времени исследованы бессвинцовые сплавы на основе олова: двойные Sn-Zn, Sn-Bi, тройные: Sn-Bi-In, Sn-Bi-Zn, Sn-In-Ag, Sn-Sb-Zn, Sn-Sb-Ag и четвертной сплав: Sn-Zn-In-Sb [3]. Все эти сплавы имеют температуру плавления в диапазоне 135...220 °С. Однако Ag, In и Bi, которые добавляют в состав сплава, дорого стоят, а Zn образует при пайке на воздухе большое количество шлака. При формировании соединений могут образовываться интерметаллиды, снижающие сопротивление усталости.

## **Физические основы ультразвуковой технологии**

Введение упругих механических колебаний УЗ-частоты 18–70 кГц в расплавленный припой создаст в нем кавитацию и ряд сопутствующих явлений: давление УЗ-волны, микро- и макропотоки. При интенсивности ультразвука  $(8-9) \times 10^3$  Вт/м<sup>2</sup> в жидкой среде появляются маленькие пузырьки — зародыши кавитации, которые пульсируют с частотой УЗ-колебаний, расширяются и затем захлопываются, создавая ударные волны, давление в которых может достигать значительных величин. Такие микроудары разрушают оксидные пленки и загрязнения на паяемой поверхности,

которая затем хорошо смачивается припоем. Одновременно с кавитацией вблизи излучающей поверхности инструмента возникают микро- и макропотоки, которые способствуют удалению оксидных пленок и ускорению процесса смачивания поверхности металла припоем. Кавитация в жидкой среде ускоряет химические реакции и играет главную роль при УЗ-активации. При высокой интенсивности ультразвука в расплаве возникают и другие эффекты: переменное звуковое давление, «звуковой ветер», кумулятивные течения. Эти явления носят нелинейный характер, сопровождаются возникновением разрывов в сплошной жидкой среде, а степень их проявления в жидкой среде определяется акустическим числом Маха:

$$M = (2\pi fA)/c \geq 1 \times 10^{-4}, \quad (1)$$

где  $f$  — частота,  $A$  — амплитуда колебаний,  $c$  — скорость звука.

Нелинейные эффекты возникают в расплавах, если амплитуда колебаний на частоте 22 кГц более 5 мкм.

Появление акустической кавитации связано с наличием в жидкой среде зародышей — микроскопических газовых пузырьков. Реальные жидкости и расплавы содержат твердые нерастворимые примеси. Зародыши кавитации могут образовываться на твердых, не смачиваемых жидкостью частицах, имеющих трещины, заполненные нерастворимым газом. Поскольку поверхность трещины несмачиваемая, то заходящая в трещину жидкость образует относительно газа выпуклый мениск с радиусом  $R_0$ . Условие равновесия на границе раздела «расплав – твердое тело» определяется выражением:

$$P_2 = P_0 + 2\sigma/R_0, \quad (2)$$

где  $P_2$  — давление газа в пузырьке,  $P_0$  — внешнее давление.

Значения краевого угла смачивания для случая роста зародыша на дисперсных твердых частицах из неметаллических материалов радиусом  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  м составляют 100–175°. Твердая частица с дефектом в виде конической или сфероподобной впадины является центром образования зародышей кавитации. Поэтому введение в состав припоя цинка, кристаллы которого не растворяются полностью, а также других частиц должно существенно увеличивать количество зародышей кавитации в припое.

Амплитуда УЗ-давления, необходимая для расширения зародыша радиуса  $R_0$  до резонансного радиуса  $R_p$  определяется из выражения [4]:

$$P_A^{(1)} = P_0 - P_2 + \frac{4\sigma}{3\sqrt{3}R_0} \left[ 1 + (P_0 - P_2) \frac{R_0}{2\sigma} \right]^{-1/2}. \quad (3)$$

Откуда получаем выражение для резонансного радиуса:

