

Аппаратный способ предотвращения дефектов отверстий печатных плат

С. Ванцов, к. т. н.¹, А. Медведев, д. т. н.², Зве Маунг Маунг³

УДК 621.3.049.75:621.95.01 | ВАК 05.11.14

Надежность и технический уровень печатных плат непосредственно связаны с обеспечением отсутствия дефектов металлизированных переходных отверстий [1], количество которых в одной плате при современном уровне интеграции и плотности компоновки электронных модулей может достигать до нескольких тысяч штук [2]. Этим определяется повышенное внимание к технологическим процессам получения монтажных и переходных отверстий и, в особенности, к сверлению, поскольку разработанные к настоящему времени технологические приемы, основанные на других принципах, при всем их разнообразии не смогли составить ему реальной альтернативы [3].

Получение отверстий в печатных платах обладает определенной спецификой, связанной с тем, что обработке подвергаются композиционные материалы, из которых изготавливаются диэлектрические основания плат. В работе [4] показано, что значительная часть дефектов монтажных и переходных отверстий в печатных платах возникает из-за температурных проблем в зоне резания. Они неизбежно возникают после перехода температуры в зоне резания через определенный порог, которым является так называемая температура стеклования T_g .

Еще одна крайняя точка, которую приходится учитывать при выборе режимов сверления, – температура разложения T_f , при достижении которой многие базовые материалы начинают интенсивно разлагаться из-за ослабления молекулярных связей; при отсутствии контроля пиковые значения температуры в зоне резания могут подойти и к ней. На рис. 1 показаны фазовые переходы на температурной шкале, типичные для термореактивных полимеров, не плавящихся при переходе через температуру стеклования. Термопластичные полимеры типа полиэтилена, полистирола, полиэфира (лавсана), поливинилхлорида при нагреве просто плавятся и теряют свою первоначальную форму и здесь не рассматриваются.

Температура T_g полимерной системы – это температура, при которой материал переходит из относительно жесткого, «стекловидного» состояния, в более податливое или умягченное состояние. Это термодинамическое изменение материала является обратимым до тех пор, пока полимерная система не деградировала. Иначе говоря, если материал был нагрет до температуры выше T_g , а затем

охлажден до этой или меньшей температуры, то он возвращается в жесткое состояние, подобное первоначальному, с теми же в основном свойствами, что и прежде. Однако, если материал был нагрет до температуры, намного превышающей T_g и приближающейся к T_f , то могут произойти необратимые изменения его свойств.

Исходя из изложенных соображений, критической точкой нагрева композиционного диэлектрика в зоне сверления с точки зрения качества получаемых отверстий выбрана температура стеклования T_g .

В табл. 1 представлены виды дефектов, возникающих, когда температура в зоне резания превышает T_g [4–6].

Для предотвращения дефектов естественным действием представляется организация постоянного контроля температуры сверла в ходе процесса сверления и, в случае превышения ею некоторого допустимого значения, – остановки работы оборудования. Однако, в силу ряда специфических особенностей технологической операции сверления отверстий в печатных платах, применение общеизвестных способов измерения температуры

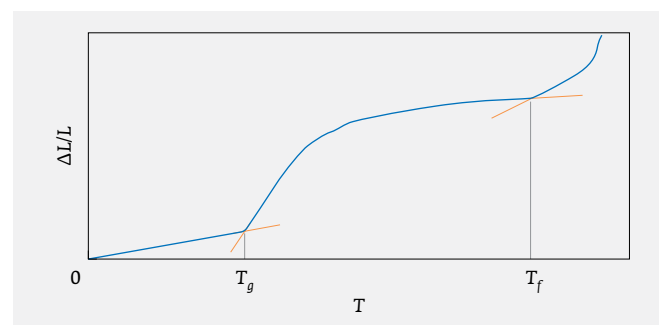


Рис. 1. Фазовые переходы при нагреве термореактивных полимеров: T_g – температура стеклования, T_f – температура разложения

¹ МАИ (НИУ), доцент, vancov@medpraktika.ru.

