

На правах рукописи
УДК 621.95

ЛИТВАК ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
ПРИ СВЕРЛЕНИИ МИКРОРАЗМЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ
С ТВЕРДОСМАЗОЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Специальность 05.27.06 – Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2015

Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель Доктор технических наук, профессор
Панфилов Юрий Васильевич

Официальные оппоненты:

Кечиев Леонид Николаевич, доктор технических наук, академик Международной академии информатизации, профессор, профессор департамента электронной инженерии, заведующий базовой кафедрой «ИМЦ «Вега» Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Сушенцов Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет».

Ведущая организация: ОАО «Научно-исследовательский центр
электронной вычислительной техники» (ОАО
«НИЦЭВТ»), г. Москва, Варшавское ш., 125.

Защита состоится «___» _____ 2015 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д212.141.18 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская д.5 стр.1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва ул. 2-я Бауманская д.5 стр.1.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Телефон для справок: +7 (499) 267-09-63.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.141.18

доктор технических наук, профессор



Цветков Ю.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Современный этап развития электронной промышленности и приборостроения характеризуется интенсивным ростом объема, номенклатуры и значительным повышением требований к функциональности и быстродействию изделий. Возможность такого развития обеспечивается соответствующей элементной базой радиоэлектронных средств (РЭС), применение которой требует существенного усложнения конструкций устройств коммутации, прежде всего, печатных плат (ПП).

Потребность коммутации электрорадиоэлементов с тысячами матрично расположенных выводов приводит к необходимости формирования десятков тысяч переходных отверстий на 1 дм² ПП. При этом диаметр отверстий закономерно уменьшается вплоть до 0,05 мм для плат 7-го класса точности. Появляющиеся альтернативные механическому сверлению технологические методы (прежде всего, лазерное абляционное «сверление») демонстрируют успешные примеры решения отдельных технологических задач, связанных с необходимостью формирования микроразмерных переходных отверстий. Однако спектр возможностей данных технологических методов не позволяет полностью отказаться от механического сверления при формировании отверстий диаметра более 0,6 мм, а так же при сверлении отверстий с отношением глубины к диаметру превышающем 3. Поэтому технологический метод механического сверления на сегодняшний день остается актуальным и востребованным, и, по всей видимости, еще достаточно долго будет оставаться конкурентоспособным.

Необходимость обеспечения высокой плотности коммутации предполагает ужесточение требований не только к диаметрам формируемых отверстий, но и к точности их расположения. Это обуславливает потребность ведения работ по устранению источников погрешности положения отверстий – в первую очередь, это погрешности позиционирования и осевые биения высокоскоростных шпинделей сверлильного оборудования. Однако с уменьшением диаметра сверла снижается его жесткость, что требует применения специализированных вспомогательных материалов, препятствующих изгибу инструмента как на входе, так и на выходе из материала ПП. При этом зачастую

сам материал основания печатных плат остается неизменным. Получение на его основе современной высокоточной ПП оказывается проблематичным в виду возникновения изгиба инструмента в процессе формирования отверстий. Либо напротив, встречаются ситуации, когда необходимость использования новых марок материала вызвана, прежде всего, их функциональными свойствами, что наиболее характерно для ПП СВЧ диапазона. В таких случаях, ввиду фактического отсутствия возможности выбора каких-либо альтернативных марок материала, вопросы технологичности производства ПП, и, в первую очередь, формирования микроразмерных переходных отверстий, обостряются. Данная тенденция приводит к тому, что в результате повышения эксплуатационных характеристик РЭС их крупносерийное и массовое производство с использованием традиционной станочной и инструментальной базы становится трудно реализуемым, поскольку традиционные технологические методы не способны обеспечить заданной точности изготовления.

Изучением данной проблемы занимались многие российские и зарубежные ученые, в том числе, В.Л. Заковоротный, К.Ф. Кумбз мл., А.М. Медведев, С.В. Новокрещенов, М.В. Одинодворцев, Ю.Б. Цветков, и др. Среди нерешенных научных задач можно выделить отсутствие общетеоретической и методологической проработки вопроса обеспечения точности формирования микроразмерных переходных отверстий ПП. Отчасти это объясняется относительной новизной проблемы (обновленный стандарт, по которому ПП подразделяются не на 5, а на 7 классов точности, введен в России только в 2009 году), отчасти сугубо прикладной направленностью работ в области производства электронной продукции.

Таким образом, разработка как отдельных новых методов повышения точности механической обработки микроразмерных переходных отверстий печатных плат, так и общей концепции реализации такого повышения точности может внести весомый вклад в развитие технологии производства электронной техники и экономики страны в целом.

Цель работы

Определение путей минимизации погрешности расположения переходных отверстий ПП за счет применения рационально подобранных режимов сверления микроразмерным инструментом с твердосмазочным упрочняющим покрытием.