$$R_p = \frac{4\sigma}{3(P_A - P_0 + P_2)}. \quad (4)$$

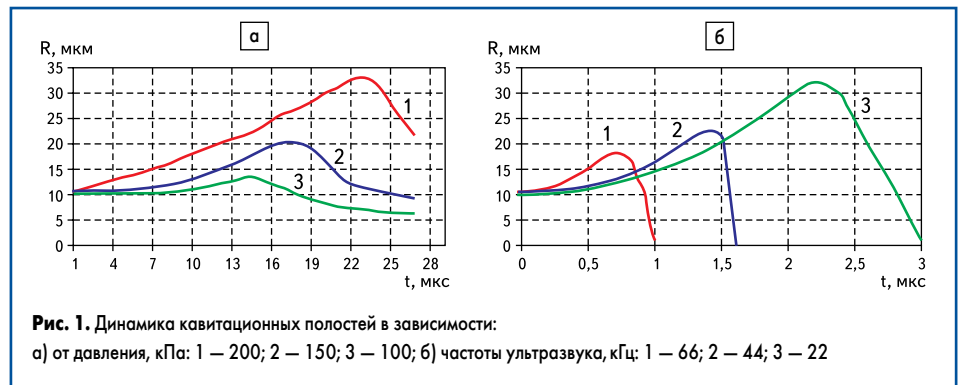


Рис. 1. Динамика кавитационных полостей в зависимости: а) от давления, кПа: 1 – 200; 2 – 150; 3 – 100; б) частоты ультразвука, кГц: 1 – 66; 2 – 44; 3 – 22

Порог кавитации в основном определяется при заданном  $R_0$  величиной поверхностного натяжения, тогда как резонансная частота  $f_p$  зависит как от  $\sigma$ , так и от плотности расплава:

$$f_p = \frac{13}{2\pi R_p} \sqrt{\frac{\gamma}{\rho} \left( P_0 + \frac{2\sigma}{R_p} \right)}. \quad (5)$$

Для расплавов интервал  $R_p$  составляет  $4 \times 10^{-6}$ – $6 \times 10^{-5}$  м, после чего начинается взрывоопасный рост пузырьков газа. Зародыши кавитации, попадающие в область отрицательного давления, теряют устойчивость, начинают расти на полупериоде растяжения и быстро захлопываются на полупериоде сжатия. Пузырьки с большими радиусами пульсируют в УЗ-поле и увеличиваются за счет диффузии газа.

Особенностью расплавов припоев, используемых для УЗ-пайки и металлизации, являются значительно большие плотность и вязкость по сравнению с водой (примерно на порядок), необходимость учета гидростатического давления столба расплава, а также различие в начальных размерах кавитационных полостей. Гидростатическое давление  $P_0$  с учетом давления столба расплава высотой  $h$  определяется как:

$$P_0 = P_{атм} + h\rho g. \quad (6)$$

Динамика кавитационных полостей в расплавах припоев описывается уравнением, физический смысл которого состоит в том, что сумма действующих на элементарный объем расплава давлений (гидростатического, УЗ и газового внутри полости) равна нулю, то есть кавитационная полость находится в состоянии динамического равновесия в любой промежуток времени. С учетом вязкости расплава  $\eta$  уравнение имеет вид [5]:

$$\left( R \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 + 4\eta \frac{\partial R}{\partial t} \right) \rho + P_0 - P_A \sin \omega t + \frac{2\sigma}{R} - P_c - \left( P_0 - P_2 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left( \frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} = 0. \quad (7)$$

Решение нелинейного дифференциального уравнения (7) методом Рунге-Кутты-Мерсона для расплава оловянно-цинкового припоя вязкостью 0,85 Па, с варьированием начальными размерами кавитационных полостей от 1 до 50 мкм, давлением ультразвука от  $0,5 \times 10^5$  до  $2 \times 10^5$  Па и частотой УЗ-колебаний 22, 44, 66 кГц показало [1, 4, 5], что кавитационные

полости размером до 5 мкм пульсируют, не захлопываясь. С увеличением начального размера до 10–50 мкм увеличивается амплитуда пульсаций полостей и происходит их захлопывание в течение 0,05–0,10 с. При УЗ-давлении до 0,1 МПа кавитационные полости пульсируют, а с увеличением давления до 0,15 МПа растет резонансный размер полостей и происходит их захлопывание (рис. 1а). С ростом частоты с 22 до 66 кГц размеры кавитационных полостей уменьшаются в среднем в 2 раза, что приводит к уменьшению интенсивности кавитации (рис. 1б).

Для повышения эффективности кавитации применяют газовое насыщение расплава, когда вводимые в расплав пузырьки газа по размерам не превышают резонансные размеры зародышей кавитации, то есть  $(10-50) \times 10^{-6}$  м. Увеличение размеров пузырьков ведет к их преждевременному захлопыванию, а очень малые размеры затрудняют их кавитационный рост в УЗ-поле.

