

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение работоспособности концевых фрез с механическим креплением режущих пластин

УДК 621.914.2.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжао Цзялунь		05.06.21

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения ИШНПТ, доцент	Козлов Виктор Николаевич	к.т.н., доцент		05.06.21

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук ШБИП, доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		30.05.21

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин ШБИП, старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			30.05.21

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП по разделу «Раздел ВКР на иностранном языке »

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностранных языков ШБИП, доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		25.05.21

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение, доцент ОМ ИШНПТ	Мартюшев Никита Владимирович	к.т.н., доцент		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная Школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение материаловедения школы (НОЦ)

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП 15.04.01

_____ Мартюшев Н.В..

«___» _____ 2021

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

_____ магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Чжао Цзялунь

Тема работы:

Повышение работоспособности концевых фрез с механическим креплением режущих пластин

Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер) _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	5.06.2021
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработать технологический процесс обработки литой заготовки. Рассчитать напряжённо-деформированное состояние режущего инструмента. Повысить надёжность работы режущего инструмента.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор и анализ научно-технической литературы по теме ВКР. Формулирование цели и задач исследования о влиянии геометрии режущего инструмента и режима резания на их напряжённо-деформированное состояние при резании стали. Исследование длины контакта стружки с передней поверхностью при переднем угле от -10 до +35° при обработке стали с толщиной среза от 0,05 до 0,368 мм. Проведение экспериментов по измерению технологических составляющих силы резания. Расчёт физических составляющих силы резания и

	<p>определение распределения контактных напряжений на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности.</p> <p>Построение эпюр контактных напряжений и определение зависимости их основных параметров от толщины среза и величины переднего угла.</p> <p>Исследование напряжённо-деформированного состояния режущего инструмента с помощью программы ANSYS при переднем угле от +7 до +35° при обработке стали с толщиной среза от 0,05 до 0,368 мм.</p>
Перечень графического материала	Слайды по литературному обзору, техпроцесс обработки литой заготовки, графики влияния толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, эпюры контактных напряжений на передней и задней поверхностях, влияние переднего угла и толщины среза на картины НДС режущих пластин.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Раздел ВКР на иностранном языке	Айкина Татьяна Юрьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Calculation of distribution of normal and shear contact stresses in cutting of steel	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.19
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения ИШНПТ, доцент	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		10.10.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжао Цзялунь		10.10.2019

Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, выработать командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов

ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении

ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

РЕФЕРАТ

выпускной квалификационной работы студента гр. 4АМ91 Чжао Цзялунь

Повышение работоспособности концевых фрез с механическим креплением режущих пластин

Выпускная квалификационная работа выполнена на 166 страницах, содержит: 110 рисунков, 14 таблицы, 16 источников.

Ключевые слова: концевая фреза, сменная многогранная пластина, обрабатываемость стали, контактные напряжения, износ режущего инструмента, прочность режущего инструмента, напряжённо-деформированное состояние режущего инструмента.

Объектом исследования является концевые фрезы с механическим крепление режущих пластин.

Цель работы – подтверждение квалификации «магистр техники и технологии» по направлению 15.04.01 "Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении". В процессе исследования проводились обзор и анализ научно-технической литературы по теме магистерской работы, формулирование цели и задач исследования. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияние толщины среза и переднего угла на технологические и физические составляющие силы резания при использовании сменных многогранных пластин (СМП), которые будут использованы на концевых фрезах. Рассмотрено влияние толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, параметры эпюр контактных напряжений на передней и задней поверхностях, картины НДС режущих пластин. Приведены экспериментальные данные по стойкости фрез, определены оптимальные режимы резания.

При проведении экспериментов использовался токарный станок 1К62, трёхкомпонентный токарный динамометр Kistler, а также программа «ANSYS» для расчёта НДС режущих пластин.

Результаты работы позволят использовать рациональные геометрические параметры СМП и режимы резания при обработке стали для повышения работоспособности концевых фрез с механическим креплением режущих пластин.

Степень внедрения: по результатам защиты работы на государственной аттестационной комиссии будет решено, следует ли рекомендовать разработки к внедрению на производстве в ООО «Мион», г. Томск.

Область применения: производство машиностроительной продукции.

Экономическая значимость работы достаточно высокая.

В будущем планируется участвовать в организации производства сборных фрез с режущими твёрдосплавными пластинами.

SUMMARY

final qualifying work of the student gr. 4AM91 Zhao Jialun

Improving the performance of end mills with mechanical mounting of cutting plates

The Final Qualifying Work (Diploma Thesis) is executed on 166 pages of the explanatory note, contains: 110 figures, 14 tables, 16 sources.

Keywords: end mill, replaceable polyhedral plate, workability of steel, contact stresses, wear of the cutting tool, strength of the cutting tool, stress-strain state of the cutting tool.

The object of research is end mills with mechanical fastening of cutting plates.

The purpose of the work is to confirm the qualification "Master of engineering and technology" in the major 15.04.01 "Automation of technological processes and productions in mechanical engineering". During the research, the review and analysis of scientific and technical literature on the topic of master's work, the formulation of the goals and objectives of the research were carried out. The paper presents the results of an experimental study of the effect of the uncut thickness and the rake angle on the technological and physical components of the cutting force when using replaceable polyhedral plates (RPP), which will be used on end mills. The influence of the uncut thickness and the rake angle on the chip contact length, parameters of contact stress diagrams on the face and flank surfaces, and on epures of contact stresses is considered. Experimental data about cutting tool life of milling cutters are given, and optimal cutting modes are determined.

The experiments used a 1K62 lathe, a three-component Kistler turning dynamometer, and the "ANSYS" program for calculating the stress-deformed condition (SDC) of RPP. The necessary economic parameters were determined, such as processing productivity, processing costs, and tool costs.

The results of this work will allow us to use rational geometric parameters of the RPP and cutting modes when processing steel cutting to improve the performance of end mills with mechanical mounting of cutting plates.

Degree of implementation: based on the results of the work protection at the state attestation Commission, it will be decided whether to recommend the development for implementation in production at MION LLC, Tomsk.

Field of application: manufacturing of engineering products.

The economic significance of the work is quite high.

In the future, it is planned to participate in the organization of production of precast cutters with cutting carbide plates.

Содержание

Введение	11
1.Цель и задачи исследования.....	13
2.Литературный обзор	15
2.1. Исходные данные о концевой фрезе	15
2.2. Исследование конструкции и технические особенности концевых и концевых фрез.....	16
2.3. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях...	22
2.4. Исследование сил резания при фрезеровании	24
2.5. Метод разрезного резца	28
2.6. Метод лазерной интерферометрии.....	35
2.7. Поляризационно-оптический метод.....	36
2.8. Влияние вида внешнего нагружения на НДС режущего клина	35
2.9. Процесс образования стружки при обработке металлов	40
3.Методика выполнения исследования.....	45
3.1. Определение технологических составляющих сил резания.....	45
3.2. Расчёт физических составляющих силы резания по технологическим составляющим силы резания	47
4.Результаты экспериментов	55
4.1. Определение длины контакта стружки с передней поверхностью	55
4.2. Расчёт физических составляющих сил резания.....	57
4.3. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений	59
4.4. Определение параметров эпюр контактных напряжений.....	66
4.5. Расчёт физических составляющих силы резания, действующих на	

ограниченных участках контакта стружки	68
5. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS	73
6. Исследования НДС неизношенных СМП концевых фрез	77
7. Исследования НДС СМП с фаской по задней поверхности	80
8. Моделирование и исследование процесса фрезерования с помощью программы ANSYS Workbench	84
8.1. Исследование тенденция составляющих сил резания при фрезеровании стали	87
8.2. Исследование влияния подачи на температуру стружки в зоне контакта	91
9. Исследования стойкости СМП	94
Выводы	97
Раздел на иностранном языке	98
Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	109
Раздел «Социальная ответственность»	133
Список литературы	151

Введение

Режущие инструменты используются во всех отраслях промышленности при изготовлении деталей. В настоящее время лезвийная обработка остаётся обязательным этапом изготовления даже при использовании аддитивных технологий (3-D печати). Основным режущим инструментом для обработки корпусных деталей является концевая фреза. Для увеличения стойкости фрезы, увеличения производительности обработки и обеспечения возможности обработки труднообрабатываемых материалов всё чаще используются твёрдосплавные сменные многогранные пластины (СМП). Для получения поверхностей детали хорошего качества СМП становятся более сложными, но из-за хрупкости твёрдого сплава возникает выкрашивание режущей кромки или даже поломка СМП. Это значительно увеличивает себестоимость обработки.

В настоящее время с популярностью станков с ЧПУ чаще применяются фрезы со сменными многогранными пластинами (СМП). Для уменьшения хрупкого разрушения сменных многогранных пластин (СМП) с механическим креплением, наиболее часто используемых в режущих инструментах, необходимо выполнить анализ их напряжённо-деформированного состояния (НДС), найти рациональную геометрию и конфигурацию СМП для производительной обработки.

При обработке материалов, трудно поддающихся обработке дисковыми инструментами, внутренние напряжения, по-видимому, приближаются к пределу прочности материала инструмента. Было решено исследовать напряженно-деформированное состояние режущего инструмента (НДС) и оценить его прочность с помощью метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в программе ANSYS. Программное обеспечение ANSYS является одним из основных программ для исследования НДС. Она сочетает теоретические основы современной математики и механики с методами конечных элементов (МКЭ) и методами компьютерной графики. С помощью программы ANSYS мы можем

визуально и эффективно получить расчёт НДС режущей пластин.

В данной работе выполнены исследования распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях, что является неотъемлемой частью для нагружения модели СМП внешними нагрузками и последующего расчёта внутренних напряжений методом конечных элементов (МКЭ).

Построение математических моделей СМП для расчётов с помощью программного обеспечения ANSYS позволило в данной работе выполнить анализ влияния геометрии режущего инструмента и режима резания на НДС режущего клина и всего инструмента. В данном исследовании представлена общая методика исследования прочности режущих пластин концевых пластин методом конечных элементов с использованием программного обеспечение ANSYS 18.0.

1. Цели и задачи исследования

Цель работы: повысить надёжность работы режущего инструмента за счёт увеличения его прочности и износостойкости, определить рациональную геометрию СМП и рациональные режимы резания при черновой обработке.

Задачи исследования:

1. Выполнить литературный обзор и определить возможные способы увеличения прочности и износостойкости СМП у концевых фрез с механическим креплением СМП.
2. Определить распределение контактных напряжений на поверхностях СМП (на передней поверхности и на фаске износа по задней поверхности) при разных передних углах и режимах резания (v , s_z , V , t) при обработке стали и труднообрабатываемых материалах.
3. Освоить расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) СМП методом конечных элементов (МКЭ).
4. После анализа НДС определить рациональную геометрию (γ , α , λ , r) режущей части СМП, особенно величины переднего угла γ .
5. Определить рациональные режимы резания (v , s_z , V , t) при черновой обработке стали и труднообрабатываемых материалах (увеличение производительности обработки при сохранении требуемого качества обработанной).
6. Исследовать напряженно-деформированное состояние режущих (НДС) пластин при резании стали методом конечных элементов (МКЭ).
7. Определить влияние толщины среза a и передних углов на внутренние напряжения СМП.
8. Определить влияние износостойких покрытий на стойкость и надёжность работы концевых фрез с СМП.

9. Дать практические рекомендации по использованию результатов исследований, выполненных в ВКР.

Предполагаемая научная новизна исследования:

1. Определено распределение контактных напряжений на поверхностях СМП (на передней поверхности и на фаске износа по задней поверхности) при разных передних углах и режимах резания (v , s_z , B , t) при обработке стали и труднообрабатываемых материалах как при установившемся резании, так и при врезании в заготовку при фрезеровании.
2. Было выявлено существенное увеличение составляющих сил резания при врезании СМП при схеме встречного фрезерования. Получены экспериментальные зависимости составляющих сил резания при врезании от толщины среза и длины фаски износа по задней поверхности.
3. Расчёт НДС СМП методом конечных элементов позволит выявить влияние геометрии режущего клина и толщины среза на эквивалентные напряжения в СМП.
4. Анализ НДС позволит определить рациональную геометрию режущей части СМП.
5. Анализ НДС позволит определить рациональные режимы резания (v , s_z , B , t) при черновой обработке стали и труднообрабатываемых материалах.

2. Литературный обзор

2.1. Исходные данные о концевой фрезе

Для расчёта НДС СМП необходимо знать распределение контактных напряжения на передней и задней поверхностях, но для этого необходимо знать величину составляющих силы резания на разных этапах положения зуба фрезы.

Основные проблемы при исследовании сил резания при фрезеровании:

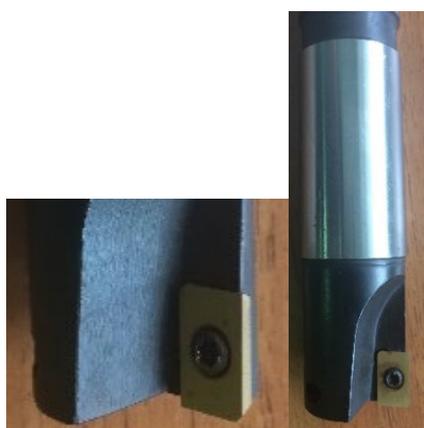


Рис. 2.1.1. Исследуемая в качестве образца концевая фреза

Табл. 2.1.1. Исходные данные исследуемой концевой фрезы

Материал пластины фрезы	T15K6
Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	4200
Обрабатываемый материал	40Х, 35ХГСА и другие
Число зубьев фрезы z	2
Диаметр фрезы D , мм	30
Глубина резания t , мм	12
Ширина фрезерования B , мм	15
Скорость резания v , м/мин	120

1) изменение направления действия сил P_z и P_y (Н) из-за вращения (поворота) фрезы относительно оси вращения шпинделя;

2) изменение величины сил из-за увеличения толщины среза ai (мм) при повороте зуба фрезы на угол ψ относительно точки врезания.

С помощью динамометра можно измерять только результирующие силы резания Ph , Pv и Px . А для расчёта физических составляющих N и F необходимо знать составляющие P_z и P_y , действующие на зуб (СМП) фрезы.

Поэтому было решено моделировать фрезерование точением резцом с разными подачами s (мм/об), т. е. толщинами среза a (мм).

2.2. Исследование конструкции и технические особенности концевых и концевых фрез

Конструкция концевых фрез

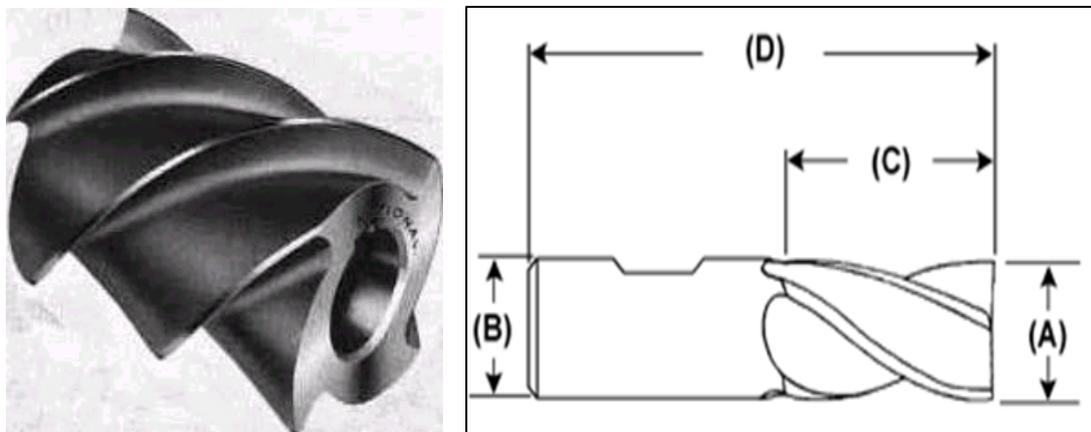


Рис.2.2.1 Конструкция концевых фрез

A: диаметр фрезы; B: диаметр хвостовика; C: длина режущей части; D: общая длина.

Режущая кромка – режущая кромка, это прямая линия, наклонённая под определенным углом по отношению к оси инструмента.

Осевое биение – разница между минимальным и максимальным показаниями режущей части индикатора (микрометра), установленного на наружном диаметре инструмента при его вращении.

Диаметр сердцевины – диаметр цилиндра (или конуса, для конических фрез), образованного касательной линией при максимальной глубине стружечной канавки.

Подрезка – начальная точка для прорезания канавок или заточки наконечников при изготовлении фрез.

Режущая кромка (главная) – Это прямая режущая часть зуба, используемая для срезания стружки. Это точка пересечения двух поверхностей, которая обычно заканчивается под углом 90 градусов или меньше.

Угол наклона режущей кромки – угол между осью инструмента и главной кромкой инструмента.

Угол в плане (иногда угол входа, угол атаки) – чем ближе этот угол к 90

градусам, тем больше ударная нагрузка на инструмент.

Радиус закругления в основании стружечной канавки — радиус дна желобка для стружки равен радиусу измеренного диаметра сердечника.

Стружечная канавка — углубление в пространстве между верхними зубьями, через которое может проходить стружка. Количество канавок напрямую соответствует количеству зубьев, которое определяет скорость подачи (см. рис. 2.2.2).

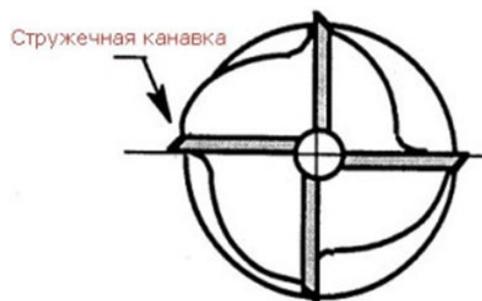


Рис. 2.2.2 Стружечная канавка концевых

Длина стружечной канавки — длина канавки или стружколомателя. Часто неправильно используется для обозначения «длины чипа».

Хвостовик — часть инструмента, которая удерживает патрон станка и передаёт вращательное движение от шпинделя к режущей части инструмента.

Зуб — выступающая часть корпуса концевой фрезы с режущей кромкой.

Передняя поверхность — передняя поверхность зуба фрезы, по которой движется стружка.

Технические особенности концевых фрез

Глубина резания — длина цилиндрической режущей части, используемой для резания (включая все необходимые элементы: стружечную канавку, режущую кромку, опорную пластину, переднюю и заднюю части).

Обратный конус — когда диаметр рабочей части хвостовика меньше диаметра наконечника инструмента, режущая часть инструмента имеет обратную конусность.

Обнажение, это зазор между инструментом и заготовкой в задней части зуба.

Угол обнажения (задний угол) — угол между задней стороной и линией, на которой закреплено лезвие инструмента. (Рисунок 2.2.3)

- **Первичный задний угол** – (обычно 5–9 градусов) — это угол между первичной спинкой и вектором скорости резания.
- **Вторичный задний угол** – (обычно 14–17 градусов) – относится к непрерывности спины.
- **Третичный задний угол** (опционально) – угол спины третьей ступени относительно спины второй ступени.

Радиус стружечной канавки – это термин, используемый для подчёркивания вогнутости и кривизны канавки зуба. (Рисунок 2.2.3)

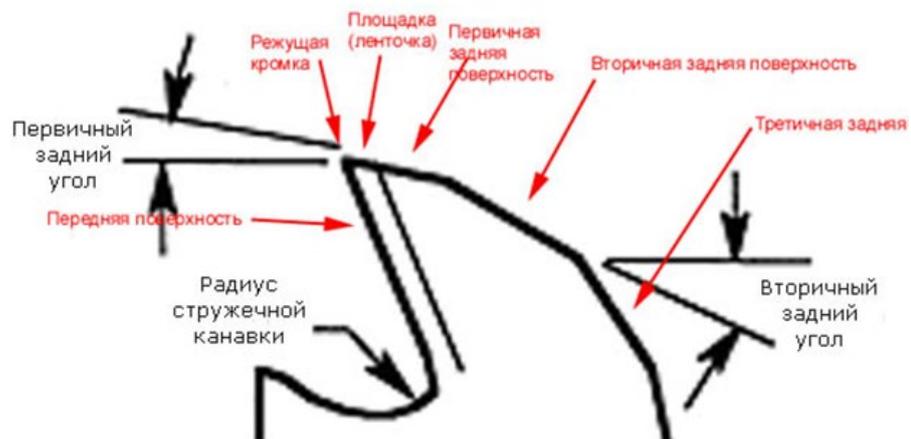


Рис 2.2.3 Задний угол концевой фрезы

Поднутрение – углубление, образующееся на кончике инструмента из-за наклона поверхности внутрь. Степень углубления зависит от угла подрезания режущей кромки.

Угол поднутрения торцевой режущей кромки – угол, образованный режущей кромкой и плоскостью, перпендикулярной оси инструмента. Целью подрезания является обеспечение гладкой поверхности после фрезерования. (См. рис. 2.2.4)

Подточка (перемычки) – вспомогательное углубление помогает удалять стружку. То же, что и "насечка", но не на боковой стороне инструмента, а в поперечном сечении (рис. 2.2.5).

Винтовая заточка фрезы – что режущая кромка или флейта равномерно изгибается в осевом направлении вокруг цилиндрической поверхности фрезы. Направление вращения, нормальное к спирали, находится справа.

Угол наклона винтовой канавки – угол, образованный касательной к спирали и осевой плоскостью (см. рис. 2.2.4-а).

