

ОТЗЫВ

официального оппонента Киселева Игоря Алексеевича на диссертацию и автореферат Леквеишвили Марии Анатольевны, подготовленную на тему «Повышение износостойкости концевых фрез путем расчетно-экспериментального обоснования геометрических параметров режущей части инструмента» и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

1. Актуальность темы диссертационной работы

Обработка резанием является одним из наиболее распространенных процессов механической обработки на машиностроительных производствах и часто формирует значительную долю себестоимости продукции таких предприятий. В связи с этим достижение высокой технико-экономической эффективности машиностроительного производства неразрывно связано с необходимостью обеспечения оптимальных режимов обработки резанием и рационального выбора параметров режущих инструментов, исходя из конкретной марки обрабатываемого материала и условий обработки. В случае серийного производства в ряде случаев оправданным подходом является проектирование и производство специализированного режущего инструмента, ориентированного на осуществление конкретной операции обработки в оптимальных условиях. Важнейшими критериями при использовании такого подхода является снижение сил резания и повышение стойкости режущего инструмента за счет рационального выбора геометрических параметров его режущего клина.

Одним из распространенных подходов к решению описанной задачи является применение теории планирования эксперимента и проведение большого объема натуральных исследований при варьировании основных геометрических параметров режущего клина инструмента, с целью достижения целевых значений стойкости проектируемого инструмента и минимизации сил резания для каждой пары «инструмент - обрабатываемый материал». В рамках данного подхода возможно параллельное использование известных феноменологических моделей сил резания, представляющих собой аппроксимацию экспериментальных данных по результатам измерения сил резания в конкретном случае обработки и не основанных на физико-математических соотношениях, описывающих тепловые и механические процессы в зоне резания. Несмотря на высокие трудозатраты и ресурсоемкость, именно такой подход применяется большинством производителей режущих инструментов, поскольку позволяет получить надежный, экспериментально валидированный результат с точки зрения создания новой модели инструмента. В тоже время из-за высокой ресурсоемкости применение такого подхода оправдано в основном для укрупненных групп обрабатываемых материалов в соответствии со стандартами ISO (P — сталь, M — нержавеющая сталь, S — жаропрочные специальные сплавы, в том числе, титановые сплавы, N — цветные сплавы, K — чугун), что существенно снижает точность подхода из-за возможных существенных различий механических характеристик в рамках каждой из групп материалов, в том числе в зависимости от проведенной термообработки.

Другим возможным подходом является применение современных численных методов, в частности - метода конечных элементов, для детального моделирования тепловых и деформационных процессов в зоне резания с учетом рассматриваемой геометрии режущего клина инструмента. Данный подход дает возможность параметризации модели и автоматизации решения задачи оптимального проектирования режущего инструмента, однако требует применения сложных моделей деформирования обрабатываемого материала (например, модели Джонсона-Кука), трения по передней и задней поверхности режущего клина, а также моделей теплопередачи, учитывающих взаимосвязь с деформационными процессами в зоне резания и подачу смазочно-охлаждающей жидкости. Перечисленные модели требуют предварительной экспериментальной идентификации большого числа их коэффициентов для конкретного обрабатываемого материала, что невозможно без применения сложных специализированных экспериментальных стендов. Дополнительным недостатком подхода является его чрезвычайно высокая вычислительная сложность и потребность в большом объеме вычислительных ресурсов для проведения описанных расчетов. В совокупности перечисленные факторы снижают оперативность и повышают стоимость применения данного подхода, что не позволяет в настоящее время эффективно его использовать в большинстве частных случаев.

В связи с изложенным, изучение и решение научно-прикладных задач, относящихся к проблеме создания износостойкого рабочего инструмента, предназначенного для механической обработки современных металлических сплавов, несомненно является актуальным направлением диссертационного исследования, востребованным, в первую очередь, промышленными предприятиями обрабатывающих отраслей машиностроения.

Предложенная в диссертации методика расчета и программа, разработанная автором диссертации, в основе которой находятся физико-математические соотношения для деформационных процессов в зоне резания, позволяет обеспечить снижение трудовых, временных и финансовых затрат на начальном этапе проектирования рабочего инструмента за счет сокращения количества проводимых экспериментов в промышленных условиях с целью определения геометрических параметров режущей кромки лезвия винтовых и торцовых зубьев цельной концевой фрезы. Кроме того, разработанные методы и алгоритмы могут в дальнейшем стать основой для комплексной оптимизации процесса концевой фрезерования с учетом влияния режимов обработки, направленной на повышение производительности и снижение затрат при изготовлении деталей, и применяемой в интегрированном производственном комплексе автоматизации программирования и группового управления технологическими процессами обработки деталей на станках с числовым программным управлением.