Задачи

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Выявление и анализ причин и закономерностей возникновения и развития увода оси микроразмерного сверла в ходе формирования отверстия в ПП;
2. Разработка математической модели распределения величины увода оси сверла в партии отверстий при различной структуре материала платы и режимах сверления;
3. Исследование влияния структуры материала печатной платы, режимов сверления и наличия твердосмазочного покрытия микроразмерного инструмента на распределение величины отклонения положения отверстий в серии от номинального положения и качество металлизации их внутренних поверхностей;
4. Разработка рекомендаций по выбору мер обеспечения требуемой точности расположения микроразмерных отверстий ПП.

Объект исследований – феномен возникновения случайной погрешности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП, выполненных механическим сверлением.

Предмет исследований – влияние структуры материала печатной платы и технологических параметров процесса ее обработки: режимов сверления, наличия упрочняющего твердосмазывающего покрытия режущего инструмента на статистические характеристики распределения величины отклонения координаты микроразмерных отверстий ПП.

Методы и средства исследований

В работе применялись эмпирические и теоретические методы исследования: методы анализа и синтеза, абстрагирование, планирование эксперимента, технологический эксперимент и пр. В ходе проведения эксперимента использовались следующие методы исследования: оптическая микроскопия, растровая электронная микроскопия (РЭМ), динамометрия процесса сверления, компьютерные методы обработки и анализа изображений. Анализ и обработка экспериментальных данных осуществлялись с применением аппарата математической статистики.

Научная новизна работы

1. Экспериментально установлена возможность использования упрочняющего (твердосмазывающего) алмазоподобного покрытия для увеличения точности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП за счет увеличения изгибной жесткости сверл после нанесения покрытия;
2. Разработана методика определения величины погрешности расположения для группы переходных отверстий ПП, заключающаяся в использовании сканера высокого разрешения и прецизионных оптических шкал (фотошаблонов), позволяющая определять среднеквадратическое отклонение (СКО) величины погрешности расположения переходных отверстий ПП с погрешностью не превышающей 2,6 мкм для платы, содержащей 100 отверстий;
3. Предложен способ определения составляющих погрешности расположения переходных отверстий на ПП со стороны выхода сверла, заключающийся в учете систематической составляющей, обусловленной наличием статистической связи с величиной погрешности расположения отверстия со стороны входа сверла в материал платы.

На защиту выносятся

1. Результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность и целесообразность использования твердосмазочного алмазоподобного покрытия микроразмерных сверл для снижения величины погрешности расположения формируемых отверстий.
2. Методика определения СКО величины смещения центров переходных отверстий ПП от номинального положения.
3. Способ вычисления величины погрешности расположения переходных отверстий, обусловленной уводом оси сверла в процессе обработки ПП.

Практическая ценность работы

1. Предложен способ повышения точности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП за счет использования сверл с твердосмазывающим алмазоподобным покрытием, который позволяет значительно снизить величину погрешности расположения переходных отверстий без внесения каких-либо дополнительных изменений в технологический процесс микрообработки.

2. Предложен способ оценки точности расположения переходных отверстий ПП с использованием планшетного сканера высокого разрешения и прецизионного фотошаблона, позволяющий определять СКО величины случайной погрешности расположения отверстий с погрешностью не более 2,6 мкм. Это позволяет многократно сократить время измерения погрешности расположения переходных отверстий по сравнению со способом определения координат контрольных отверстий при помощи оптической координатно-измерительной машины и обеспечивает возможность контроля положения всех видимых переходных отверстий ПП за одно измерение, при этом необходимость формирования контрольных отверстий по периметру платы отсутствует.

3. Разработан алгоритм вычисления составляющих погрешности расположения отверстий на поверхности ПП, который позволяет определять источник погрешности и обоснованно принимать решение о выборе средства обеспечения заданной точности расположения переходных отверстий ПП.

Реализация (внедрение) результатов работы

Метод групповой оценки точности расположения отверстий в ПП с использованием планшетного сканера высокого разрешения и прецизионного фотошаблона передан на апробацию в ОАО «НИЦЭВТ».

Материалы диссертационной работы и полученные результаты проведенных исследований используются в учебном процессе кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана при выполнении курсовых и дипломных работ бакалавров, специалистов и магистров, а также при проведении лабораторных работ в рамках дисциплины «Инженерный практикум».

Предложенная методика измерения координат переходных отверстий ПП и способ анализа величин погрешности их расположения могут быть взяты за основу при создании высокопроизводительного программно-аппаратного комплекса контроля точности изготовления ПП.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов основывается на комплексном анализе технологического опыта, а также обеспечивается использованием современных методов получения и обработки экспериментальных данных, корректным применением математических и логических

моделей, аналитических инструментов, подтверждается результатами численных и физических экспериментов, теоретических расчетов. Сформулированные в диссертации выводы и рекомендации подтверждаются экспериментальными данными и не противоречат известным положениям.

