



Окончание. Начало в № 5 '2006

Микросварка при производстве микросборок и гибридных интегральных микросхем

Максим Шмаков

mxm-shmakov@yandex.ru

Ультразвуковая сварка (УЗС)

Определение

Ультразвуковая сварка (УЗС) — сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых (УЗ) колебаний.

Область применения

УЗС применяется для соединения деталей, нагрев которых затруднен, или при соединении разнородных металлов или металлов с прочными окисными пленками (алюминий, нержавеющие стали, магнитопроводы из пермаллоя и т. п.).

Процесс образования соединения и параметры УЗС

При УЗС необходимые условия для образования соединения возникают в результате механических колебаний УЗ-преобразователя. Энергия вибрации создает сложные напряжения растяжения, сжатия и среза. При превышении предела упругости соединяемых материалов происходит пластическая деформация в зоне их соприкосновения. В результате пластической деформации и действия УЗ удаляются адсорбированные пленки, жидкости, газы, органические пленки и поверхностные окислы, с последующим образованием сварного соединения.

В процессе деформирования происходит увеличение площади непосредственного контакта, что обеспечивает получение прочного соединения.

Процесс УЗС круглых проводников к плоским поверхностям состоит из нескольких последовательно протекающих стадий (рис. 25):

1. Внедрение сварочного инструмента в проводник, разрушение окисных и адсорбированных пленок, образование физического контакта и развитие очагов схватывания на первоначальной площади контакта. Эта стадия характеризуется интенсивным скольжением проводника по поверхности нижней детали, что приводит к высокому темпу роста температуры T . Стадия характеризуется быстрым увеличением скорости деформации $V_{дп}$, небольшим ростом общей S_K и фактической $S_{ф}$ площадей контакта, небольшим упрочнением соединения и изменением микротвердости в зоне контакта H_{μ} .
2. Интенсивное пластическое деформирование проводника, рост площади фактического контакта и прочности соединения, зарождение центров рекристаллизации на плоскости раздела. Стадия характеризуется замедлением темпа роста темпера-

туры, примерно постоянной скоростью деформации и снижением микротвердости.

3. Развитие площади зоны взаимодействия при незначительном росте общей (контурной) площади контакта за счет «залечивания» зон «непровара». Прочность сварного соединения достигает максимального значения. Стадия характеризуется замедлением некоторого снижения температуры, развитием рекристаллизованных и релаксационных процессов, снижением скорости деформации и незначительно возрастающей микротвердостью. При правильно подобранной длительности процесса сварка должна прекращаться на этой стадии $t_{свопт}$.
4. Развитие усталостных процессов в зоне сварного соединения, снижение прочности соединения из-за частичного разрушения зон схватывания (уменьшение площади взаимодействия) и чрезмерной деформации проводника. Стадия характеризуется проскальзыванием инструмента по поверхности проводника, практически не изменяющейся тем-

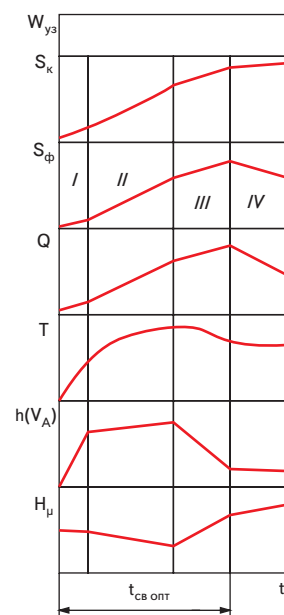


Рис. 25. Изменения основных характеристик соединения по стадиям УЗ-сварки круглого проводника с плоской поверхностью

пературой, близкой к нулю скоростью деформации и незначительным возрастанием микротвердости.

Нестабильность механических свойств соединяемых материалов и состояние поверхности, а также некоторая неопределенность передачи УЗ-колебаний в зону соединения приводят к изменению длительности каждой из стадий от одной сварной точки к другой. Поэтому применяют автоматизацию процесса УЗС.

Оборудование УЗС

Микросварочное оборудование для УЗС содержит УЗ-колебательную систему, построенную по типовой структуре:

- источник упругих колебаний (преобразователь);
- волновод продольных (либо крутильных) колебаний;
- концентратор;
- инструмент;
- акустическая развязка для крепления.

Вход колебательной системы — преобразователь, который возбуждается генератором высокой частоты. Выход колебательной системы — инструмент, который возбуждает УЗ-колебания в свариваемых деталях. Для микросварки применяют три основных вида колебательных систем, генерирующих УЗ-колебания:

- продольные;
- поперечные (изгибные);
- крутильные.

Колебательной системе с продольными колебаниями присуща некоторая неустойчивость работы при создании больших усилий, при УЗС толщин материалов более 0,5 мм. При больших усилиях в концентраторе могут возникать изгибные волны и связанные с ними вертикальные колебания в зоне сварки, которые способствуют повышению деформации сварного соединения. Рабочая частота этих колебательных систем находится в пределах 18–25 МГц. Сварочные машины, колебательные системы которых выполнены по данной схеме, используются для получения точечных, точечно-шовных, кольцевых и замкнутых соединений при сварке элементов МЭ-устройств. Ультразвуковые колебания могут быть направлены перпендикулярно свариваемым поверхностям, а также быть продольно-поперечными с частотами 44, 66, 88 кГц, инструмент при этом совершает изгибные колебания.

Для УЗС используют также сварочные машины с крутильными колебательными системами. Передача инструменту момента крутильных колебаний осуществляется от двух или нескольких преобразователей с одинаковой резонансной частотой.

В зоне контакта температура нагрева при УЗС не превышает 0,3–0,5 от температуры плавления соединяемых материалов. Поэтому метод используют для соединения чувствительных к нагреву материалов.