При захлопывании пузырька сконцентрированная в ничтожно малом объеме кинетическая энергия трансформируется частично в силовой импульс и частично в тепловую энергию, а из центра захлопнувшегося пузырька распространится ударная сферическая волна, максимальное давление в которой, согласно Рэлею, на расстоянии, равном 1,587 радиуса от центра пузырька, составит:

$$P = P_0 \frac{R_0^3}{6,35 R^3}. \quad (8)$$

При  $R = 1/10 R_0$  величина давления вблизи поверхности пузырька в 1575 раз превышает давление внутри полости. Радиальная скорость  $V$  и время  $t$  сокращения пузырька зависят от соотношения гидростатического давления и плотности среды:

$$V = \sqrt{\frac{3P_0}{2\rho} \left[ \left( \frac{R_0}{R} \right)^3 - 1 \right]}; \quad t = 0,915 R_0 \sqrt{\frac{\rho}{P_0}}. \quad (9)$$

Время, необходимое для смыкания газового пузырька диаметром  $10^{-4}$  м в оловянно-свинцовом припое, — 30 мкс. Высокоскоростная видеосъемка цифровой камерой показала, что скорость захлопывания кавитационных полостей на частоте 22,8 кГц и при УЗ-давлении 132 кПа составляет около 0,2 м/с.

Помимо высоких локальных давлений, возникающих при захлопывании кавитационных

полостей, возможно образование и локальных тепловых микрополей. При адиабатическом сжатии объема газа повышение температуры тем больше, чем больше значение показателя политропы  $\gamma$  для данного газа. Для ориентировочной оценки температуры внутри газового кавитационного пузырька в любой стадии его сжатия при адиабатических условиях используют уравнение:

$$T/T_0 = (R_0/R)^{3(\gamma-1)}. \quad (10)$$

Полагая, что  $\gamma = 4/3$  и температура расплава 250...300 °С, и учитывая, что  $R$  может на порядок отличаться от  $R_0$  в сторону уменьшения, получаем температуры порядка 2600...3000 °С. Другие авторы приводят расчетные данные порядка 1000 °С и выше [6]. Высокие температуры, возникающие в пульсирующих кавитационных пузырьках, увеличивают химическую активность как припоя, так и материалов, ускоряют процессы химического взаимодействия между ними.

Пульсирование и захлопывание кавитационных полостей вызывает появление в областях, прилегающих к излучателю, микро- и макропотоков, которые имеют различное направление в зависимости от формы поверхности излучателя, амплитуды его колебаний, наличия препятствий на пути распространения и других факторов. Наилучшие условия для ускорения процессов массо- и теплообмена, протекания химических реакций взаимодействия материалов и припоя создают сформированные макропотоки, имеющие ориентированное направление от излучателя к обрабатываемой поверхности и стационарные во времени.

### Установки ультразвуковой пайки

Для УЗ-лужения и пайки деталей из алюминия и его сплавов, керамики, ферритов легкоплавкими припоями без флюса применяют установку УЗУ-9П, состоящую из генератора и УЗ-паяльника УЗП2-0,025 (рис. 2). Оксидная пленка разрушается непосредственно под расплавленным припоем, поэтому металл не успевает соединиться с кислородом воздуха и его поверхность смачивается припоем. С помощью УЗУ-9П выполняют лужение и пайку выводов к конденсаторам и резисторам, проводов термопар, сращивают алюминиевые кабели, паяют выводы заземления к корпусам из алюминиевых сплавов, соединяют крепежные лепестки и выводы со стеклом, керамикой, ферритами, полупроводниковыми материалами, наносят покрытие из припоев. Надежность УЗ-лужения проверена на целом ряде материалов, в том числе на керамике, ферритах, абразивах, угольных и графитовых изделиях, стекле, рубинах.

Для процессов бесфлюсовой пайки деталей и электронных компонентов легкоплавкими припоями используют УЗ-ванны (рис. 3) с возбуждением всей массы припоя и с локальным воздействием ультразвука. В первом случае можно активировать большую поверхность детали, а во втором — сконцентрировать УЗ-