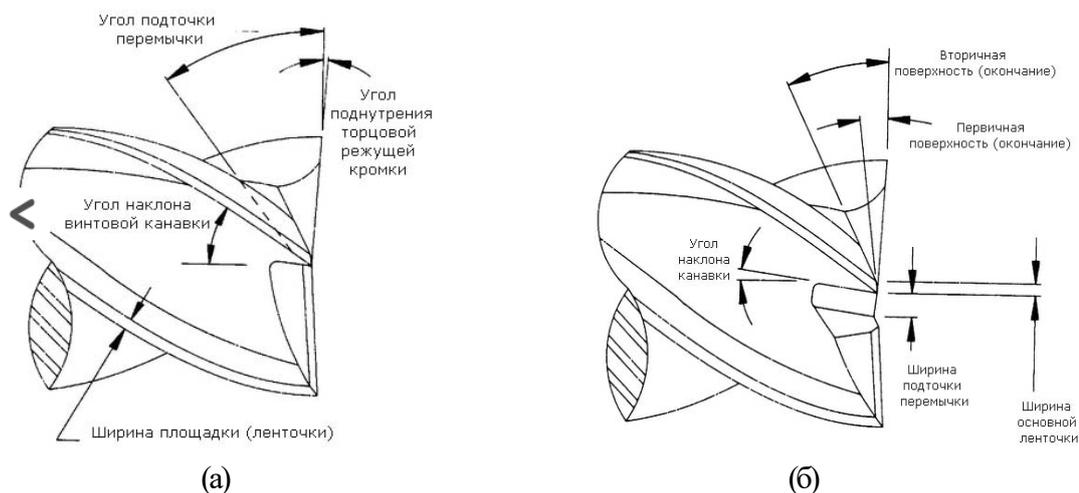


Рис .2.2.4. Конструкция концевых фрез

Винтовой угол – в большинстве случаев имеет то же значение, что и термин "угол наклона спиральной канавки". Она представляет собой смещение передней части зуба относительно плоскости, проходящей через вал фрезы.

Угол наклона канавки – угол, образованный плоскостью, проходящей через вал фрезы, и линией, совпадающей или соприкасающейся с передней поверхностью зуба (см. на рис. 2.2.4 -б).

Площадка (ленточка) – узкая, плоская поверхность возле режущей кромки. На конце имеется платформа, а на цилиндрической части - лента. (См. рис. 2.2.4)

Радиальный передний угол – угол, образованный радиусом, проведённым по нормали к оси инструмента, и радиальным фронтом зуба. (рис. 2.2.5)

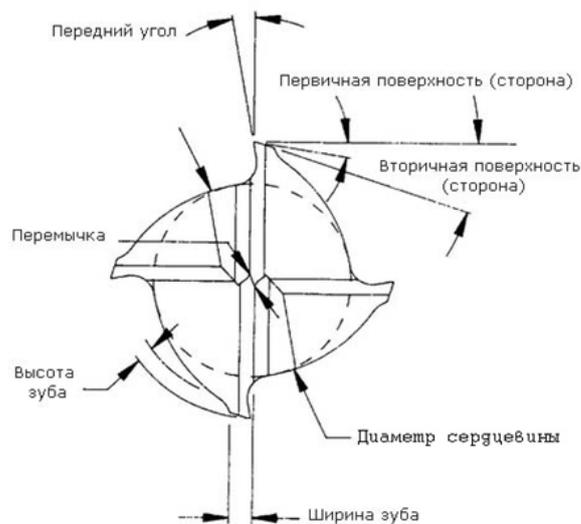


Рис.2.2.5 Конструкция концевых фрез

Отрицательный передний угол – начальный контакт между заготовкой и зубом происходит в позиции, которая не находится на режущей кромке.

Положительный передний угол – при котором происходит первоначальный контакт между заготовкой и инструментом по линии режущей кромки.

Эффективный угол – угол, который оказывает наибольшее влияние на образование стружки и относится к углу, перпендикулярному режущей кромке.

Главный задний угол (осевой) – Угол между линией, касательной или совпадающей с задней поверхностью зуба, и плоскостью, перпендикулярной оси инструмента.

Осевая задняя поверхность – это выемка в задней части зуба (подрезка) - ее размеры измеряются в осевом направлении между режущей кромкой и обратной стороной (подрезкой) в плоскости, перпендикулярной оси инструмента. Он предотвращает нагрев и трение между обратной стороной и заготовкой.

Вогнутая задняя поверхность – Поверхность возле режущей кромки вогнута. Он изготавливается из шлифовального круга, расположенного под углом 90 градусов к оси инструмента.

Выпуклая задняя поверхность – Спинка имеет выпуклую форму (см. ссылку выше). Он формируется с помощью I-образного шлифовального круга под углом к оси инструмента.

Подточка углов – требуется только пере шлифовка угла, или если кромка режущего полотна повреждена или изношена, шлифовальный круг перешлифовывается.

Плоская задняя поверхность – обратная сторона имеет плоскую форму и располагается на конце U-образного шлифовального круга при производстве.

Радиальная задняя поверхность – задняя поверхность радиального зуба. С помощью индикатора или процентного измерителя можно считывать и измерять различные углы инструмента в процентах на вращающейся поверхности инструмента.

Тангенциальный главный передний угол – угол, образованный касательной между режущей кромкой и вогнутой поверхностью зуба и радиусом, проведённым из той же точки в плоскости, перпендикулярной оси инструмента.

2.3. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях

Сила резания является важным параметром процесса резания. Усилие, необходимое для резки, зависит от его величины. Это влияет на износ и вибрацию инструмента и, следовательно, на качество обработанной поверхности. Силы резания — это исходные данные, используемые для расчёта прочности и жёсткости режущих инструментов, приспособлений и компонентов металлорежущих станков.

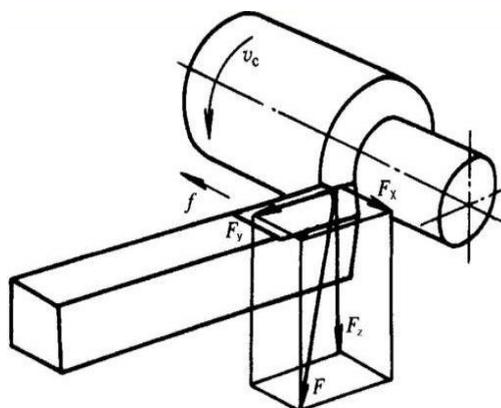


Рис. 2.3 Схема сил, действующих на передней поверхности резца при резании

Сила, действующая на спинку фрезы, зависит в основном от характеристик обрабатываемого материала, величины угла спинки, размера площади контакта и коэффициента трения на спинке.

Для целей анализа и измерения общая сила резания P делится на три направления: тангенциальном (F_z), радиальном (F_y) и в направлении, противоположном направлению подачи (F_x).

Тангенциальная сила F_z (P_z) действует в направлении главного движения; по ней подсчитывается крутящий момент и мощность резания.

Радиальная сила F_y (P_y) отталкивает фрезу от заготовки и изгибает ее под действием силы реакции. Эта сила способствует вибрации горизонтальной плоскости. Он оказывает наибольшее влияние на точность и геометрию заготовки.

Осевая сила или сила входной подачи F_x (P_x) и трение должны преодолеть движение механизма конвейера в направляющей машины.

Общая сила F , действующая на инструмент, рассчитывается в соответствии с уравнением:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Значение компонента силы резания может быть измерено с помощью трёхкомпонентного автомобильного динамометра.

2.4. Исследование сил резания при фрезеровании

Чтобы рассчитать прочность режущего клина, необходимо знать распределение контактных напряжений между передней и задней сторонами. При резке необразивными инструментами силы на обратной стороне пренебрежимо малы, поэтому можно рассматривать только лицевую сторону. При износе на задней поверхности появляется фаска и силы на ней существенно возрастают, поэтому требуется знать распределение контактных напряжений на этой фаске. Обычно задний угол α_h на этой фасе износа равен нулю.

На рис. 2.4.1 показана схема сил, возникающих на передней поверхности и на фаске задней поверхности режущего клина инструмента длиной h_3 . Толщина СМП показана равной 6 мм, а длина в главной секущей плоскости – 18 мм. На передней поверхности действуют нормальная сила N_n и касательная F_n , а взаимодействие фаски износа с поверхностью резания заготовки вызывает появление сил N_3 и F_3 .

При схеме встречного фрезерования (рис. 2.4.2), которая наиболее часто

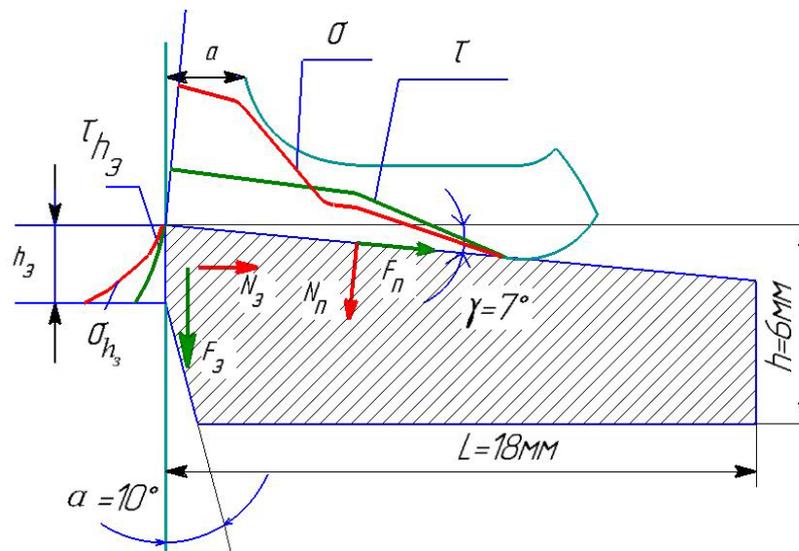


Рис. 2.4.1 Распределение нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности и нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений на фаске задней поверхности в главной секущей плоскости упрощенной СМП концевой фрезы

используется при черновой обработке, в момент врезания зуба фрезы происходит подмятые материала заготовки под округлённую режущую кромку. Это вызывает кратковременное увеличение составляющих P_z , P_y и P_x силы резания, величина которых быстро уменьшается после начала образования стружки (рис. 2.4.2). После этого наблюдается постепенное увеличение составляющих P_z , P_y и P_x из-за увеличения толщины среза a (мм), рассчитываемой при фрезеровании по формуле: $a_i = s_z \cdot \sin \psi_i$, где ψ_i – центральный угол от точки врезания зуба до его текущего положения ($^\circ$) (рис. 2.4.2).

Угол ψ_i может быть рассчитан по формуле: $\cos \psi_i = 1 - 2 \cdot t_i / D$, где t_i – текущее значение глубины фрезерования, D – диаметр фрезы (мм).

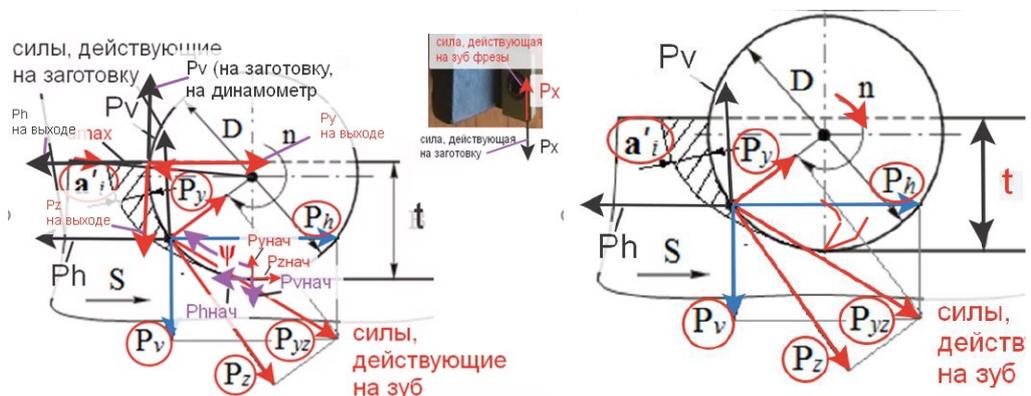


Рис. 2.4.2 Схемы действия сил при встречном фрезеровании и схемы действия сил при встречном фрезеровании

Окружная (тангенциальная, касательная) составляющая сила P_z и радиальная составляющая сила P_y имеют равнодействующую P_{zy} , которую можно разложить на две силы — горизонтальную составляющую силу P_h , действующую против подачи S , и боковую составляющую силу P_v , действующую перпендикулярно направлению продольной подачи S . Тангенциальная составляющая силы P_z очень важна, поскольку она производит основную работу резания. Сила P_z используется для расчета мощности приводного двигателя и прочности приводного вала, шестерён и других соединительных стержней. Эмпирическая формула для определения силы P_z

Тангенциальную силу P_z при фрезеровании можно рассчитать по

эмпирической формуле:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z^{\leftarrow}}{D^q n^w} K_{P_{\leftarrow}}$$

где C_p – постоянная (коэффициент), зависящая от материала заготовки и инструмента; C_p принимают равным 101 для твёрдых сплавов и 68,2 – для быстрорежущей стали;

t – глубина резания, мм;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

B – ширина фрезерования, мм (рис. 2.10). На рис. 2.12 не показана, т.к. измеряется вдоль оси фрезы;

D – диаметр фрезы, мм.

n – число оборотов шпинделя, об/мин.

K_{M_p} – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

a – толщина среза, мм. При фрезеровании

$$S = s_z \cdot z \cdot n_{\text{фрез}}, \text{ (мм/мин)}$$

$$a_i = a_{\text{max}} = s_z \cdot \sin\varphi \text{ (мм)}$$

где a_i – толщина среза (мм), изменяющаяся при повороте зуба фрезы (см. рис. 2.3.2); ψ – угол поворота фрезы.

Для выделения сил P_z и P_y во время врезания и в момент выхода зуба из контакта выполняем торцовое фрезерование фрезой с четырьмя зубьями (одновременно только один зуб в контакте) с диаметром фрезы $d_{\text{фр}} = \varnothing 100$ мм; шириной фрезерования $B = d_{\text{фр}}/2 = 50$ мм, с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$. Рассчитываем силу P_z по эмпирической формуле для настройки чувствительности каналов динамометра Kistler:

$$n = \frac{1000 \times v}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 120}{\pi \times 100} = 382 \approx 400 \text{ об / мин.}$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 2^1 \cdot 0,3_z^{0,75} \cdot 50^{1,1} \cdot 4}{100^{1,3} \cdot 400^{0,2}} = 8250 \cdot 2 \cdot 0,41 \cdot 73,9 \cdot 4 / (398 \cdot 3,31) = 1978116 / 1318 = 1500 \text{ Н}$$

Графики изменения составляющих P_h , P_v и P_x силы резания при фрезеровании торцовой фрезой (а) и сил P_z , P_y и P_x при моделировании врезания зуба фрезы с использованием токарного резца (б). Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки τ (с).

а — при торцовом фрезеровании фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$, $d_{фр} = \varnothing 100$ мм; $B = d_{фр}/2 = 50$ мм; $s_z = 0,3$ мм/зуб; $t = 2$ мм; $z = 4$ зуба; 1 – P_v , 2 – P_x , 3 – P_h ;

б — Преобразование врезной фрезы в коническую поверхность с предыдущим углом фрезерования $\varphi = 45^\circ$, $s = 0,07$ мм/об, $v = 120$ м/мин, $t = 1,8$ мм, длина фаски после износа $h_z = 0.95$ мм

2.5. Метод разрезного резца

При резании стали и других твёрдых материалов на высокой скорости можно использовать метод резца для изучения распределения контактной нагрузки на передней стороне инструмента. Для этого нужно вырезать очень широкую фрезу (шириной 50...100 мм). Затем осторожно измените размер η (рис.2.5.1) от нуля до значения, немного превышающего длину контакта. Используйте переднюю сторону инструмента для срезания стружки. Повышение прочности и жёсткости рабочей плиты. Задняя сторона имеет жёсткие ребра.

Ширина диска должна быть на 2...3 мм меньше, чем зазор между рёбрами плиты А I. Длина контакта ДСП будет соответствовать поверхности реза, независимо от обрабатываемого участка в процессе. Однако длина контакта между стружкой и поверхностью лезвия В на разных участках различна (рис. 2.5.2).



Рис. 2.5.1 Пластина А разрезного резца

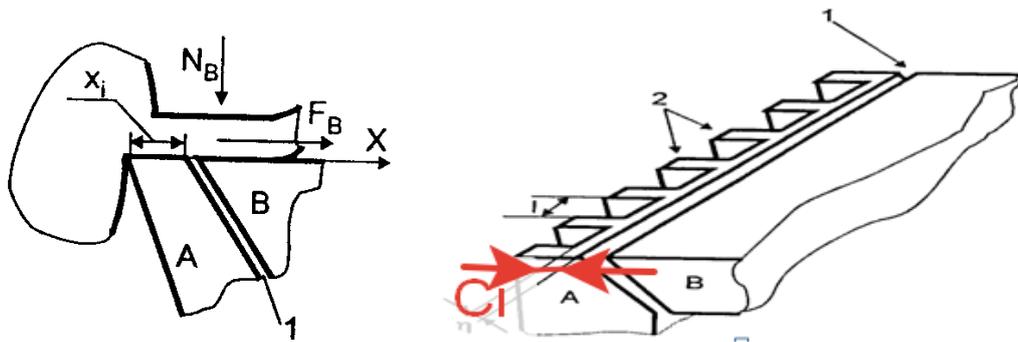


Рис. 2.5.2 Схема расположения рабочих пластин повышенной жёсткости при исследовании методом разрезного резца. 1 – щель между рабочими пластинами А и В; 2 – рёбра

Пластина В закрепляется на верхнем поясе динамометра, который будет воспринимать нагрузку, действующую только на пластину В. По результатам измерения нормальной N_B и касательной F_B сил резания в каждой из секций разрезного резца можно рассчитать нормальную σ_N и касательную τ_F контактные нагрузки по формулам:

1. Нормальное контактное напряжение σ (МПа):

$$\sigma_N(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dN_B}{dx}$$

2. Касательное контактное напряжение τ (МПа):

$$\tau_F(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dF_B}{dx}$$

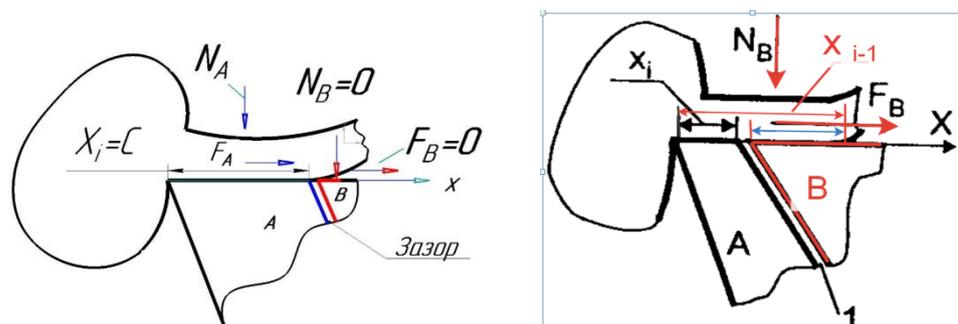


Рис. 2.6.3 Схема, поясняющая принцип измерения разрезным резцом

Удерживайте пластину в начальном зазоре на расстоянии $x_{i-1} = c$ [мм] от режущей кромки, где c - длина контакта между стружкой и передней поверхностью.

В этом случае пластина В не находится в контакте с микросхемой, поэтому силы $N_{B\ i=1}$ и $F_{B\ i=1}$ равны нулю. При этом положении реза относительно диска из обрабатываемого материала на нижний пояс упругих измерительных элементов действуют технологические составляющие P_z и P_y силы

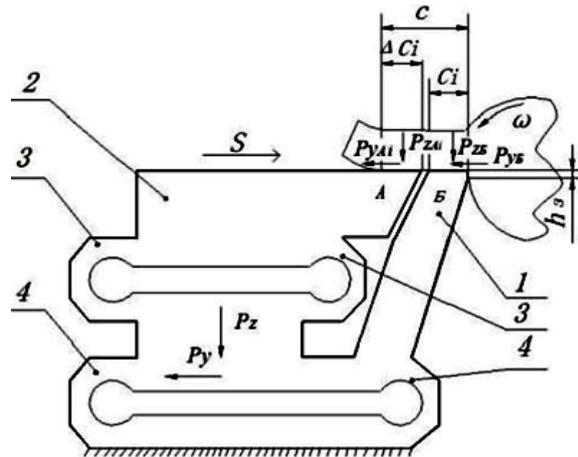


Рис. 2.5.4. Схема измерения сил резания на передней поверхности резца при исследовании распределения контактных напряжений

резания (рис. 2.5.4). В процессе всей серии измерений (при одной и той же подаче и ширины диска, величине переднего угла γ) эти силы должны быть одни и те же, что свидетельствует о неизменности процессов в зоне стружкообразования и на поверхностях инструмента. Если хотя бы одна из этих сил изменится, придётся опыт выполнять повторно. Периодическое перемещение резца относительно диска параллельно его оси вращения приводит к изменению расстояния зазора между пластинами А и В относительно режущей кромки, а значит будет происходить изменение длины контакта стружки с этими пластинами.

