

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора
Свинина Валерия Михайловича

на диссертацию Горшкова Ильи Валерьевича на тему: «Повышение качества изготовления высокоточных плоских контактных поверхностей на основе селективного комплектования многолезвийного инструмента режущей керамикой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

1. Актуальность темы диссертации

В конструкциях деталей машин часто имеются ответственные плоские поверхности, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров, формы и шероховатости, например, направляющие металлорежущих станков и приборов. Для обеспечения этих требований при изготовлении поверхностей окончательную обработку обычно выполняют шлифованием. Однако этому виду механической обработки присущи такие недостатки, как возможность образования прижогов и коробление заготовки вследствие высокой температуры резания, а также шаржирование обрабатываемой поверхности. Избежать образование этих дефектов с одновременным повышением производительности окончательной обработки ответственных плоских поверхностей можно заменой шлифования на торцовое фрезерование инструментом с зубьями из оксидно-карбидной режущей керамики. Препятствием эффективности такой замены является значительный разброс в партии керамических режущих пластин плотности их материала (т.е. структуры), приводящий к различию интенсивности износа зубьев в многозубых инструментах и как следствие – повышение шероховатости обработанной поверхности. Улучшение качества обработанной поверхности достигается селективным подбором режущих пластин примерно одинаковой структуры, проводимый на основе измерения их удельного электрического сопротивления. Таким образом, актуальность для разных отраслей машиностроения из-

ОТЗЫВ

ВХ. № 9- 463/ от 01.09.22
АУ УС

бранной темы исследования определяется повышением надежности обеспечения технологических характеристик режущей оксидно-карбидной керамики и на этой основе – качества окончательной обработки ответственных плоских поверхностей.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна.

Обоснованность и достоверность большинства полученных автором научных и практических результатов и сделанных по ним выводов обеспечивается применением фундаментальных положений теории резания материалов, научных основ технологии машиностроения, статистических методов исследований и методики математического моделирования, использованием современных средств и методик измерения и проведения исследований с использованием сертифицированного оборудования, обоснованными методами планирования экспериментальных исследований и достаточной их сходимостью с теоретически полученными результатами. Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается промышленным апробированием способа селективного комплектования зубьев торцовой фрезы и одобрением результатов исследований на научно-практических конференциях различного уровня.

Основные положения диссертационной работы являются обоснованными, базируются на концептуальном подходе к решению проблемы и имеют научную новизну. Научные результаты, выводы и рекомендации, сформулированные в заключении диссертации, являются логическим завершением разработанных теоретических положений, результатов комплекса теоретико-экспериментальных исследований автора, являются основой для дальнейших перспективных исследований в данном направлении, создания рекомендаций науке и производству.

Тема диссертации, цель и положения, выносимые на защиту, полностью отражают суть работы. Поставленные задачи исследования реализуемы и позволяют достичь заявленную цель. Полученные в работе результаты и выводы достоверны и вытекают из поставленных задач.

Первый вывод основан на анализе литературных источников и информирует, что при окончательной обработке высокоточных плоских поверхностей замена шлифования на фрезерование торцевой фрезой с керамическими режущими пластинами открывает пути повышения качества и точности обработанной поверхности. Вывод достоверен, имеет научную новизну, обоснован и подтвержден результатами исследования.

Второй вывод указывает, что структура оксидно-карбидной керамики определяет её работоспособность и износостойкость. У режущих пластин, обладающих мелкозернистой структурой, эти показатели выше на 30-50 % по сравнению с пластинами с крупнозернистой структурой. Вывод достоверен, имеет научную новизну, обоснован и подтвержден результатами исследования.

Третий вывод информирует о создании метода и устройства для неразрушающего контроля микроструктуры оксидно-карбидных керамических режущих пластин посредством определения их электрического сопротивления, позволяющие прогнозировать износостойкость каждой пластины. На конструкцию устройства получен патент РФ на изобретение №2729169. Вывод достоверен, имеет научную новизну и обоснован.

Четвертый вывод информирует о создании способа комплектования многолезвийного режущего инструмента оксидно-карбидными керамическими режущими пластинами с примерно одинаковым электрическим сопротивлением, что обеспечивает их одинаковую износостойкость и, как следствие, повышение общей стойкости многолезвийного инструмента на 20...50 %. Показатель шероховатости Ra при этом снижается на 10...80 %. Вывод достоверен, имеет научную новизну, обоснован и подтвержден результатами исследования.