Личный вклад соискателя

Проведение обзора современного состояния проблем формирования микроразмерных переходных отверстий ПП, анализ причин возникновения погрешности расположения переходных отверстий ПП, анализ причин и оценка значимости влияния различных факторов технологического процесса на возникновение и развитие увода оси микроразмерных сверл в процессе сверления, разработка и обоснование корректности применения методики определения статистических параметров распределения величины погрешности расположения переходных отверстий ПП, разработка алгоритма вычисления вклада различных составляющих величины погрешности расположения переходных отверстий ПП, исследование зависимости точности формирования отверстий в печатных платах от параметров конструкции ПП и отдельных технологических параметров операции микроразмерного сверления, обработка экспериментальных данных и формулировка рекомендаций по использованию результатов работы.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на пятой всероссийской научной конференции «Будущее машиностроения России - 2012» (Москва, 2012) в секции «Машиностроительные технологии», а так же были представлены на 5-й Российской молодежной научно-инженерной выставке «Политехника» (Москва, 2010), 9-й форуме-выставке «Интеллектуальная собственность Восточного административного округа города Москвы» (Москва, 2010), 11-й всероссийской выставке «Научно-техническое творчество молодежи» (Москва, 2011).

Публикации

Материалы диссертации (результаты исследований и разработок) опубликованы в 15 научных работах, из которых 7 в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами к каждой из них, выводов, заключения и библиографии из 79 наименований. Общий объем диссертации изложен на 132 страницах машинописного текста, содержит 77 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определена цель и поставлены задачи работы, сформулированы положения, определяющие новизну и практическую ценность полученных результатов, а так же положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены результаты анализа текущего состояния, тенденций и перспектив развития метода механического сверления применительно к задаче получения микроразмерных переходных отверстий ПП. Показано, что на сегодняшний день механическое сверление является единственным технологическим методом, позволяющим решать задачи как глубокого (отношение глубины отверстия к диаметру более 10) микроразмерного сверления отверстий диаметра от 0,05 мм, так и формирования отверстий диаметра 1 мм и более на одной и той же технологической установке.

В связи с микроминиатюризацией изделий радиоэлектронной техники и использованием интегральных схем с высокой степенью интеграции конструкции устройств коммутации усложняются. Данная тенденция выражается в увеличении количества слоев ПП, что, в свою очередь, требует увеличения количества межслойных соединений, размер которых так же закономерно уменьшается. Поскольку основным технологическим способом формирования межсоединений ПП является создание металлизированных, либо заполненных металлом отверстий, актуальной задачей является обеспечение возможности удовлетворять современным техническим требованиям к ПП существующих технологических методов формирования переходных отверстий.

Наиболее распространенными на сегодняшний день способами формирования микроразмерных переходных отверстий являются механическое сверление и лазерная абляция. Ввиду сложившейся инструментально-

технологической базы в России больше распространено механическое сверление.

Одной из важнейших технологических проблем механического сверления является сложность обеспечения требуемой точности расположения отверстий ПП, в особенности микроразмерных, что обусловлено целым рядом причин, в том числе уводом оси сверла в процессе сверления. В существующих работах Российских и зарубежных инженеров и ученых, в том числе, В.Л. Заковоротного, К.Ф. Кумбза мл., А.М. Медведева, С.В. Новокрещенова, М.В. Однодворцева, Ю.Б. Цветкова, и др. по данной проблеме предлагаются различные способы повышения точности расположения микроразмерных отверстий. Однако в совокупности они сводятся к действиям по изменению условий процесса сверления, например: применение новых материалов накладок, использование высокоскоростных шпинделей с минимальной величиной радиального биения инструмента. Общим ограничением, присущим данным мерам обеспечения точности является отсутствие возможности влияния на величину погрешности, вносимой за счет деформаций режущего инструмента в процессе обработки непосредственно материала платы.

Таким образом, актуальной задачей является выявление путей повышения точности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП, формируемых методом механического сверления, за счет уменьшения величины увода оси инструмента непосредственно в процессе формирования отверстия.

Во второй главе представлен анализ механизма формирования и развития погрешности расположения переходных отверстий ПП, вызванной уводом оси сверла в процессе сверления.

Проведена классификация причин возникновения увода оси микроразмерных сверл по вызывающему их типу воздействия на режущий инструмент в процессе сверления. На основании предложенной классификации выделены общие пути снижения погрешности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП, обусловленной уводом оси инструмента. Установлено, что эффективное снижение величины данной погрешности достигается путем одновременного повышения изгибной жесткости режущего инструмента и снижения величин воздействий, вызывающих его изгиб.

