

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

на диссертационную работу Огородникова Алексея Игоревича «Параметрическое компьютерное моделирование механической обработки хрупких материалов для интеграции в автоматизированную систему технологической подготовки производства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Диссертация А.И. Огородникова посвящена вопросам совершенствования процессов автоматизированной технологической подготовки производства для проблемных технологий механической обработки материалов на станках с числовым программным управлением. Акцент в работе сделан на обработке режущим инструментом хрупких материалов, которые относятся к труднообрабатываемым материалам. Для обоснованного поиска режимов резания труднообрабатываемых материалов требуется математическое и компьютерное моделирование явлений локального разрушения в зоне резания. В полном объеме необходимых наработок в этом научном направлении пока не создано, поскольку модели поведения хрупких материалов при разрушении не вписываются в классическую теорию резания. Соответственно, **актуальность темы** диссертационной работы обоснована необходимостью объединить возможности программ компьютерного моделирования и АСТПП при проектировании в программной среде CAD/CAE/CAM для анализа технологических решений. Актуальным является отраслевое применение результатов исследования в электронике, оптике, солнечной энергетике.

Научные результаты, полученные автором, изложены в диссертации на 150 страницах машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 6 приложений, включает 49 рисунков и список цитированной литературы из 116 ссылок.

Изложение материала в диссертации подчинено единой структуре и логике, в соответствии с которой последовательно доказываются защищаемые положения. Первая аналитическая глава обосновывает актуальность, техническую возможность и необходимость решить научно-прикладную

проблему интеграции программ CAE и CAM. В рамках обозначенной проблемы сформулированы научные задачи диссертационного исследования. Нерешенные на текущий момент задачи в этом направлении включают создание в структуре программно-технического комплекса средств автоматизации проектирования 1) компонентов математического обеспечения (моделей объектов проектирования и алгоритмов); 2) соответствующих компонентов программного обеспечения; 3) а также выбор компонентов технического обеспечения.

**Защищаемые положения** отражают основные научные результаты, полученные автором, и доказательно изложены во второй и третьей главах диссертации.

**Первое защищаемое положение** позиционирует **формализованную модель** силового воздействия режущего инструмента на хрупкий материал для расчетной оценки дефектной области по напряжениям. Предложенная модель выделяет и формализует технологические процессы механической обработки хрупких материалов по признаку квазистатического приближения, в соответствии с которым зарождение и распространение хрупких трещин происходит в рамках упругого поведения материала под действием статического нагружения. Формализованная модель включает параметрическое описание геометрии режущего инструмента по аналогии с токарным резцом и позволяет использовать обширную базу знаний, накопленную в классической теории резания, где уже установлены многие зависимости условий резания от геометрии инструмента. Формализованная модель использована автором при обосновании опций параметрической компьютерной модели для количественного анализа размеров дефектной зоны в хрупком материале. Благодаря параметрическому представлению компьютерная модель может быть реализована в конечно-элементных программах CAE с применением интерпретируемых алгоритмических языков программирования.

**Второе защищаемое положение** позиционирует **алгоритм** параметрического компьютерного моделирования технологического процесса резания хрупких материалов в интегрированной программной среде CAE/CAM. Разработанный алгоритм выделяет ресурсоемкую вычислительную стадию

компьютерного моделирования, выполняемую процессорным модулем программы CAE, что позволяет ее эффективную реализацию с привлечением облачных сервисов. Препроцессорная и постпроцессорная стадии компьютерного моделирования при этом могут быть выполнены на пользовательском компьютере независимо от дорогостоящей инсталляции программного обеспечения CAE на удаленном расчетном сервере. Таким образом, создаются условия для организации распределенной автоматизированной системы проектирования CAE/CAM, обеспечивающей минимальную стоимость проектных решений.

**Третье защищаемое положение позиционирует программные модули** как средства автоматизации проектирования, реализующие алгоритм параметрического компьютерного моделирования для силового воздействия режущего инструмента на пластину из хрупкого материала при назначении параметров режима резания. Разработанные программные модули на алгоритмических языках программирования APDL и APREPRO оформлены в виде пакетных текстовых файлов и предназначены для анализа напряжений с использованием решателей CAE ANSYS и CAE ФИДЕСИС без обращения к графическому интерфейсу. Результатом выполнения программных модулей являются текстовые файлы с расчетными данными. Программный модуль на языке APDL содержит 700 командных строк и защищен свидетельством о регистрации программы для ЭВМ. Разработанный программный модуль на языке C++ выполняет постпроцессорную обработку текстовых файлов с расчетными данными и определяет размер дефектной области. Постпроцессорный программный модуль связывает выходные данные программы CAE и входные данные для принятия решений в программе CAM.