Рис. 2. Ультразвуковая установка УЗУ-9П

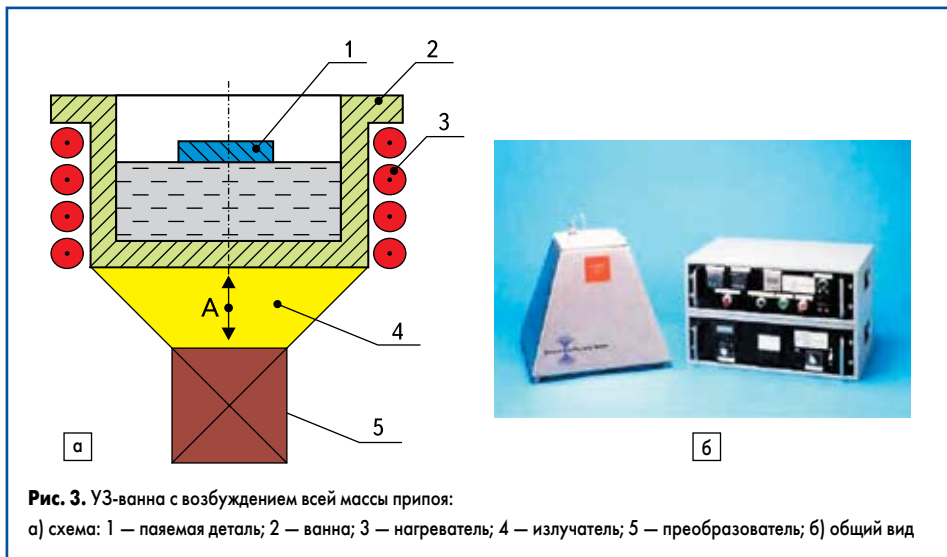


Рис. 3. УЗ-ванна с возбуждением всей массы припоя: а) схема: 1 — паяемая деталь; 2 — ванна; 3 — нагреватель; 4 — излучатель; 5 — преобразователь; б) общий вид

энергию в небольшом объеме и снизить окисление припоя в ванне.

В УЗ-ваннах с возбуждением всей массы расплава интенсивность кавитации максимальна на дне и нелинейно падает с увеличением расстояния до дна, что необходимо учитывать для компонентов и деталей малых размеров. При локальной УЗ-активации в рабочей зоне наблюдается относительно однородная интенсивность кавитации.

Для локального ввода колебаний в расплав припоя (рис. 4) применяют поршневые излучатели, удовлетворяющие отношению  $L_{изл}/D < 1,5-1,8$ , где  $L_{изл}$  — длина излучающей поверхности,  $D$  — диаметр волновода, что обеспечивает режим излучения плоской волны. Излучатель представляет собой пластину, жестко связанную с торцом конического волновода. Толщина пластины удовлетворяет соотношению  $h/\lambda < 0,1-0,15$ , где  $\lambda$  — длина УЗ-волны. Таким образом, волновод можно рассматривать как сосредоточенную массу [7]. Акустическая система состоит из преобразователя 1, волновода 2 и излучателя. Деталь 3 погружается на расстояние 3–5 мм от поверхности излучателя в припой 4.

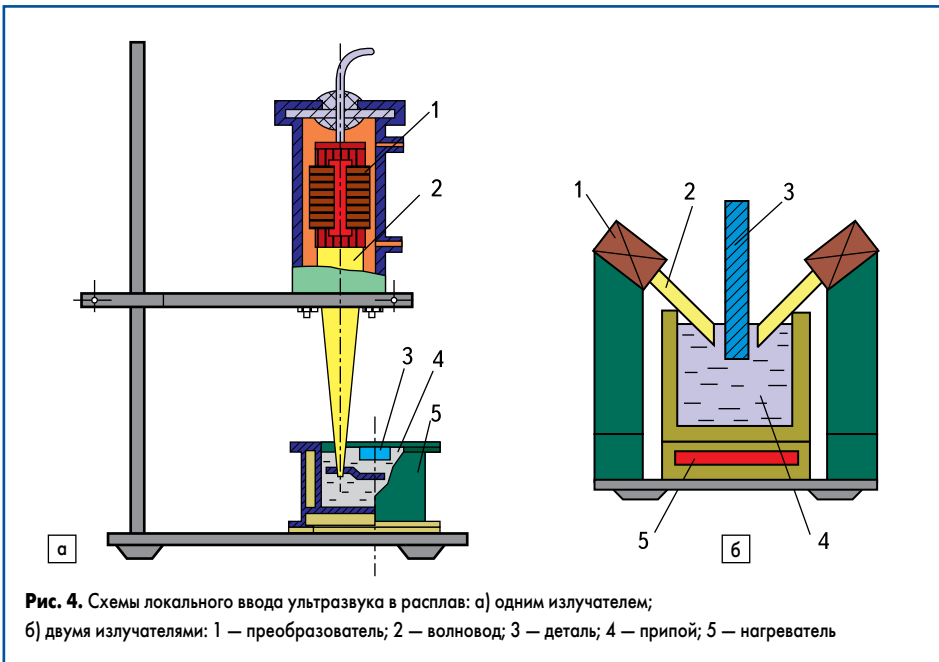
При выборе УЗ-излучателя необходимо учитывать, что в ступенчатом концентраторе имеется значительная концентрация напряжений в месте стыка ступеней, приводящая к разогреву и поломке детали. Наименьшие напряжения характерны для экспоненциального концентратора, однако для получения высокого коэффициента усиления необходимо иметь значительное отношение площадей поперечного сечения

основания и рабочего торца. Поэтому наиболее часто применяют конические концентраторы либо типа Фурье, которые имеют плавное изменение напряжений и сравнительно высокий коэффициент усиления.