- 1) Изменение длины контакта стружки с пластиной В: $\Delta x_i = x_{i-1} - x_i$;
- 2) Изменение нормальной силы N на пластине В: $\Delta N_{Bi} = N_{Bi} - N_{Bi-1}$;
- 3) Удельная нормальная нагрузка на пластине В в точке i на расстоянии от режущей кромки $x_{i\text{ ср}}$

$$q_{NBi} = \Delta N_{Bi} / (b \times \Delta x_i) \text{ [Н/мм}^2\text{]} ,$$

$$\text{где } x_{i\text{ ср}} = (x_i + x_{i-1}) / 2 ;$$

b – ширина контакта стружки с передней поверхностью на пластине А (на пластине В будет такая же ширина b).

$$\Delta x_i = x_{i-1} - x_i ; \Delta N_{Bi} = N_{Bi} - N_{Bi-1}$$

$$q_{NBi} = \Delta N_{Bi} / (b \times \Delta x_i) \text{ [Н/мм}^2\text{]}$$

$$q_{NBi} \rightarrow \sigma_{Ni} \rightarrow \sigma_i \text{ при } \Delta x_i \rightarrow 0 \text{ мм}$$

$$q_{FBi} = \Delta F_{Bi} / (b \times \Delta x_i) \text{ [Н/мм}^2\text{]}$$

$$q_{FBi} \rightarrow \tau_{Ni} \rightarrow \tau_i \text{ при } \Delta x_i \rightarrow 0 \text{ мм.}$$

На рисунке 2.5.4 показана схема измерения составляющей силы резания, действующей на режущую головку при распределении контактных нагрузок (напряжений) на режущий диск А и режущий диск Б при свободном резании материала заготовки в прямоугольном Диск.

Всегда увеличивая длину контакта между чипом и платой А за счёт уменьшения длины сегмента c_i платы Б, в то время как длина контакта между чипом и передней панелью с остается постоянной, мы рассчитываем контактную нагрузку следующим образом: скорость увеличения площади контакта платы А и ее напряженных поверхностей.

При главном переднем угле $\gamma = 0^\circ$ удельная нормальная q_N и касательная q_F силы на передней поверхности рассчитываются по формулам:

$$q_{P_z} = q_N = \frac{P_{zAi} - P_{zA(i-1)}}{(X_{i-1} - X_i) B_i} \quad (1)$$

$$q_{P_y} = q_F = \frac{P_{yAi} - P_{yA(i-1)}}{(X_{i-1} - X_i) B_i} \quad (2)$$

При главном переднем угле $\gamma \neq 0^\circ$ удельные нормальные q_N и касательные q_F нагрузки необходимо рассчитывать исходя из измеряемых технологических составляющих P_z и P_y силы резания с учётом величины угла γ по известным формулам.

На рис. 2.5.5 показан традиционный метод измерения контактной нагрузки фаски на задней части инструмента во время прямоугольного свободного реза на диске из обрабатываемого материала. В этом случае измеряются силы, действующие на пластину А и пластину Б.

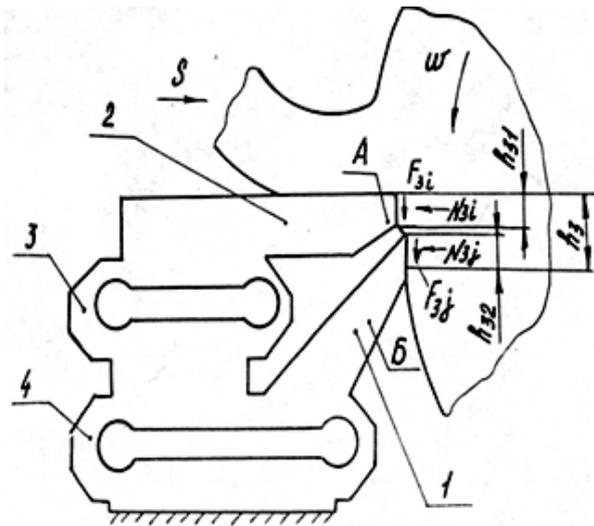


Рис. 2.5.5 Схема измерения сил резания на фаске задней поверхности резца на токарном станке по традиционной схеме

Однако из-за упругой деформации элемента 3, который выталкивается в радиальном направлении плиты А, появляется выступ, и с поверхности резания начинает срезаться лишняя стружка. Зазор блокируется, и плата выходит из строя.

Вам необходимо изменить измерение. Для этого мы установили динамометр на горизонтально-фрезерном станке.

Сохраняя длину фаски h_3 постоянной и продолжая увеличивать длину профиля h_{32} , мы рассчитываем контактную нагрузку как отношение увеличения силы, действующей на плиту Б, к увеличению площади контакта.

Отношение увеличения нормальной силы на фаске (N'_{h32}) к увеличению площади контакта тонкой пластины В (за счёт увеличения длины контакта h'_{32}) составляет силу резания задней фаски (удельное давление) на данном участке h'_{32} фаски задней поверхности.:

$$q_{N'_{h32}i} = N'_{h32} / (h'_{32} \times b_{\text{диска}}) = P'_{yB2} / (h'_{32} \times b_{\text{диска}}) \\ = (P_{yBi} - P_{yBi-1}) / [(h_{32i} - h_{32i-1}) \times b_{\text{диска}}].$$

Отношение приращения касательной силы (F'_{h32}) на фаске к приращению площади контакта на пластине Б есть удельная касательная сила резания (удельная сила трения) на участке h'_{32} фаски задней поверхности: $q_{F'_{h32}i} = F'_{h32}$

$$/(h'_{32} \times b_{\text{диска}}) = (P_{zBi} - P_{zBi-1}) / [(h_{32i} - h_{32i-1}) \times b_{\text{диска}}].$$

После выполнения необходимых расчётов были получены эпюры (Рис.2.5.6 и Рис.2.5.7) при обработке стали 40Х. При обработке стали 40Х вертикальная σ и тангенциальная τ контактные нагрузки на передней стороне уменьшаются с расстоянием от режущей кромки.

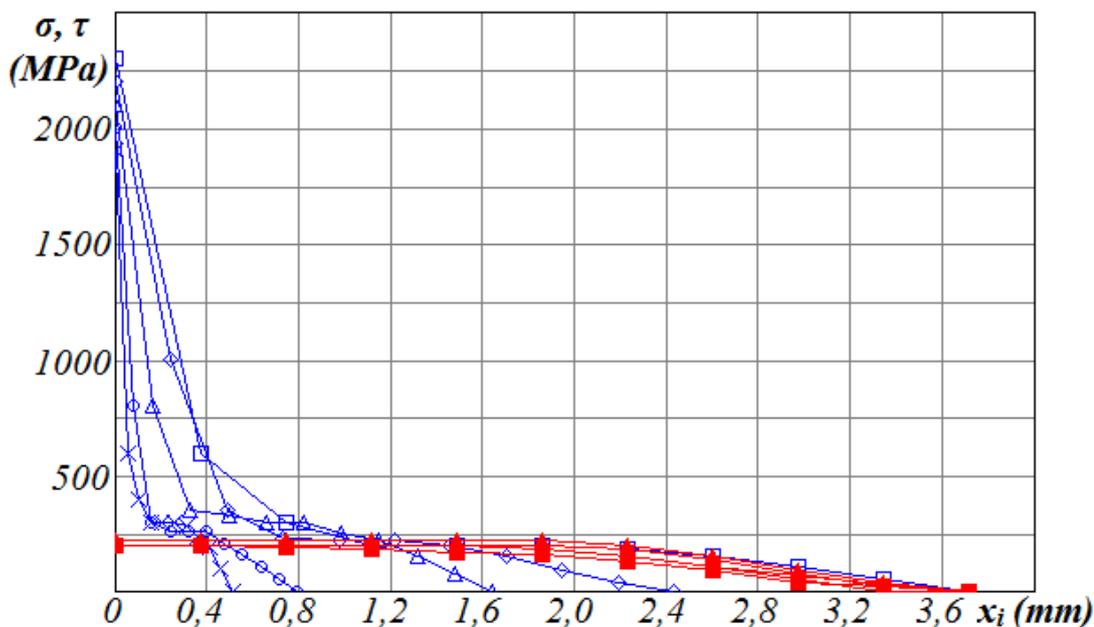


Рис.2.5.6 Распределение **нормальных σ** (\times , \circ , Δ , \diamond , \square) и **касательных τ** ($+$, \bullet , \blacktriangle , \blacklozenge , \blacksquare) контактных напряжений (МПа) на **передней** поверхности резца

В фаске на задней поверхности фрезы удельное контактное напряжение увеличивается с расстоянием от режущей кромки. Это противоречит ранее общепринятому утверждению. Ранее исследования, проведённые другими учёными, показывали это явление, но не были объяснены и были отнесены к неточности проведения экспериментов. Более того, все предыдущие эксперименты проводились на микро скоростях (до 1 м/мин), и с небольшими подачами.

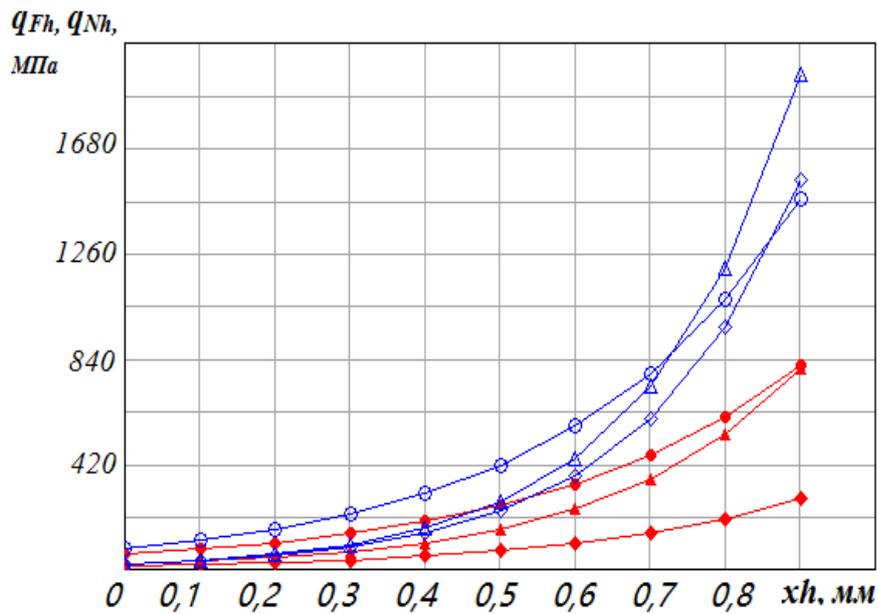


Рис. 2.5.7. Распределение **нормальных** q_{Nh} (\diamond , Δ , \circ) и **касательных** q_{Fh} (\diamond , Δ , \bullet) контактных напряжений (удельных контактных нагрузок) (МПа) на **фаске задней** поверхности резца

Наши эксперименты проводились на высоких скоростях (120 м/мин) и в большом диапазоне подач, что позволило более очевидно выявить этот парадоксальный эффект. Этот, с виду, парадоксальный эффект объясняется прогибом поверхности среза под действием радиальной составляющей силы резания в области стружкообразования.

2.6. Метод лазерной интерферометрии

Лазерная интерферометрия — это метод направления поляризованного монохроматического лазерного излучения на стороны заготовок и инструментов [12]. Монохроматический свет используется для уменьшения резкости рисунка бахромы за счёт предотвращения расщепления света на спектр. Когда свет, отражённый от инструмента и заготовки, попадает на экран, излучение подложки и отражённое излучение интерферируют (перекрываются) световыми волнами (Рисунок 2.6.1). По мере деформации стороны инструмента и заготовки немного расширяются, а расстояние до лазера уменьшается на сотые доли микрона, отражаясь от экрана и записываясь в камеру. Чем больше деформация исследуемого объекта, тем большее количество полос наблюдается на экране.

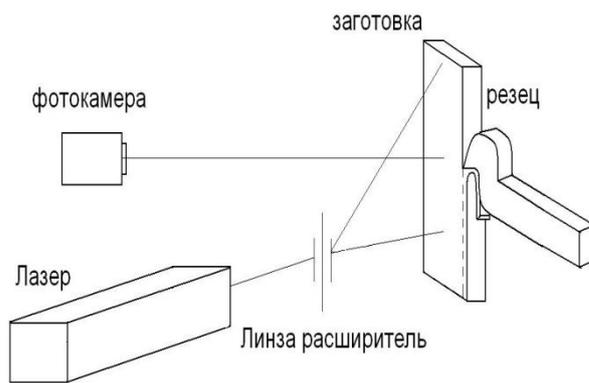


Рис. 2.6.1. Схема установки сканирования спеклограмм [12]

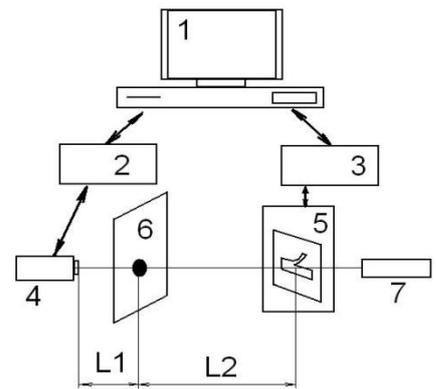


Рис. 2.6.2. Упрощённая схема установки сканирования спеклограмм [12]

Спеклограмма устанавливается на микро подвижный стол 5 с дистанционным управлением (рис. 2.6.2). Эти движения выполняются двумя микро шаговыми двигателями, которые управляются персональным компьютером 1 с помощью встроенного интерфейса 3. Точечный рисунок освещается лазерным лучом 7 с диаметром луча 0,8 мм и выходной мощностью 25 мВт. Изображение волны пластической деформации, полученное путём дифракции от спекла-интерферометра, формируется на полупрозрачном экране 6, тем самым уменьшая интенсивность центрального ореола. На фиксированном

расстоянии L2 за экраном находится видеоманитофон 4. Сигнал с камеры поступает на встроенный компьютерный интерфейс 2 для оцифровки телевизионного сигнала и подачи данных для программного управления в оперативную память компьютера [12].

2.7. Поляризационно-оптический метод

Для расчёта прочности режущего инструмента необходимо знать распределение контактных напряжений на поверхности режущего клина. Экспериментальное изучение распределения очень трудоёмко и требует специальных дорогостоящих приборов.

Поляризационно-оптический метод позволяет определить характер распределения напряжений, изменение коэффициента трения вдоль передней поверхности резца, но возможна обработка. На низких скоростях можно резать только мягкие

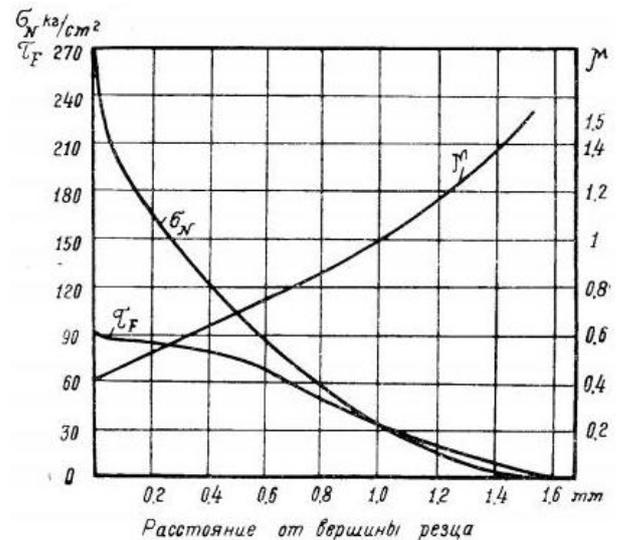


Рис. 2.7.1. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности резца при обработке свинца [5]

материалы (например, свинец, кадмий и т.д.). Таким образом, резец изготавливается из оптически активных материалов, например плексигласа, оптические свойства которого изменяются при изменении внутренних напряжений.

Когда поляризованный монохроматический свет проходит через прозрачный плоский резец, чередующиеся полосы наклоняются из-за интерференции света. Чем ближе полосы расположены друг к другу, тем больше главное напряжение в облучённой области.

Обычно поляризационно-оптический метод используется для получения картины распределения напряжений в режущем клине, а уже по их величине на границе резца судят о величине контактных напряжениях на передней и задней поверхностях инструмента (рис. 2.7.1).

Важным достоинством этого метода является то, что характер распределения напряжений остаётся справедливыми для любых непрозрачных однородных материалов [4, 5, 7]. Но величину внутренних напряжений при обработке сталей и других труднообрабатываемых материалов определить этим методом невозможно.

Поляризационно-оптический метод лишь моделирует процесс резания и не позволяет измерять контактные нагрузки при применении реальных инструментальных и обрабатываемых материалов.

2.8. Влияние вида внешнего нагружения на НДС режущего клина

Приложение силы резания к передней поверхности, может быть, в виде концентрации физических составляющих нормальной силы N и касательной силы F . Виды приложения внешних (контактных) напряжений подразделяются:

- приложение сосредоточенных составляющих силы резания (рис. 2.8.1. а);
- приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок (рис. 2.8.1. б);
- приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение (рис. 2.8.2.).

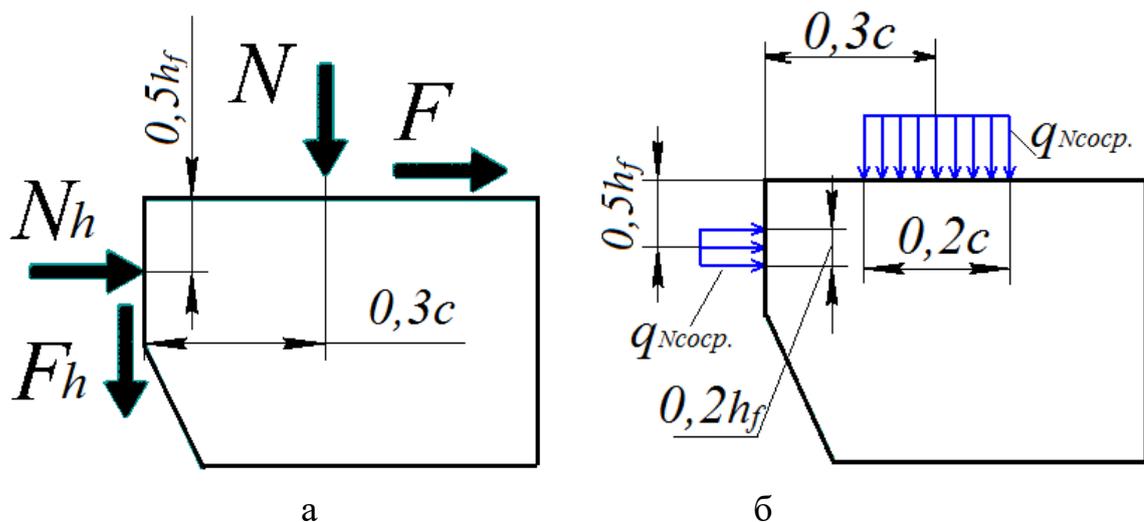


Рис. 2.8.1. Приложение сосредоточенных составляющих силы резания: а – точки приложения сосредоточенных сил; б – замена сил, приложенных в точке, на равномерно распределённые контактные нагрузки на небольшом участке в этой области (на рисунке указано распределение только нормальных нагрузок)

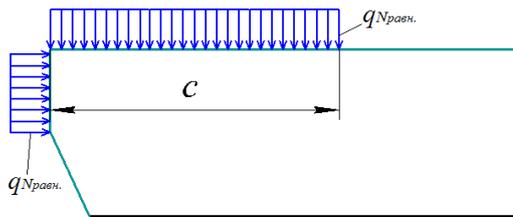


Рис. 2.8.2. Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок

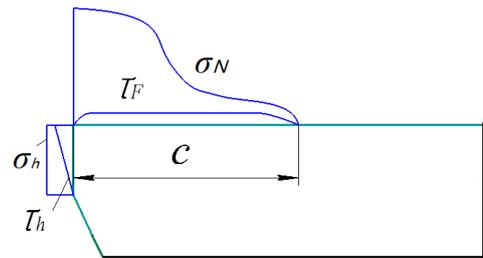


Рис. 2.8.3. Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение

При анализе напряжённо-деформированного состояния (НДС) исследуются нормальные, касательные и эквивалентные внутренние напряжения. Среди этих напряжений эквивалентные напряжения являются сами важными для оценки прочности режущих инструментов.

Основываясь на понимании деформации материала и механики разрушения, критерий прочности Писаренко-Лебедева имеет высокий уровень достоверности (>92%) и описывается как выражение эквивалентной силы

$$\sigma_{\eta} = \chi \times \sigma_t + (1 - \chi) \times \sigma_1 \times p \leq \sigma_{\sigma}$$

$\chi = \sigma_{\sigma} / \sigma_{- \sigma}$ - константа материала при данных

$\sigma_{\sigma}, \sigma_{- \sigma}$ - Конечное значение сопротивления материала при одноосном растяжении и сжатии. Рассмотрим интенсивность напряжения в точке

$$\sigma_t = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}.$$

Расчёты НДС методом конечных элементов показали, что использование сосредоточенных сил недопустимо для правильной оценки НДС, а использование равномерно-распределённых нагрузок даёт уменьшение наибольших напряжений в СМП по сравнению с применением реального распределением на 27% [14].

2.9. Процесс образования стружки при обработке металлов

В процессе резания между материалом заготовки и формованной стружкой существует определенная чётко выраженная переходная зона, называемая зоной образования стружки. Условно область резки металла можно разделить на три зоны деформации (рис. 2.9.1).

Зона I (OAMSO) - основная переходная зона. OA - нижняя граница исходной области деформации, а OM - верхняя граница исходной области деформации. Нижняя граница OA — это весь монослой не модифицированных металлических частиц. Верхняя граница OM — это металлические частицы, принадлежащие микросхеме.