На основании результатов измерений изгибной жесткости сверл диаметра 0,10 мм с упрочняющим алмазоподобным покрытием и без покрытия методом экстраполяции были рассчитаны значения изгибной жесткости микроразмерных сверл других диаметров. Данный расчет позволил: во-первых, установить, что нанесение на поверхность микроразмерного инструмента функциональных покрытий позволяет увеличить изгибную жесткость, во-вторых, оценить область применимости данного способа для решения задачи обеспечения точности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП.

В результате динамометрии процесса сверления ПП из стеклотекстолита марки FR 4 установлено, что, наряду с осевым усилием и моментом сопротивления вращению, на сверло действует радиальная сила, вызывающая увод оси сверла и, как следствие, погрешность формы продольного сечения и расположения отверстия (Рис. 1). Коррелированность частоты наблюдений экстремальных (близких к максимальному или минимальному для выборки) значений радиального усилия с вероятностью попадания на «неблагоприятный» с точки зрения условий обработки участок платы позволила предложить две модели, описывающие процесс возникновения и развития увода оси сверла по мере формирования отверстия в материале ПП.

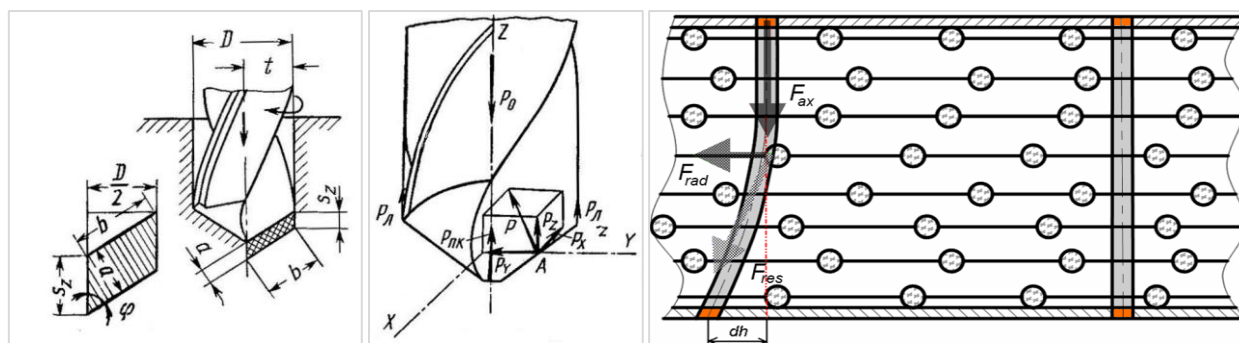


Рис. 1. Механизм отклонения оси сверла от прямолинейной траектории на скрутке стеклянных волокон

На основании полученных в ходе динамометрии процесса сверления величин усилий, действующих на микроразмерное сверло (Рис. 2) были описаны и проанализированы четыре возможных механизма развития изгиба сверла под действием радиального и осевого усилия. Для каждого из представленных механизмов указаны факторы и технологические параметры, являющиеся его предпосылками, а так же приведена количественная либо ве-

роятностная оценка значимости его вклада в результирующую величину погрешности. Предложена общая функциональная (феноменологическая) модель для расчета ширины поля рассеяния величины погрешности расположения отверстий ПП, учитывающая условия реализации и технологические параметры операции механического сверления.

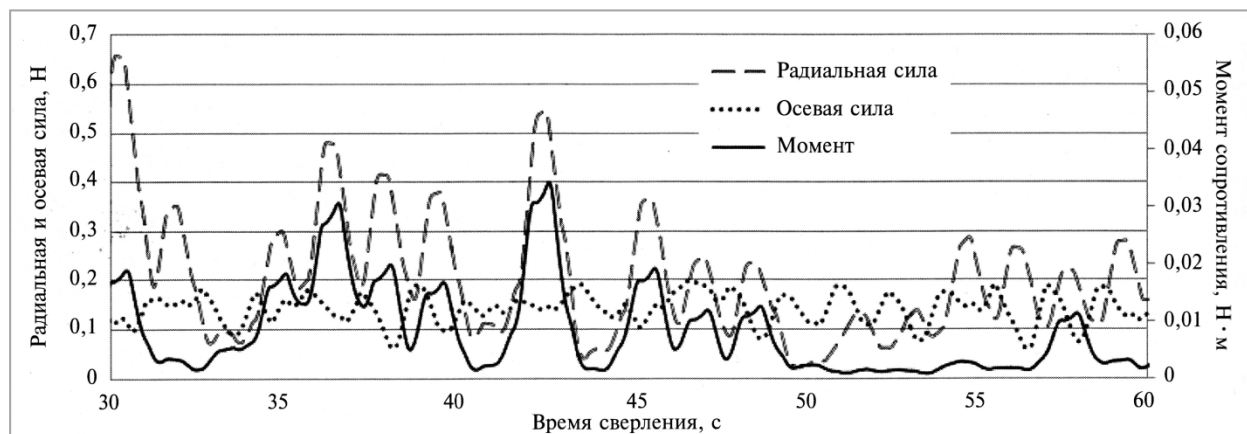


Рис. 2. Временная диаграмма значений осевой и радиальной силы, а так же момента сопротивления вращения, действующих на микроразмерное сверло в процессе формирования отверстия