² МАИ (НИУ), профессор, medvedevam@bk.ru.

³ МАИ (НИУ), аспирант, zwemaungmaung@gmail.com.

Таблица 1. Влияние температуры на качество внутренней поверхности отверстий при сверлении печатных плат

Место локализации дефекта	Вид дефекта	Наблюдаемые проявления	Тип дефекта
В меди	Расслаивание	Отделение меди от подложки	Механический / связанный с теплом
	Эффект шляпки гвоздя	Заусенцы на внутреннем слое меди	Механический / связанный с теплом
	Размазывание	Термомеханически закрепленные кляксы смолы	Связанный с теплом
В подложке	Расслаивание	Разделение слоев подложки	Механический / связанный с теплом
	Бороздки	Бороздки в смоле	Связанный с теплом
	Размазывание	Термомеханически закрепленные осадки смолы	Связанный с теплом

в зоне сверления является затруднительным. К этим особенностям относятся:

- использование мелкогабаритных сверл, обладающих чрезвычайно малой теплоемкостью;
- скорость работы современных сверлильных автоматов – как в части сверления единичного отверстия, так и при переходе от одной точки сверления к другой;
- цикличность развития температуры в зоне резания.

Все это не позволяет выбрать температуру в зоне резания в качестве диагностического признака появления дефектов отверстий и реализовать техническое устройство контроля, работающее непосредственно в системе сверлильного станка.

Вместе с тем известны соотношения, позволяющие рассчитать температуру в зоне резания в зависимости от режимов и параметров процесса сверления [7]:

$$T(\tau) = CN\sqrt{a\tau}, \tag{1}$$

где $T(\tau)$ – температура в зоне резания; τ – время; C и a – коэффициенты, значение которых определяется физическими константами и остается постоянным для конкретного технологического процесса; N – сила, направленная по нормали к задней поверхности сверла.

Значение параметра N связано с осевым усилием подачи инструмента следующим соотношением [5]:

$$N = \frac{(0,3+0,4)}{\cos\varphi} P, \tag{2}$$

где P – осевое усилие подачи; 2φ – угол при вершине сверла.

Основываясь на выражениях (1) и (2), авторы предложили метод и реализующую его установку, в которых осевое усилие подачи сверла используется в качестве

диагностического признака для контроля момента появления дефектов отверстий.

Для измерения усилия подачи используется разработанная авторами физическая платформа, позволяющая измерять усилие нажатия на нее. Толщина платформы не превышает 4 мм, что дает возможность устанавливать ее непосредственно на стол сверлильного станка и интегрировать в систему управления станком. На платформу устанавливается пакет печатных плат, подвергающийся сверлению.

Разработанная платформа позволяет:

- регистрировать значения осевого усилия подачи;
- обеспечить высокую скорость и точность регистрации значений;
- передавать полученные данные в компьютер для пересчета в значение температуры в зоне резания с использованием выражений (1) и (2) и, при достижении значения T_g , формировать сигнал об этом для системы управления станком (либо для оператора, контролирующего работу станка).

Принцип действия платформы заключается в преобразовании деформации ее плоскости от воздействия усилия нажатия сверлом на пакет плат в электрический сигнал. Для преобразования используются тензорезистивные датчики: под воздействием усилия нажатия датчик деформируется вместе с платформой, и токи, протекающие через измерительный резисторный мост, меняются. Это изменение прямо пропорционально деформации датчика и, в конечном итоге, силе воздействия сверла на пакет плат.

В разработанном устройстве используется четырехпроводное подключение как наиболее простое, эффективное и распространенное среди всех видов тензодатчиков. Для регистрации сигнала тензодатчики подключаются к АЦП; в устройстве использован микроконтроллер фирмы Atmel семейства AVR ATmega8 с встроенным 10-битным АЦП.

