

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

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)

Актуальность темы. В настоящее время наблюдается стремительное развитие суперкомпьютерных вычислений и глобальных сетевых ресурсов, а также современных программ компьютерного моделирования и автоматизированных систем научных исследований (АСНИ). Как следствие, высвечивается новое научное направление в развитии систем автоматизированного проектирования, связанное с созданием и внедрением методов компьютерного моделирования в проектирование как изделий машиностроения, так и технологий их изготовления. Диссертационное исследование А.И. Огородникова посвящено разработке комплекса средств для компьютерного моделирования технологий механической обработки материалов режущим инструментом применительно к труднообрабатываемым хрупким материалам. Таким образом, тема представленной к оппонированию диссертации является актуальной и отвечает современным направлениям развития систем автоматизированного проектирования.

Практическая значимость результатов работы включает 1) разработку комплекса программ для автоматизации компьютерного моделирования технологий механообработки в распределенной системе автоматизированного проектирования; 2) применение разработанных средств компьютерного анализа технологических решений в резании хрупких полупроводниковых и оптических материалов. Практическая значимость результатов работы подтверждается свидетельством о регистрации программы для ЭВМ; актами использования в

проектно-поисковой работе регионального предприятия, которое выполняет механическую обработку неметаллических материалов на станках с ЧПУ. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственный контракт № 075-03-2020-582/4), ее результаты используются в учебном процессе Уральского федерального университета.

Новые научные результаты, полученные автором, включают 1) алгоритм параметрического компьютерного моделирования механической обработки хрупких материалов с учетом формализованной модели образования дефектной зоны в условиях квазистатического силового нагружения; 2) комплекс программных модулей, позволяющий реализовать автоматизированное компьютерное моделирование на удаленном расчетном сервере с передачей и обработкой данных в виде текстовых файлов без использования графического интерфейса программы САЕ.

Достоверность результатов исследования, полученных автором, подтверждается технологической и экспериментальной реализацией предложенных подходов к разработке технологий резания хрупких материалов; отсутствием противоречий с известными научными положениями; использованием сертифицированных программ САЕ при выполнении вычислительных экспериментов.

Анализ содержания диссертации подтверждает достаточный и необходимый объем материала, изложенного на 150 страницах текста с 49 рисунками и 6 приложениями. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, ее результаты и основные выводы.

Во введении приводится цель диссертационной работы, которая заключается в совершенствовании процессов технологической подготовки изготовления ответственных деталей машин и приборов из хрупких материалов способами механической обработки с учетом предварительной оценки качества

обработанной поверхности за счет интеграции средств компьютерного инженерного анализа CAE в автоматизированную систему технологической подготовки производства САМ. В соответствии с обозначенной целью работы сформулированы задачи исследования и защищаемые положения.

В первой главе описывается текущее состояние практических запросов и исследований по теме диссертации. Акцентируется внимание на отсутствии и необходимости создания компонентов математического и программного обеспечения в структуре программно-технического комплекса средств автоматизации применительно к анализу и проектированию технологий механической обработки хрупких материалов. Исходя из выполненного автором анализа проблематики применения средств компьютерного моделирования обработки в задачах автоматизации технологической подготовки производства формулируются актуальные задачи диссертационного исследования.

Во второй главе рассматривается формализованная модель и соответствующая компьютерная модель для оценки напряжений в хрупком материале при силовом воздействии режущего инструмента. Согласно критерию образования дефектной области, заложенному в модель, локальное разрушение хрупкого материала в квазистатических условиях нагружения происходит в условиях сжатия от максимальных касательных напряжений и определяется распространением трещин по изостатам касательных напряжений. Компьютерная модель использует для решения задачи о напряжениях на сетке метод конечных элементов или метод спектральных элементов. Параметрическая модель оперирует параметрами геометрии режущего инструмента и параметрами режима резания: сила и глубина резания. В соответствии с анализом компьютерной модели по сути и по ресурсному обеспечению автором предложен алгоритм компьютерного моделирования, который выделяет наиболее ресурсоемкую процессорную часть и передает ее на удаленную расчетную станцию, освобождая таким образом рабочий

компьютер технолога от необходимости устанавливать дорогостоящие элементы программного и аппаратного обеспечения.