Третья глава посвящена разработке и обоснованию возможности применения методики определения погрешности расположения отверстий ПП с помощью планшетного сканера высокого разрешения и высокоточных оптических шкал (Рис.3 а).

Одним из главных условий обеспечения воспроизводимости требуемой точности расположения переходных отверстий ПП, формируемых методом механического сверления, является регулярный контроль показателей точности результата технологической операции. Данный контроль на практике осуществляется путем определения координат контрольных отверстий, располагаемых по периметру ПП, при помощи координатно-измерительной машины. Недостатком данного метода является его трудоемкость, а так же то, что о характере распределения погрешности расположения переходных отверстий ПП можно судить только опосредованно.

Для определения фактического значения величины погрешности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП были изготовлены образцы 4-слойных МПП (многослойных печатных плат) и разработана методика определения данной погрешности с использованием планшетного

сканера высокого разрешения и прецизионных фотошаблонов. Предложен алгоритм математической обработки полученных микрофотоснимков, позволяющий вычислить вклад погрешности, обусловленной уводом оси сверла (Рис. 3 б, в, г).

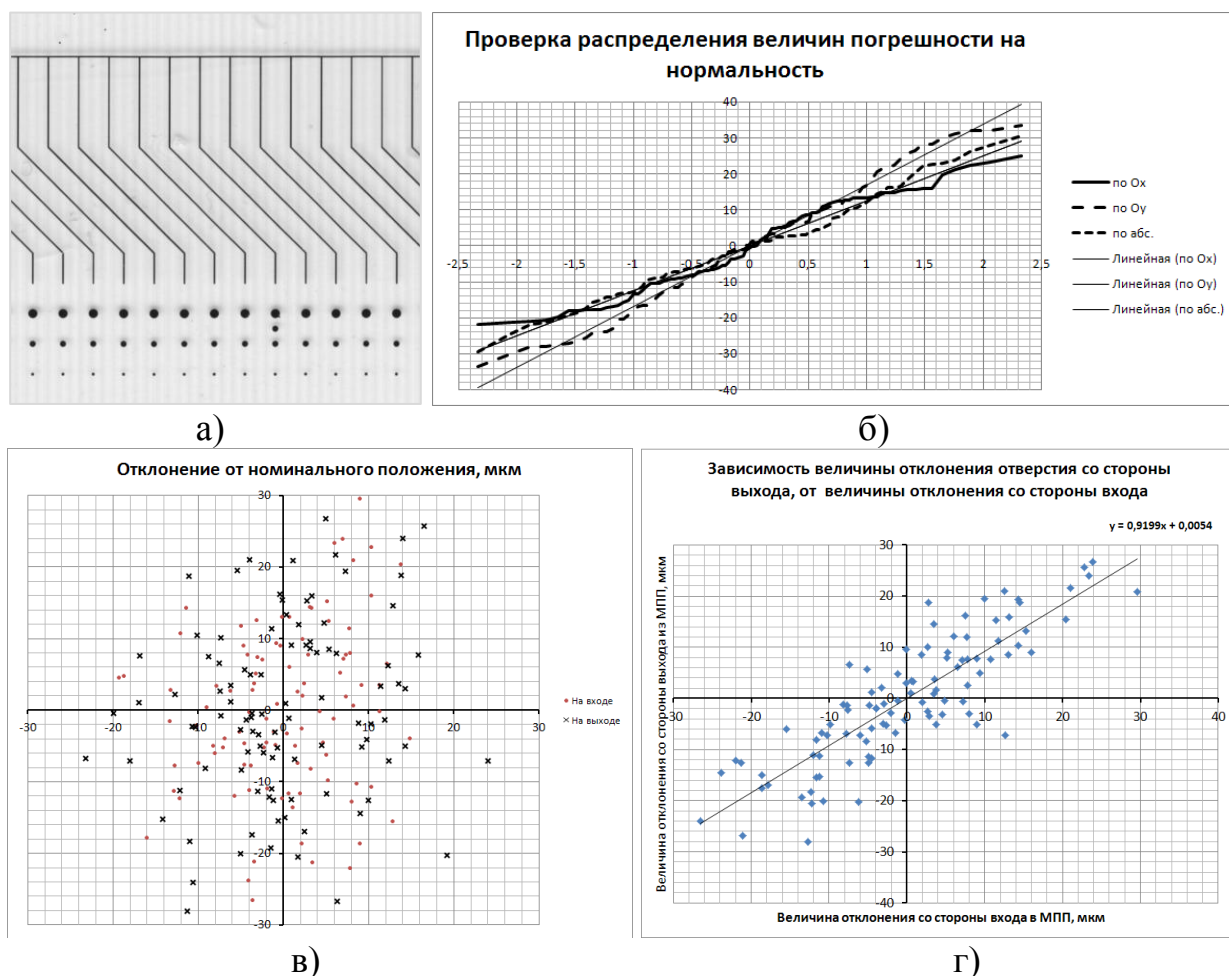


Рис. 3. а) участок прецизионного фотошаблона; б) проверка распределения полученных значений величины погрешности расположения отверстий на нормальность; в) величина погрешности положения отверстий (диаметр сверла 0,30 мм); г) график зависимости величины отклонения положения выходного отверстия от величины отклонения положения входного отверстия