2. Научная новизна исследования, достоверность и обоснованность полученных результатов

Научная новизна положений, представленных в диссертации, и результатов решения поставленных задач состоит в следующем:

1) Разработана расчетно-экспериментальная методика определения силовых параметров резания концевыми фрезами в зависимости от геометрических параметров режущего клина, учитывающая деформационное упрочнение и удельную работу образования новых поверхностей обрабатываемого материала;

2) Созданы физико-математическая модель, алгоритмы и программа для расчета рациональных значений переднего угла для винтового и торцового зуба режущей части из условия минимальной силы резания;

3) Методами и средствами экспериментального исследования дана оценка удельной работы, затрачиваемой на образование новых поверхностей в рамках рассматриваемой модели процесса обработки резанием для конструкционной стали 45 и титанового сплава ВТ6.

Обоснованность и достоверность результатов, представленных в диссертационной работе, обеспечивается:

1) Применением известных положений теории резания, механики пластического течения материалов, характеризующихся деформационным упрочнением, методов математического анализа, а также численной оценки и расчета параметров моделей на основе теории планирования эксперимента.

2) Результатами сравнительных ускоренных промышленных испытаний опытных образцов стандартных и проектируемых концевых фрез, проведенных автором диссертационной работы, которые подтверждают результаты расчетно-аналитического проектирования режущего инструмента, выполненного на основе разработанных в рамках диссертации методов математического и компьютерного моделирования.

3) Соответствием результатов расчетов и испытаний разработанных опытных образцов режущего инструмента современным теоретическим представлениям и результатам практических работ в области механики процессов обработки резанием.

3. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы

Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании методов физико-математического моделирования процессов обработки резания в части создания новых моделей прогнозирования сил резания при обработке концевыми фрезами, учитывающих параметры режима обработки, механические характеристики обрабатываемого материала и геометрию режущего клина инструмента, что дает возможность определять расчетным путем рациональные геометрические параметры режущего инструмента для конкретных случаев обработки, способствующих повышению стойкости и снижению сил резания. Важно отметить, что представленная соискателем методика расчета силовых параметров резания концевыми фрезами базируется на энергетическом подходе и, в отличие от большинства известных методов, позволяет учесть не только мощности, затрачиваемые на пластическую деформацию в зоне сдвига и трение стружки о переднюю поверхность инструмента, но и мощность, связанную с образованием новых поверхностей в процессе резания.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1) Разработанные алгоритмы и программный комплекс «EndMills» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024614116), доведены до уровня, обеспечивающего возможность их промышленного применения при проектировании режущего инструмента для оперативного определения геометрических параметров режущего клина из условия минимизации сил резания при обработке материала заготовки с заданными механическими характеристиками;

2) Соискателем разработана модель износостойкой цельной концевой фрезы (Патентом РФ №226849), предназначенной для обработки титанового сплава ВТ6 и обеспечивающей увеличение периода стойкости до 36% при обработке карманов с засверливанием;

3) Выполнен значительный объем экспериментальных исследований, в том числе направленных на получение кривых упрочнения для ряда обрабатываемых материалов, охватывающих зону больших пластических деформации, реализуемых при резании, по сравнению с известными данными, опубликованными в доступных открытых литературных источниках.

Практическая значимость диссертации подтверждена актами о внедрении результатов работы в производственный процесс ООО «Технологические покрытия», а также в научный и образовательный процесс ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

4. Анализ содержания и общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 186 наименований, и пяти приложений. Результаты исследования изложены на 161 страницах машинописного текста, включающего 83 рисунка и 19 таблиц.

Во введении соискателем обосновывается актуальность и степень разработанности темы диссертации, определены объект и предмет исследования, сформулирована цель диссертационной работы и поставлены научные задачи, подлежащие решению. Охарактеризована новизна результатов решения поставленных задач, их теоретическая и практическая значимость, а также используемые в диссертации методы и средства научно-экспериментального исследования. В положениях, выносимых на защиту, дана характеристика достигнутых преимуществ решения поставленных задач, оценена достоверность полученных результатов и отмечена область практической апробации достижений.