Применяют также УЗС, совмещенную с косвенным импульсным нагревом. Свариваемые элементы подвергаются воздействию УЗ-колебаний и нагрева одновременно или в опре-



Рис. 26. Схема устройства для УЗС с косвенным импульсным нагревом: 1 — магнитоstrictionный преобразователь; 2 — волновод; 3 — сварочный инструмент; 4 — источник питания для нагрева сварочного инструмента; 5 — вывод; 6 — пленка алюминия; 7 — подложка (K — узлы колебаний)

деленной последовательности (рис. 26). Рабочий инструмент закреплен на рабочем конце волновода колебательной системы и совершает колебания по схеме торможения продольно-колеблющегося волновода.

Сварочный инструмент небольшим усилием прижимается к свариваемым деталям. Затем через инструмент пропускается импульс тока, производящий нагрев инструмента, и одновременно (или с некоторым опережением, либо запаздыванием) включаются УЗ-колебания. Энергия и длительность каждого импульса могут регулироваться раздельно в широких пределах, что позволяет сваривать материалы с различными физико-химическими свойствами.

Включение УЗ-колебаний должно осуществляться или до импульса нагрева (при проводнике из пластичного материала), или в начале нагрева (рис. 27).



Рис. 27. Один из возможных циклов УЗС с косвенным импульсным нагревом: $t_{см}$ — время смещения импульсов; $t_{уз}$ — время действия УЗ-колебаний; $t_{н}$ — время нагрева

Процесс УЗС характеризуется малыми амплитудами смещения и относительно большими давлениями.

Мощность, выделяемая в зоне контакта при УЗС:

$$P = 0,5\omega^2 \times X^2 \times R_H$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота (f — циклическая частота); X_1 — амплитуда смещения торца сварочного инструмента; $R_H = f_{тр} N / (\pi^2 f X_1)$, где N — усилие сжатия, R_H — приведенное активное механическое сопротивление на грузки, $f_{тр}$ — коэффициент трения.

Таблица 14. Свариваемость некоторых материалов УЗС

Материал пленок и подложек	Материал микропроводов		
	Au	Al	Cu
Золото с подслоем нихрома на ситалле	+++	+++	+
Алюминий на кремнии или на оксиде кремния	++	+++	–
Медь с подслоем нихрома на ситалле	++	++	+
Тантал на ситалле	+	++	–
Золото на коваре	++	++	++

Примечание: свариваются +++ очень хорошо, ++ хорошо, + удовлетворительно, – плохо

Оценка свариваемости некоторых сочетаний материалов приведена в таблице 14.

Инструмент для УЗС

Распространенной конструкцией инструмента для УЗС (сварочной иглы) является стержень с конической частью. Коническая часть иглы, с помощью которой осуществляется контактирование с проволокой и передача давления на свариваемые элементы, имеет заданные радиусы закругления (рис. 28а). Размеры рабочего торца выбираются в зависимости от диаметра привариваемого проводника (табл. 15) для уменьшения влияния неточности размещения проводника под инструментом (во избежание выскальзывания проводника). Диаметр торца d (или размер a) обычно составляет 3–4 диаметра привариваемого проводника $d_{пр}$.

Длина деформируемого при сварке участка проводника, определяемая размером b , выби-

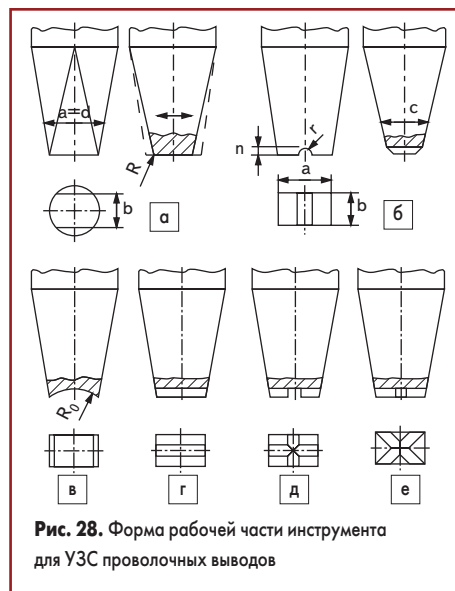


Рис. 28. Форма рабочей части инструмента для УЗС проволочных выводов

Таблица 15. Оптимальные размеры сварочного инструмента

Диаметр привариваемой проволоки, $d_{пр}$, мкм	a	b	R	c	r
25	100±10	60±10	10	(0,25...0,3)d _{пр}	
40	160±10	100±10	15		
60	210±10	170±15	20		
100	300±10	225±15	30		

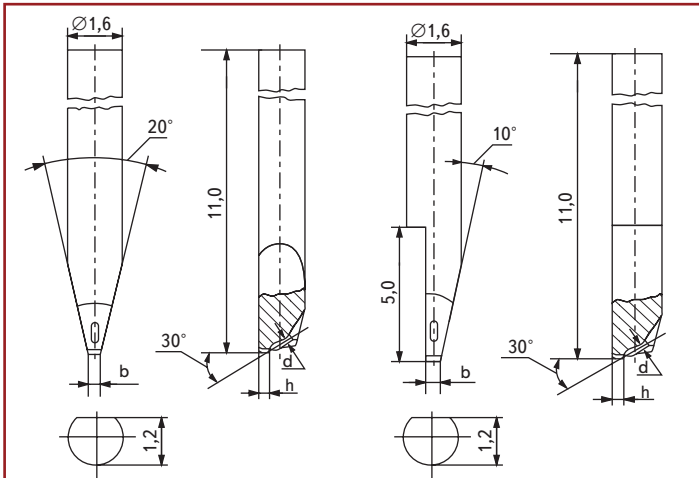


Рис. 29. Капилляры КУТ3 и КУТ7 соответственно с боковым отверстием для УЗС проволочных выводов.

рается равной (2–3) $d_{пр}$. Увеличение длины b до $d_{пр}$ способствует повышению прочности сварного соединения. Для того чтобы ограничить деформацию проводника и повысить эффективность передачи энергии в зону сварки, в центре рабочей части вдоль привариваемой проволоки создают небольшой паз (рис. 28б). Для получения качественных соединений при неплоских контактных площадках или расположенных под углом к торцу инструмента используют конструкцию рабочей части инструмента (рис. 28в) со слегка вогнутой поверхностью торца.