Пятый вывод сообщает о разработке математической модели динамики технологической системы при торцовом фрезеровании с учетом селективного подбора режущих пластин. Модель позволяет оценивать динамическую устойчивость технологической системы в процессе выбора режимов резания. Вывод достоверен, имеет научную новизну и обоснован.

Шестой вывод уведомляет, что модель торцового фрезерования реализована на базе программного обеспечения NI LabVIEW 2013 SP1. В результате имитационного моделирования установлено, что при оснащении торцовой фрезы пластинами примерно одинаковой электропроводности удастся повысить предел динамической устойчивости технологической системы в 2...2,6 раза по сравнению с фрезой, оснащенной пластинами разной электропроводности. Вывод достоверен, имеет научную новизну, обоснован и подтвержден результатами исследования.

Седьмой вывод представляет результаты сравнительных опытов по торцовому фрезерованию чугунных заготовок инструментом с однородной и неоднородной по электропроводности комплектацией оксидно-карбидными режущими пластинами. Опыты показали, что однородная комплектация по сравнению с неоднородной обеспечивает 30%-ное снижение амплитуды виброперемещений элементов технологической системы на стадии нормального изнашивания, уменьшение показателя шероховатости Ra в 1,1...1,8 раз при увеличении износостойкости пластин в 1,2...1,5 раза. Вывод достоверен, имеет научную новизну, обоснован и подтвержден результатами исследования.

Восьмой вывод уведомляет о апробировании разработанной методики селективного оснащения многолезвийного режущего инструмента в производственных условиях компании ООО «ПО «Электромашина» и внедрении разработанных технологических решений в учебный процесс кафедры Машиностроения Горного университета. Вывод достоверен, обоснован и подтвержден актами внедрения.

Девятый вывод посвящен перспективам использования результатов диссертационного исследования: расширению области применения способа

селективного подбора пластин по электропроводности и использовании его в инструментально-складских хозяйствах машиностроительных предприятий. Вывод достоверен и обоснован.

3. Научные результаты, их ценность

Научные результаты, полученные в диссертационном исследовании, сформулированы автором в двух положениях, выносимых на защиту:

1. Метод селективного оснащения многолезвийного инструмента на основе физико-механических свойств оксидно-карбидных режущих пластин для комплектования торцевой фрезы с различным удельным электрическим сопротивлением ($\cdot 10^{-4}$ Ом·м), с формированием смешанной (18...100), однородной (SLM), низкоомной (18...60) и однородной (SLM) высокоомной (61...100) компоновки, что обеспечивает рациональное использование инструментальных комплектаций многолезвийного инструмента для реализации различных технологических задач по повышению качества и эффективности обработки плоских контактных поверхностей;

2. Математическая модель технологической системы механической обработки, учитывающая применение селективного метода оснащения многолезвийного инструмента режущей керамикой, позволяющая оценивать динамическую устойчивость системы при различных технологических параметрах и прогнозировать динамическую устойчивость при использовании однородных компоновок, и подтверждающая повышение динамической устойчивости изготовления высокоточных поверхностей для многолезвийного инструмента с однородно-высокоомными пластинами в 2,6 раза, а с однородно-низкоомными пластинами в 2 раза по сравнению со смешанной схемой расположения режущих пластин в корпусе фрезы.

Идея работы заключается в создании метода, обеспечивающего заданную шероховатость и точность геометрических параметров поверхностей направляющих станин металлорежущих станков при чистовой фрезерной тор-

цовой обработке на высокоскоростных станках с ЧПУ с учетом различных структурных параметров режущих керамических пластин в наборной фрезе.

Доказательством *первого защищаемого положения* являются проведённые исследования, направленные на выявление зависимости работоспособности оксидно-карбидных керамических режущих пластин от микроструктурных параметров каждой пластины, в ходе которых экспериментальным образом были исследованы различные способы неразрушающего контроля микроструктуры неметаллических материалов и разработано устройство для определения микроструктурных параметров каждой режущей пластины на основе удельного электрического сопротивления. Целесообразность и эффективность применения селективного метода оснащения многолезвийного режущего инструмента оксидно-карбидными режущими пластинами подтверждена результатами проведённых экспериментов в промышленных условиях.