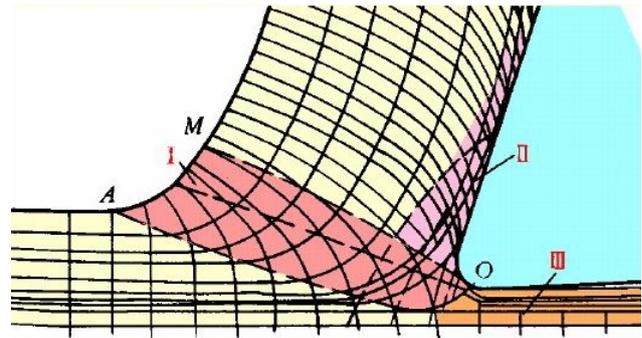


Рис. 2.9.1. Три зоны деформации и скольжения при резании металла

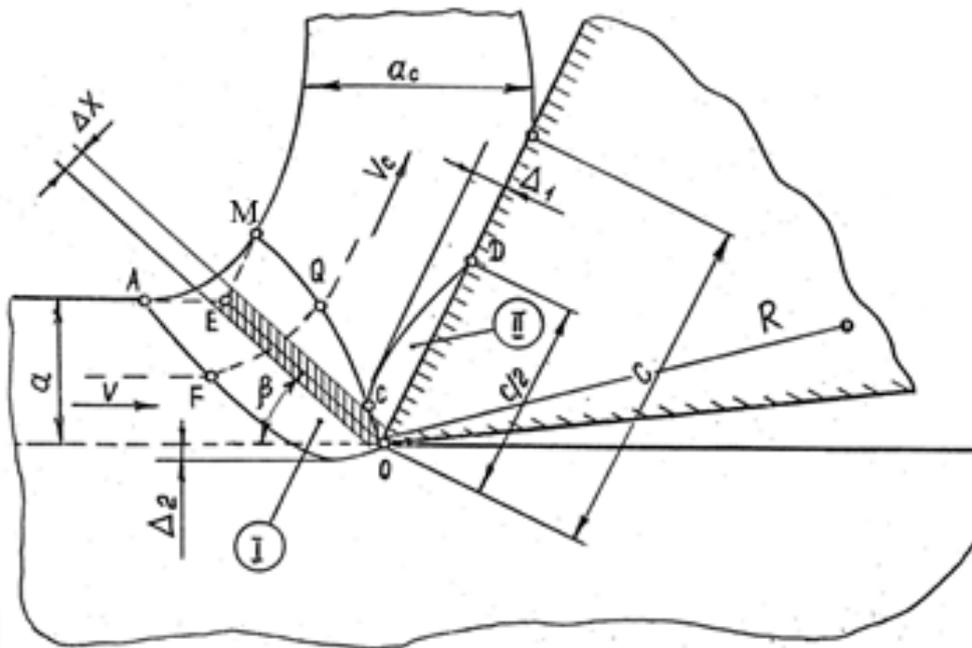


Рис. 2.9.2. Зоны первичной и вторичной деформации при превращении срезаемого слоя в сливную стружку

Частицы в режущем слое движутся относительно инструмента со скоростью резания V . Деформация начинается в точке F и заканчивается в точке Q . При этом частицы приобретают скорость V_c , равную скорости стружки (рис. 2.9.2).

В практических условиях область I (периферийная форма) имеет конечный размер, и ее граница находится вблизи линии OE , которая наклонена под определенным углом (угол сдвига) к плоскости резания. Поэтому можно предположить, что деформация сдвига происходит в тонком слое толщиной X вдоль линии OE . В этом идеальном случае процесс

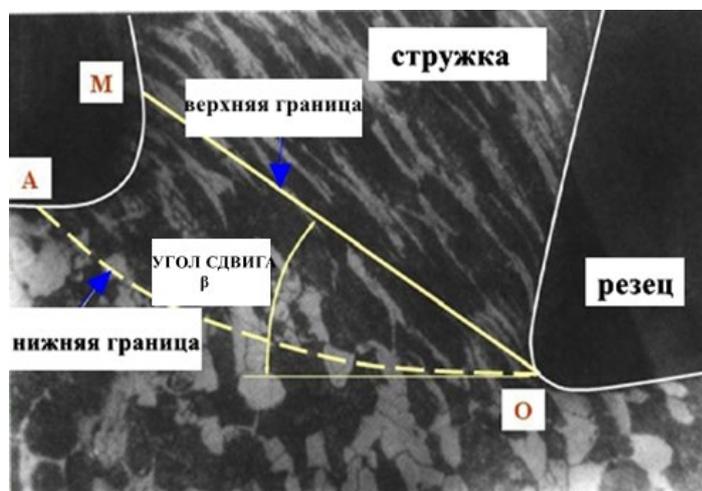


Рис. 2.9.3. Металлографическое фото реза с корнем стружки на передней поверхности (передний угол больше 0)

образования стружки можно представить как непрерывное срезание тонкого слоя материала по всему существующему сечению (рис. 2.9.3).

Из-за трения между стружкой и поверхностью инструмента частицы металла, прилегающие к поверхности контакта, продолжают деформироваться после выхода из зоны первичной деформации. Это образует область II, область вторичной пластической деформации, длина которой s_1 приблизительно равна $s/2$.

Площадь контакта поверхности стружки в основном создаёт сопротивление трения инструмента, что приводит к износу поверхности инструмента. В зависимости от длины контакта между стружкой и поверхностью инструмента эта область может быть разделена на две области. Первая область является областью пластического контакта s_1 , а вторая область является областью упругого контакта и имеет длину, равную разнице между $s-s_1$;

Существует два типа трения между стружкой и поверхностью инструмента, а именно внутреннее и внешнее трение.

Пластический контакт (c_1) характеризуется наличием контактного слоя между стружкой и передней поверхностью режущего инструмента и внутренним трением между нижним слоем и передней поверхностью стружки. В этой части имеется слой задержки, в котором чип не перемещается на лицевой стороне, а перемещается в слое задержки, и сопротивление перемещению чипа определяется прочностью на сдвиг контактного слоя чипа. Таким образом, внешнее трение скольжения здесь отсутствует, а заменяется так называемым "внутренним трением", т.е. силами сдвига между отдельными слоями стружки.

Вторая часть — это зона упругого контакта, где стружка непосредственно соприкасается с контактной поверхностью. Эта область характеризуется внешним трением скольжения, в то время как сопротивление движению стружки зависит от трения между стружкой и панелью. Однако, поскольку стружка не покрыта оксидом панели, коэффициент трения намного больше, чем при обычном трении, так как стружка прилипает к поверхности инструмента.

Зона III - основная особенность третьей зоны деформации состоит в том, что обрабатываемая поверхность подвергается вдавливанию под округлённую режущую кромку, а после прохождения под этой округлённой частью

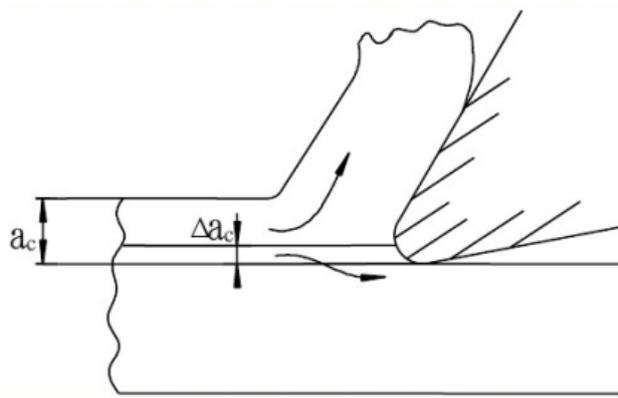


Рис. 2.9.4. Деформация металла на задней поверхности в третьей зоне деформации

поверхность заготовки немного восстанавливается и контактирует с задней поверхностью инструмента, что приводит к её изнашиванию и нагреву. Дополнительная пластическая деформация поверхности среза приводит к её

упрочнению и увеличению остаточных напряжений. Третья зона деформации оказывает большое влияние на качество обрабатываемой поверхности и износ инструмента (Рис. 2.9.4).

Тонкий слой металла толщиной Δa_c становится обработанной поверхностью после пластической деформации, вызванной экструзией режущего клина.

Большое влияние на качество обработанной поверхности оказывает вид стружки.

Сливная стружка. Образуется при обработке пластичных материалов с большими скоростями резания резцами и большими передними углами, и небольшими подачами.

Суставчатая стружка. Низкая скорость резания, большая толщина режущего слоя, малый угол наклона и высокая скорость подачи при обработке металлов средней твёрдости.

Элементная стружка. Он образуется при обработке твёрдой конструкционной стали с низкой пластичностью, и толщина режущего слоя очень велика при низких скоростях резания.

Стружка надлома. Он образуется при механической обработке хрупких материалов. Это приводит к разрушению и повреждению материала под действием силы, приложенной к инструменту.



Рис. 2.9.5 Фотография разных видов стружек [21]

Образование нароста при обработке металлов

При резке легкоплавких металлов на кромке реза часто можно обнаружить куски металла шва (рис. 2.9.5). Заращение ухудшает шероховатость обработанной поверхности. Положительный эффект диффузии заключается в изменении формы передней части инструмента, что увеличивает угол наклона и уменьшает силу резания. Нарост защищает инструмент от изнашивания, увеличивает его стойкость. Однако при отрыве плотно приварившегося нароста может происходить отламывание небольших объёмов инструмента.

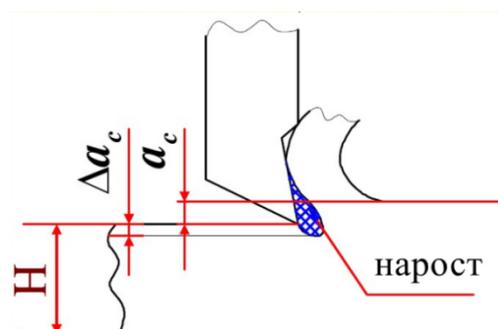


Рис. 2.9.5 Положение нароста при обработке металлов

3. Методика выполнения исследования

3.1. Определение технологических составляющих сил резания

На прочность режущего инструмента большое влияние оказывает передний угол γ , который измеряется в главной секущей плоскости режущего клина N-N (рис. 3.1.1). Проще всего рассматривать этот угол при токарной обработке (рис. 3.1.2), но и для других видов обработки его определение будет аналогичным. С увеличением переднего угла уменьшаются силы резания, но уменьшается и площадь сечения режущего клина, что может привести к поломке инструмента.

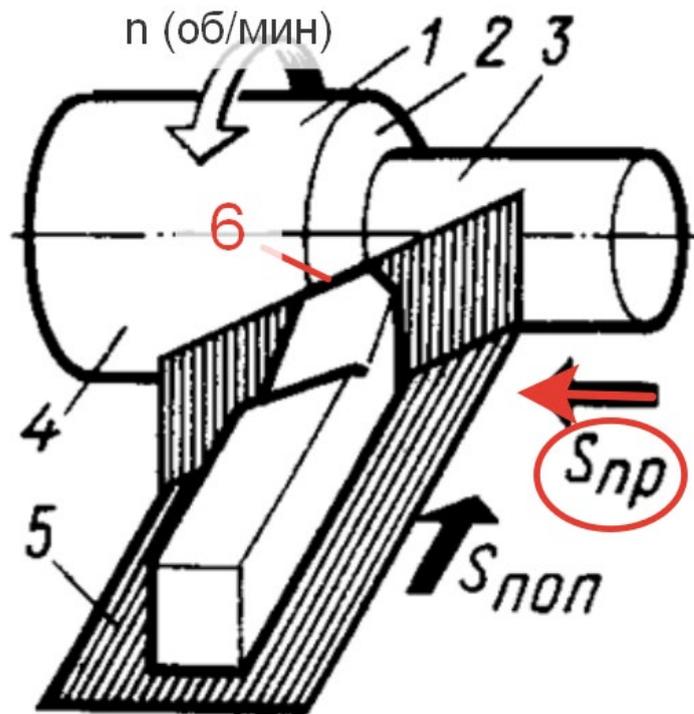


Рис. 3.1.1. Поверхности и плоскости при точении.

1 – обрабатываемая поверхность, 2 – поверхность резания, 3 – обработанная поверхность, 4 – плоскость резания (касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку б); 5 – основная плоскость (плоскость, параллельная продольному $S_{пр}$ и поперечному $S_{поп}$ перемещениям инструмента)

На передней поверхности режущего инструмента действуют физические составляющие силы резания P : в главной секущей плоскости режущего клина измеряются нормальная сила N_{Π} и касательная сила F_{Π} , которые прикладываются к передней поверхности режущего инструмента.

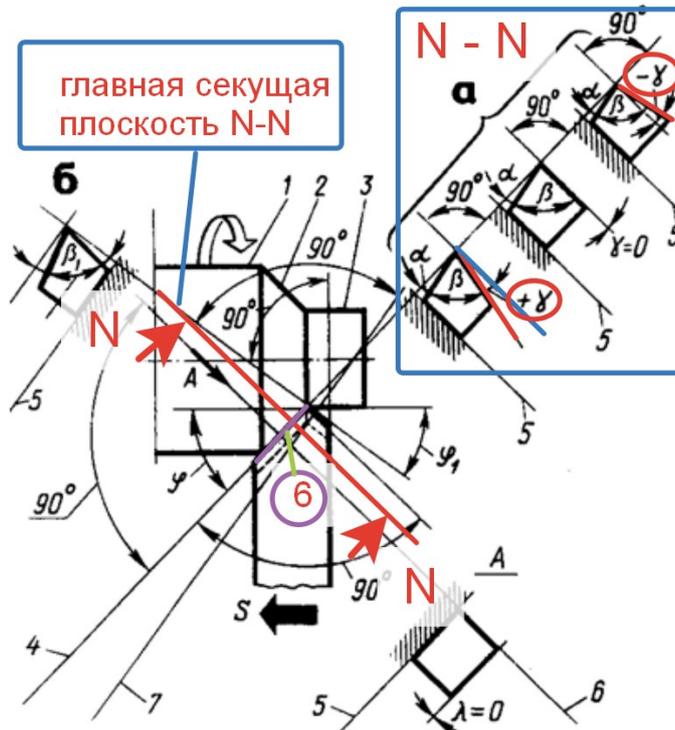


Рис. 3.1.2. Углы токарного резца γ , α , λ , ϕ , ϕ_1 , β , β_1 [2]

3.2 Расчёт физических составляющих силы резания по технологическим составляющим силы резания

Если главный передний угол γ не равен нулю, то напрямую физические составляющие силы резания N_{Π} и F_{Π} измерить невозможно. Поэтому с помощью динамометра Kistler измерялись технологические составляющие силы резания:

тангенциальная составляющая P_z , направленная вертикально вниз (рис. 3.2.1);

радиальная составляющая P_y , направленная от оси вращения заготовки в сторону оператора в основной плоскости (горизонтально); осевая составляющая P_x , направленная вдоль оси вращения заготовки от шпинделя в основной плоскости (горизонтально).

Результирующая сил P_y и P_x сила P_{xy} , действующая в главной секущей плоскости, рассчитывается по формуле:

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Измерение технологических составляющих сил на токарном станке с помощью динамометра Kistler 9257В (Рис. 3.2.3).

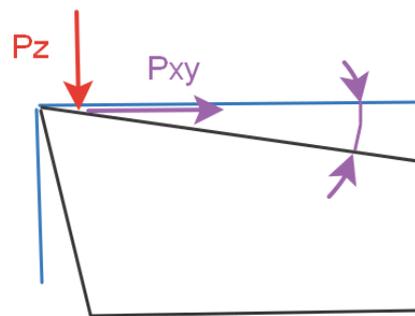


Рис. 3.2.1 Технологические P_z и P_{xy} составляющие силы резания

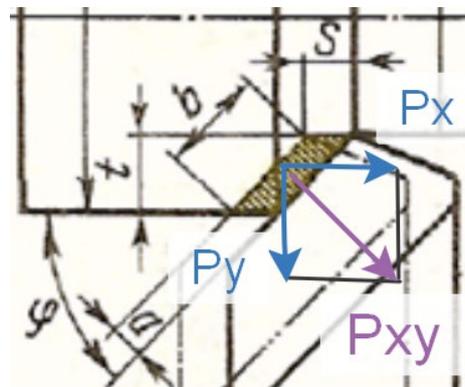


Рис.3.2.2 Технологические P_x и P_y составляющие силы резания P_{xy} , действующей в основной (горизонтальной) плоскости



Рис. 3.2.3 Установка реза в динамометр Kistler 9257В на токарном станке(а), настройка усилителя для измерения технологических составляющих силы резания (б), демонстрация на экране изменения составляющих силы резания в процессе резания и их запись отдельным файлом

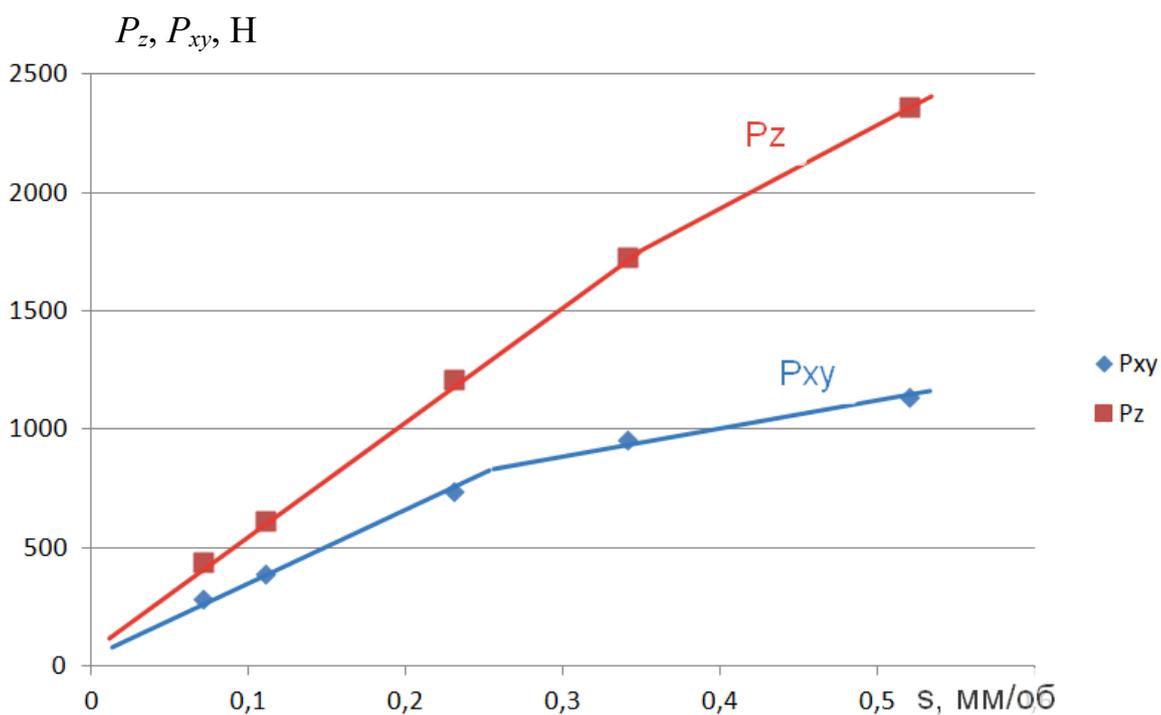


Рис. 3.2.4 Влияние подачи s (мм/об) на составляющие силы резания P_{xy} и P_z (Н) при прямоугольном свободном резании стали 40Х при переднем угле $\gamma = 7^\circ$

Измерение технологических составляющих P_z , P_x и P_y сил резания при фрезеровании является очень сложной задачей. Это связано с поворотом зуба фрезы или СМП относительно оси вращения фрезы и изменением не только величины этих сил из-за изменения толщины срезаемого слоя a_i (рис. 3.2.6), но и изменения направления их действия (рис. 3.2.6). Равнодействующая R будет изменять не только свою величину, но и изменять направление своего действия.

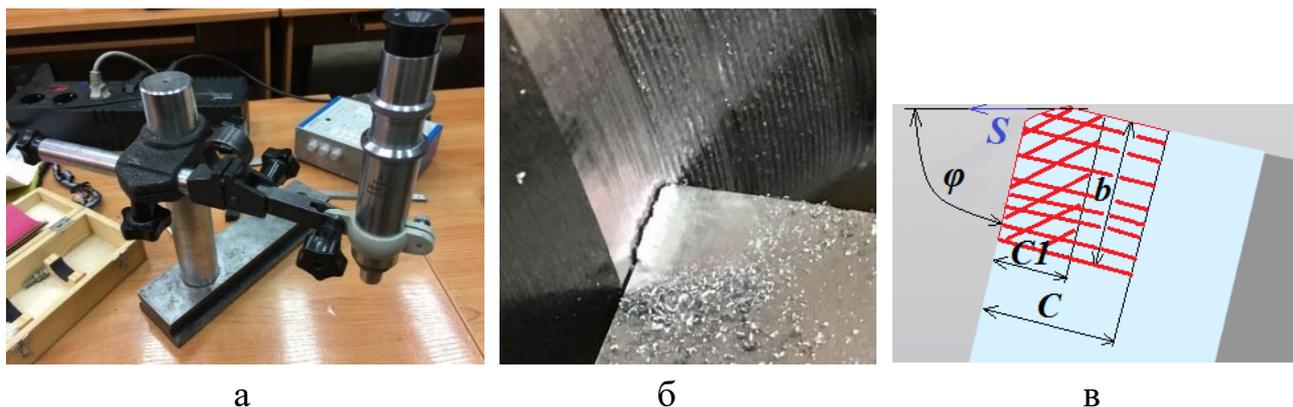


Рис. 3.2.5 Портативный микроскоп (а) для измерения общей длины контакта стружки с передней поверхностью резца c (мм) и длины пластического контакта c_1 (мм), нарост на резце (б) и расположение участка пластического контакта c_1 на длине c . b – ширина среза (мм)

Поэтому было решено измерять технологические составляющие силы резания при токарной обработке, но оперировать потом не подачей s (мм/об), а толщиной среза a (мм), поскольку она является одним из основных факторов, влияющих на силу резания и при токарной обработке, и при фрезеровании. При токарной обработке толщина стружки a и ширина контакта b между стружкой и торцом рассчитываются по уравнению:

$$a = s \times \sin \varphi \text{ (мм)}, \quad b = t \times \sin \varphi \text{ (мм)},$$

где t – глубина резания (мм); φ – главный угол в плане ($^\circ$) (рис. 3.8 в).

