

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

«Пермский национальный  
исследовательский  
политехнический университет»  
(ПНИПУ)

614990, Пермский край, г.Пермь  
Комсомольский проспект, д.29  
тел. 8(342) 212-39-27,  
факс 8(342) 219-80-67, e-mail: [rector@psstu.ru](mailto:rector@psstu.ru)  
<http://www.psstu.ru>

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

ФГБОУ ВО «ПНИПУ»,

директор техн. наук, профессор

В.Н. Коротаев

2019 г.



## ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу Шульгина Алексея Николаевича «Повышение эффективности сверления отверстий на печатных платах из фольгированного стеклотекстолита», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

### *Актуальность темы диссертационной работы*

Сверление фольгированного стеклотекстолита имеет ряд особенностей, выражющихся в повышенных требованиях, предъявляемых к качеству обработки отверстий – отсутствию характерных дефектов: ореолов и осветлений диэлектрика, больших заусенцев и отслаивания фольги на выходе сверла, заполировке и засаливанию поверхности отверстий, расслаивании материала, «гвоздевом эффекте» и пр. На реальном производстве данные требования обеспечиваются соответствующим выбором параметров процесса, однако, общих технологических рекомендаций по их назначению нет. Рекомендуемые производителями базовых материалов и твердосплавных сверл параметры обработки существенно отличаются между собой и отличаются от режимов резания, приведенных в ОСТ 107.460092.004.02-86, который разработан еще в советское время. Поэтому на производстве, как правило, режимы резания назначаются инженером технологом исходя из его производственного опыта, что часто приводит к повышенному расходу режущего инструмента, частым остановкам оборудования, переналадкам и повышенному технологическому отходу материала на настройку, что связано с затратами времени и средств.

Поэтому исследование процесса сверления отверстий и повышение его эффективности на печатных платах из стеклотекстолита является актуальной проблемой.

## *Структура и основное содержание диссертационной работы*

Работа содержит введение, пять основных глав, заключение, общие результаты и выводы, список используемых источников и шесть приложений. Диссертационная работа состоит из 238 страниц машинописного текста, включает 95 поясняющих рисунков и 34 таблицы.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель, научная новизна и практическая ценность. Данна аннотация выполняемых исследований.

В **первой главе** вводится понятие композиционных материалов, фольгированного стеклотекстолита, как основного материала для изготовления печатных узлов. Приведены особенности обработки (в частности сверления) материалов данной категории, описаны проблемы и трудности, которые при этом возникают. Дополнительно приведены основные факторы, влияющие на качество сверления отверстий, а также пути повышения эффективности обработки.

**Вторая глава** касается разработки компьютерной имитационной модели сверления отверстий в слоистой системе. Приведена численная реализация поставленной задачи методом конечных элементов, представлена конечно-элементная модель в ANSYS Workbench. Показана работоспособность полученной имитационной модели. Дополнительно проведена экспериментальная оценка работоспособности модели с помощью динамометрической установки. Выполнен анализ схождения теоретических и экспериментальных исследований процесса сверления, а также сопрягаемости модели с уже имеющимися решениями.

В **третьей главе** приводятся теоретические исследования процесса сверления печатных плат. Представлена схема адаптации компьютерной имитационной модели процесса сверления, проведено многофакторное определение осевой составляющей силы резания с построением необходимых графических зависимостей. Выполнено определение формульных зависимостей осевой составляющей силы резания от скорости движения осевой подачи. Проведена обработка данных теоретических исследований процесса сверления печатных узлов.

Определение рациональных факторов сверления отверстий в привязке к бездефектной обработке слоистого стеклотекстолита проведено в **четвертой главе**. Разработан и приведен алгоритм назначения рациональных режимов резания и проведено их фактическое определение как по зависимости частоты вращения шпинделя от скорости движения осевой подачи, так и по зависимости скорости движения осевой подачи от диаметра обрабатывающего инструмента. Дополнительно исследованы особенности стружкообразования при сверлении, определено влияние режимов резания на качество отверстий, шероховатость внутренних стенок, а также упругое восстановление материала после обработки. Установлено влияние режимов резания на наличие заусенцев медной фольги на выходе сверла и приведено влияние затупления инструмента на значение осевой составляющей силы резания и процесс сверления в целом.

В **пятой главе** представлено практическое использование и внедрение результатов работы. Проведено подтверждение адекватности методики по назначению рациональных режимов резания, представлены автоматизированные программы для оптимизации работы группы инструментального хозяйства и автоматической компоновки карт наладки оборудования с учетом расчета режимов резания и нормирования трудозатрат. Дополнительно разработаны и приведены общие технологические рекомендации по обработке фольгированного стеклотекстолита. Представлены результаты работы и сформулированы выводы.

В **заключении** приведены основные выводы и результаты диссертационной работы.

В **приложениях** представлены результаты обработки экспериментальных данных, акты внедрений и акты о промышленном использовании результатов работы.

#### ***Научная новизна полученных результатов и выводов***

1. Разработана компьютерная имитационная модель, с использованием которой получены математические модели для расчета рациональной частоты вращения шпинделя по известной скорости движения осевой подачи и рациональной подачи по известному диаметру сверла.

2. Разработана методика назначения эффективных режимов резания с учетом комплекса технологических ограничений на сверление фольгированного стеклотекстолита.