Доказательством *второго защищаемого положения* являются проведённые экспериментальные исследования по выявлению динамических параметров технологической системы фрезерного станка с помощью динамометра ДОСМ-3 и виброанализатора модели Prüftechnik MT GmbH VibXpert, которые позволили построить априорную динамическую модель системы и свести к упрощенной двухконтурной динамической модели малой размерности с диссипативными характеристиками, учитывающими конструктивное демпфирование и реологические процессы рассматриваемой глобальной модели, которой соответствует подсистема «стол-заготовка». Имитационное компьютерное моделирование эквивалентной замкнутой технологической системы на основе разработанной динамической модели, с использованием программной среды NI LabVIEW 2013 SP1, установило границу области устойчивости. Проведённые экспериментальные исследования позволили подтвердить адекватность разработанной модели.

Все защищаемые положения, сформулированные в диссертационной работе, соответствуют названию диссертации и цели исследования, являются

обоснованными и опираются на результаты выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований. Полученные в работе результаты являются новыми и могут быть использованы при совершенствовании технологии фрезерования высокоточных плоских поверхностей.

Основные положения диссертации опубликованы в печати в 13 научных работах, из них 2 статьи в журналах, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ, получен патент РФ на изобретение, 2 работы опубликовано в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая ценность полученных соискателем результатов исследований заключается в:

- установлении влияния структурных параметров оксидно-карбидной керамики на работоспособность и износостойкость режущих пластин;
- выявлении связи различных компоновок многолезвийного инструмента при селективном подборе режущих пластин с качеством обработанной поверхности;
- разработке математической модели технологической системы многолезвийной обработки изделий с учетом неравномерности изнашивания режущих зубьев инструмента.

Практическая значимость работы определяется следующим:

- разработан способ селективного оснащения многолезвийного режущего инструмента (SLM – Selective layout method), позволяющий комплектовать инструмент режущими пластинами, максимально схожими по работоспособности, в рамках которого были установлены три основополагающие схемы комплектования для реализации различных технологических задач;

- разработано устройство (Патент РФ на изобретение №2729169) для определения электрического сопротивления оксидно-карбидных керамических режущих пластин, позволяющий осуществлять оперативный неразрушающий контроль микроструктуры режущих пластин и комплектацию многолезвийного режущего инструмента под соответствующую технологическую задачу;

- предложены практические рекомендации по оснащению многолезвийного режущего инструмента для повышения эффективности использования ресурса режущих пластин и качества обработки деталей.

Оценка содержания диссертации, её целостность и завершенность

Диссертация построена в логической последовательности, обладает внутренним единством и завершенностью в целом, изложена правильным технически грамотным языком, аккуратно оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11—2011.

Диссертация состоит из четырех глав. Задачи, поставленные соискателем в работе, последовательно решались в главах и логически вписались в структуру диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, идея работы, научная ценность и задачи исследования.

В первой главе представлен анализ современного состояния вопроса технологического обеспечения качества поверхностного слоя и точности плоских контактных поверхностей на примере направляющих металлорежущих станков.

Во второй главе описаны особенности изготовления и эксплуатации керамических режущих пластин, определены существующие недостатки данного инструментального материала, и предложен селективный метод оснащения многолезвийного инструмента, позволяющий повысить эффективность использования оксидно-карбидных режущих пластин.

В третьей главе приведена разработанная в ходе исследования математическая модель технологической системы механической обработки, учитывающая различия свойств отдельных режущих пластин при многолезвийной

обработке, которая позволяет прогнозировать динамическую устойчивость системы при различных технологических параметрах.

В четвёртой главе описаны экспериментальные исследования по апробации селективного метода оснащения многолезвийного режущего инструмента керамическими режущими пластинами.

В заключении отражены выводы и рекомендации по результатам исследования.

Научные положения диссертации, выводы и рекомендации прошли достаточно широкую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях, симпозиумах и семинарах различного уровня.

Диссертация представляет собой завершённый научный труд, хорошо структурирована, материалы изложены в логической последовательности, грамотно и компетентно. По структуре, содержанию и стилю изложения, глубине научных исследований работа соответствует уровню кандидатской диссертации.

Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту.