При этом мы допускаем, что процесс резания при этих видах обработки протекает примерно одинаково при одинаковой величине толщины среза a , скорости резания v и геометрии режущего клина, в частности, переднего угла γ .

Наиболее часто при торцовом фрезеровании используется схема встречного фрезерования (рис. 3.2.6).

В начальный момент контакта с заготовкой зуб фрезы начинает резание с нулевой толщиной среза (рис. 3.2.6 б).

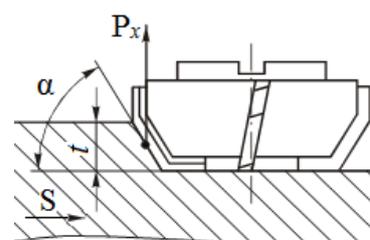
Образование стружки в этот момент не происходит, а подминаемый под режущую кромку металл оказывает большое радиальное давление на зуб фрезы. Дальнейшее вращение режущих зубьев увеличивает толщину среза a_i (мм).

Формула $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, где ψ - угол окружности, образованной радиусом от центра оси вращения инструмента до текущего положения контрольной точки.

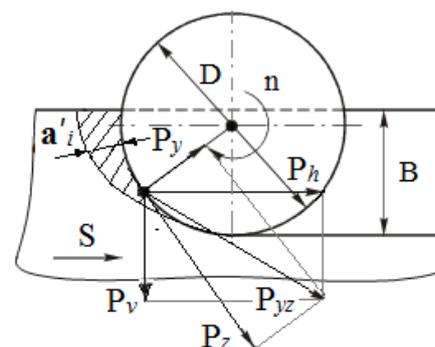
Вследствие увеличения толщины среза a_i компоненты силы резания увеличиваются до момента касания зубом заготовки. После этого они резко снижаются до нуля.

Для расчёта корпуса фрезы на прочность достаточно знать изменение физических составляющих силы резания. При исследовании напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина зуба необходимо знать распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях, т.к. это существенно влияет на результат [14].

При измерении компонентов силы резания с помощью трёхкомпонентного динамометра регистрируется изменение технической составляющей силы резания: $P_{hд}$ (действует на горизонтальной плоскости в направлении относительно вектора подачи $s_{мин}$), $P_{vд}$ (действует на уровне в плоскости, перпендикулярной направлению подачи $s_{мин}$) $P_{xд}$ (действует по оси вращения



а



б

Рис. 3.2.6. Направление составляющих силы резания при несимметричном встречном фрезеровании торцовой фрезой: а – вид сбоку; б – вид сверху

инструмента, т.е. в вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению движения $s_{\text{мин}}$).

Из-за вращения инструмента и вращения компонентов силы резания P_z и P_y вокруг оси вращения инструмента, трудно измерить физические компоненты силы резания, действующие на зубья инструмента. Поэтому в случае $\varphi=45^\circ$, оставшегося после резания предыдущим инструментом, при установке главной режущей кромки токарного резца в плоскость, режущая кромка торцевой фрезы играет доминирующую роль в плоскости, а дополнительный припуск на резание $\varphi=45^\circ$ обеспечивается при начальном контакте, когда коническая часть заготовки становится "имитированной". Контакт инструмента обеспечивается сразу по всей длине режущей кромки.

Поэтому в исследованиях НДС СМП может рассматриваться четыре этапа: 1) врезание с $a_i = 0$ мм, когда происходит внедрение зуба фрезы в заготовку, но стружка на передней поверхности ещё не образуется и металл вдавливается по режущую кромку зуба фрезы или СМП; 2) начальное установившееся резание, когда стружка уже образуется и движется по передней поверхности, т.е. $a_i > 0$ мм. По мере вращения режущих зубьев толщина среза $a_i = s_z \cdot \sin \psi$ и постепенно увеличивается и, следовательно, увеличивается составляющая силы резания. 3) На заключительной стадии резания, когда толщина среза максимальна, $a_i = a_{\text{max}}$, что происходит перед выходом зубьев из контакта; 4) выход зуба из контакта с заготовкой, во время которого внешняя нагрузка на зуб резко прекращается, в результате чего напряжения в режущем клине становятся с противоположным знаком и могут быть сопоставимы по абсолютной величине с предшествующими окончанию резания.

В данной работе исследовались процессы при образовании стружки, т.е. рассматривалось установившееся резание. Поэтому использование токарной обработки как моделирование процессов, происходящих при фрезеровании, нами считается правомерным, если толщина среза a_i в этот момент одинакова.

Для исследования влияния износа на составляющие силы резания на

главной задней поверхности режущей пластины затачивалась фаска длиной $h_3 = 0,95$ мм, измеряемая перпендикулярно главной режущей кромке, с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности [11]. Радиус округления режущей кромки $\rho = 0,003$ мм соответствовал естественной заточке инструмента [11, 23].

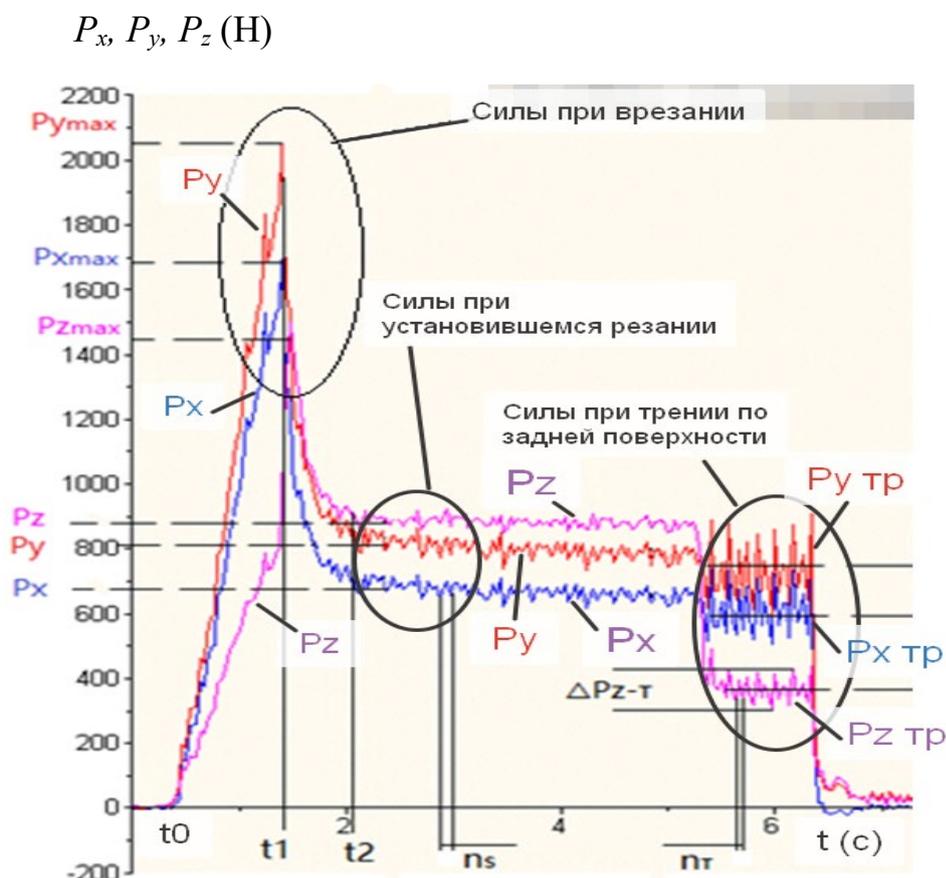


Рис. 3.2.7. Изменение составляющих силы резания P_x , P_y , P_z (Н) в зависимости от времени t (с). Подача $s = 0,34$ мм/об, длина фаски износа на задней поверхности $h_3 = 0,95$ мм, скорость резания $v = 120$ м/мин, глубина резания $t = 2$ мм, 40Х – Т15К6. Ордината – составляющие силы резания P_x , P_y , P_z (Н), абсцисса – время обработки t (с)

После измерения технических составляющих P_z , P_y и P_x сил резания при различных скоростях подачи и глубинах резания с самой длинной фаской $h_3 = 0,95$ мм, инструмент был переточен только на главной задней части для обеспечения заднего стола. Угол фаски $\alpha_h = 0^\circ$. Постоянно уменьшая длину фаски за счет повторного шлифования поверхности, можно получить данные об изменении

силы фаски на задней поверхности для различных скоростей подачи и глубин резания.

При врезании токарного резца происходит сначала увеличение всех составляющих силы резания до момента образования стружки, после чего силы уменьшаются до величины, характерной для установившегося резания (рис. 3.10). Увеличение сил резания при врезании объясняется нами вдавливанием слоя металла под режущую кромку из-за наличия округления режущей кромки, что особенно сильно увеличивает составляющие P_y и P_x , т.е. результирующую P_{xy} . Тангенциальная составляющая P_z , **при врезании** являющаяся силой трения по задней поверхности, увеличивается по сравнению с установившемся резанием менее существенно, что связано с малым коэффициентом трения на фаске задней поверхности и на радиусном участке режущей кромки, контактирующего с поверхностью резания [3, 4, 5].

При установившемся резании острым резцом тангенциальная составляющая P_z становится больше P_x и P_y , но меньше P_{xy} , что говорит о среднем коэффициенте трения больше единицы (рис. 3.10). При анализе контактных процессов на передней поверхности необходимо оперировать не силами, а контактными напряжениями, распределение которых было получено методом разрезного резца [5, 9], а характер их распределения изучался поляризационно-оптическим методом [5] и лазерной интерферометрии [12].

После переточки по резца по задней поверхности он устанавливался в динамометр и производилась настройка на прежнюю глубину резания, однако она может быть установлена с погрешностями, связанными с **неточностью настройки лимба** поперечной подачи на ноль в разных сериях эксперимента, из-за упругой деформации системы СПИЗ (станок-приспособление-инструмент-заготовка) и с **особенностями самого процесса резания**.

Чтобы исключить эту **погрешность глубины резания** выполнялось измерение фактической глубины резания ($t_{факт}$) измерением диаметра заготовки до и после точения, а затем по фактической силе резания (например, $P_z_{факт}$) и

фактической глубине резания ($t_{факт}$) рассчитывались удельные силы резания (например, $q_{z факт}$), а затем **рассчитывались** составляющие силы резания (например, $P_{z расч}$) по задаваемой (настраиваемой) глубине резания ($t_{настр}$).

$$q_{pz} = q_{pz факт} = P_{z факт} / (t_{факт} \times s) \text{ (Н/мм}^2\text{) или (МПа);}$$

$$P_{z расч} = q_{pz факт} \times t_{настр} \times s \text{ (Н).}$$

Такой способ позволяет увеличить точность определения составляющих сил резания, что особенно важно для определения характера распределения контактных напряжений и их величины на искусственной фаске задней поверхности методом переменной фаски. Также предполагается, что сила, действующая на переднюю поверхность, не меняется даже при

изменении длины фаски и что контактное напряжение σ_{hi} и τ_{hi} в задней фаске i -том имеет малую зависимость от напряжения. В соседних частях, т.е. σ_{hi-1} и τ_{hi-1} , σ_{hi+1} и τ_{hi+1} .

Глубина резания t (мм) в расчётах уточнённых, или расчётных, технологических составляющих $P_{z расч}$ и $P_{zxy расч}$ силы резания принималась равной средней глубине резания $t_{ср}$ (мм) в серии экспериментов и называлась **условной** глубиной резания $t_{усл}$ (мм), чтобы отличать её от настраиваемой. Т.к. при исследовании старались выдержать настраиваемую глубину резания, то $t_{усл} \approx t_{настр}$ (мм).

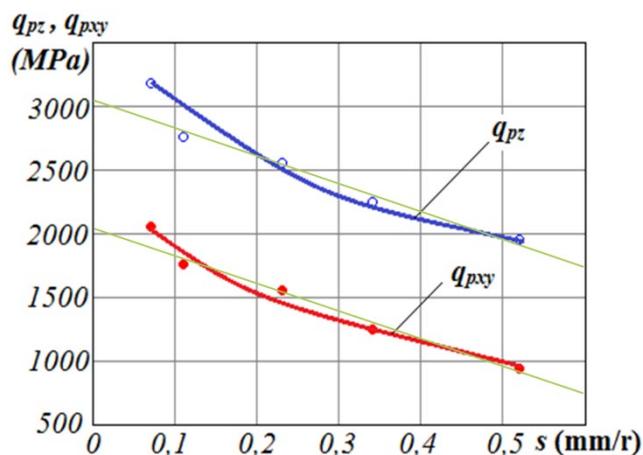


Рис. 3.2.8 Влияние подачи s (мм/об) на удельную силу резания (МПа) при обработке стали 40Х при длине искусственной фаски на задней поверхности $h_3=0,13$ мм. $t=2$ мм; $v=2$ м/с

4. Результаты экспериментов

4.1. Определение длины контакта стружки с передней поверхностью

Результаты измерения длины контакта стружки с передней поверхностью резца представлены на рис. 4.1.

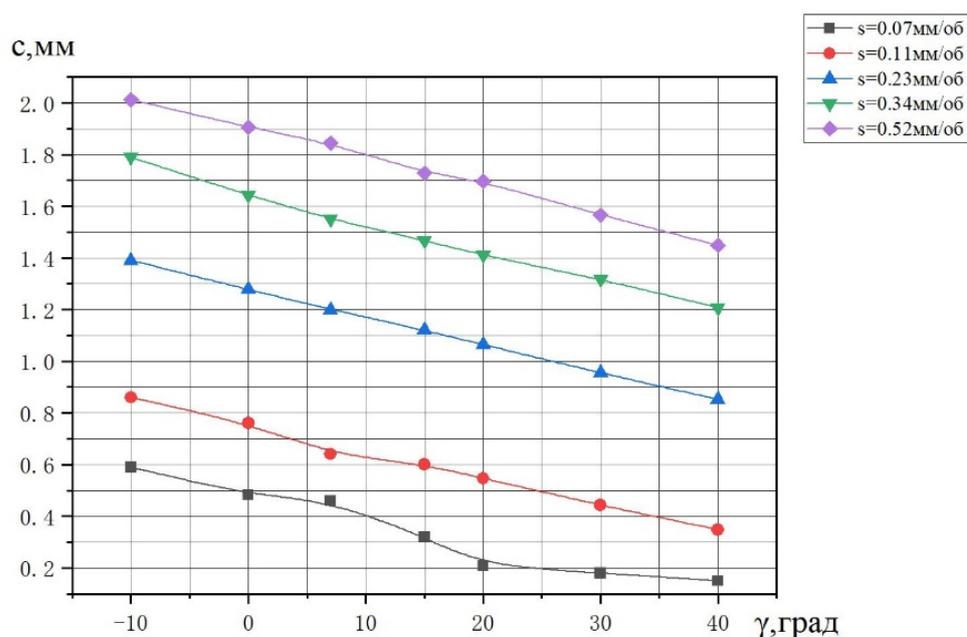


Рис. 4.1. Влияние величины переднего угла γ (°) на длину контакта c (мм) при обработке стали 40Х

По графикам рис 4.1 были построены графики влияния толщины среза a и величины переднего угла γ на длину контакта стружки с передней поверхностью c (рис 4.2). По графикам рис 4.1 были определены уравнения $c = f(\gamma)$ для $s = 0,07–0,52$ мм/об с помощью программного обеспечения **OriginLab**:

Для подачи $s=0,07$ мм/об, длина контакта $c = -0.01 \cdot \gamma + 0.5$ (мм);

Для подачи $s = 0,11$ мм/об, длина контакта $c = -0.01015 \cdot \gamma + 0.75$ (мм);

Для подачи $s = 0,23$ мм/об, длина контакта $c = -0.01074 \cdot \gamma + 1.28$ (мм);

Для подачи $s = 0,34$ мм/об, длина контакта $c = -0.01137 \cdot \gamma + 1.55$ (мм);

Для подачи $s = 0,52$ мм/об, длина контакта $c = -0.0115 \cdot \gamma + 1.905$ (мм).

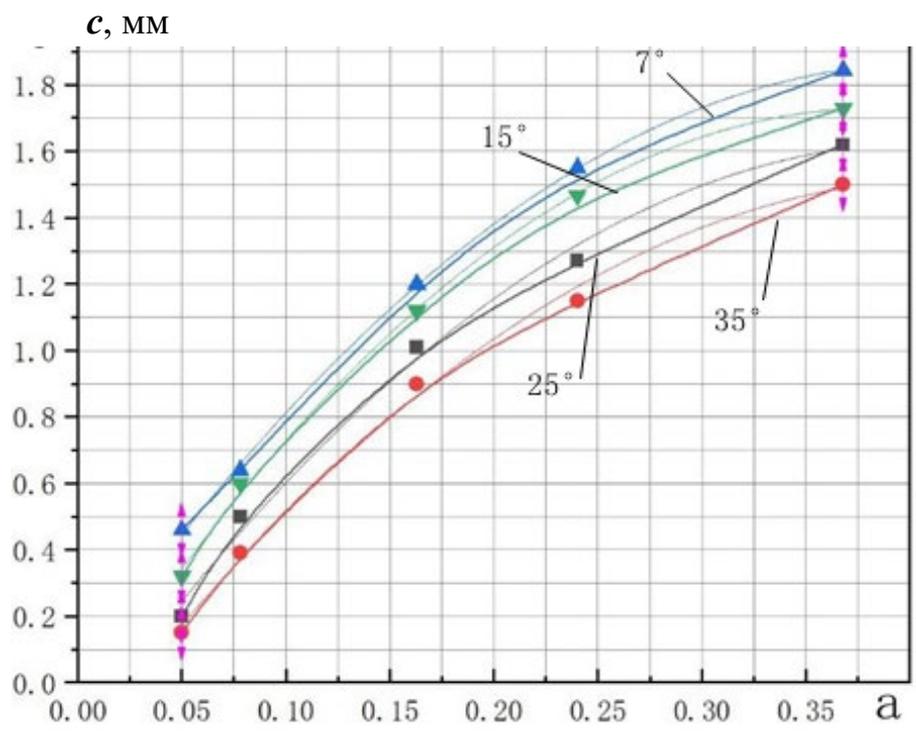


Рис. 4.2. Графики изменения длины контакта c (мм) от толщины среза a (мм) и переднего угла γ (°).

Точками и цветными линиями обозначены графики по результатам измерений. тонкими линиями – при расчёте по формулам $c = f(\gamma)$

По графикам рис 4.2 были определены уравнения $c = f(a)$ для $\gamma = +7^\circ$, $+15^\circ$, $+25^\circ$, $+35^\circ$ с помощью программного обеспечения **OriginLab**:

Если $\gamma = 7^\circ$, длина контакта $c = 0,026 + 8,955a - 10,903a^2$ (мм).

Если $\gamma = 15^\circ$, длина контакта $c = -0,103 + 9,564a - 12,483a^2$ (мм).

Если $\gamma = 25^\circ$, длина контакта $c = -0,016 + 8,728a - 10,638a^2$ (мм).

Если $\gamma = 35^\circ$, длина контакта $c = -0,205 + 8,105a - 9,507a^2$ (мм).

4.2. Расчёт физических составляющих сил резания

Расчёт физических составляющих силы резания N и F по технологическим составляющим P_z и P_{xy} при переднем угле $\gamma \neq 0^\circ$ выполняем по формулам, которые получаем из суммы векторов (рис. 4.3):

$$\vec{P}_z = \vec{N}_{Pz} + \vec{F}_{Pz}; \quad (1)$$

$$\vec{P}_{xy} = \vec{F}_{Pxy} + \vec{N}_{Pxy}. \quad (2)$$

Из этих формул получаем два уравнения (3) и (4) для расчёта физических сил резания:

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (3)$$

Второе слагаемое со знаком минус ($-N_{Pxy}$), т.к. эта составляющая направлена в обратном направлении по сравнению с направлением NP_z ;

$$F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma. \quad (4)$$

С помощью динамометра измеряем технологические силы P_z , P_x и P_y . Рассчитываем P_{xy} и заносим в таблицу 4.1. Рассчитываем физические составляющие силы резания и также заносим в таблицу 4.1.