Эффективная передача УЗ-колебаний обеспечивается хорошим сцеплением с привариваемым проводником. Для этого на рабочей поверхности инструмента делают поперечную канавку (рис. 28г). Во время деформирования проводника материал затекает в эту канавку, обеспечивая хорошее сцепление с инструментом.

При создании сравнительно толстых проволочных выводов больших размеров контактных площадок применяют инструменты с поперечной и продольной канавками (рис. 28д). Эффективно и качественно происходит процесс УЗС при применении инструмента с крестообразным расположением канавок (рис. 28е), особенно при сварке плоских выводов.

Поверхность инструмента должна быть грубее поверхности, к которой присоединяется проводник, то есть рельефной. Микрорельеф (микронасечки) можно получить электроэрозионным способом, шлифованием поверхности, причем шлифование проводится в направлении, перпендикулярном направлению колебаний инструмента. Закругленная часть инструмента обязательно должна быть полированной. Наибольшее распространение при УЗС круглых тонких проводников получил инструмент с боковым капиллярным отверстием (рис. 29) для подачи привариваемой проволоки под рабочую часть инструмента. Обычно диаметр отверстия составляет 1,5–2 диаметра проволоки. Расположение отверстия должно быть таким, чтобы проволока, с одной стороны, свободно проскальзывала под рабочей частью, когда ее подают вперед, а с другой — не изгибалась на острой

кромке выходного отверстия при перемещении инструмента назад при создании проволочной перемычки.

Для получения соединений встык применяют капилляры КУ3 и КУ4 с центральным капиллярным отверстием, через которое проволока подается под контактирующую часть капилляра (рис. 30, 31). Размер контактирующей части капилляра выбирают в зависимости от диаметра привариваемой проволоки и размеров КП кристаллов и подложек. Диаметр капиллярного отверстия d_0 имеет допуск $\pm 3,5$ мкм, что обеспечивает свободное прохождение привариваемой проволоки и удержание шарика на контактирующей части инструмента. Контактная площадка b относительно оси отверстия расположена концентрично с отклонением не более ± 5 мкм.

Материал капилляров КУ3 — сплав ВК3 или этот сплав с комбинированным тугоплавким покрытием на основе нитридов, или керамика ВК-94-2, или сплав ВК-6, или этот же сплав с тугоплавким покрытием на основе нитридов. Длина капилляров 9,5 или 12 мм.

Капилляры КУ4 изготавливают из сплавов ВК3-ТМ и ВК6, а также из этих же сплавов с комбинированным тугоплавким покрытием на основе нитридов. Длина капилляров 8,5; 12 и 18 мм.

Для получения соединений внахлест применяют капилляры КУТ1, КУТ3 и КУТ7 с боковым отверстием, что позволяет легко автоматизировать подачу и отрыв проволоки. Для более прочного сцепления сварочного инструмента с проволочными выводами на его поверхности прорезаны поперечные, перпендикулярные или продольные канавки. Материал капилляров — сплав ВК6М или этот же сплав с комбинированным тугоплавким покрытием на основе нитридов. Длина капилляров КУТ1 равна 15, 32 мм, а КУТ3 и КУТ7 — 11, 15 и 21 мм.

Внутренний радиус в инструменте обрабатывается по 10-му классу шероховатости, так как неровности кромки и другие дефекты приводят к нарушению целостности проволоки. Сопряжение конической заходной части отверстия с цилиндрическим рабочим отверстием должно быть также плавным.

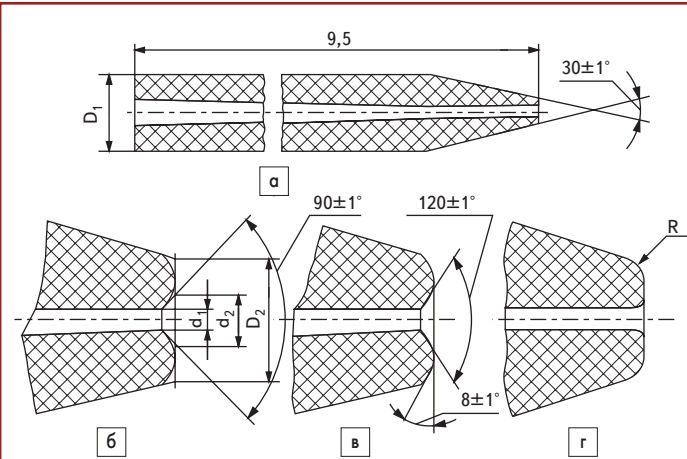


Рис. 30. Капилляр КУ3 с центральным отверстием для УЗС встык проволочных выводов (а) и первое-третье исполнение его рабочей части (б–г)

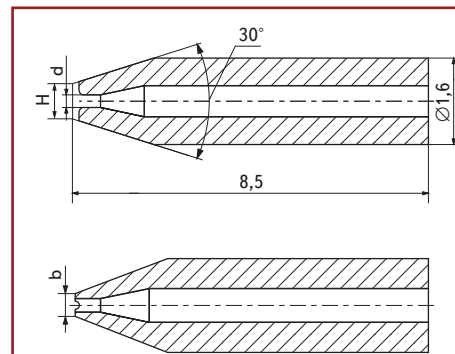


Рис. 31. Капилляр КУ4 с центральным отверстием для УЗС встык проволочных выводов

Материал инструмента для УЗС должен обладать следующими характеристиками:

- высокой износостойкостью;
- иметь минимальные акустические потери;
- малую склонность к адгезии с привариваемым материалом;
- высокую прочность, хорошую обрабатываемость.

Сварочный инструмент для УЗС с косвенным импульсным нагревом должен удовлетворять и дополнительным требованиям, предъявляемым импульсным нагревом:

- обеспечивать нагрев зоны сварки до определенной температуры без значительного перегрева инструмента в процессе пропуска импульса тока;
- обладать высокой износостойкостью при совместном действии УЗ-колебаний и нагрева.