Магнитострикционный преобразователь в герметичном кожухе крепится к акустическому трансформатору в узле колебаний и охлаждается проточной водой. С помощью держателя УЗ колебательная система перемещается вертикально по стойке, обеспечивая требуемую глубину погружения излучателя. Длина излучателя не должна превышать  $\lambda/8$ , что соответствует равномерному характеру распределения амплитуд колебаний. В том случае, если размеры достигают  $\lambda/4$ , характер распределения амплитуд колебаний вдоль излучателя имеет вид стоячей волны с узлами и пучностями колебаний, что ухудшит качество лужения.

Таким образом, при расположении излучателя на глубине  $h$  в ванне с расплавленным припоем создается локальная зона интенсивной кавитации, в которой происходит лужение деталей. Параметры процесса: частота УЗ-колебаний  $42 \pm 1$  кГц, выходное напряжение генератора 50–60 В, что соответствует амплитуде УЗ-вибраций 12–15 мкм, температура нагрева —  $230 \pm 5$  °С.

По принципу локального ввода ультразвука выполнена УЗ-установка ИЛ100-3/4 (рис. 5), предназначенная для лужения материалов, трудно поддающихся лужению известными способами: алюминия и его сплавов; титана и его сплавов; нержавеющей сталей различного состава, стекла и керамики и т. д. Установка



В комплект станции входят цифровой блок управления на микропроцессоре, УЗ-паяльник, а также приспособления для разогрева и монтажа. Станции имеют небольшие габаритные размеры, автоматическую подстройку резонансной частоты и автоматическую систему поддержания температуры.

Для крупносерийного производства предназначена паяльная станция USS-1904 (рис. 6б), которая имеет габариты, позволяющие использовать ее в стойках автоматических линий. Компания Advanced Sonic Processing Systems (США) выпускает широкий набор УЗ паяльных ванн, предназначенных для лужения и пайки элементов различной конфигурации и размеров.

УЗ-энергия может быть введена в волну припоя для формирования припойных столбиков на кремниевых чипах, носителях чипов и печатных платах [8]. Для получения припойных столбиков плата закрывается фоторезистивной маской, которая служит также формой для припоя. Кремниевая пластина 1 погружается в волну припоя 2, создаваемую мотором 3, при температуре 220...240 °С (рис. 7). УЗ-колебания от преобразователя 4 вводятся в волну припоя, и одновременно в эту область подается защитный газ — азот — со скоростью до 5 л/мин для снижения окисления припоя.

Эффект подъема припоя по излучающей поверхности волновода использован при разработке устройства для автоматического УЗ-лужения стеклокерамических конденсаторов без их погружения в расплав припоя (рис. 8а), которое содержит две УЗ колебательные системы, состоящие из магнитострикционных преобразователей 1, акустических трансформаторов упругих колебаний 2, волноводов 3, рабочие концы которых Г-образной формы и погружены в ванну 4 с припоем 5. Колебательные системы установлены на основаниях, имеющих возможность точного горизонтального перемещения. Для расплавления припоя и поддержания необходимой температуры пайки использован нагреватель 6. Г-образные концы волноводов колеблются в полуволновом резонансе, что приводит к появлению двух пучностей и узла колебаний. Зона верхней пучности, расположенная выше уровня припоя в ванне, является рабочей, что и обеспечивает возможность автоматизации процесса лужения конденсаторов 7.



Рис. 5. Установка УЗ-лужения ИЛ100-3/4

комплектуется магнитострикционными преобразователями на основе никелевых, железокобальтовых, железоалюминиевых и других магнитострикционных сплавов.