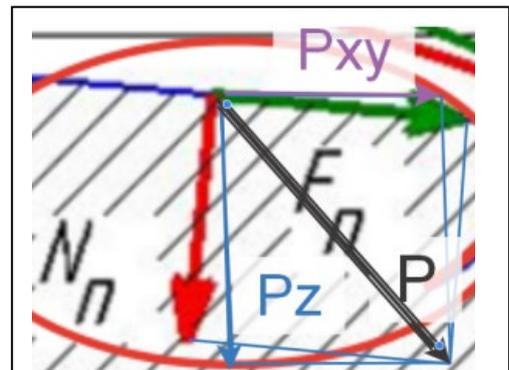


Рис. 4.3. Физические (N_p и F_p) и технологические (P_z и P_{xy}) составляющие силы резания P

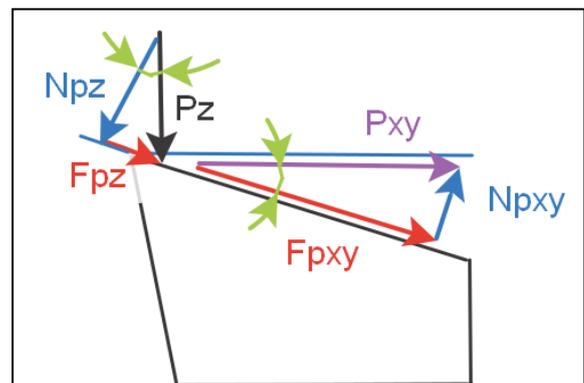


Рис. 4.4. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости

Табл. 4.1 – Силы резания, рассчитанные по удельным силам резания, полученных из экспериментов
при постоянной условной глубине резания $t=1,99$ мм

<i>a</i> , мм	<i>s</i> , мм/об	<i>Технологические средние силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +7^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм $\gamma = +7^\circ$, Н</i>				<i>Технологические силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, $\gamma = +15^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм $\gamma = +15^\circ$, Н</i>		
		$P_{xy\text{ ср}}$	$P_{z\text{ ср}}$	$\mu_{\text{ср}}$	<i>F</i>	<i>N</i>	$\mu_{\text{ср}}$		P_{xy}	P_z	$\mu_{\text{ср}}$	<i>F</i>	<i>N</i>	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	286	443	0,646	338	405	0,83		223	433	0,516	327	360	0,909
0,078	0,11	396	619	0,640	469	566	0,83		309	577	0,536	448	477	0,939
0,163	0,23	742	1216	0,610	885	1117	0,79		635	1087	0,584	894	886	1,010
0,240	0,34	961	1735	0,554	1165	1606	0,73		864	1592	0,543	1247	1314	0,949
0,368	0,52	1144	2370	0,483	1425	2214	0,64		1078	2222	0,485	1616	1867	0,866
<i>a</i> , мм	<i>s</i> , мм/об	<i>Технологические средние силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, и $\gamma = +25^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +25^\circ$, Н</i>				<i>Технологические силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, и $\gamma = +35^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +35^\circ$, Н</i>		
		$P_{xy\text{ ср}}$	$P_{z\text{ ср}}$	$\mu_{\text{ср}}$	<i>F</i>	<i>N</i>	$\mu_{\text{ср}}$		P_{xy}	P_z	$\mu_{\text{ср}}$	<i>F</i>	<i>N</i>	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	167	394	0,646	318	286	1.111		110	354	0.313	294	226	1.298
0,078	0,11	223	520	0,640	422	377	1.119		137	463	0.295	378	301	1.255
0,163	0,23	479	981	0,610	849	686	1.237		324	874	0.370	767	530	1.445
0,240	0,34	650	1414	0,554	1187	1007	1.179		436	1234	0.353	1065	761	1.400
0,368	0,52	817	1948	0,483	1564	1420	1.101		556	1674	0.332	1416	1059	1.346

Необходимость расчёта физических составляющих N_i и F_i силы резания вызвана необходимостью определения распределения контактных напряжений, напрямую связанных с длиной контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Без этих сил эпюры контактных напряжений правильно построить невозможно, а значит и рассчитать НДС инструмента.

4.3. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений

Недостатком наиболее точного и универсального метода разрезного реза являются высокая стоимость и большое время для проведения экспериментов из-за большой трудоёмкости изготовления и стоимости специальных режущих пластин и частой их поломкой при попадании стружки в зазор между пластинами.

Из-за перечисленных недостатков методов экспериментального определения эпюр контактных напряжений возникает необходимость разработки методики их расчёта.

1) После проведения эксперимента измеряется длина контакта со стружки с передней поверхностью инструмента c при различных передних углах γ .

2) На основании проведённых экспериментов строятся графики изменения длины контакта c от толщины среза a (см. рис. 4.5):

$a = s \times \sin \varphi$, где s – подача (мм/об) (рис. 4.5.) ; φ – главный угол в плане.

3) По экспериментальным точкам графиков изменения длины контакта c (мм) от толщины среза a (мм) с помощью программного обеспечения OriginLab определяется функциональная связь между c и a при разных передних углах γ [т.е. $c = f(a)$]:

например, при $\gamma = 7^\circ$ $c = 0,026 + 8,955a - 10,903a^2$ (мм).

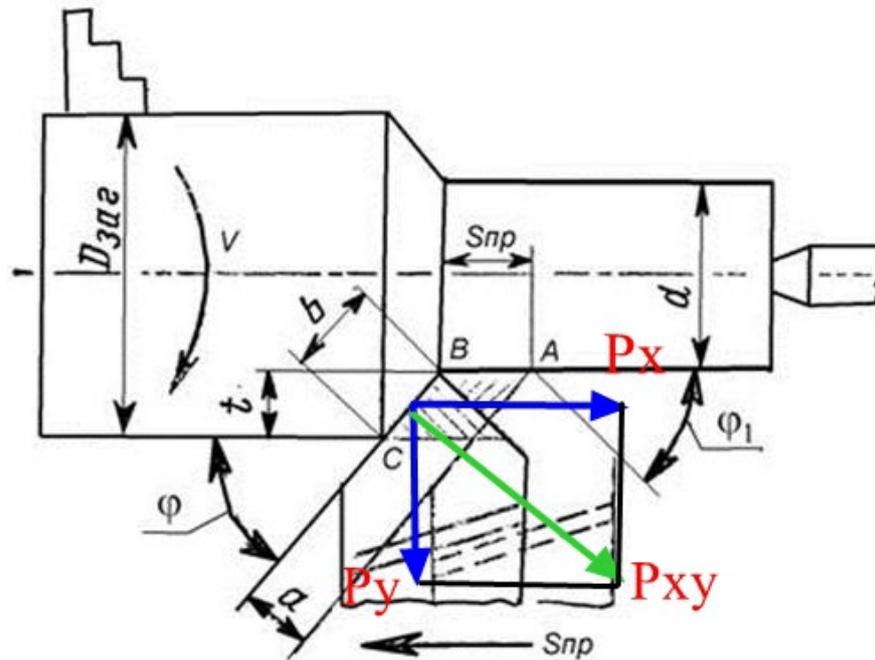


Рис. 4.5. Элементы резания при продольной токарной обработке

4) Рассчитайте касательные контактные напряжения на торце инструмента. Поскольку свойства мало связаны с условиями резания, мы начинаем расчет графиков с касательных контактных напряжений на передней части инструмента. При обработке прутком среднетвердой стали 40Х длина пластического участка, на котором стружка контактирует с вершиной инструмента, составляет $c_l \approx 0,5c$. На этом участке, т.е. $x_i < 0,5 \times c$, где x_i - расстояние в мм от режущей кромки до рассматриваемой точки, а распространение контактного напряжения сдвига параллельно фронту (на горизонтальном участке при $\gamma = 0^\circ$).

При дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры τ имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке $x_i = c$. Такой характер позволяет после простых преобразований использовать формулу

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{const}} = F / (c \times 0,75 \times b), \text{ (Н/мм}^2\text{) или (МПа)}$$

где τ_{const} - величина τ на горизонтальном участке этой эпюры;

F – касательная сила на передней поверхности (Н);

b – ширина контакта стружки с передней поверхностью инструмента (мм).

5) Строится эпюра касательных контактных напряжений (рис. 4.6).

Касательные контактные напряжения τ на участке пластического контакта имеют постоянную величину, а затем начинают уменьшаться до нуля в месте отрыва стружки от передней поверхности.

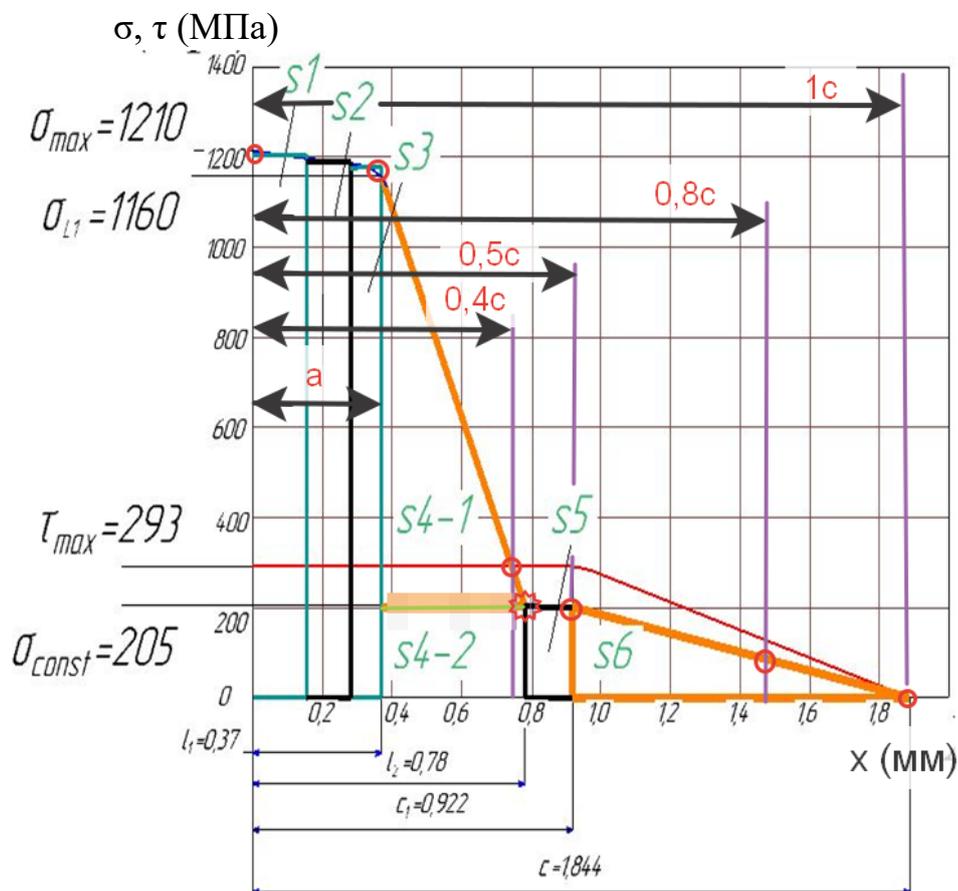


Рис. 4.6. Положение опорных точек при построении эпюры нормальных контактных напряжений σ и проверка правильности построения эпюр нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности резца.

Сталь 40Х – Т15К6, $\gamma = +7^\circ$

6) Переходим к построению эпюры нормальных контактных напряжений σ (МПа). Нормальные контактные напряжения σ имеют наибольшую величину у вершины режущего клина инструмента (рис. 4.6), монотонно убывая до $\sigma = \sigma_{\text{const}}$ в месте, где расстояние от режущего клина инструмента равно l_2 (должен быть хоть небольшой, но горизонтальный участок на эпюре σ). Потом σ продолжают монотонно убывать до нуля в месте отрыва стружки от передней поверхности.

В основе лежит закономерность соотношения τ/σ , т.е. изменение условного коэффициента трения $\mu = \tau/\sigma$ вдоль передней поверхности, которая согласно многочисленным исследованиям [1-5] для одной и той же пары обрабатываемого и инструментального материала мало зависит от режимов резания и переднего угла γ (рис. 4.7).

7) При относительной длине контакта $\psi = x_i/c \approx 0,4$, т.е. при $x = 0,4 \times c = 0,4 \times 0,46 = 0,184$ мм будет пересечение графика σ с графиком τ , т.к. в этой точке коэффициент трения $\mu=1$, то есть там $\tau = \sigma$.

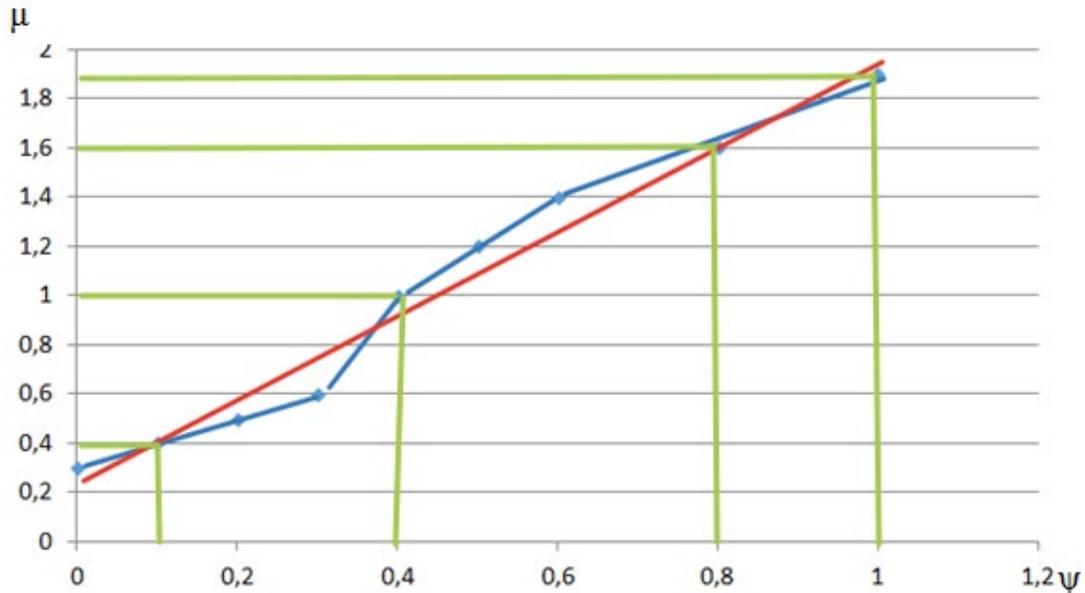


Рис. 4.7. Изменение условного коэффициента трения μ ($\mu = \tau/\sigma$) вдоль длины контакта стружки с передней поверхностью. $\psi_i = x_i/c$ – относительная длина контакта [5, 9]

8) На участке от l_2 до $x \approx 0,5c$ имеется горизонтальная линия у эпюры нормальных контактных напряжений σ , а при дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры σ имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке $x=c$.

9) В конце контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента в точке $\psi \approx 0,8$ (т.е. при $x \approx 0,8c$) должно быть $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$.

10) На расстоянии от режущей кромки $l_1 \approx a$ (мм) $\sigma_{l1} \approx (0,92 \dots 0,93) \times \sigma_{\max}$, т.к. там ещё нет стружки, она только формируется, давление от режущего инструмента идёт на заготовку, поэтому там у режущей кромки имеется примерно равномерное распределение нормальных напряжений σ .

11) Величину σ_{\max} задаём **сначала** приблизительно сами. Непосредственно у режущей кромки $\sigma_{\max} \approx 2 \sigma_B$ (где σ_B – временное сопротивление разрыву (МПа)). Временное сопротивление разрыву определяем в справочнике для данного материала и при данной термообработке, т.е. твёрдости НВ. Например, для стали 40Х в прутках (в состоянии поставки, т.е. без дополнительной термообработки) $\sigma_B = 560$ МПа).

12) Затем строим эпюру σ и корректируем её (поправляем), чтобы соблюдалось равенство $N = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx$, где x_i изменяется от 0 (координата у режущей кромки, т.е. при $x_i = 0$ мм) до $x_i = c$ (координата точки отрыва стружки от передней поверхности, т.е. при $x_i = c$). Для этого рассчитываем площадь эпюры σ как сумму площадей $s_{\sigma i}$ элементарных фигур (прямоугольников и треугольников), из которых можно отобразить эпюру σ : $S_{\sigma} = \sum s_{\sigma i}$ (МПа/мм).

13) Нормальная сила по эпюре σ $N_{\sigma} = S_{\sigma} \times b$ (Н) должна приблизительно быть равна нормальной к передней поверхности инструмента силе из эксперимента $N_{\text{эксперимента}}$ (Н), где b – ширины контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента, $b = t/\sin \varphi$.

Если требуется увеличить $N_{\text{эпюры}}$, то увеличиваем σ_{\max} .

14) Касательная сила по эпюре τ $F_{\tau} = S_{\tau} \times b$ (Н) должна приблизительно быть равна касательной к передней поверхности инструмента силе из

эксперимента $F_{\text{эксперимента}}$ (Н).

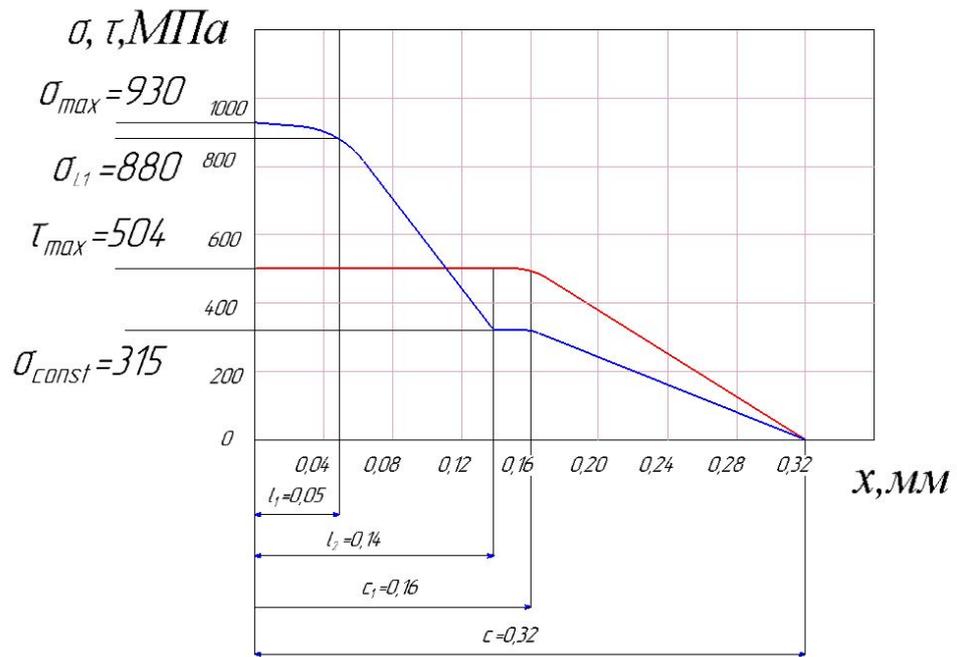


Рис. 4.8. Эпюры по физическим составляющим силам резания. Сталь 40X – Т15К6, $\gamma = +15^\circ$, $s = 0,07$ мм/об, $F_{\text{эксн}} = 341$ Н, $N_{\text{эксн}} = 335$ Н.