В ходе апробации установлено, что использование предложенной методики (включая представленные средства измерения) позволяет определять СКО величины случайной погрешности расположения отверстия с погрешностью, не превышающей 2,6 мкм для плат содержащих 100 и более отверстий. Трудоемкость процесса анализа одного тестового образца, включая статистическую обработку результатов измерений программными средствами, в существующей реализации не превышает 10 минут, причем имеются резервы

для сокращения данного времени. Достигнутые показатели точности и трудоемкости позволяют утверждать о возможности использования предложенной методики при создании высокопроизводительного программно-аппаратного комплекса контроля точности изготовления ПП для применения в промышленном производстве.

В четвертой главе представлены результаты исследований зависимости поля рассеяния величины абсолютной погрешности расположения отверстий ПП от конструкции МПП и технологических параметров операции сверления.

В результате исследования было обнаружено, что увод оси сверла является значимым источником погрешности расположения отверстий, обуславливающим до 40% величины итогового смещения центра переходного отверстия от его номинального положения.

Было установлено, что применение в конструкции МПП, содержащей микроразмерные переходные отверстия, тонких препрегов практически не отражается на величине поля рассеяния погрешности расположения отверстий (Рис. 4).

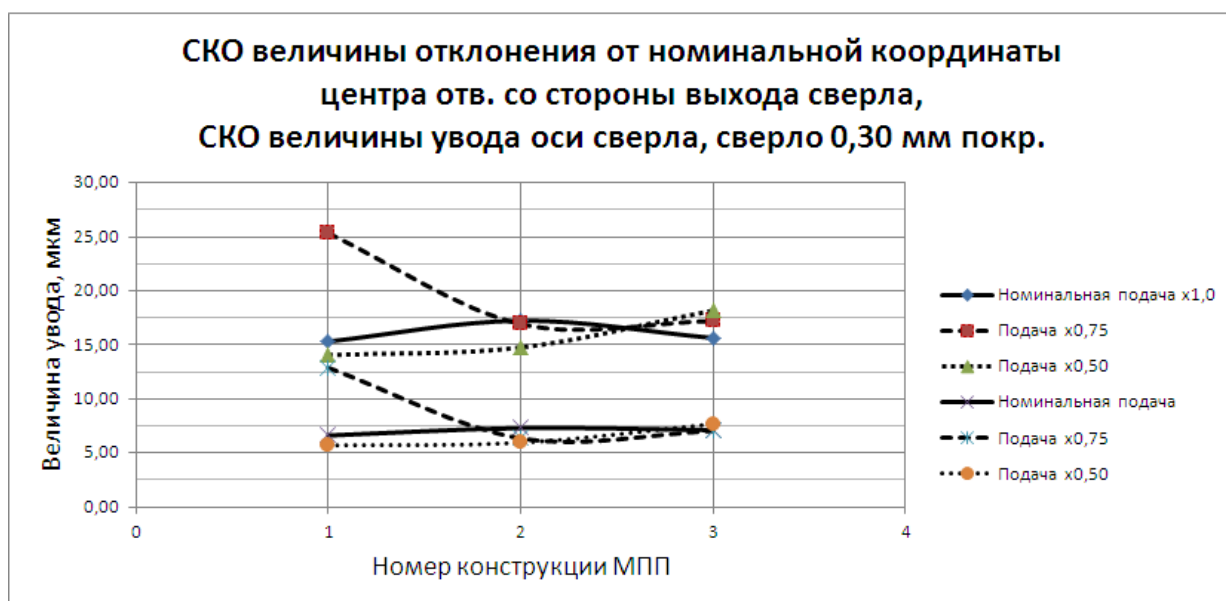


Рис.4. Зависимость СКО величины отклонения координаты центра отверстия от номинального положения и СКО величины увода оси сверла от конструкции МПП: 1 - грубая фактура (препрег 7628); 2 - фактура средней грубости (препрег 2116); 3 - тонкая фактура (препрег 1080)

Использование препрега марки 7628 не позволило выявить какого-либо негативного влияния, как на точность расположения микроразмерных

отверстий платы, так и на качество металлизации их внутренних поверхностей. Это позволяет заключить, что использование тонких препрегов в конструкции ПП не обеспечивает значимого снижения величины погрешности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП.