В российской промышленности используют инструменты из твердого сплава марок ВК6М и ВК3М, содержащие соответственно 94 и 97% карбида вольфрама. Связующим элементом в этих сплавах является кобальт, не вступающий в химическое соединение с карбидами металлов и хорошо их смачивающий.

Твердые сплавы ВК характеризуются высокой износостойкостью, инструменты из твердого сплава выдерживают свыше 30 000 сварок (для алюминиевых проводников).

Износ инструмента из твердого сплава ВК, содержащего карбид вольфрама и кобальт,

происходит в результате схватывания между свариваемым материалом и кобальтом.

При сварке золотой проволоки кобальт удаляется из инструмента вследствие его большего коэффициента диффузии в золото. Оставшийся без связи хрупкий карбид вольфрама под действием циклических нагрузок разрушается.

Высокую износостойкость имеет твердый сплав группы ТК (на основе карбида титана): TiC — 70%; Ni — 15%; Mo — 15%. Низкое металлургическое сродство с золотом обеспечивает стойкость инструмента при сварке золотых проводников. Карбид титана характеризуется очень низкой окисляемостью (при этом уменьшается износ), имеет низкий коэффициент акустических потерь. Однако сплавы группы ТК хрупки и плохо поддаются механической обработке.

Для повышения стойкости инструмента проводят химико-термическую обработку, предусматривающую термодиффузионное насыщение поверхности одним или несколькими элементами. Стойкость инструментов из твердого сплава ВК6М (мелкозернистого), рабочая поверхность которых насыщена марганцем, увеличивается в 2 раза. При нанесении диффузионного покрытия из титана стойкость инструментов увеличивается в 3–4 раза и составляет более 200 000 сварных точек. Оптимальная толщина покрытия не превышает 10 мкм.

Для УЗС применяют составной инструмент, включающий наконечник с рабочей площадкой, выступ с боковым отверстием и «хвостик». Для материала концевой рабочей части инструмента используется металлокерамический сплав, содержащий большой процент осмия, или сплавы, в которых основной составной частью является родий, иридий, палладий, тантал, хром, молибден. Применяют инструменты, концевая часть которых выполнена из сапфира или алмаза. Выступ с отверстиями делают из нержавеющей стали, обеспечивающей необходимое скольжение проволоки по отверстию. Остальная часть инструмента («хвостик») изготавливается из карбида вольфрама, обеспечивающего эффективную передачу УЗ-энергии.

Технология УЗС

Основными параметрами УЗС являются амплитуда и частота колебаний инструмента (или мощность) и внешнее давление. При УЗС с нагревом дополнительным параметром является температура нагрева свариваемых материалов, а с импульсным нагревом — длительность теплового импульса и время смещения УЗ- и теплового импульса. Нагрев до 150–200 °С сокращает время сварки и способствует повышению качества образуемого соединения.

При малых амплитудах и давлениях передача энергии колебаний в зону сварки неэффективна, большие амплитуды нарушают адгезию пленки, и в области больших давлений происходит демпфирование колебаний. При фиксированных амплитуде и давлении прочность сварного соединения зависит от длительности процесса сварки:

- при кратковременной сварке прочность не велика и разрушение происходит по месту сварки;

- при длительной сварке разрыв происходит по «шейке» проводника из-за его чрезмерного расплющивания.

При УЗС соединяемые элементы могут контактировать плоскими поверхностями или плоской поверхностью с цилиндрической, возможны соединения встык. При этом толщина алюминиевой металлизации КП кристалла под приварку золотых проводников должна быть не менее 1 мкм, толщина золотой металлизации — не менее 0,6 мкм.

При выполнении УЗС с ручным методом совмещения диаметр проволоки, привариваемой к кристаллу, ограничен размерами КП в соответствии с таблицей 16.

Таблица 16. Минимальные размеры КП в зависимости от диаметра привариваемой проволоки (ручной метод)

Размер КП, мкм, для соединения		Диаметр проволоки, мкм
Внахлестку	Встык	
100×100	150×150	30
120×120	150×150	35
120×120	180×180	40
150×150	250×250	50

При выполнении УЗС в автоматическом режиме диаметр проволоки следует выбирать в соответствии с таблицей 17.

Таблица 17. Минимальные размеры КП в зависимости от диаметра привариваемой проволоки (автоматический метод)

Размер КП, мкм	Диаметр проволоки, мкм
140×140	30
150×150	35
160×160	40
170×170	50

Длительность включения ультразвука при микросварке определяется амплитудой колебаний и усилием сжатия. Для достижения равнопрочности соединений и проводника (при испытаниях на срез — Q_{CP}) время микросварки необходимо увеличить более чем в 20 раз (от 0,1 до 2,5 с) при уменьшении усилия сжатия P от 2,8 до 1,0 Н. Время микросварки увеличивается и при усилии сжатия выше 2,8 Н.

Технологические параметры УЗС подбираются экспериментально. Вначале устана-

вливается усилие сжатия, при котором достигается незначительное начальное вдавливание рабочей части инструмента в материал проволоки.

Длительность микросварки и амплитуда колебаний инструмента (мощность генератора) подбираются путем постепенного их увеличения (при этом добиваются оптимального деформирования проводника) и последующего испытания полученного соединения на механическую прочность с оценкой характера разрушения (добиваются разрушения соединения по проводнику).

При неудачном выборе мощности (если невозможно получение достаточной прочности или если значение ее слишком критично) изменяются ранее установленные значения усилия сжатия и времени микросварки. Определяя влияние этих факторов на прочность соединений, можно найти для каждого параметра оптимальные значения и пределы возможного их изменения.

Предпочтительнее применять меньшие усилия сжатия, при этом другие параметры становятся менее критичными. Желательно выбирать режим возбуждения преобразователя, обеспечивающий меньшую амплитуду колебаний. При очень малых усилиях сжатия стабильность прочности соединений ухудшается. Это вызвано тем, что усилия сжатия становятся нестабильными из-за их соизмеримости с силами трения в механизмах сварочного устройства.