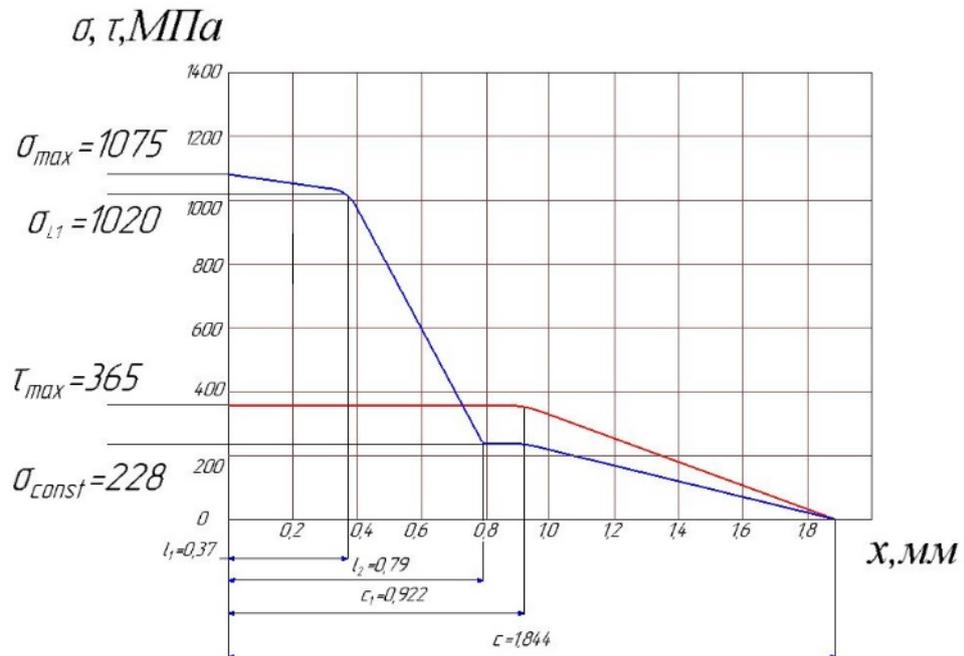


Рис. 4.9. Эпюра по физическим составляющим силам резания Сталь 40X – Т15К6, $\gamma = +7^\circ$, $s = 0,52$ мм/об, $F = 1425$ Н, $N = 2214$ Н

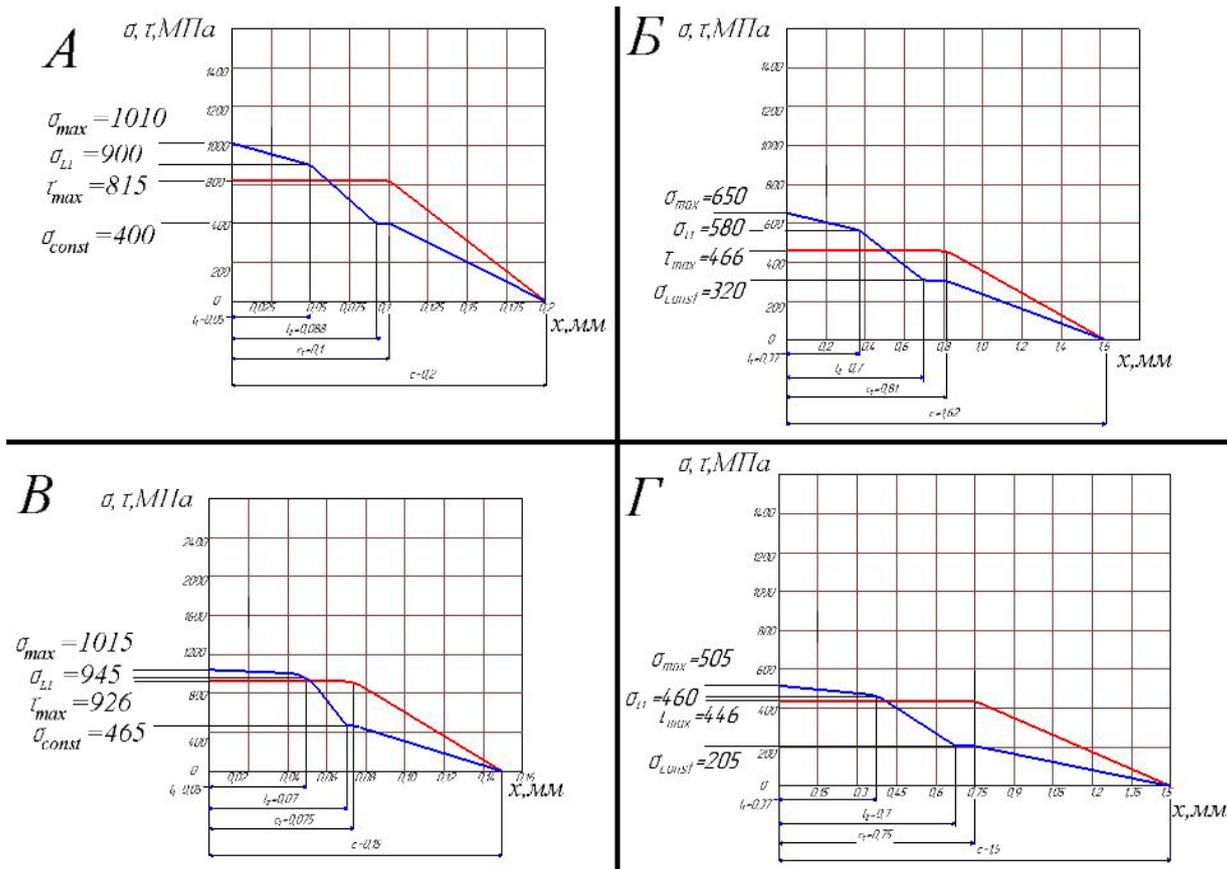


Рис. 4.10. Эпюры по физическим составляющим сил резания.

Сталь 40X – T15K6, $t = 1,99$ мм,

A - при $\gamma = +25^\circ$, $s = 0,07$ мм/об; Б - при $\gamma = +25^\circ$, $s = 0,52$ мм/об;

В - при $\gamma = +35^\circ$, $s = 0,07$ мм/об; Г - при $\gamma = +35^\circ$, $s = 0,52$ мм/об

4.4. Определение параметров эпюр контактных напряжений

Для облегчения построения эпюр контактных напряжений и анализа влияния переднего угла и толщины среза на эпюры контактных напряжений были построены графики влияния толщины среза a на основные параметры эпюр (рис. 4.4.1 – 4.4.4).

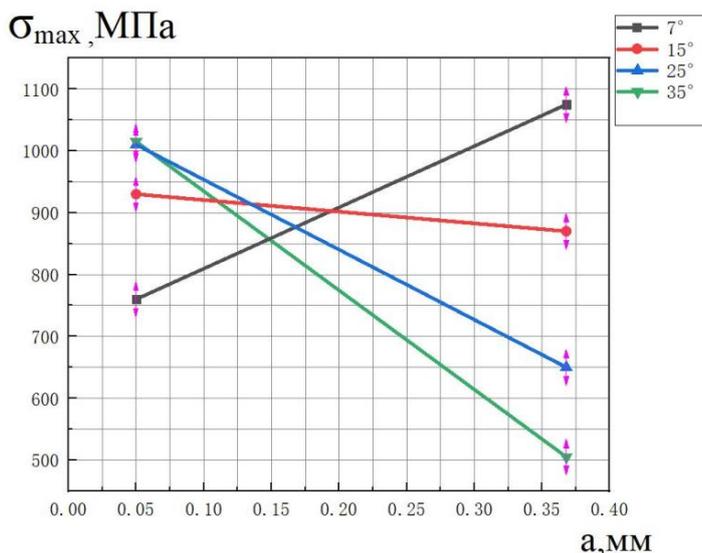


Рис. 4.4.1. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ (°) на наибольшую величину нормального контактного напряжения σ_{max} (МПа) у режущей кромки на эпюре нормальной физической составляющей силы резания N (Н) на передней поверхности. Сталь 40Х-Т15К6, $t=1,99$ мм.

Для $\gamma=7^\circ$: $\sigma_{max}=990,6a+710,5$ [МПа]; Для $\gamma=15^\circ$: $\sigma_{max}=-188,7a+939,4$ [МПа]
Для $\gamma=25^\circ$: $\sigma_{max}=-1132,1a+1066,6$ [МПа]; Для $\gamma=35^\circ$: $\sigma_{max}=-1603,8a+1095,2$ [МПа]

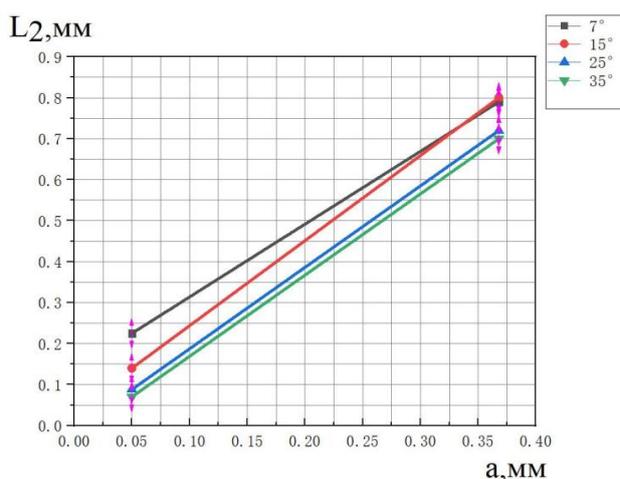


Рис. 4.4.2 Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ (°) на расстояние L_2 (мм) от режущей кромки до точки, где у эпюры нормальных контактных напряжений σ начинается горизонтальный участок. Сталь 40Х-Т15К6, $t=1,99$ мм.

Для $\gamma=7^\circ$ $L_2=1,78a+0,136$ [мм]; для $\gamma=15^\circ$ $L_2=2,08a+0,036$ [мм];
для $\gamma=25^\circ$ $L_2=1,987a-0,0114$ [мм]; для $\gamma=35^\circ$ $L_2=1,981a-0,029$ [мм]

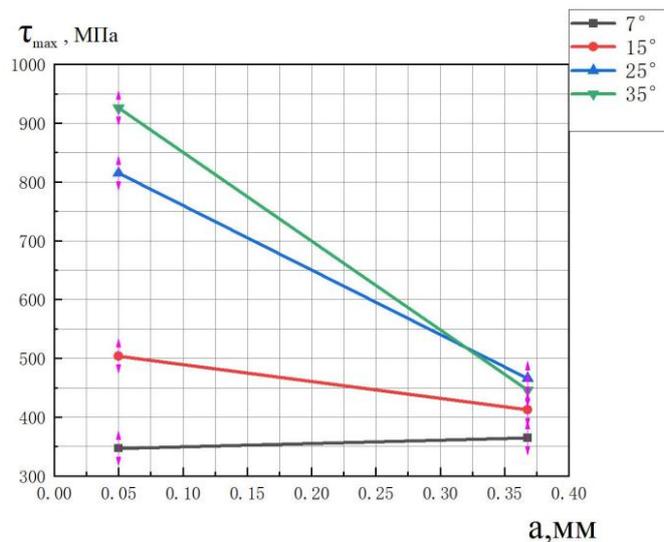


Рис.4.4.3. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) на наибольшую величину касательного контактного напряжения τ_{max} (МПа) у режущей кромки.

Сталь 40Х-Т15К6.

Для $\gamma=7^\circ$: $\tau_{max} = 56.6a + 344.2$ [МПа]; для $\gamma=15^\circ$: $\tau_{max} = -286.16a + 518.3$ [МПа]
 для $\gamma=25^\circ$: $\tau_{max} = -1097.48a + 869.87$ [МПа]; для $\gamma=35^\circ$: $\tau_{max} = -1509.43a + 1001.47$ [МПа]

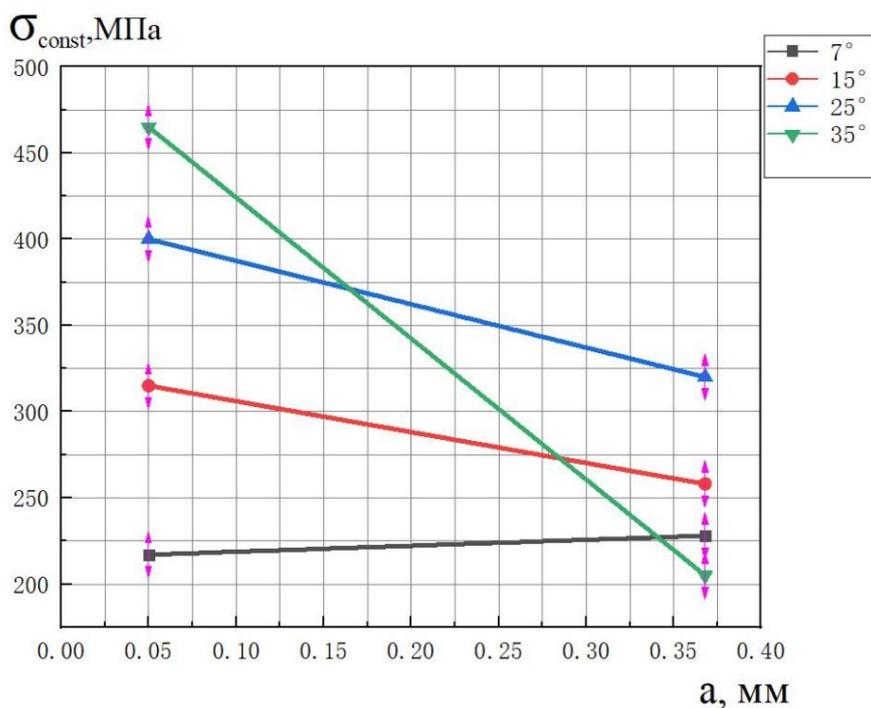


Рис. 4.4.4. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) на величину нормального контактного напряжения σ_{const} (МПа) на горизонтальном участке эпюры σ .

Сталь 40Х-Т15К6.

Для $\gamma=7^\circ$: $\sigma_{const} = 34.59a + 215.27$ [МПа]; для $\gamma=15^\circ$: $\sigma_{const} = -179.25a + 323.96$ [МПа];
 для $\gamma=25^\circ$: $\sigma_{const} = -251.57a + 412.58$ [МПа]; для $\gamma=35^\circ$: $\sigma_{const} = -817.61a + 505.88$ [МПа]

4.5. Расчёт физических составляющих силы резания, действующих на ограниченных участках контакта стружки

Эпюры контактных напряжений строятся по физическим составляющим силы резания. Для расчёта методом конечных элементов по программе ANSYS необходимо задавать нагрузку на каждом ограниченном участке поверхности контакта стружки с передней поверхностью инструмента в направлении технологических осей OZ, OX и OY.

При рассмотрении нагружения СМП в главной секущей плоскости оперируют обычно осью OZ и дополнительной осью, проходящей в главной секущей плоскости параллельно основной плоскости. При этом часто принимается, что составляющая сила резания $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ проходит в этой главной секущей плоскости N-N или в секущей плоскости $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$, приблизительно совпадающей с N-N.

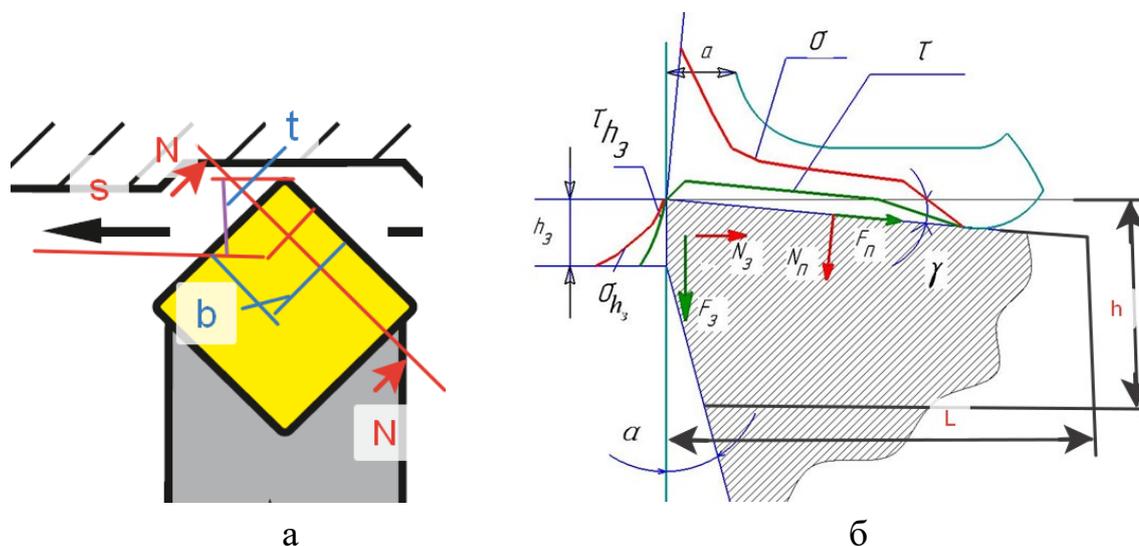


Рис. 4.5.1. Токарная обработка 4-х гранной СМП на виде в плане (а) и эпюры контактных напряжений в главной секущей плоскости N-N (б)

В главной секущей плоскости определяется (измеряется) главный передний угол γ . Если секущая плоскость $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$ не совпадает $N-N$, то передний угол γ^* в ней не будет равен γ , т.е. $\gamma^* \neq \gamma$. Т.к. погрешность $\Delta_\gamma = (\gamma - \gamma^*) \times 100\%$ не превышает обычно 10 %, то можно рассматривать силовое воздействие на резец в плоскости $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$, считая, что $\gamma^* \approx \gamma$.

В этом случае для нагружения СМП внешними нагрузками можно использовать все полученные эпюры при соответствующем переднем угле γ . Для упрощения описания дальнейших рассуждений вместо символа силы P_{xy} будем в дальнейшем использовать символ P'_y , т.е. $P'_y = P_{xy}$, а вместо обозначения дополнительной оси ОХУ писать «ось ОУ'».

При таком небольшом допущении для расчёта упрощённого режущего клина в сечении $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$ по программе ANSYS необходимо задавать нагрузку на каждом ограниченном участке поверхности контакта стружки с передней

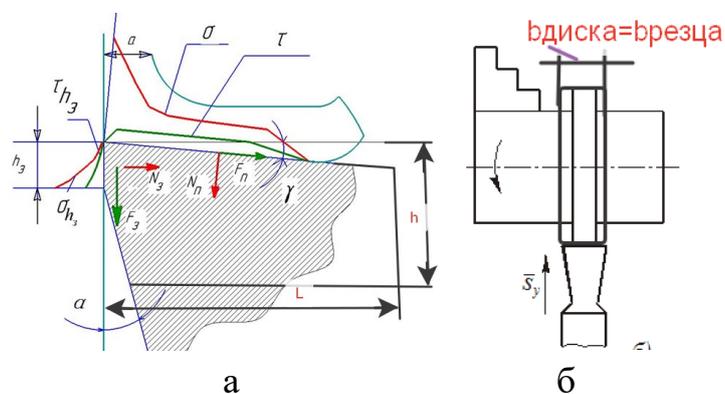


Рис. 4.5.2 Нагружение упрощённого режущего клина в главной секущей плоскости (а) сопоставимо с нагружением прямоугольной пластины резца при точении диска с радиальной подачей s (мм/об), $b_{\text{диска}} \geq b_{\text{резца}}$ (б)

поверхностью инструмента в направлении технологических осей ОZ и ОУ'. НДС упрощённого режущего клина в сечении $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$ сопоставимо с НДС резца при прямоугольном свободном резании (рис. 4.5.2 б).

Размеры h и L (рис. 4.5.2 а) устанавливаются при ограничении зоны расчёта НДС для уменьшения вероятности сбоя работы программы ANSYS при использовании компьютера недостаточной мощности.

При приложении внешней нагрузки в программе ANSYS переднюю поверхность модели режущего инструмента разбиваем на небольшие участки длиной $L_{pi} = 0,05-0,1$ мм и шириной b , равной ширине контакта стружки с передней поверхностью. На каждом i -том участке по эпюрам контактных

напряжений определяем физические силы N_i и F_i , которые прикладываем к соответствующему i -тому участку.

$$N_i = \sigma_{icp} \times L_{\pi i} \times b \text{ (Н)}; \quad F_i = \tau_{icp} \times L_{\pi i} \times b \text{ (Н)},$$

где: σ_{icp} - среднее контактное нормальное напряжение на участке $L_{\pi i}$;

τ_{icp} - среднее контактное касательное напряжение на участке $L_{\pi i}$.

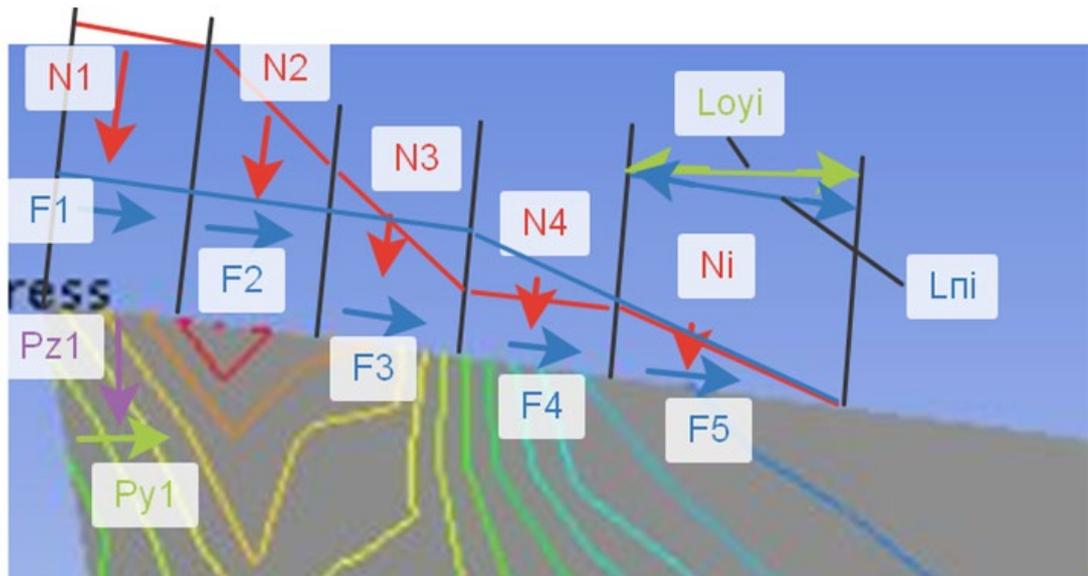


Рис. 4.5.3. Силы, определённые по эпюрам контактных напряжений σ и τ , на различных участках контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента

В программе ANSYS задаются силы, направленные вдоль осей OZ, OY и OX (или OY'). Поэтому рассчитанные физические составляющие на каждом участке преобразуем в технологические по соответствующим формулам. При рассмотрении сил в главной секущей плоскости необходимо добавить ось OXY, которую будем обозначать для упрощения записи как OY, т.е. $P_y = P_{xy}$. От физической силы N_i будут действовать две технологические составляющие: $P_{z N_i}$ и $P_{y N_i}$; от физической силы F_i будут действовать тоже две технологические составляющие: $P_{y F_i}$ и $P_{z F_i}$. Рассчитываем их по формулам:

$$P_{z N_i} = N_i \times \cos \gamma; \quad P_{y N_i} = N_i \times \sin \gamma; \quad P_{y F_i} = F_i \times \cos \gamma; \quad P_{z F_i} = F_i \times \sin \gamma, \text{ и}$$

записываются в таблицу 4.2.