При исследовании образцов, обработка которых производилась с различной величиной осевой подачи, было установлено, что использование сниженных режимов резания обеспечивает уменьшение ширины поля рассеяния величины погрешности положения отверстий сформированных только сверлами диаметра 0,20 мм и менее. Для сверл диаметра 0,20 мм снижение величины осевой подачи до 0,75 относительно номинального значения обеспечило уменьшение СКО величины погрешности положения отверстий в среднем на 18%, снижение подачи до 0,50 от номинального значения – на 20% (значения определялись относительно показателей полученных при номинальном режиме сверления). Для сверл диаметра 0,15 мм в обоих случаях (снижение осевой подачи до 0,75 и 0,50 от номинальной величины) уменьшение ширины поля рассеяния погрешности расположения отверстий составило приблизительно 13%. Для сверл диаметра 0,30 мм без покрытия наблюдался обратный эффект – снижение величины осевой подачи приводило к увеличению СКО величины погрешности положения отверстий и СКО величины увода оси сверла. Снижение величины осевой подачи при обработке сверлами диаметра 0,30 мм с нанесенным твердосмазочным покрытием не отразилось на изменении величины погрешности положения отверстий и увода оси инструмента.

Было подтверждено, что материал накладки оказывает значительное влияние на точность расположения отверстий – использование альтернативных гетинаксу материалов накладок при механическом сверлении позволяет снизить величину СКО погрешности расположения отверстий до 29% (с 31,5 до 22,4 мкм для отверстий диаметра 0,30 мм, в качестве базового материала накладки был использован гетинакс толщиной 0,5 мм, в качестве альтернативного – алюминий толщиной 0,3 мм).

За счет обеспечения значительного увеличения изгибной жесткости наличие функциональных покрытий на рабочих поверхностях сверл способно существенно повысить точность расположения формируемых микроразмерных отверстий (Рис. 5). По сравнению со стандартным

инструментом, наличие алмазоподобного покрытия сверл диаметра 0,30 мм обеспечило снижение величины СКО погрешности расположения отверстий на 29% (с 22,5 до 16,0 мкм), причем вклад погрешности, вносимой за счет увода оси свела снизился на 25% (с 8,0 до 6,0 мкм), что значительно превысило ожидаемое значение (7,5%).

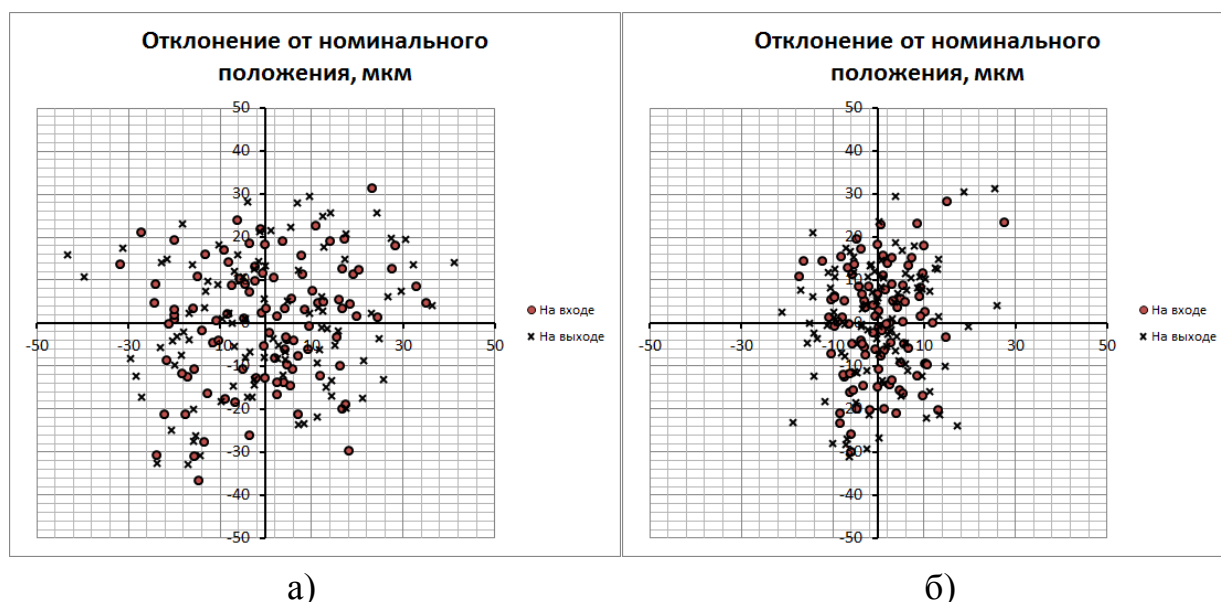


Рис. 5. Величина отклонения координаты центра отверстия от номинального положения диаметр сверла – 0,30 мм: а) сверло без покрытия, б) сверло с покрытием