В третьей главе представлены разработанные автором программные модули, которые с пользовательского компьютера запускают в пакетном режиме задачи о моделировании технологического процесса механической обработки на удаленной расчетной станции с минимальной загрузкой по времени платных сетевых ресурсов: лицензионной программы CAE и виртуальной машины. Расчетные результаты в предложенной реализации алгоритма компьютерного моделирования обрабатываются также на пользовательском компьютере автономно от программы CAE с использованием разработанного программного модуля на языке C++.

В четвертой главе приводятся два примера реализации автором разработанных средств компьютерного моделирования с использованием 1) программы CAE ANSYS для анализа процессов скрайбирования приборных пластин из монокристаллического кремния и 2) программы CAE ФИДЕСИС для выбора технологических параметров гравирования стекла. Очевидно, что возможная область применения результатов работы значительно шире. Диссертационная работа открывает новые возможности для применения и развития интегрированной среды проектирования CAE/CAM при разработке технологий сверления или фрезерования новых проблемных материалов, например, композиционных материалов. Интересным представляется дальнейшее расширение моделей поведения обрабатываемых материалов. Так, в настоящее время исследователями ведется активный поиск технологических параметров поверхностной обработки хрупких материалов алмазным инструментом в режиме пластического деформирования. Однако следует признать, что в этом направлении внедрению математического обеспечения в САПР должна предшествовать огромная работа по исследованию физических явлений разрушения хрупких материалов и созданию математических моделей. Полностью неразработанной является проблематика получения всего спектра свойств хрупких материалов, необходимых для описания модели поведения

материалов в компьютерном моделировании технологий, например, твердости и пределов прочности. В случае технологий резания, базовым экспериментом для полного определения компьютерной модели должна быть склерометрия поверхности хрупкого материала с фиксацией тангенциальных сил. Безусловно, такая исследовательская работа необходима, но она выходит за рамки специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы, которые подтверждают выполнение заявленных во введении задач исследования.

Стиль и оформление диссертации отличаются логичным и последовательным изложением материала, грамотным техническим языком, необходимым количеством четких рисунков.

Оценка публикаций подтверждает достаточное количество статей по теме диссертации, написанных на русском и английском языках в соавторстве и единолично. Основные результаты диссертационной работы представлены в 6 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 5 статей проиндексировано в международных базах Scopus и WoS; в 13 статьях в рецензируемых журналах, статьях и тезисах докладов в трудах и сборниках материалов международных и российских конференций; имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Замечания и вопросы по диссертации**

Отмечая актуальность темы диссертации и важность полученных результатов, отличающихся новизной, теоретической и практической значимостью, считаю необходимым отметить следующие недостатки, касающиеся представления полученных результатов.

1. В работе описано созданное автором программное обеспечение, дополняющее работу систем инженерного анализа в удаленном и пакетном режиме, но не обоснован выбор языков программирования.



2. В приложении П2 расчетные напряжения представлены 7 значащими цифрами, что является избыточной информацией в технических задачах.

3. В приложении П5 приведена методика подготовки свойств монокристаллического кремния для компьютерного моделирования приборных пластин, однако не указано ни одной ссылки на литературу откуда взяты приведенные там значения.

4. В работе мало уделено внимания вопросу силы трения, которая возникает при контакте материала и инструмента, особенно при рассмотрении механической обработке хрупких материалов алмазным инструментом в 4 главе.

Высказанные замечания не опровергают основных результатов диссертационной работы, не снижают её научной и практической ценности. Некоторые замечания носят рекомендательный и дискуссионный характер.

### **Заключение**

Диссертационная работа А.И. Огородникова представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой решена важная научно-техническая задача повышения эффективности системы автоматизированной технологической подготовки производства за счет интеграции средств компьютерного инженерного анализа локального напряженного состояния хрупких материалов в автоматизированное проектирование технологических процессов механической обработки. Ключевым моментом интеграции программ CAE/CAM является параметрическое компьютерное моделирование, реализованное автором с применением облачных сервисов и разработанных программных модулей.

Диссертация соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, определенным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; ее автор Алексей Игоревич Огородников заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Официальный оппонент, кандидат технических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), научный сотрудник лаборатории микромеханики материалов Института машиноведения УрО РАН.

Ирина Андреевна Веретенникова

«11» ноября 2021 г.



Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН)

Адрес организации: 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34

Телефон: +7 (343) 375-35-96

E-mail: irincha@imach.uran.ru

Подпись Ирины Андреевны  
Веретенниковой заверяю:  
Ученый секретарь Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки Институт  
машиноведения Уральского  
отделения Российской академии наук




Чибрикова Анна Моисеевна