Исходя из потребностей производства применяют различные УЗ паяльные станции компании MBR Electronics: USS-9200, USS-9500 и USS-1904. Паяльные станции типа USS-9200

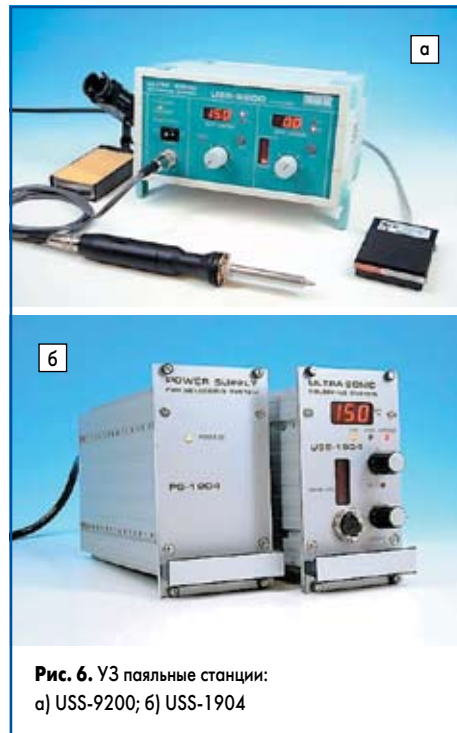


Рис. 6. УЗ паяльные станции: а) USS-9200; б) USS-1904

(рис. 6а) предназначены для небольших производств и исследовательских лабораторий.

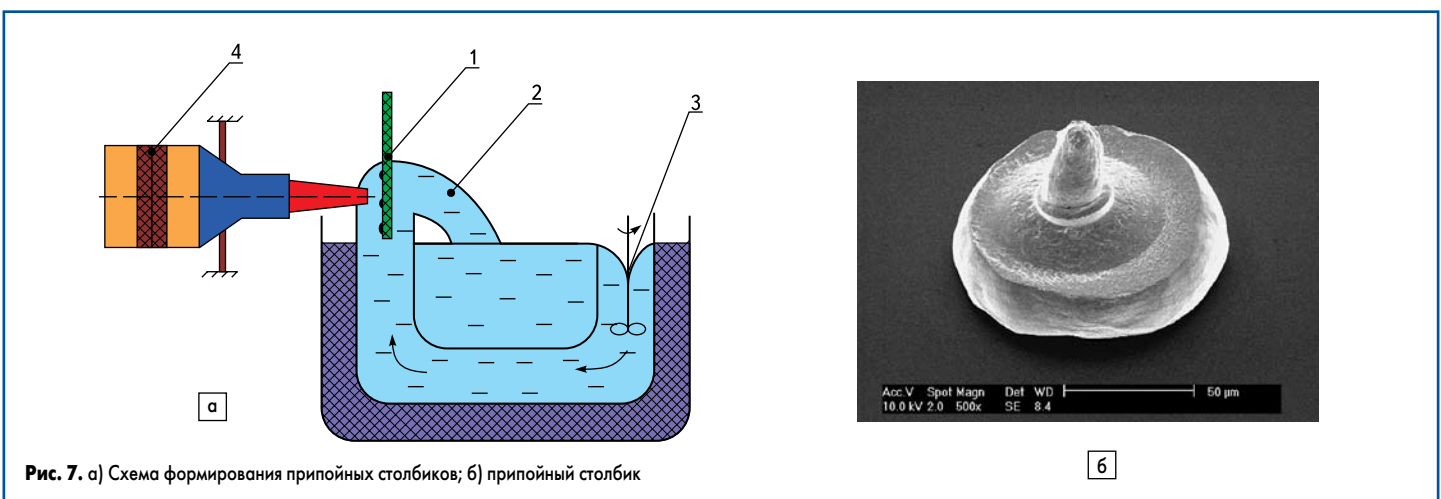


Рис. 7. а) Схема формирования припойных столбиков; б) припойный столбик

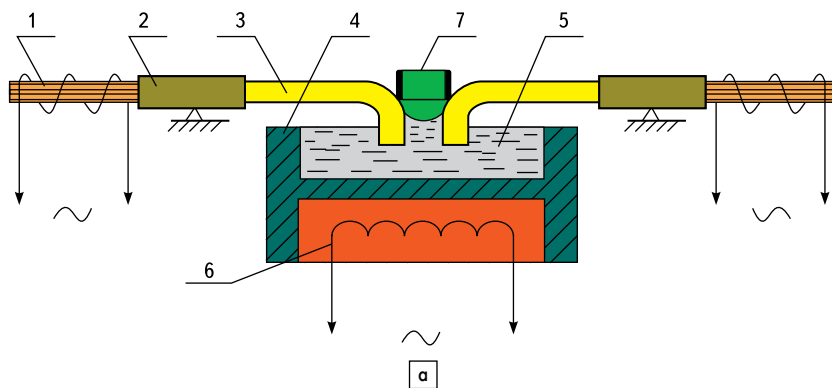


Рис. 8. а) Схема УЗ-лужения стеклокерамических конденсаторов; б) автомат УЗ-лужения