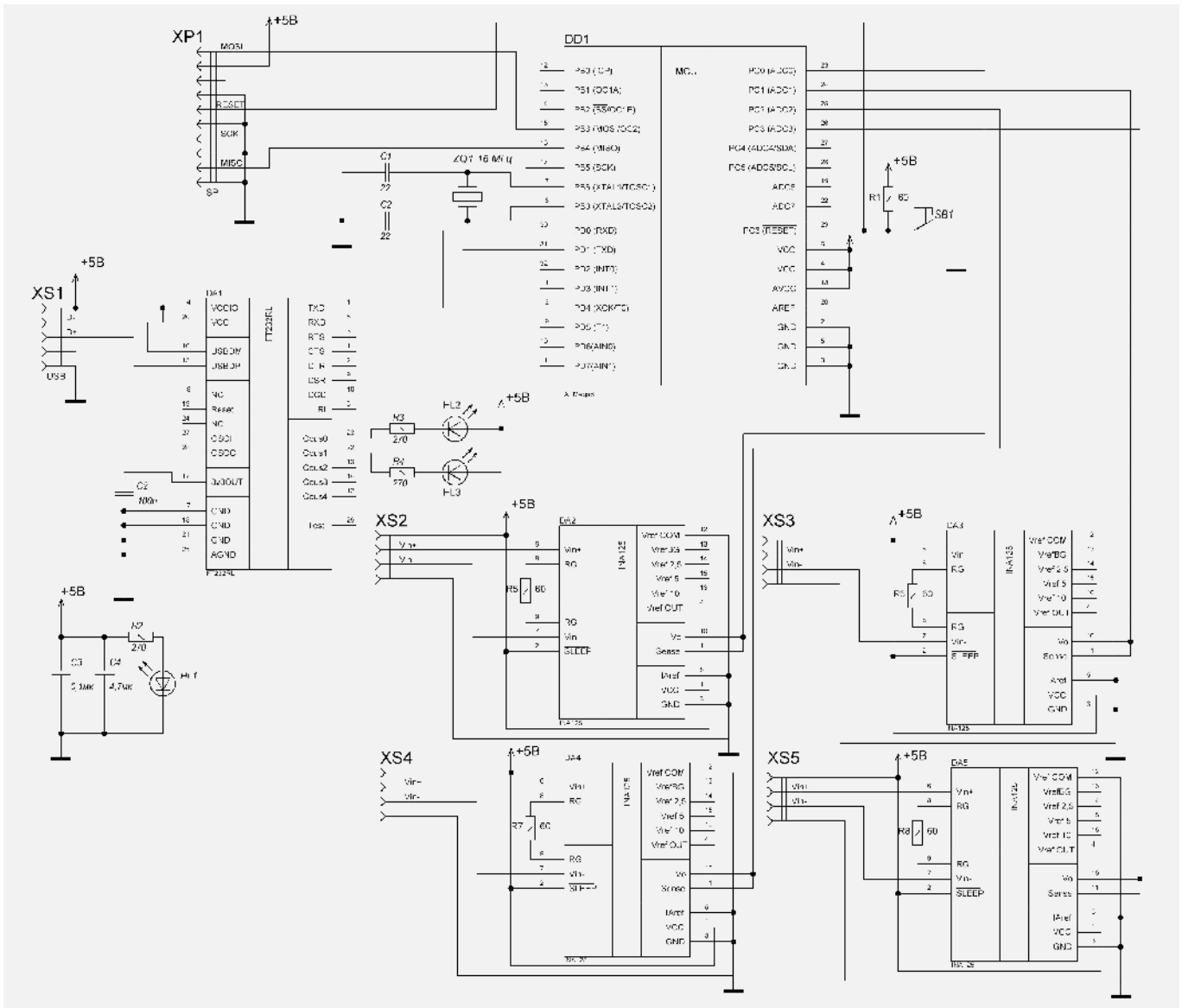


Рис. 2. Принципиальная схема устройства измерения усилия подачи

В ходе предварительных экспериментов по измерению осевого усилия подачи при сверлении отверстий в пакете печатных плат было выявлено, что уровень сигнала, получаемого с тензодатчиков, находится в диапазоне милливольт. Примененный микроконтроллер не способен воспринимать такой слабый сигнал, что потребовало введения в схему измерения инструментального усилителя.