При сварке с косвенным нагревом существует оптимальная температура, равная примерно 150–200 °С, при которой в определенном интервале длительности колебаний образуются наиболее прочные соединения при их высокой стабильности (рис. 32). Повышение температуры свариваемых элементов уменьшает требуемую продолжительность воздействия УЗ. Без нагрева максимальная прочность контакта ($Q_{OTP}=0,38$ Н) достигается при длительности УЗ-колебаний, равной 0,4–0,5 с, при нагреве до температуры 150 °С максимальная прочность контакта (0,42 Н) достигается за 0,3 с, а при 220 °С — за 0,25 с.

Нагрев до 300 °С и выше приводит к снижению прочности соединений, что связано с уменьшением эффективности передачи УЗ в зону сварки в результате значительного увеличения текучести материала проводника. При

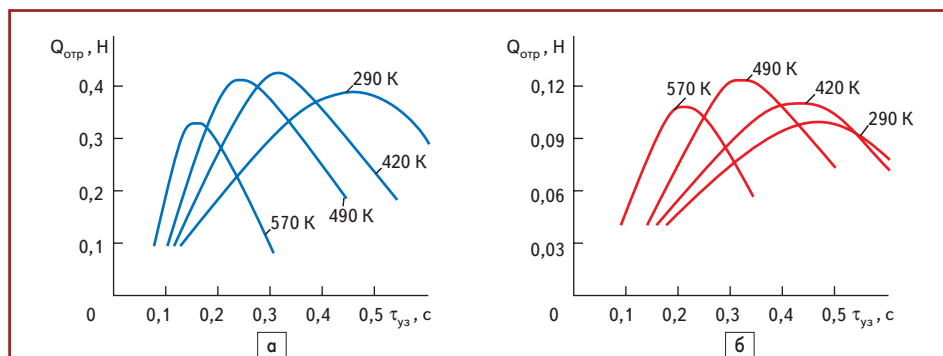
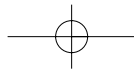


Рис. 32. Влияние длительности колебаний при различной температуре подгрева на прочность соединений алюминиевых проводников диаметром 0,1 мм с алюминиевыми пленками на ситалле (а) и золотых проводников диаметром 0,04 мм с алюминиевыми пленками на кремнии с подслоем SiO₂ (б): а — $f=60$ кГц; $P=2$ Н; $A=1,5$ мкм; б — $f=60$ кГц; $P=0,5$ Н; $A=0,5$ мкм.



этом разрушение соединения происходит, как правило, по контакту даже при оптимальной деформации проводника. Подобная зависимость прочности соединений от температуры получена при сварке золотых проводников диаметром 40 мкм алюминиевой пленки на кремний с подслоем SiO₂ (рис. 326).

Пример процедуры подготовки [12]:

- I. Убедиться, что ультразвуковой генератор правильно настроен (согласно инструкции изготовителя).
- II. Первоначально приложенная сила первой сварки должна быть установлена между 1,5 и 2 сН на каждый микрон диаметра проволоки, время первой сварки — до 50 мс. Оптимальная мощность определяется следующим образом:
 1. Сначала крепим чистую, покрытую алюминием поверхность на нагревательном столике;
 2. Постепенно увеличиваем 1-ю мощность только до состояния «липучести» сварки;
 3. Продолжаем увеличивать 1-ю мощность до возникновения чрезмерной деформации;
 4. Устанавливаем 1-ю мощность, как середину между первыми двумя экстремумами;
 5. Заменяем покрытую алюминием поверхность типовым кристаллом;

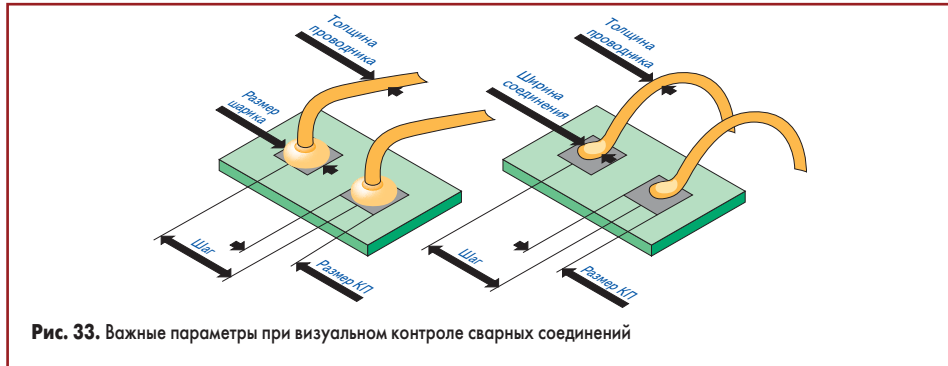


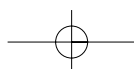
Рис. 33. Важные параметры при визуальном контроле сварных соединений

6. Постепенно уменьшаем 1-ю мощность до величины, при которой сварка больше не «липнет»;
 7. Делим диапазон между 3 и 6 пунктами на 10 равных шагов;
 8. Делаем по 10 сварок на каждом делении;
 9. Проводим испытание на отрыв 5 сварок каждого деления;
 10. Выдерживаем в печи при 300 °С в течение 4 часов (или 200 °С в течение 24 часов);
 11. Повторяем испытания на отрыв «составившихся» сварных соединений;
 12. Устанавливаем 1-ю мощность в центре диапазона, давшего приемлемые результаты;
 13. Уменьшаем время 1-й сварки до 20 мс и делаем еще 10 сварок;
 14. Повторяем испытания на отрыв.
- III. При установленном оптимальном значении 1-й мощности определяем минимальное (начало «прилипания») и максимальное (избыточная деформация) значения силы 1-й сварки
- IV. При результирующем среднем значении силы 1-й сварки определяем минимальное и максимальное значения времени 1-й сварки и затем устанавливаем среднее значение времени 1-й сварки.