В четвертой главе диссертации показана практическая реализация предложенных автором разработок, включая компьютерное моделирование технологий скрайбирования и гравирования алмазным инструментом, выбор и обоснование параметров режима резания, выполнение экспериментов по обработке хрупких материалов на станке с ЧПУ.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в достаточном количестве рецензируемых журналов, входящих в перечень ВАК

РФ и включенных в международные базы данных Scopus и Web of Science, обсуждены на всероссийских и международных конференциях. Опубликованные научные труды соответствуют теме и содержанию диссертационной работы.

**Научная новизна** результатов диссертационного исследования характеризуется следующими положениями. В работе впервые предложен формализованный подход к параметрическому описанию силового воздействия режущего инструмента на хрупкий материал в компьютерной модели, который стал основой разработанного автором алгоритма. Формализация касается геометрии инструмента, который описан параметрами токарного резца, а также характера силового нагружения, представленного в компьютерном моделировании статическими силами. Разработанный алгоритм выделяет вычислительный этап компьютерного моделирования и передает его выполнение на удаленный компьютер (суперкомпьютер). Тогда пользовательский компьютер не обременен требованиями по установке дорогой лицензионной программы, мощных блоков оперативной памяти, процессоров и видеокарт. Предложенный алгоритм реализован созданием необходимых программ, которые формируют последовательность выполнения шагов моделирования, автоматический запуск вычислений с изменяющимися параметрами модели, автономную обработку расчетных результатов с выделением характеристик, важных для анализа технологических параметров. В целом представленный в диссертации подход к организации проектирования в программной среде CAE/CAM является новым и современным.

**Достоверность** полученных научных результатов подтверждается корректным использованием общепризнанного и лучшего в своем классе программного обеспечения, современными методами компьютерного моделирования, согласованностью экспериментальных наблюдений с классической теорией разрушения хрупких материалов М. Фрохта.

**Практическую значимость** представляет разработанный соискателем программный комплекс, который может использоваться для организации работ по анализу технологий резания хрупких материалов в распределенной системе автоматизированного проектирования CAE/CAM. Практическая значимость

диссертации подтверждается актами использования результатов исследования в УрФУ и в компании «Инжетех», которая занимается изготовлением технологической оснастки на станках с ЧПУ, в том числе – из хрупких неметаллических материалов.

### **Замечания по диссертации**

1. В диссертации подробно обсуждаются вопросы, связанные с компьютерным моделированием в программах САЕ, но мало уделяется внимания программам САМ. Защищаемый автором алгоритм затрагивает передачу информации между секторами программы САЕ, но возможна ли прямая передача данных из программы САЕ в программу САМ?

2. В работе утверждается, что разработанные средства компьютерного инженерного анализа с привлечением облачных сервисов эффективны. По каким критериям оценивается эффективность?

3. В компьютерном моделировании САЕ автором рассмотрены только случаи движения режущего инструмента по прямой линии. Вместе с тем, в современных программах САМ обычно формируют сложную траекторию движения. Чем объясняется такое несоответствие?

Высказанные замечания касаются скорее дальнейшего развития темы и не влияют на положительную оценку диссертации по существу, в работе решены актуальные задачи и получены результаты, имеющие высокий уровень теоретической и практической значимости для дальнейшего развития распределенных автоматизированных систем проектирования в промышленности.

### **Заключение по диссертации**

Диссертационная работа Огородникова Алексея Игоревича выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (по отраслям), утвержденным ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, является законченной научно-квалификационной работой, выполненным автором на актуальную тему.

Диссертация и автореферат соответствуют критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» для диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук; соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ; ее автор Огородников Алексей Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Официальный оппонент:

доктор технических наук (05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением), доцент, профессор кафедры «Металлургические и роторные машины», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»



Паршин Сергей  
Владимирович

10 ноября 2021 г.

Институт новых материалов и технологий

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Адрес: 620002, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19

Телефон: +7 (343) 375-41-60, E-mail: svparshin@urfu.ru.

Подпись С.В. Паршина заверяю:

ученый секретарь УрФУ



В.А. Морозова