В первой главе отражены результаты аналитического исследования известных методов и средств проектирования геометрических параметров режущей части рабочего инструмента, изучено влияние геометрических параметров режущей комки концевых фрез на процесс механической обработки заготовок и определены тенденции совершенствования режущего рабочего инструмента. Установлено, что при исследовании процессов резания вращающимся инструментом необходимо использовать модели, учитывающие угол наклона главной режущей кромки лезвия, и сокращение оперативного времени обработки заготовок эффективно достигается при увеличении периода стойкости режущего инструмента.

Во второй главе выполнено исследование и разработка расчетно-аналитических средств методического обеспечения процесса проектирования геометрических параметров режущей части концевых фрез. Обоснована методика расчета силовых параметров резания концевыми фрезами, основанная на модели косоугольного резания. Предлагаемая в работе аналитическая модель косоугольного резания базируется на энергетическом подходе, а стружкообразование рассматривается, как процесс непрерывного пластического деформирования материала, обладающего деформационным упрочнением. В модели принято, что трение на площадках контакта описывается законом Кулона-Амонтона, то есть находится в прямо пропорциональной зависимости от нормального давления и не превышает предельной величины. Составлено адекватное уравнение энергетического баланса процесса резания, с учетом долей силы резания, затрачиваемых соответственно на пластическую деформацию, на трение стружки о переднюю поверхность инструмента, на трение задней поверхности инструмента о деталь, а также на образование новых поверхностей при отделении стружки, что является важной особенностью предложенной модели. Определены графические элементы схемы резания для встречного фрезерования уступа, а также разработаны средства алгоритмического и программного обеспечения расчета лезвийных параметров зубьев концевой фрезы. Разработанная методика положена в основу оригинального программного комплекса «EndMills» для расчета силовых параметров процесса резания концевыми фрезами с учетом их зависимости от режимов резания и геометрических параметров режущей части концевой фрезы на основе критерия минимальных значений сил резания. При сравнении расчетных и экспериментальных результатов установлено, что разработанная методика обеспечивает определение силовых параметров резания пластичного материала с погрешностью не более 25 % относительно экспериментальных значений при фрезеровании уступа и не более 15 % при засверливании материала с осевой подачей.

В третьей главе изложены результаты исследования и разработки средств методического сопровождения и технического обеспечения процессов экспериментального исследования силовых параметров резания концевыми фрезами, определены зависимости силовых параметров при фрезеровании пластичных металлов от режимов обработки и геометрических параметров режущей части, а также установлены зависимости напряжения течения от логарифмической деформации и определена удельная работа разрушения для образцов из стали 45 и титанового сплава ВТ6.

Экспериментальные исследования силовых параметров процесса фрезерования заготовок концевыми двузубыми фрезами выполнены на аттестованном промышленном трехосевом обрабатывающем центре. Измерение технологических сил резания в процессе встречного фрезерования уступа и осевой силы в процессе засверливания осуществлялось с относительной погрешностью 3,7% контрольно-измерительной системой, состоящей из динамометра, усилителя, адаптера, аналого-цифрового преобразователя и персонального компьютера. Определены оптимальные режимы обработки и параметры режущих кромок применяемых фрез. Установлено, что технологические силы резания при обработке уступа изменяются от минимального значения до максимального в зависимости от угла контакта фрезы с обрабатываемой поверхностью материала, при этом изменение

технологических сил прямо пропорционально изменению толщины срезаемого слоя. Для определения зависимости напряжения течения обрабатываемого материала от величины деформации применялся метод осадки цилиндрического образца с выточками. Показано, что результаты исследования позволяют аппроксимировать кривую упрочнения линейной функцией.

В четвертой главе приведены результаты разработки и создания фрезы с повышенным периодом стойкости для обработки пластичных сплавов, изложены результаты проектирования опытной фрезы для обработки титанового сплава ВТ6 и методика сравнительных ускоренных испытаний на стойкость изготовленной фрезы по отношению к стандартным фрезам. Расчетом с использованием разработанного программного комплекса «EndMills» определялись параметры режущей кромки зубьев фрезы. Выбор значений передних углов выполнялся на основе критерия минимальных значений силовых параметров. Для оценки износостойкости проектируемых опытных фрез по сравнению со стандартными фрезами проведены сравнительные ускоренные испытания на промышленном обрабатывающем оборудовании предприятия «Технологические покрытия». В ходе сравнительных испытаний критерием предельного износа для полустойковой обработки титанового сплава ВТ6 в работе принята ширина фаски износа по задней поверхности зубьев исследуемой фрезы. Экспериментально показано повышение периода стойкости разработанной фрезы на 15% при обработке уступа и до 36% при обработке кармана с засверливанием.