б

При возникновении силы смачивания в УЗ-поле расплав припоя поднимается на высоту  $H$  по колеблющейся поверхности волновода, определить которую можно исходя из условия равновесия капиллярного давления мениска припоя под действием УЗ-колебаний и давления столба припоя:

$$H = \frac{2\Delta\sigma_{1,2}\cos\theta}{\rho \times g \times a}, \quad (11)$$

где  $\sigma_{1,2}$  — поверхностное натяжение припоя;  $a$  — ширина зазора,  $\rho$  — плотность припоя;  $g$  — ускорение сил свободного падения.

Автоматическая установка УЗ-лужения электродов стеклокерамических конденсаторов из алюминиевой фольги (рис. 8б) подает заготовки в зону лужения с помощью ротора с зажимами со скоростью 5–100 мм/с [9]. Источниками УЗ-колебаний служат два генератора типа УЗГ5-0,4, в акустических системах применены магнитострикционные преобразователи с резонансной частотой  $44 \pm 1$  кГц, лужение осуществляется припоем ПЗ00К (Sn — 15%, Zn — 65%, Cd — 20%) при температуре припоя 430...470 °С, напряжении на выходе генератора 20–30 В и скорости 40–60 мм/с.

### Прочностные характеристики соединений

Амплитуда УЗ-колебаний  $3 \pm 0,5$  мкм является пороговой для кавитационных процессов в расплаве, ниже которой отсутствует смачива-

ние и адгезия припоя к поверхности материала и химическое взаимодействие между ними. При амплитуде более 15 мкм прочность снижается, поскольку возникающие динамические импульсы вызывают деградацию приповерхностных слоев расплава припоя и его интенсивное окисление. При продольных колебаниях значительная часть энергии передается в материал, вызывая его нагрев и разрушение, а при параллельных в большей степени распространяется в припое вдоль паяемой поверхности и расходуется на кавитационные явления. Дополнительно улучшается процесс смачивания материала припоем за счет эффекта натирания.

Прочность паяных соединений с алюминиевыми сплавами при параллельном направлении колебаний на 10–12 МПа выше, чем при продольном, вне зависимости от времени воздействия (рис. 9). Высокая прочность соединений достигается при длительности воздействия колебаний 15–20 с. При меньшем времени вследствие неполного разрушения поверхностных пленок смачивание поверхности материала недостаточное. При большем времени происходит уменьшение прочности паяного соединения за счет эрозии основного материала и окисления припоя. Максимальная прочность паяных соединений соответствует амплитуде параллельных УЗ-колебаний: 10–12 мкм при времени  $15 \pm 1$  с.

При УЗ-пайке алюминия припоем 70Sn-30Pb в среде аргона в течение 4 с наибольшая прочность соединений (0,25 МПа) в зависимости от температуры пайки достигнута

для образцов, химически очищенных перед пайкой в щелочном растворе [10]. Несколько меньшую прочность имели образцы с покрытиями припоем или оловом.

Механическая прочность паяных соединений зависит от состава припоя (таблица).

Таблица. Механическая прочность паяных соединений

Припой	Состав, %	Температура пайки, °С	Прочность, МПа
ПОС 61	Sn – 61, Pb – 37	230...250	0,25–0,5
ПСрОС-3-58	Sn – 59, Ag – 2	220...240	3,0–5,0
ПОССу 10-2	Sn – 10, Sb – 2, Pb – 88	268...285	5,0–7,0
П150А	Sn – 38, Zn – 4, Cd – 58	180...190	4,0–6,0
ПОЦ 10	Sn – 90, Zn – 10	220...225	8,0–10,0
ПОЦ 20	Sn – 80, Zn – 20	240...250	10,0–15,0
Специальный	Sn – 78, Zn – 10, In – 10, Sb – 2	220...230	18,0–20,0

Исследована зависимость прочности соединений с поверхностью ферритового материала от времени и температуры процесса (рис. 10). При малом времени УЗ-обработки (5–10 с) прочность соединений невысокая, так как не успевают протекать процессы физико-химического взаимодействия компонентов припоя с оксидами на поверхности феррита. Максимальная прочность для припоя ПОЦ 10 достигнута при длительности обработки 15–20 с. С увеличением времени обработки прочность снижается по причине развития усталостных процессов в самом феррите.