Даже когда установка правильно настроена, может возникнуть необходимость дополнительной прецизионной подстройки 1-й сварочной мощности, силы и времени сварки

Таблица 18. Виды дефектов и причины их возникновения на операции «Присоединение выводов методом УЗС» [4]

Наименование	Причины возникновения дефектов																Дефекты предыдущих операций					
	Отклонение режима						Сбой оборудования	Некачественный инструмент	Некачественные комплектующие и материалы													
	Давление инструмента меньше нормы	Давление инструмента больше нормы	Время сварки меньше нормы	Время сварки больше нормы	Параметр ультразвуковых колебаний меньше нормы	Параметр ультразвуковых колебаний больше нормы			Проволока	Корпуса	Твердость проволоки меньше нормы	Твердость проволоки больше нормы	Загрязненность поверхности проволоки	Разновысотность траверс больше нормы	Размер траверс меньше нормы	Золотое покрытие корпусов не соответствует ТУ	Загрязненность оснований корпусов	Загрязненность КП кристалла	Наличие клея на траверсах	Смещение кристалла в горизонтальной плоскости	Смещение кристалла в вертикальной плоскости	Влияние оператора
Линейные размеры сварного соединения не в норме					+	+		+	+			+									+	
Смещение сварной точки за пределы КП																					+	+
Размазывание точек термокомпрессии								+	+	+												+
Разводка в натяг, без прогиба								+			+											+
Касание проводником края кристалла								+			+											+
Длина свободной части вывода больше нормы											+											
Стрела прогиба больше нормы								+														
Несоответствие разводки выводов чертежу																						
Обрыв вывода на КП кристалла	+		+		+	+	+	+	+			+						+	+		+	+
Обрыв вывода на траверсе	+		+		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+						+
Пережатие сварного соединения на КП		+		+							+										+	
Пережатие сварного соединения на траверсе		+		+							+											
Отсутствие части сварного соединения		+										+										
Трещина на кристалле		+																			+	



внутри их предустановленных диапазонов для конкретных типов кристаллов.

Режим сварки УЗС оценивается для каждой установки ежемесячно оператором или наладчиком по результатам проверки внешнего вида и прочности сварных соединений на одном–двух пробных образцах (или специальных тестовых образцах) под микроскопом. Виды дефектов и причины их возникновения приведены в таблице 18.

Контроль качества сварных соединений

Все способы контроля качества сварных соединений можно разбить на два основных вида:

- испытания с разрушением соединений;
- испытания без разрушения как отдельных соединений, так и готовых МЭ схем и приборов.

К разрушающим способам контроля относятся механические испытания соединений; микроскопические исследования на шлифах с применением обычных металлографических или электронных микроскопов; химический анализ.

К неразрушающим способам контроля можно отнести визуальный осмотр соединений и готовых приборов; оценку качества соединений с помощью щупов; просвечивание рентгеновскими лучами (после герметизации).

В основу оценки качества микросварных соединений положены следующие признаки:

- прочность (значение усилия разрушения) при испытании соединений на отрыв под различными углами к поверхности;
- степень деформации проводника в зоне соединения;
- электрическое сопротивление зоны сварного соединения, стойкость к термическому старению и смене температур.

Основные методы испытаний ИМС изложены в ОСТ 11 073.013–83 «Методы испытаний». Более подробно хотелось бы остановиться на визуальном методе контроля (ОСТ 11 073.013–83, ч. 4), так как он относится к неразрушающим методам и может производиться непосредственно на рабочем месте.

Визуальный контроль качества сварных соединений следует проводить под микроскопом при увеличении 16–50х при прямом освещении объекта.

Важными параметрами при визуальном контроле являются:

- толщина проводника;
- размер шарика, при сварке встык;
- размер КП;
- ширина соединения, при сварке внахлестку;
- шаг.

Критерием оценки качества сварных микросоединений при визуальном контроле можно принять величину деформации проводника, определяемую по формуле:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d}{B}\right) \cdot 100\%,$$

где d — диаметр проводника (мм); B — ширина деформированной зоны проводника в месте сварки (мм).

Таблица 19. Критерии отбраковки сварных соединений перед операцией герметизации

Виды дефектов	Критерий отбраковки	Изображение дефектов
Критерий отбраковки кристаллов в составе оснований и качества сборки полупроводниковых МС перед операцией герметизации		
Дефекты кристалла	1.1. Сквозная царапина или пустота на КП отделяет более 1/2 соединения от металлизированной дорожки. 1.2. Ширина бездефектного пассивирующего или защитного окисла между сварными соединениями и краем или сколом кристалла менее 20 мкм. Примечание. Для МС с диэлектрической изоляцией элементов между сварными соединениями и краем или сколом кристалла должен быть видимый окисел h.	Рис. 34 Рис. 35. (п. 1.2 примечания)
Дефекты сварных соединений на кристалле	а) Проволочный вывод, приваренный к КП, проходит над другой КП. б) Расстояние между сварными соединениями, между сварным соединением и смежной КП или металлизированной дорожкой меньше, чем ширина металлического покрытия в самом узком месте по чертежу h. в) Площадь сварного соединения для незащищенных кристаллов в пределах КП составляет менее 3/4; г) Касание сварным соединением напыленного резистора.	Рис. 36
Дефекты сварного соединения встык (шариком)	а) Диаметр сварного соединения на кристалле менее двух диаметров или в 4 раза больше диаметра проволочного вывода. б) Следы предыдущей сварки на одной и той же КП.	
Дефекты сварного соединения внахлестку (клином)	а) Линейный размер сварного соединения на кристалле менее 4/3 диаметра или более 3 диаметров проволоки. б) Следы предыдущей сварки на одной и той же КП. в) Сварное соединение занимает меньше 3/4 площади «отпечатка» инструмента на КП.	Рис. 37
Дефекты сварных соединений проволокой из алюминия на выводах основания корпуса	а) Сварное соединение не полностью расположено на выводе корпуса. б) Линейный размер сварного соединения менее 5/4 или более 6 диаметров проволоки; при этом расстояние между соседними концами изостов не должно быть менее 3-х диаметров проволоки.	
Дефекты сварных соединений проволокой из золота на выводах основания корпуса	а) Сварное соединение не полностью расположено на выводе корпуса. б) Линейный размер сварного соединения менее 4/3 или более 3 диаметров проволоки.	
Дефекты проволочных выводов основания МС	а) Стрела прогиба проволоки, допускающая возможность касания с элементами конструкции. Конкретная стрела прогиба указывается в КД. б) Неровности проволоки типа сгиба, бороздок, уменьшающий диаметр проволоки более чем на 1/4. в) Сужение проволоки из-за сильного растяжения вывода более чем на 1/4 диаметра проволоки; г) Хвосты сварных соединений составляют более одного диаметра проволочного вывода на кристалле и 3 диаметров проволоки на выводе корпуса. д) Расстояние между проволочными выводами h меньше 3-х диаметров проволоки на 1/2 расстояния между сварными соединениями на кристалле и на выводе корпуса. е) Проволочный вывод оборван. ж) Разводка проволочных выводов не соответствует КД.	Рис. 38
Дефекты присоединения кристалла	б) Пересечение проволочных выводов. в) Расстояние проволочного вывода от соседней КП или вывода корпуса менее 3/2 диаметра проволочного вывода.	Рис. 39
Критерии отбраковки ГИМС перед операцией герметизации		
Дефекты расположения сварных соединений на подложке.	а) Расстояние между краем сварного соединения и краем подложки менее 300 мкм. б) Расстояние между сварными соединениями, между сварным соединением и смежной КП или металлизированной дорожкой меньше, чем ширина металлического покрытия в самом узком месте по чертежу h. в) Сварное соединение занимает менее 1/2 площади КП г) Проволочный вывод, приваренный к КП, проходит над другой КП.	Рис. 40
Диаметры сварных соединений встык (шариком)	а) Диаметр сварного соединения менее 2-х диаметров или более шести диаметров проволоки. б) Следы предыдущей сварки на одной и той же КП.	
Диаметры сварных соединений внахлестку (клином)	а) Минимальный линейный размер сварного соединения менее 1/2 или более 3 диаметров проволоки. б) Следы предыдущей сварки на одной и той же КП.	
Дефекты сварных соединений на выводах корпуса	а) Сварное соединение не полностью расположено на выводе корпуса. б) Минимальный линейный размер сварного соединения для проволоки из золота менее 3/4 или более 3 диаметров проволоки. в) Минимальный линейный размер сварного соединения для проволоки из алюминия менее 1/2 или более 3 диаметров проволоки.	
Дефекты внешнего вида сварки	Признаки перегрева в месте сварки — сварка пористая, тусклого цвета.	
Дефекты проволочных выводов	а) Стрела прогиба проволоки, допускающая возможность касания с элементами конструкции. Конкретная стрела прогиба указывается в КД. б) Неровности проволоки типа сгиба, бороздок, уменьшающий диаметр проволоки более чем на 1/4. в) Хвосты сварных соединений более 75 мкм. г) Расстояние между проволочными выводами менее 50 мкм. д) Обрыв проволочного вывода; е) Разводка проволочных выводов не соответствует КД.	Рис. 41

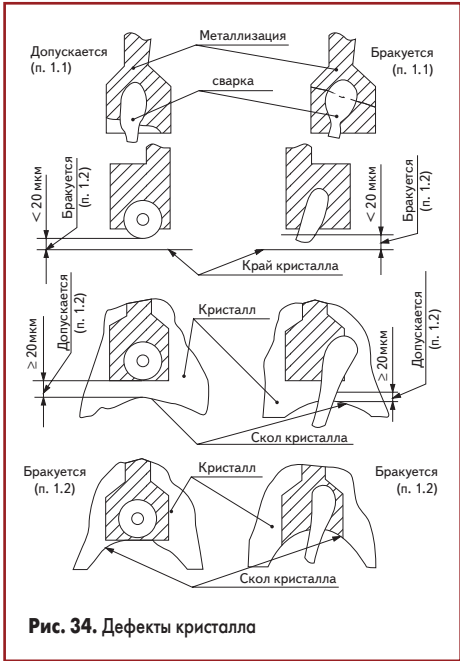
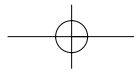


Рис. 34. Дефекты кристалла

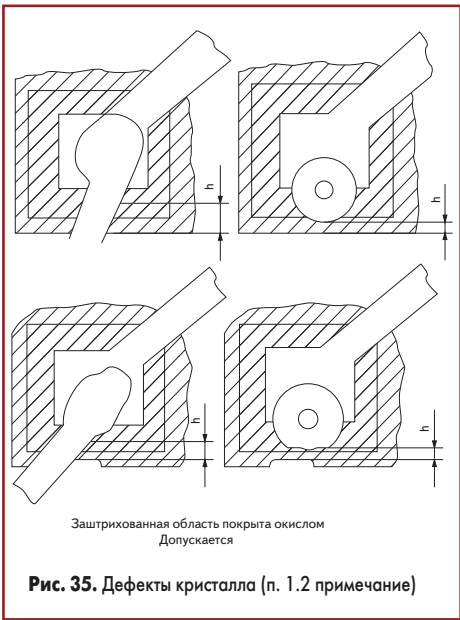


Рис. 35. Дефекты кристалла (п. 1.2 примечание)

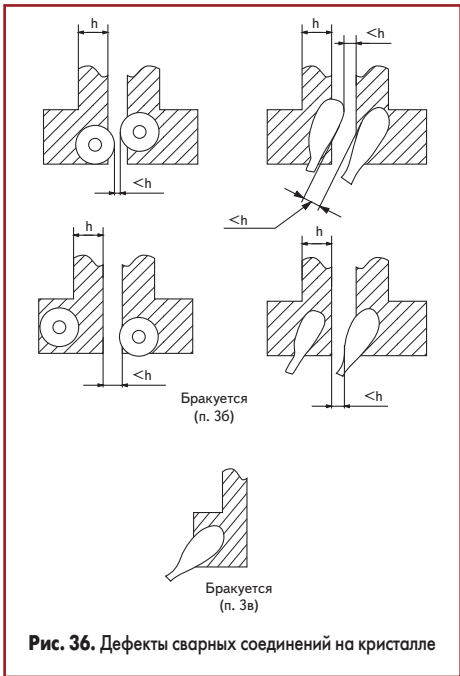


Рис. 36. Дефекты сварных соединений на кристалле

Критерии отбраковки сварных соединений перед операцией герметизации приведены в таблице 19.