3. Определены значения осевой составляющей силы резания, при которых обеспечиваются лучшие условия резания материала и предельные значения, при превышении которых имеет место образование недопустимых дефектов при обработке.

4. Установлено влияние режимов резания материала на процесс образования стружки, качество отверстий и шероховатость стенок отверстий, упругое восстановление материала и наличие заусенцев фольги в отверстии после обработки.

#### ***Апробация работы и публикации***

Апробация результатов работы проведена на трех предприятиях Уральского региона. Разработаны методики и инструкции по назначению рациональных режимов резания и заточке режущего инструмента. Рабочий персонал профильного предприятия прошел обучение и аттестацию. Результаты исследования докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Технология машиностроения» СФТИ НИЯУ МИФИ и докладывались на научных семинарах ВУЗа в 2014-2018 гг.

По теме работы опубликовано 22 печатные работы, в том числе 6 – в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 в периодическом изда-  
ниии с цитированием в научной базе данных Scopus.

#### ***Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации***

Обоснованность полученных результатов и выводов, сформулированных в работе, обеспечивается применением современных методик исследований,

базирующихся на основных положениях технологии машиностроения, математического моделирования, современного оборудования и подтверждаются корректным соотношением результатов теоретических и экспериментальных исследований.

### *Соответствие диссертации автореферату и паспорту научной специальности*

Диссертационная работа соответствует специальности 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» по пунктам 2, 3, 4, 5 «Области исследований» как по общему содержанию материалов, так и по теоретическим и практическим методикам исследований.

Автореферат диссертационной работы полностью отражает содержание, результаты, положения и полученные выводы работы.

### *Значимость результатов для науки и производства*

1. Выполнена экспериментальная проверка правильности назначения рациональных режимов резания при сверлении отверстий на печатных платах из фольгированного стеклотекстолита. Практически доказано повышение эффективности обработки, как с точки зрения количественных, так и качественных показателей.

2. Проведена оптимизация работ на предприятии, занимающемся изготавлением печатных плат посредством автоматизации расчетов режимов резания, составления расчетно-технологических карт наладки и оптимизации работы группы инструментального хозяйства (ГИХ). Разработаны технологические рекомендации для бездефектной обработки фольгированного стеклотекстолита. Проведено обучение технического и производственного персонала с оформлением сопроводительных документов.

3. Результаты научно-технических и технологических работ внедрены на трех предприятиях УрФО, занимающихся изготовлением печатных плат с оформлением актов внедрения и промышленного использования. Программа SverloProg.exe передана в производственную эксплуатацию.

4. Проведено экономическое обоснование от внедрения результатов работы. Установлено повышение рентабельности выпускаемой продукции за счет значительного снижения трудовых и материальных затрат при производстве печатных плат.

### *Замечания по диссертационной работе*

1. В Главе 2 и далее при проведении теоретических и экспериментальных исследований скорость движения осевой подачи  $S$  задается в  $\text{мм}/\text{мин}$ . Возможно удобней для восприятия и проведения анализа работы использовать единицы измерения  $\text{мм}/\text{об}$ , как наиболее референтные в Технологии машиностроения.

2. В тексте работы неоднократно указывается, что основные дефекты, связанные с силовым воздействием на заготовку, выражаются в наличии заусенцев фольги в отверстиях, которые при дальнейшей химико-гальванической обработке печатной платы будут выражены в форме «ободков» вокруг металлизированного отверстия, что категорически не допустимо.

Однако в тексте встречается максимальное значение заусенца медной фольги 40 мкм (как, например, на странице 132, 137, 158) и 30 мкм (как на странице 33, 158, 160, 161). Какое на самом деле допустимое значение заусенца фольги, 30 или 40 мкм?

3. При описании методики определения фракции стружки на стр. 151 диссертационной работы отмечено, что измерения проводились с помощью прецизионного инструментального микроскопа с 45-кратным увеличением. На странице 153 приводится вид стружки стеклотекстолита только при 10-кратном увеличении. Более наглядно структуру полученной стружки можно было бы наблюдать при максимальном увеличении, рисунок не приведен.

4. Автоматизированные программы для оптимизации работы группы инструментального хозяйства (SverloProg.exe), определения рациональных режимов резания (Regime.exe), автоматической компоновки карт наладки оборудования с учетом расчета режимов резания и нормирования трудозатрат (AutoKarta.exe) представляют практическую ценность. Полезным будет закрепить авторские права на программные продукты за разработчиком.

Выше обозначенные замечания не снижают ни практической, ни научной ценности работы, а имеют скорей рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Шульгина Алексея Николаевича «Повышение эффективности сверления отверстий на печатных платах из фольгированного стеклотекстолита» выполнена на высоком научном и техническом уровне, является технологически построенной и законченной, самостоятельной комплексной работой, которая имеет важное значение для производства и выпуска радиоэлектронной аппаратуры.

Считаем, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а ее автор Шульгин Алексей Николаевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Отзыв обсужден и принят на расширенном заседании кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «ПНИПУ» протокол № 3 , от « 31» октября 2019 г.

Зам. заведующего кафедрой  
«Инновационные технологии машиностроения»  
д-р техн. наук, профессор



В.Ф. Макаров