

Исследование процесса тепловыделения при сверлении печатных плат

Ванцов С.В.* , Зве Маунг Маунг**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: vancov@medpraktika.ru*

***e-mail: zwemaungmaung@gmail.com*

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся тепловыделения при сверлении монтажных и переходных отверстий в печатных платах. Особенность заключается в малых размерах инструмента и свойствах композиционных материалов диэлектрического основания печатных плат. Показаны основные дефекты отверстий и механизмы их возникновения. Получены формулы изменения температуры.

Ключевые слова: сверление, тепловыделение, печатные платы.

Известно, что на межсоединения на печатных платах приходится примерно 30% отказов. Значительная часть этих отказов, так или иначе, связана с качеством переходных отверстий в многослойных печатных платах и монтажных отверстий в двухслойных печатных платах. Поэтому при изготовлении печатных плат существенное внимание уделяется качеству поверхности внутри монтажных и переходных отверстий.

Преимущественным технологическим процессом получения отверстий до сих пор остается сверление.

Основными дефектами поверхности отверстий, возникающими при сверлении диэлектрического основания платы, являются:

- разломачивание армирующего диэлектрическое основание стекловолокна, что является существенным препятствием при металлизации отверстий и приводит к ухудшению электрического контакта при монтаже дискретных компонентов;
- остекловывание связующего диэлектрического основания, что приводит к ухудшению механической прочности паяных соединений;
- образование буртиков на входе и выходе сверла за счет наволакивания эпоксидного связующего на тело сверла и, как следствие, ведет к подъему и отслоению фольги на контактной площадке. Последнее приводит к ухудшению качества паяного соединения при монтаже дискретных компонентов, а иногда и невозможности осуществления пайки.

Пример таких дефектов приведен на рис. 01–02.



Рис. 01. Буртик и подъем фольги на выходе из отверстия (съемка сделана в косом свете)

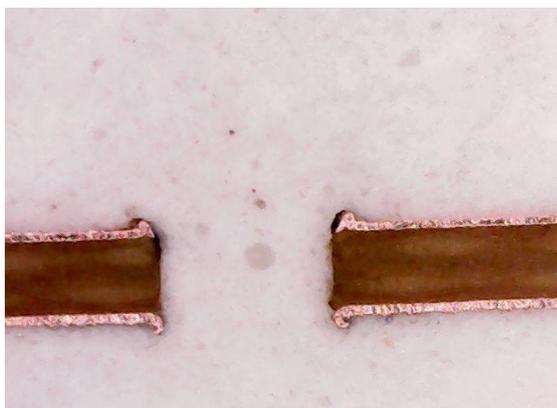


Рис. 02. Микрошлиф буртика, подъема и отслоения фольги на входе и выходе сверла.

Возникновение этих дефектов связано в первую очередь с нагреванием сверла во время сверления. При этом точность сверления весьма значительно влияет на качество печатной платы, которое, в свою очередь, зависит и от качества совмещения слоев и от параметров материала [1–3].

Следует отметить, что дефекты, образовавшиеся на этапе сверления, не только могут привести к отказам, но и повышают себестоимость изделий за счет удорожания последующих этапов [4], так как требуют введения в процесс изготовления печатных плат дополнительных операций.

Рассмотрим процесс тепловыделения при получении отверстия. Цикл развития температуры за время сверления одного отверстия показан на рис. 03.

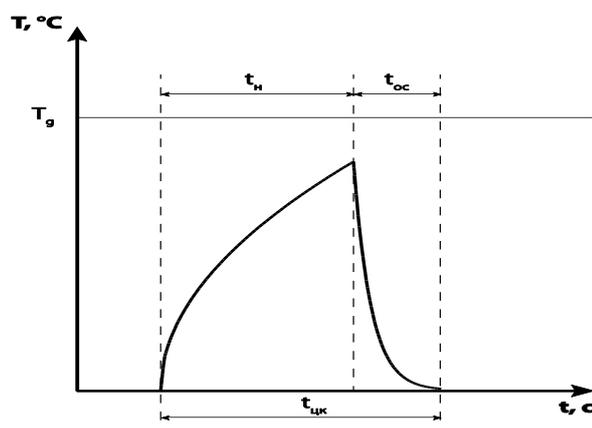


Рис. 03. Изменение температуры сверла в течение цикла сверления одного отверстия, где T – текущая температура; t – время; $t_{цк}$ – время цикла; t_n – время нагревания; t_{oc} – время остывания; T_g – температура стеклования связующего диэлектрического основания.

Нагревание происходит во время сверления отверстия за счет силы трения по задней поверхности сверла. Остывание сверла осуществляется при переходе инструмента от отверстия к отверстию.