На основании полученных результатов можно заключить, что для достижения максимальной точности расположения микроразмерных переходных отверстий ПП необходимо обеспечить в ходе сверления условия, минимизирующие не только увод оси, но и смещение сверла в процессе врезания в материал платы. Такие условия возможно обеспечить, используя известные и применяемые в технологии производства ПП меры: выбор оптимального материала накладки (наплатника), использование сверл со специальной геометрией перемычки, а так же нанесение на рабочие поверхности сверл алмазоподобного покрытия.

Общие выводы

1. Определено, что значительная (до 40%) доля общей погрешности расположения микроразмерных переходных отверстий может быть обусловлена уводом оси сверла в процессе обработки ПП.
2. Установлено, что за счет увеличения изгибной жесткости при нанесении на рабочие поверхности микроразмерных сверл твердосмазочного алма-

зоподобного покрытия может быть достигнуто уменьшение величины случайной погрешности расположения переходных отверстий ПП, обусловленной уводом оси сверла: до 7,5% для сверл диаметра 0,30 мм, до 12% для сверл диаметра 0,20 мм, до 22% для сверл диаметра 0,10 мм, до 45% для сверл диаметра 0,05 мм.

3. Установлено, что существенными факторами, влияющими на увод оси сверла в процессе формирования микроразмерных переходных отверстий ПП, являются технологические параметры: величина осевой подачи и наличие на поверхностях сверл упрочняющего покрытия. При этом снижение величины подачи обеспечивает повышение точности расположения отверстий только при обработке сверлами диаметра 0,20 мм и менее.

4. Экспериментально подтверждена возможность применения твердосмазочного алмазоподобного покрытия на сверлах для обработки ПП в целях повышения точности расположения микроразмерных переходных отверстий – СКО величины погрешности расположения отверстий диаметра 0,30 мм, выполненных сверлами с покрытием, снижается на 6,5 мкм, что составляет 29 % от исходной величины.

5. Для повышения точности расположения микроразмерных переходных отверстий МПП, выполненных из стеклотекстолита марки FR4, рекомендуется: применять сверла с твердосмазочным алмазоподобным покрытием рабочих поверхностей, в качестве материала накладки использовать алюминий, сверление отверстий диаметра 0,20 мм и менее проводить, снижая величину осевой подачи до 50% от номинальной величины.

6. Для осуществления контроля точности расположения переходных отверстий ПП наряду с имеющимися средствами рекомендуется использовать предложенную методику групповой оценки точности формирования отверстий ПП с помощью сканера высокого разрешения и прецизионных шкал (фотошаблонов), позволяющую определять СКО величины случайной погрешности расположения отверстий с погрешностью не более 2,6 мкм (для платы содержащей не менее 100 отверстий).

Основные работы по теме диссертации

1. Литвак Ю.Н., Панфилов Ю.В. Исследование процесса сверления микроразмерных отверстий печатных плат // Будущее машиностроения России. Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2012. С.133-134.
2. Литвак Ю.Н., Панфилов Ю.В. Исследование процесса сверления микроразмерных отверстий печатных плат // Наноинженерия. 2013. №5. С. 3-7.
3. Оценка барьерных свойств алмазоподобных покрытий методом математического моделирования процессов диффузии и газовыделения / Ю.Н. Литвак [и др.] // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №12 URL.<http://engbul.bmstu.ru/file/out/597870>.
4. Сравнительный анализ защитных алмазоподобных покрытий, изготовленных методами вакуумного электродугового напыления с сепарацией плазменного потока и импульсного лазерного напыления / Ю.Н. Литвак [и др.] // Наноинженерия. 2013. №10.
5. Литвак Ю.Н., Боброва Ю.С. Микроразмерные твердосплавные сверла с упрочняющим покрытием. Анализ потребительских свойств // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 1. С. 33-37.

Литвак Юрий Николаевич

*Повышение точности расположения отверстий многослойных
печатных плат при сверлении микроразмерным инструментом
с твердосмазочным покрытием/*

Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата технич. наук.

Подписано в печать _____.____.2015. Заказ No _____

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография _____