

Рекомендации по уточнению положений международного стандарта IEC (МЭК) 61192-1 «Процесс пайки»

В работе [1] опубликован перевод международного стандарта IEC (МЭК) 61192-1 «Процесс пайки». Об актуальности ликвидации пробела в отечественной нормативной базе по разработке и производству электронной техники подробно говорилось в ряде публикаций, поэтому в статье исключена вступительная часть [2].

**Василий Штенников,
К. Т. Н.**

Общие замечания к переводу

В [1] неоднократно используется словосочетание «тепловая масса». Правильнее писать «теплоемкость». Понятно, что данное замечание относится к переводу, а не к стандарту.

На странице 51 в 20-й строке сверху первого столбца вместо «плавка» следует написать «пайка», а словосочетание «кондуктивный теплообмен» в 24-й строке того же столбца заменить на слово «конвекция», что также является следствием неточного перевода.

Кроме того, необходимо словосочетание «латентную теплоту» в 1-й строке 2-го столбца на 51 стр. заменить на «скрытую теплоту парообразования».

На стр. 52 в первом столбце в строках 34–35 повторяются слова: «предварительное», «или другая». В 37-й строке вместо «перед тем, как» должно быть «после того, как».

В разделе «Управление технологическим процессом» на стр. 52, в 3-м столбце термин «спецификация» необходимо заменить на «требования».

В разделе «Машинные регулировки» на стр. 52, в 3-м столбце вместо «сборочный завод» лучше, по нашему мнению, указать: «предприятие-изготовитель печатных узлов».

Предложения по корректировке стандарта IEC (МЭК) 61192-1 «Процесс пайки»

В разделе «Пайка оплавлением» нельзя согласиться с мнением о том, что для перечисленных методов пайки (инфракрасная, конвекционная, лазерная, в паровой фазе, электродами, струей газа) определяющими характеристиками являются «оплавление», отсутствие «физического контакта между источником тепла и сборкой».

Во-первых, оплавление происходит как при перечисленных в разделе методах пайки: контактной, конвекционной, лазерной, инфракрасной, парофазной,

параллельными электродами и т. д., так и при пайке погружением, волной припоя, контактной пайке паяльником или автоматом.

Во-вторых, физического контакта с нагревателем при пайке паяльником, погружением или волной припоя действительно нет, но физический контакт с теплоносителем (нагретым газом) имеется.

Автор считает, что более приемлемо объединение методов пайки по видам нагрева паяных соединений: контактная пайка, включая пайку волной припоя, погружением в ванну с припоем, селективную пайку струей припоя; инфракрасная пайка, включая лазерную; конвекционная пайка, в том числе пайку струей газа; пайка в паровой фазе.

В-третьих, в стандарте не упомянута пайка нагретым газом, предполагающая размещение печатного узла в конвекционной печи с одной зоной разогрева и без вынужденной конвекции (с выключенным вентилятором в этой зоне), в которой используется свободная конвекция [3].

Что касается температурного профиля пайки, то, по нашему мнению, вместо фразы «температурно-временной профиль, позволяющий осуществлять пайку каждого компонента на плате в диапазоне максимальных пределов температурно-временного воздействия» лучше записать: «температурный профиль, обеспечивающий необходимое качество пайки, с одной стороны, и отсутствие перегрева термочувствительных компонентов — с другой».

Относительно различного нагрева мелких и крупных компонентов при конвекционной пайке, принимая во внимание работу [4], следует учитывать, что интересующий перепад температуры зависит не только от теплоемкости компонентов, но и от обдуваемой площади их поверхности, теплоемкости печатной платы и метода крепления компонентов к ней. При проверке воспроизводимости температурного профиля на «горячих» и «холодных» участках печатного узла применение печатной платы без компонентов некорректно. Расхождения будут

тем больше, чем меньше время нагрева, больше скорость обдува газом.

Необходимо отметить, что при дополнительном использовании инфракрасного излучения увеличивается опасность перегрева «черных» мелких компонентов, а цена оборудования существенно больше. С другой стороны, скорость нагрева компонентов может быть значительно повышена.

По пайке в паровой фазе необходимо отметить следующее.

Метод отличается примерно на порядок большим коэффициентом теплоотдачи, чем при конвекционной пайке, что зачастую не обеспечивает требуемый постепенный нагрев.

По нашему мнению, вместо предварительного инфракрасного нагрева необходимо использовать конвекционный нагрев. Еще более эффективным может оказаться метод нагрева в паре неконденсирующихся газов (воздух, азот), существенно уменьшающих коэффициент теплоотдачи. Так, при массовом содержании воздуха в водяном паре в количестве 0,5% коэффициент теплоотдачи снижается в 2 раза [5].

По поводу лазерной пайки следует отметить, что кроме импульсного может быть использован и лазер непрерывного излучения. Поэтому в 7-й строке снизу второго столбца (51 стр.) фразу «Импульсный лазерный луч используется для сканирования последовательных выходных контактов или выводов на одном компоненте для подачи одинаковой энергии на бугорки припоя с целью их одновременного расплавления» следует заменить предложением: «Лазерный луч используется для последовательной пайки выводов компонентов; при этом возможна регулировка мощности излучения в процессе пайки в зависимости от величины нагрева».

Оценка «теплопроводности между выводом и платой» по результатам охлаждения паяных соединений эффективна только в случае занесения результатов в память установки и введения соответствующей корректировки при повторной пайке одноименных плат. Кроме того, более корректно вместо терминов «теплопроводность» и «теплоемкость» контактных площадок говорить об их теплопоглощении, так как упомянутый параметр зависит от времени пайки: чем время пайки больше, тем больше теплопоглощение контактных площадок из-за прогрева все более удаленных участков [6].

С учетом попыток минимизировать время лазерной пайки уместно, по нашему мнению, ввести предупреждение о том, что уменьшение времени пайки (в первую очередь это касается лазерной и контактной пайки) приводит к увеличению перепада температуры по глубине паяного соединения [7].

По мнению автора настоящей статьи, пайка электродами не дает каких-либо преимуществ по отношению к другим видам пайки: в таком процессе исключены групповые методы, предполагается введение операции внесения припоя и использование не смоченных припоем контактов, что предопределяет нестабильность характеристик как по электрическим параметрам, так и по теплопередаче [8].

В разделе «Пайка многоструйным газовым оплавлением» записано: «Установку следует проектировать с учетом минимизации тепла, подаваемого на корпус компонента во время пайки». Это предложение необходимо исключить, так как оно не содержит требований по выполнению каких-либо действий, а формулирует только желание, причем излишне конкретизированное. Указание о том, что «температурно-временную последовательность» следует программировать, нужно изложить, например, в следующей редакции: «Температурный профиль пайки следует обрабатывать в соответствии с рекомендациями производителя паяльной пасты и требованиями производителей компонентов, а также рекомендациями настоящего стандарта». Контроль «уровня прироста интерметаллидов» на паяных соединениях соседних компонентов из-за опасности попадания на них струи газа излишен, так как опасность их образования в значительно большей степени возникает на монтируемых компонентах. Кроме того, опасность перегрева монтируемых компонентов, по нашим данным, также возникает гораздо раньше, чем образование слоя интерметаллида, оказывающего существенное влияние на качество паяных соединений. И, наконец, непонятно, как контролировать рост интерметаллидов во время пайки?

Замечание о «температурно-временном цикле» необходимо распространить на все другие методы пайки.

В разделе «Нанесение флюса при пайке погружением» необходимо вместо словосочетания «тепловая масса» записать «теплоемкость», что, в свою очередь, при необходимости учета и площади поверхности, можно заменить на «размеры». Рекомендации по учету «черноты» компонентов, во-первых, нужно применять только в случае инфракрасного нагрева, а во-вторых, следует принимать во внимание, что черный цвет в видимом спектре необязательно соответствует поверхности с максимальным поглощением инфракрасного излучения.

В разделе «Содержимое ванны с припоем» вместо «...риск загрязнения припоя выше...» необходимо записать: «...припой меняет свой состав за счет растворения контактирующих с ним покрытий печатных плат и компонентов, оборудования».

В разделе «Паяльники» по ряду причин нужно исключить фразу: «Во избежание повреждения компонентов паяльники следует выбирать в соответствии с размерами и тепловой массой паяемых выходных контактов». Во-первых, снижение температуры паяющего конца длинного паяльного стержня постоянного диаметра при контакте с проводом пропорционально температуре пайки, отношению площадей поперечного сечения провода и стержня, а также пропорционально отношению коэффициентов теплоусвоения материала провода и стержня соответственно [9]. В частности, медный паяльный стержень постоянного диаметра можно считать длинным, если его длина больше 2,5 см при времени пайки менее 2,5 с.

Во-вторых, температура пайки при выполнении одного паяного соединения не зависит от наличия терморегулятора, мощности, теплоемкости и тепловых условий контакта паяльного стержня с корпусом паяльника, если паяльный стержень достаточно длинный (см. выше). Температура паяющего конца короткого паяльного стержня, имеющего термостабилизированный непаяющий конец (терморегулятор), во время контакта с типичным паяным соединением (проводом) растет в течение всего времени пайки. Увеличение температуры пайки тем больше, чем короче паяльный стержень и выше коэффициент теплопроводности материала паяльного стержня [10].

Ограничения по максимальному диаметру паяльного стержня, мощности паяльного инструмента в разделах «Паяльники для поверхностного монтажа», «Паяльники для компонентов штыревого монтажа» не обоснованы. Соответствующие пояснения и рекомендации содержатся в работах [11–12]. Значения температуры при холостом ходе для пайки компонентов в отверстия печатных плат с учетом рекомендуемого диаметра паяльного стержня — 6,5 мм — существенно завышены, как с позиции оптимального температурно-временного режима (по данным автора) [12], так и по данным авторов работы [13], с точки зрения гарантированного исключения образования интерметаллида типа Cu6Sn5 толщиной более 0,5 мкм.

Совершенно не обоснованным выглядит положение о запрещении использования универсального паяльного инструмента для монтажа в отверстия печатных плат или поверхностного монтажа, что подтверждается рекомендациями всех известных фирм, производителей паяльных станций по применению как стандартных паяльных стержней, так и паяльного стержня типа «мини-волна» для пайки планарных выводов электронных компонентов. По этой же причине нельзя согласиться с недопустимостью применения паяльников для компонентов, устанавливаемых на паяльную пасту.

Рекомендации стандарта в разделе «Пайка безвыводных керамических конденсаторов...» по пайке паяльником, на взгляд автора, противоречат требованию предыдущих разделов стандарта о недопустимости использования паяльников, предназначенных для традиционного монтажа компонентов в отверстия печатных плат. Рекомендуемые приемы работы не воспроизводимы, трудно осуществимы и не контролируемы. По нашему мнению, для снижения риска повреждения безвыводных компонентов их необходимо монтировать методами конвекционной или паровоздушной пайки, нагревая их предварительно или в течение процесса струей горячего газа. В силу сложности обеспечения и контроля температуры пайки из-за меняющегося расстояния до компонента и скорости обдува газом метод больше подходит для демонтажа, меньше — для монтажа компонентов.

В разделе «Нанесение припоя» фразу «Температура паяльника не должна превышать заданную рабочую температуру ис-

пользуемого припоя» необходимо исключить как необоснованную.

В раздел «Теплоотводы» можно ввести следующие рекомендации по увеличению эффективности теплоотвода [14]:

- Увеличивать расстояние между паяным соединением и корпусом компонента.
- Сокращать время пайки за счет предварительного лужения при типовых режимах, таким образом, обеспечив образование требуемого диффузионного слоя и, следовательно, прочность паяного соединения.
- Обеспечивать максимальную площадь фактического контакта теплоотвода с выводом компонента, например, путем введения жидкого или мягкого металла, флюса.
- Использовать теплоотвод с максимальной площадью поперечного сечения «губок».
- Максимально приближать теплоотвод к корпусу компонента.
- Размещение теплоотвода около паяного соединения приведет к необходимости поднимать температуру паяльного стержня между пайками и (или) его диаметр, чтобы сохранить температуру пайки и, таким образом, снизит эффективность теплоотвода. ■

Литература

1. Круглова Л. Стандарт IPC (МЭК) 61192-1 «Процесс пайки» // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 1.
2. Медведев А. М. Болезни отечественной стандартизации в электронике // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 3.
3. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сухомел А. С. Теплопередача. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1969.
4. Штенников В. Н. Рекомендации по обеспечению требуемых режимов конвекционной пайки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 4.
5. Жуковский В. С. Основы теории теплопередачи. Л.: Энергия, 1969.
6. Штенников В. Н. Зависимость снижения температуры паяющего конца стержня паяльника во время пайки от его диаметра, материала и температуры холостого хода // Организация производства и прогрессивная технология в приборостроении. 1981. № 3.
7. Штенников В. Н. Некоторые аспекты лазерной пайки электронных приборов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 5.
8. Шлыков Ю. П., Ганин Е. А. Контактный теплообмен. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.
9. Штенников В. Н. Связь конструктивных и теплофизических параметров паяльника // Организация производства и прогрессивная технология в приборостроении. 1981. № 2.
10. Штенников В. Н. Оценка перспективности печатных плат // Приборы. 2008. № 9.
11. Штенников В. Н. Паяльные стержни в рекомендациях международных стандартов IPC // Приборы. 2009. № 7.
12. Штенников В. Н. Основные параметры монтажа электронных приборов // Приборы. 2009. № 2.
13. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Контактные металлургические процессы при пайке. М.: Металлургия, 1977.
14. Штенников В. Н. Влияние длины стержня паяльника на снижение температуры его паяющего конца при одиночной пайке // Организация производства и прогрессивная технология в приборостроении. 1981. № 9.