Рассмотрим тепловой баланс в процессе нагревания. Сверло будем рассматривать изотропный теплопроводящий стержень. Тогда уравнение теплового баланса для элемента стержня можно записать в виде

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 \quad (1)$$

где Q_1 – тепло, сообщенное элементу сверла благодаря теплопроводности; Q_2 – тепло, отдаваемое конвективным теплообменом со средой; Q_3 – тепло, выделяемое в результате трения по задней грани сверла; Q_4 – тепло, пошедшее на нагревание элемента сверла.

При раскрытии уравнения (1) учтем следующие практические условия процесса сверления, а именно:

- отношение длины сверла к диаметру больше 10;
- конвективный теплообмен существенно затруднен за счет малой величины зазора между сверлом и стенками просверливаемого отверстия, а также за счет того, что спиральные дорожки сверла оказываются забитыми мелкодиспергированной стружкой композитного материала, включающего как эпоксидную смолу, так и стекло;
- теплоотдача путем теплообмена между сверлом и материалом диэлектрического основания существенно затруднена из-за малого (менее 1 секунды) времени сверления.

В силу принятых условий процесс тепловыделения можно свести к классической задаче нагревания полубесконечного теплоизолированного стержня с внутренним постоянно действующим источником тепла [5].

Тогда дифференциальное уравнение тепловыделения в процессе сверления будет иметь вид [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + b[T_c - T] + \xi Nv \quad (2),$$

где T – температура элемента сверла; τ – время; x – координата, отсчитываемая от вершины сверла и определяющая положение элемента с температурой $T(x)$; T_c – температура окружающей среды; $a = \lambda / c\rho$ – коэффициент температуропроводности, где λ и c – соответственно коэффициенты теплопроводности и теплоемкости материала сверла, ρ – плотность материала; $b = \alpha\rho / c\rho s$ – коэффициент теплообмена со средой, где α – коэффициент теплоотдачи, ρ и s – соответственно периметр и

площадь поперечного сечения сверла; $\xi = \mu / \nu c_p \rho_s$, где μ – коэффициент трения по задней грани сверла; N – сила резания; ν – скорость точки приложения силы N .

Решение уравнения (2) может быть приведено к виду

$$T(0, \tau) = \frac{1,1284 \mu N \nu}{\lambda_s} \sqrt{\alpha \tau} \quad (3)$$

Отметим, что уравнение (3) справедливо для вершины сверла и для отрезков времени, когда происходит сверление и сверло нагревается, т.е. для отрезка t_n в цикле на рис. 02.

Во время холостого хода инструмента при переходе от отверстия к отверстию сверло охлаждается за счет конвективного теплообмена с окружающей средой, усиливающегося благодаря его вращению. Тогда для отрезка t_{oc} в цикле уравнение теплопроводности примет вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + b[T_c - T] \quad (4)$$

Здесь коэффициент теплоотдачи α определяется по формуле [7]

$$\alpha = 0,3 \times 10^{-4} \frac{w^{0,76}}{d_s^{0,24}},$$

где d_s – эквивалентный диаметр сверла; w – скорость перемещения воздушного потока относительно сверла, которая при отсутствии принудительного обдува может быть принята равной окружной скорости поверхности сверла при его вращении (60–120 тысяч оборотов в минуту).

При решении уравнения (4) можно принять $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx 0$, поскольку скорость распространения тепла за счет теплопроводности существенно ниже скорости

остывания за счет конвективного теплообмена. Тогда решение уравнения (4) для вершины сверла примет вид

$$T(0, \tau) = T_c + [T^* - T_c] \exp(-b \tau)$$

где T^* – температура, с которой начинается охлаждение во время холостого хода.

Выше полученные соотношения позволяют производить предварительный расчет температуры сверла во время процесса сверления отверстий в печатных платах и, тем самым, определить количество циклов сверления, которое можно совершить без угрозы возникновения дефектов отверстий.

Библиографический список

1. Можаров В.А., Шуман К.В. Адаптация техпроцесса подготовки производства печатных плат высокого класса точности под заданные параметры геометрической стабильности базового материала // Труды МАИ, 2012, №50:
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=28828>
2. Можаров В.А. Математическая модель зависимости усадки стеклотекстолита от его конструкционных параметров // Труды МАИ, 2013, №65:
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=40666>
3. Можаров В.А. Математическая модель пространственного совмещения элементов межсоединений в многослойных структурах авионики // Труды МАИ, 2013, №65:
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=40198>
4. Васильев Ф.В. Снижение себестоимости изделий для авиационно-космической техники, изготавливаемых методами послойного синтеза // Труды МАИ, 2011, №49:
http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=28139&PAGEN_2=2

5. Лыков А.В. Теория теплопроводности – М: Высшая школа, 1967. - 600 с.
6. Толочков Ю.А., Ванцов С.В. Надежность рабочего процесса сверления печатных плат // Приборы и системы управления. 1976. №5. С. 48–50.
7. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки – М: Машиностроение, 1981. - 280 с.