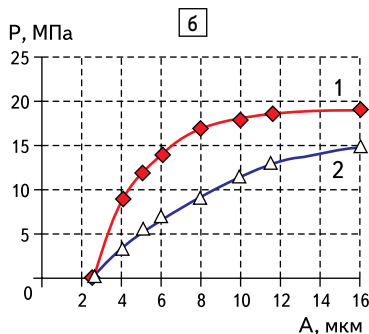
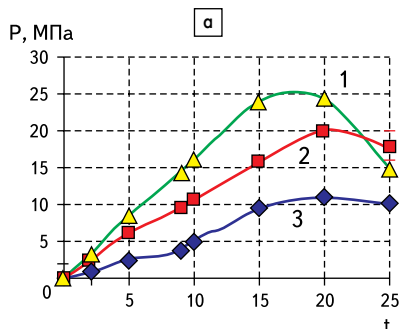


Рис. 9. Зависимость прочности паяных соединений:

а) от времени; б) от амплитуды и вида колебаний: 1 — параллельные; 2 — продольные; 3 — крутильные

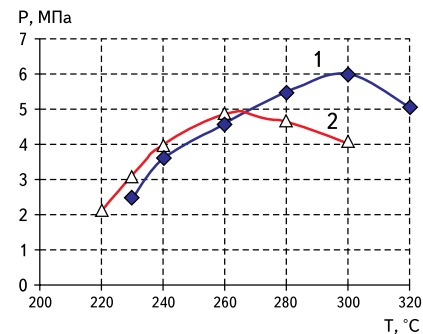


Рис. 10. Зависимость прочности соединений от температуры: 1 — ПОЦ 10; 2 — ПОС 61

Оптимальный интервал температур 280...300 °С, когда прочность соединений составляет 5–6 МПа. Увеличение температуры свыше 300 °С приводит к снижению прочности вследствие окисления припоя.

### Выводы

Бесфлюсовая ультразвуковая пайка является экологически чистым процессом и более экономична, поскольку такие операции, как флюсование и очистка, требующие затрат времени и материалов, исключаются. Бесфлюсовая пайка в ряде случаев является необходимым условием внутреннего монтажа и герметизации микроэлектронной аппаратуры. С помощью УЗ-металлизации и пайки соединяют труднопаяемые материалы: никелевые, алюминиевые, магниевые и титановые сплавы, а также неметаллические материалы: керамику, стекло, ферриты. Это создает возможность экономии драгоценных металлов, наносимых на диэлектрические поверхности электронных компонентов в качестве металлизации.

При локальном вводе УЗ-колебаний в расплав появляется возможность сконцентрировать УЗ-энергию в небольшом объеме и снизить окисление припоя в ванне. УЗ-колебания, параллельные обрабатываемой поверхности, предпочтительны для повышения прочности паяных соединений, обеспечения высокой стабильности процессов и уменьшения механического воздействия на обрабатываемые изделия.

При выборе припоев для УЗ бесфлюсовой пайки и лужении различных материалов необходимо учитывать их паяемость, химическое сродство соединяемых материалов и возможность образования качественного соедине-

ния в соответствии с диаграммой состояний. Применение бессвинцовых припоев с добавками Zn, In, Ag увеличивает адгезионную активность расплава и снижает их окисление при УЗ-пайке.

### Литература

1. Wassink K. R. J. Soldering in Electronics. Ayr, Scotland. Electrochem, 2002.
2. Lead-Free Soldering in Electronics / Ed. by K. Saganuma. N. Y.: Marcel Dekker, 2004.
3. Ланин В. Л. Бесфлюсовая ультразвуковая пайка в электронике // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 4.
4. Кундас С. П., Ланин В. Л., Тявловский М. Д., Достанко А. П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Минск: Бестпринт, 2002.
5. Ланин В. Л. Моделирование процессов формирования соединений материалов в ультразвуковых полях // Доклады БГУИР. 2004. № 4.
6. Маргулис М. А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция. М.: Химия, 1986.
7. Lanin V. L. Ultrasonic Soldering in Electronics // Ultrasonics Sonochemistry. 2001. № 8.
8. Inava M., Yamakawa K., Iwase N. Solder Bump Formation Using Electroless Plating and Ultrasonic Soldering // IEEE Trans. on Comp., Hybrids, and Manuf. Technology. 1990. № 1.
9. Трегубов С. В., Тявловский М. Д., Ланин В. Л. Устройство для ультразвукового лужения заготовок // Обмен производственно-техническим опытом. 1986. № 7.
10. Faridi H. R., Devletian J. H., Le H. P. New Look at Flux-Free Ultrasonic Soldering // Welding Journal. 2000. № 9.