Для обеспечения высокой воспроизводимости наиболее целесообразно проводить контрольные испытания в несколько этапов:

- при испытании технологического оборудования;
- при выборе технологического процесса (ТП) и подборе параметров режима сварки на данной установке;
- периодические производственные испытания для контроля ТП;
- контроль качества и надежности готовых соединений и приборов.

Литература

1. ОСТ В 11 1010-2001. Микросхемы интегральные бескорпусные. Общие технические условия.
2. ОСТ 107.460091.004-88. Технология сборки микросборок. Общие требования.
3. ОСТ 11 073.013-83. Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Ч. 4. (Методы визуального контроля).
4. РД 11 0274-90. Микросхемы интегральные. Технические требования к технологическим процессам сборки.
5. Ефимов И. Е., Горбунов Ю. И., Козырь И. Я. Микроэлектроника. М: Высшая школа. 1977.

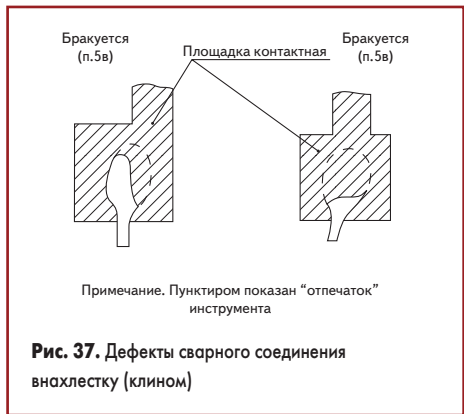


Рис. 37. Дефекты сварного соединения внахлестку (клином)

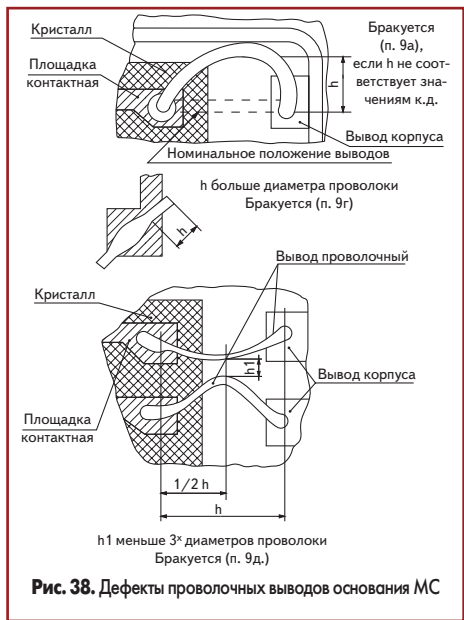


Рис. 38. Дефекты проволочных выводов основания МС

6. Сварка в машиностроении. Справочник. Т. 1. Под редакцией д. т. н. Ольшанского Н. А. М: Машиностроение. 1978.
7. Минский Ф. Е. Справочник сборщика микросхем. М: Высшая школа. 1992.
8. Жиров Г. А. Технология гибридных интегральных микросхем. Киев. Вища школа. 1977.
9. Борисенко А. С., Бавыкин Н. И. Технология и оборудование для производства микроэлектронных устройств. М: Машиностроение. 1983.
10. Парфенов О. Д. Технология микросхем. М.: Высшая школа. 1977.
11. Малышева И. А. Технология производства интегральных микросхем. М.: Радио и связь. 1991.
12. Кларк. Р. Рекомендации по применению AN-1061. Кристалл: Установка и сварка. Руководство для организации процесса сборки.
13. Шамаков М. В. Контроль качества сварных соединений при создании гибридных микросборок // Технологии приборостроения. 2006. № 4.

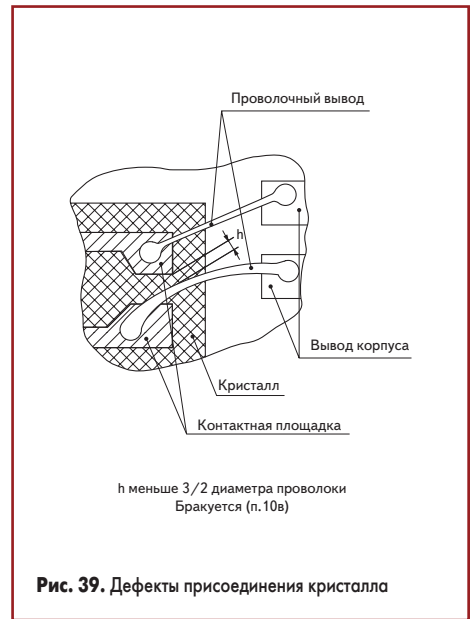


Рис. 39. Дефекты присоединения кристалла

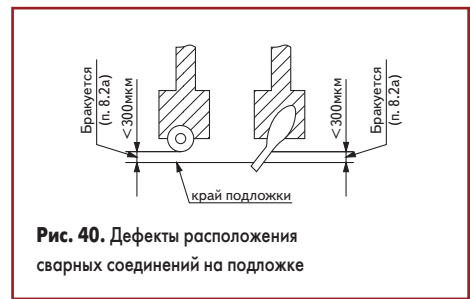


Рис. 40. Дефекты расположения сварных соединений на подложке

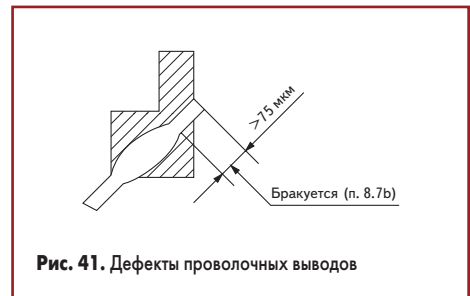


Рис. 41. Дефекты проволочных выводов