Для связи микроконтроллера с ПК использован интерфейс USART, аппаратно реализованный в микроконтроллере ATmega8, таким образом была исключена необходимость ручной реализации логики передачи данных.

Принципиальная схема устройства представлена на рис. 2.

Аппаратно устройство выполнено в виде измерительного комплекса, состоящего из:

- тензометрического стола размером 230 × 170 мм, расположенного на рабочем столе сверлильного станка;
- электронного измерителя усилия;
- ПК для хранения и обработки измеряемых данных.

Аппаратные особенности электронного измерителя усилия обеспечили быстроедействие, равное 440 измерениям в секунду с учетом времени передачи данных и их сохранения в памяти ПК. Такая частота снятия отсчетов позволяет анализировать изменения усилия подачи в течение сверления одного отверстия. Это дает возможность по отдельности оценивать изменение усилия при прохождении медной фольги, эпоксидной смолы и стекловолокна.

Апробация предлагаемого аппаратного способа предотвращения дефектов отверстий печатных плат производилась путем сверления серий отверстий в платах из

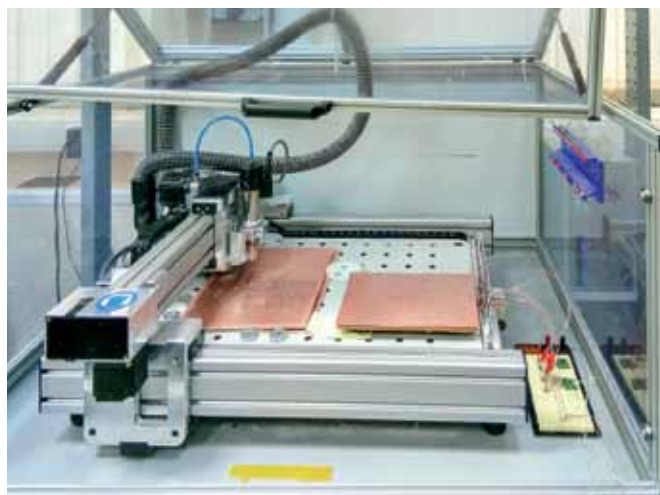


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки для проверки предлагаемого аппаратного метода

стеклотекстолита FR4 на фрезерно-сверлильном станке Bungard CCD/ATC (рис. 3).

Проведенная серия экспериментов подтвердила предположение о возможности использования предлагаемого аппаратного способа для предотвращения появления дефектов в ходе операции сверления отверстий в печатных платах на композитном основании.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Князев А., Борисенков С.** Испытания надежности печатных плат при помощи термоциклирования и термоудара // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 1. С. 21–24.
2. **Медведев А. М., Сержантов А. М.** Иллюстрированная технология печатных плат. Двусторонние печатные платы с металлизацией отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 1. С. 30–32.
3. **Иванова А. С., Медведев А. М.** Механическое и лазерное формирование отверстий // Печатный монтаж. 2008. № 1. С. 2–7.
4. **Зве Маунг Маунг, Ванцов С. В., Медведев А. М., Хомутская О. В.** Анализ процесса сверления отверстий в композиционных материалах печатных плат // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 2. С. 37–44.
5. **Медведев А. М.** Печатные платы. Механическое сверление // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 8. С. 74–81.
6. **Зве Маунг Маунг, Ванцов С. В.** Квазидетерминированная модель тепловых явлений при сверлении композитных материалов // Компетентность. 2017. № 7. С. 16–19.
7. **Зве Маунг Маунг, Ванцов С. В.** Использование тепловой модели для определения параметров процесса сверления печатных плат // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 6. С. 190–192.