В заключении диссертации изложены выводы по результатам выполненного исследования, даны рекомендации и определены перспективы дальнейшей разработки темы.

Опубликование основных результатов диссертации в научной печати

По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 9 в рецензируемых изданиях согласно Положения ВАК, в том числе получены Свидетельство РФ на программу для ЭВМ и Патент РФ на полезную модель, изданы тезисы докладов в сборниках трудов Международных и Всероссийских научно-технических конференций.

Оформление диссертации и автореферата соответствует критериям и нормативным требованиям Положения ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат диссертации в полной мере соответствует ее содержанию. Описание разработанной автором модели прогнозирования сил резания, приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют подтвердить обоснованность положений, выносимых на защиту, сформулированных во введении к диссертации. Содержание диссертации соответствует достижению поставленной цели, описанные этапы работы обеспечивают решение сформулированных задач, что позволяет дать положительную оценку законченности и целостности выполненного исследования. Выводы диссертации обоснованы и соответствуют постановке и содержанию работы. Новизна и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждена докладами при апробации научно-практических достижений соискателя на всероссийских и международных научных конференциях.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует пунктам 1, 2, 4 и 6 Паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», а именно в части изучения:

- теории и практики проектирования, включая использование современных методов информационных технологий;
- теоретических основ моделирования и экспериментального исследования процессов механической обработки;
- проектирования и расчета параметров инструмента;
- новых технологических процессов механической обработки и создания инструментов для их реализации.

5. Замечания по содержанию диссертации

1. На рисунке 1.2 в диссертации сравнение расчетных значений главной составляющей силы резания P_z по рассмотренным моделям с экспериментальными данными приведено только для одного случая (варианта технологического процесса), что может являться частным случаем.

2. Графическая зависимость, приведенная на рисунке 2.20, не позволяет наглядно оценить заявленное увеличение на 24% доли давления резания, расходуемого на пластическую деформацию, при увеличении угла наклона главной режущей кромки с 0 до 55°. В рассматриваемом случае предпочтительным было бы построение графика в относительных величинах (по отношению к значению рассматриваемого параметра при угле наклона главной режущей кромки 0°).

3. Предлагаемая методика расчета силовых параметров процесса резания концевыми фрезами не учитывает влияние скругления режущей кромки на процесс резания. Разработанные методы расчета ориентированы на применение для острозаточенного инструмента.

4. Разработанная модель расчета сил резания не учитывает влияние тепловых процессов в зоне резания и их влияние на механические характеристики обрабатываемого материала в зоне резания.

5. При проведении экспериментальных исследований сил резания при обработке вращающимся инструментом не было измерено и не учитывалось радиальное биение режущих кромок и его влияние на неравномерность регистрируемых пиковых значений сил резания для отдельных зубьев фрезы, что могло повлиять на оценку погрешности разработанной модели по отношению к экспериментальным данным. Вероятно, с учетом влияния указанного фактора точность расчетного прогнозирования сил резания при помощи разработанной модели окажется выше, чем указано в работе.

6. Заключение

Несмотря на перечисленные замечания, диссертационная работа «Повышение износостойкости концевых фрез путем расчетно-экспериментального обоснования геометрических параметров режущей части инструмента» Леквешвили Марии Анатольевны на соискание ученой степени кандидата технических наук является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи по разработке новых научно-обоснованных методов

расчетно-аналитического определения рациональных геометрических параметров режущего инструмента по критериям повышения стойкости и минимизации сил резания, имеющей важное значение для широкого круга машиностроительных предприятий. Таким образом, диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям.

Диссертационная работа «Повышение износостойкости концевых фрез путем расчетно-экспериментального обоснования геометрических параметров режущей части инструмента» полностью соответствует критериям и требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (см. пункты 6 и 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 с дополнительными изменениями от 20.03.2021г. №426), а ее автор Леквеишвили Мария Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальный оппонент:

доцент кафедры «Прикладная механика», доктор технических наук
(1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин)

10.09.2024

Игорь Алексеевич Киселев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1

Телефон: 8-499-263-61-11

Моб. тел.: 8-916-808-99-07

E-mail: i.a.kiselev@yandex.ru

Дата: 10.09.2024 г.

Выражаю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Леквеишвили Марии Анатольевны и их дальнейшую обработку.

Игорь Алексеевич Киселев

Подпись Киселева Игоря Алексеевича заверяю