5. Замечания и вопросы по диссертации

1. Приведенный в первой главе диссертации обзор литературных источников по теме исследования является не достаточно полным. Слабо проанализирован опыт использования режущей керамики при торцовом фрезеровании чугунов для обоснования целесообразности её использования взамен твердых сплавов. Отсутствует анализ способов повышения износостойкости керамических режущих пластин для обоснования выбора способа их сортировки путем измерения удельного электрического сопротивления. Нет сравнения методик математического имитационного моделирования динамики процесса торцового фрезерования. В то же время в разделе 1.1 «Особенности изготовления направляющих станин металлорежущих станков» приведен не

относящийся к теме исследования анализ конструктивного исполнения и применения направляющих скольжения и качения, аэростатических и гидростатических направляющих, описан механизм возбуждения автоколебаний в направляющих. Раздел 1.3 «Структурные особенности, механические и технологические свойства чугунов» практически не связан с темой исследования. В разделе 1.4 «Технологическое обеспечение шероховатости и точности изготовления направляющих станин металлорежущих станков» не рассмотрены заявленные вопросы.

2. Цель исследования представлена во введении, хотя она должна определяться в конце первой главы по результатам литературного обзора по теме исследования.

3. Материал разделов 2.1, 2.2 и 2.3 является обзорным и его следовало бы разместить в 1-ой главе диссертации.

4. В тексте диссертации нарушено единообразие используемых терминов. Например, для обозначения одного понятия автор попеременно применяет термины «виброустойчивость», «динамическая устойчивость» и «динамическая стабильность» технологической системы механической обработки. Первые два термина характерны для отечественной технической литературы, а третий термин используют в технической литературе западных стран.

5. В уравнениях 3.5 и 3.6 на стр. 81 пропущены величины динамических виброперемещений соответственно по осям x и z .

6. В уравнении 3.19 стр. 84, определяющем мгновенное значение силы резания в направлении продольной подачи, учитывается её изменение от изменения толщины срезаемого слоя, но не учитывается поворот вектора силы резания.

7. При выборе на стр. 87 рациональных режимов резания торцового фрезерования не указаны геометрические параметры инструмента (диаметр, число зубьев и величина их главного угла в плане), режущих пластин (форма, длина режущих кромок, радиус при вершине, радиус округления режущих кромок, углы установки пластинок), ширина фрезерования и схема резания

(встречная, попутная или симметричная). Знание этих параметров необходимо для оценки условий стружкообразования и износа зубьев инструмента.

8. Автором не пояснено на стр. 96, почему в опытах предельно допустимым значением шероховатости обработанной поверхности выбрано значение $R_a = 3$ мкм, хотя им же на стр. 42 установлено, что поверхности направляющих станков должны иметь шероховатость $R_a = 0,8 \dots 1,6$ мкм.

9. Рисунки 4.8, 4.13 и 4.16 свидетельствуют, что режущие пластинки, установленные на фрезе, изнашиваются в процессе работы не одинаково. В тексте диссертации не пояснено по какой величине (максимальной или усредненной) износа отдельных пластин построены графики на рис. 4.6, 4.11 и 4.14.

10. Пункт 8 общего заключения по работе о внедрении её результатов не имеет подтверждения в тексте диссертации.

Отмеченные замечания и недостатки не снижают общую значимость и ценность работы.

6. Заключение по диссертации

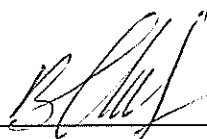
Диссертация Горшкова Ильи Валерьевича на тему «Повышение качества изготовления высокоточных плоских контактных поверхностей на основе селективного комплектования многолезвийного инструмента режущей керамикой», представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические решения по созданию технологического обеспечения качества обработки высокоточных плоских контактных поверхностей, которое является важной народно-хозяйственной задачей для всех отраслей машиностроения. По своей направленности и содержанию она соответствует областям исследований, изложенным в пунктах 3 и 7 паспорта научной специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

По актуальности, новизне, теоретической и практической значимости, а также объему выполненных исследований диссертация полностью отвечает

критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а её автор Горшков Илья Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Официальный оппонент

Профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
доктор технических наук (05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), профессор



Свинин Валерий Михайлович

29.08.2022

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83,
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»
Тел.: 8-924-536-33-35, e-mail: svinin_vm@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83
e-mail: info@istu.edu

Телефон: 8 (3952) 405-100

Подпись ~~Свинина Валерия Михайловича~~ заверяю.