Результирующие P_{zi} и P_{yi} этих технологических составляющих прикладываются на передней поверхности режущего инструмента к

рассматриваемому участку i длиной L_{ni} :

$$P_{zi} = P_{zNi} + P_{zFi}; P_{yi} = P_{yFi} - P_{yNi}.$$

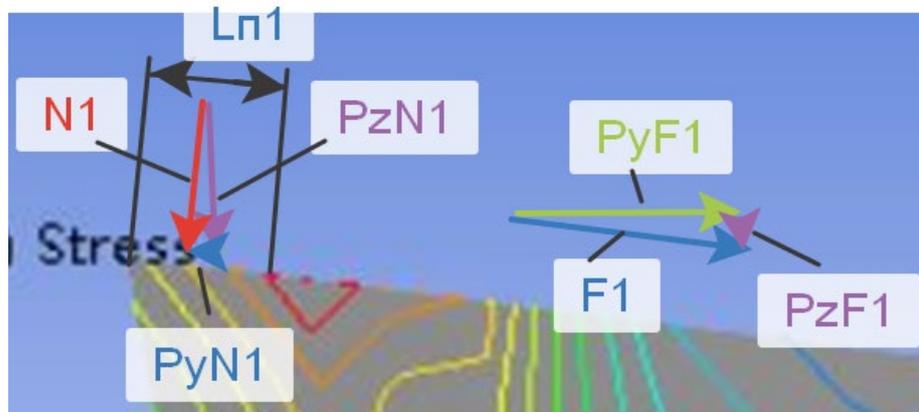


Рис. 4.5.4. Технологические составляющие P_{zN1} , P_{yN1} , P_{zF1} и P_{yF1} от действия физических составляющих N_1 и F_1 силы резания P .

Таблица 4.2 – Составляющие силы резания при расчёте НДС резца с шириной $b=5,64$ мм ($\gamma=7^\circ$, $s = 0,07$ мм ($a=0,05$ мм), $c=0,46$ мм, сталь40X - T15K6)

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка L_{ni} , мм	σ_i , МПа	N_i , Н	P_{zNi} , Н	P_{yNi} , Н	τ_i , МПа	F_i , Н	P_{yFi} , Н	P_{zFi} , Н	P_{zi} , Н	P_{yi} , Н
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
1	0-0,05	735	207	205	25	347	98	97	12	217	72
2	0,05-0,1	638	180	179	22	347	98	97	12	191	75
3	0,1-0,15	498	140	139	17	347	98	97	12	151	80
4	0,15-0,2	357	101	100	12	347	98	97	12	112	85
5	0,2-0,25	242	68	67,5	8	347	98	97	12	79,5	89
6	0,25-0,3	175	49	48,63	6	287	81	80	9,7	58,3	74
7	0,3-0,35	127	36	35,73	4	204	58	57,6	7	42,7	53,6
8	0,35-0,4	80	23	22,83	3	128	36	35,7	4,4	27	32,7
9	0,4-0,46	29	10	9,93	1,2	45	13	12,9	1,6	11,5	11,7
<i>i</i>											

Для уменьшения трудоёмкости подготовки к нагружению модели внешними нагрузками было предложено перед нагружением поворачивать модель так, чтобы передняя поверхность была горизонтальна, т.е. как бы передний угол γ равен нулю ($\gamma^*=0^\circ$) (рис. 4.5.5). Это избавит от необходимости пересчитывать распределение физических составляющих сил резания в технологические. При этом новый «задний» угол w будет равен сумме α и γ ($w = \alpha + \gamma$). Для проверки правомерности такого преобразования был выполнен расчёт НДС по прежней традиционной схеме расположения модели резца и по новой предложенной (рис. 4.5.5).

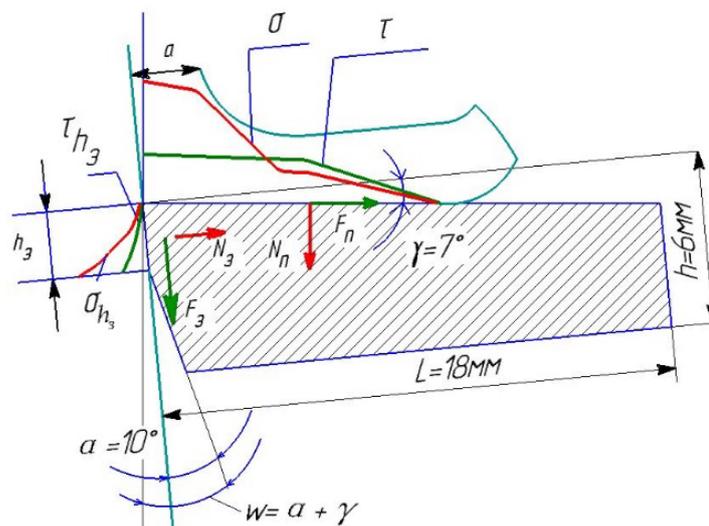


Рис. 4.5.5. Положение режущей пластины для упрощения её нагружения эпюрами по физическим составляющим силы резания для исследования НДС, когда главный передний угол $\gamma > 0^\circ$. Угол $w = \alpha + \gamma$

5. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS

Перед расчётом НДС необходимо создать модель резца (рис. 5.1), задать свойства материала модели резца (рис. 5.2), задать (приложить) внешние нагрузки (рис. 5.3).

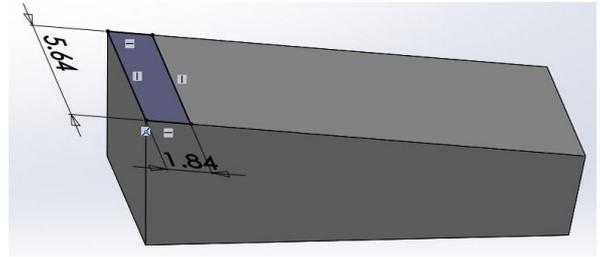


Рис. 5.1. 3D модель

Properties of Outline Row 4: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	11.5	g cm ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisso...		
8	Young's Modulus	5.25E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0.29		
10	Bulk Modulus	4.1667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	2.0349E+11	Pa	

Рис. 5.2. Свойства сплава Т15К6 при задании инструментального материала в ANSYS

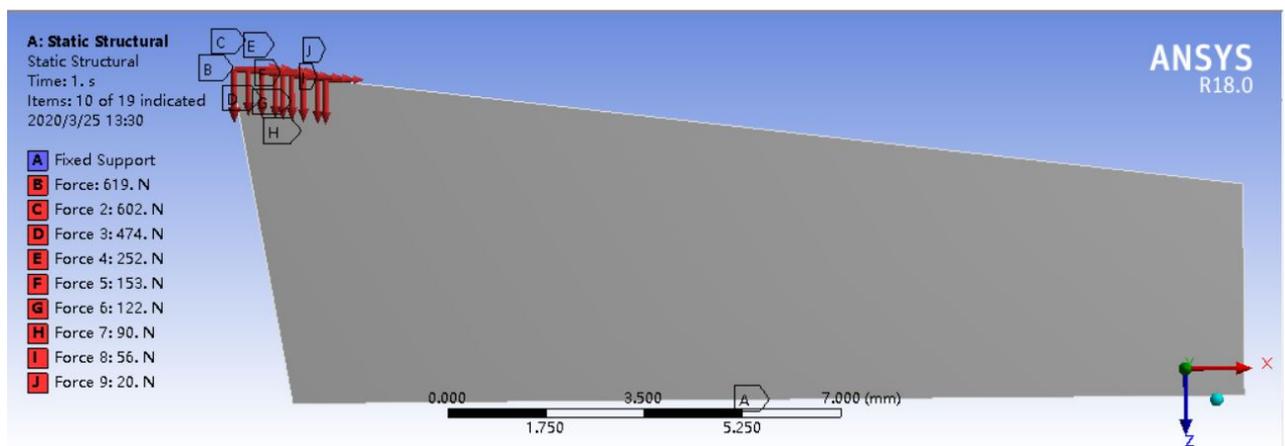


Рис. 5.3. Приложение внешних нагрузок при традиционной схеме расположения модели резца

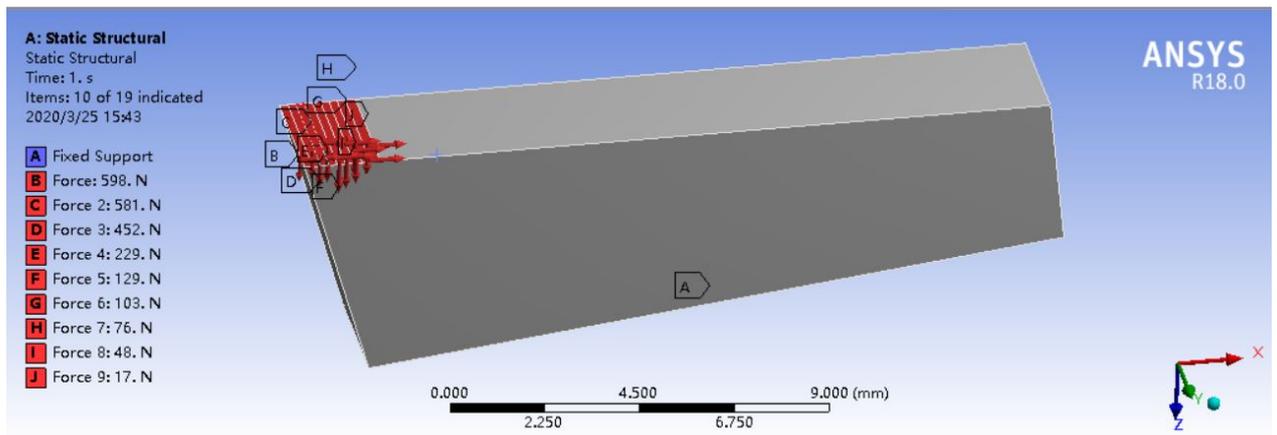


Рис. 5.4. Положение режущей пластины, когда передняя поверхность горизонтальна, для упрощения её нагружения эпюрами по физическим составляющим для исследования НДС, когда главный передний угол $\gamma > 0^\circ$. Угол $w = \alpha + \gamma = \varepsilon$.

Сравнение НДС, рассчитанное по традиционной и предложенной схеме расположения модели резца, показало одинаковое распределение эквивалентных напряжений (рис. 5.5).

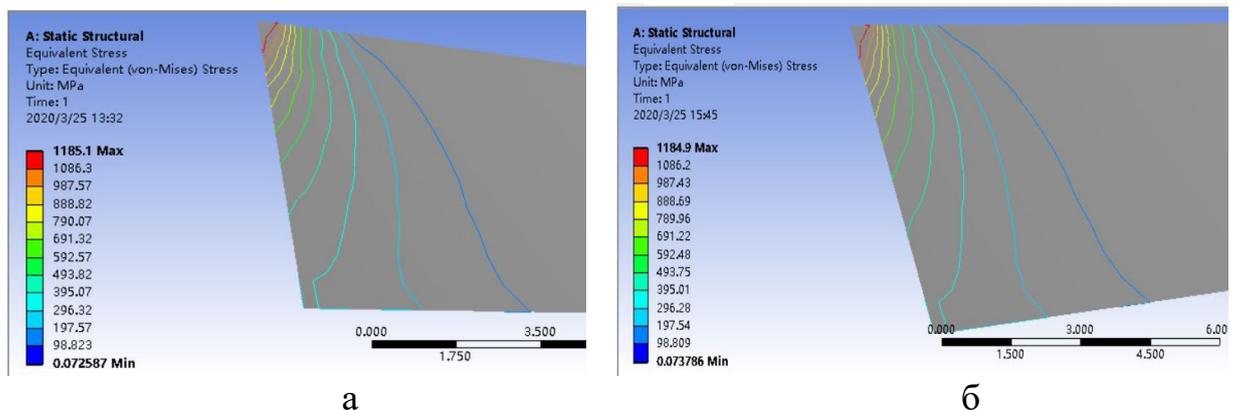


Рис. 5.5. Сравнение распределения эквивалентных напряжений при традиционной (а) и предложенной (б) схемах расположения модели резца. Сталь 40Х – Т15К6, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 7^\circ$, $s = 0,52$ мм/об ($a = 0,368$ мм), $c = 1,844$ мм; а) $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1185$ МПа; б) $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1184,9$ МПа

Предложенная схема расположения модели резца избавит от необходимости пересчитывать распределение физических составляющих в технологические при нагружении модели режущего инструмента внешними нагрузками.

Расчёт внутренних напряжений в упрощённом режущем клине (см. рис. 5.6 а) выполнялся с использованием программного обеспечения ANSYS. При переднем угле $\gamma = +7^\circ$ и подаче $s = 0,07$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв max}} = 795$ МПа (рис. 5.6 а), а наибольшие напряжения вдоль оси OZ равны $\sigma_{z \text{ max}} = 734$ МПа (рис. 5.7 а).

При подаче $s = 0,52$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения увеличиваются приблизительно в 1,5 раза, до $\sigma_{\text{экв max}} = 1185$ МПа (рис. 5.6 б), наибольшие напряжения вдоль оси OZ увеличиваются приблизительно в 1,6 раза, до $\sigma_{z \text{ max}} = 1166$ МПа (рис. 5.7 б).

При увеличении переднего угла до $\gamma = +35^\circ$ и применении подачи $s = 0,52$ мм/об (толщина среза $a = 0,368$ мм, длина контакта стружки $c = 1,5$ мм) наибольшие эквивалентные напряжения увеличиваются несущественно для такого большого переднего угла – приблизительно в 1,3 раза, до $\sigma_{\text{экв max}} = 1531$ МПа (Рис.5.8 а). То же самое происходит и с наибольшими напряжениями вдоль оси OZ: $\sigma_{z \text{ max}} = 1503$ МПа.

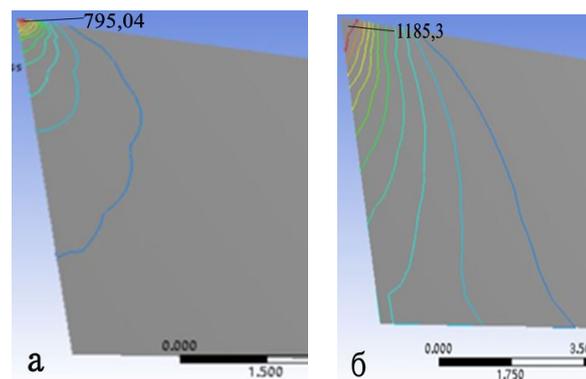


Рис. 5.6. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{э}}$ (МПа) в остром токарном резце. Сталь40X – Т15К6, $t = 1,99$ мм, $\gamma = 7^\circ$. а – $s = 0,07$ мм/об; б – $s = 0,52$ мм/об

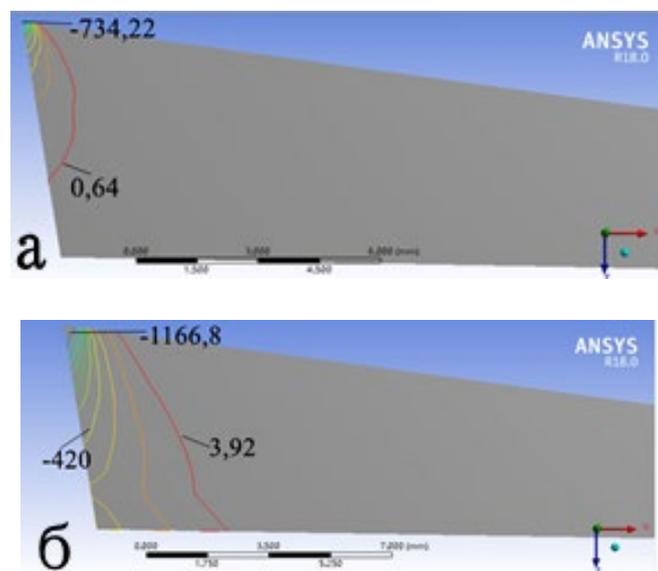


Рис. 5.7. Распределение нормальных напряжений $\sigma_{z \text{ max}}$ (МПа) в остром токарном резце. Сталь40X – Т15К6, $t = 1,99$ мм, $\gamma = 7^\circ$. а) $s = 0,07$ мм/об; б) $s = 0,52$ мм/об

Этот с виду парадоксальный результат расчётов объясняется нами существенным **уменьшением нормальной силы N** на передней поверхности при увеличении переднего угла γ (см. уравнение $N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma$), которая наиболее существенно влияет на прочность режущего клина из-за её направления.

Анализ результатов расчётов НДС резца показывает, что при создании твёрдосплавного материала достаточно высокой прочности можно обрабатывать сталь даже при очень большом переднем угле (около $+35^\circ$). Предел прочности на изгиб такого материала должен быть больше 1900 МПа.

Твёрдые сплавы с размером зёрен более 1 мкм имеют прочность на изгиб $\sigma_{и} = 900 \dots 1600$ МПа и в 2...3 раза уступают быстрорежущим сталям. Но особо мелкозернистые твёрдые сплавы (размер зерна менее 0,1-0,05 мкм) имеют прочность на изгиб $\sigma_{и} = 2000 \dots 3500$ МПа, поэтому рекомендуется их использовать при изготовлении режущих инструментов с большим передним углом.

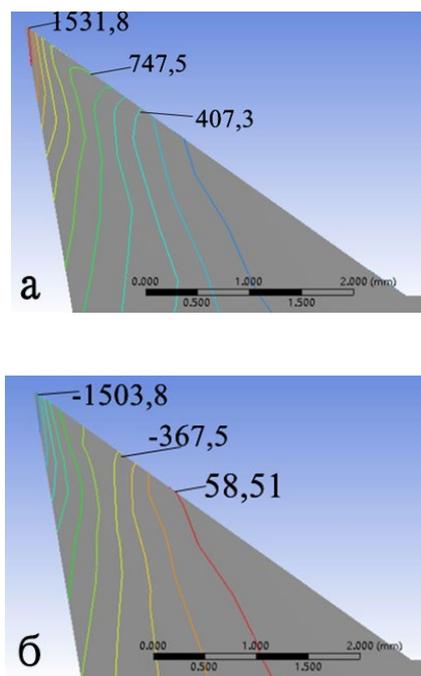


Рис. 5.8. Распределение эквивалентных σ_e (а) и нормальных $\sigma_{z \max}$ (б) напряжений (МПа) в остром токарном резце. Сталь 40Х – Т15К6, $t = 1,99$ мм, $\gamma = +35^\circ$, $s = 0,52$ мм/об

6. Исследования НДС неизношенных СМП концевых фрез

Click to set a secondary selection to be used within other tools

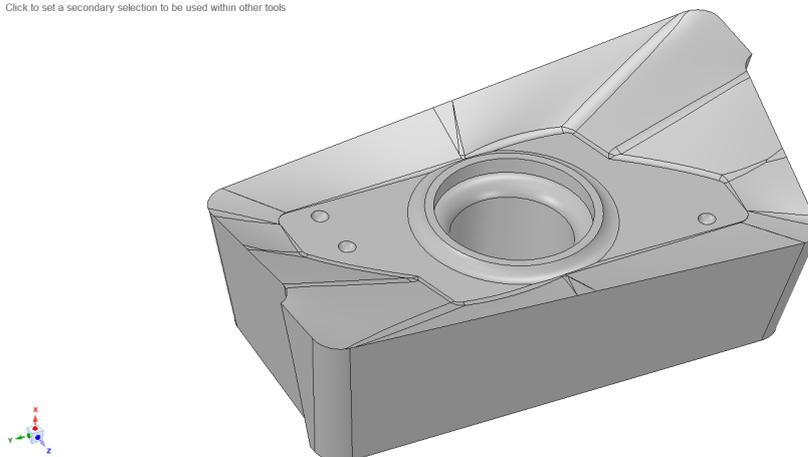


Рис. 6.1. 3D модель режущего пластины и фото концевой фрезы с СМП

Режим резания легированной стали Т15К6 фрезой со сменной многогранной пластиной (СМП) из твёрдого сплава без покрытия Н10 (обозначение марки твёрдого сплава по международному стандарту, используемому на Кировоградском заводе твёрдых сплавов, – легированный среднезернистый сплав Т15К6) при получистовом и черновом точении ($s=0,25 – 0,55$ мм/об, $t=1,6-4,1$ мм, $v \approx 185$ м/мин), диапазон твёрдости обрабатываемой стали по Бринеллю от 180 до 350 НВ.

Перед приложением сил на рабочие части нам нужно закрепить пластину (наложить внешние связи) с помощью программы ANSYS.

ANSYS —это универсальный сеточный генератор, интегрированный в расчётную среду ANSYS Workbench и позволяющий создавать конечно-элементную сетку автоматически или с участием пользователя. Размер сект этой модели был первоначально установлен 0,2 мм, затем уменьшен для увеличения точности расчётов.

Пример приложения внешней нагрузки (составляющих сил на передней поверхности) приведён на рис. 6.2.

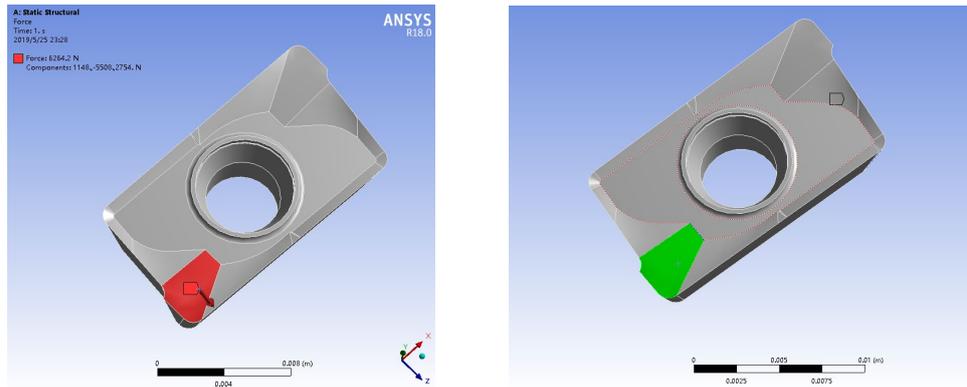


Рис. 6.2. Приложения составляющих сил резания на участки пластины

Чтобы исследовать влияние переднего угла γ на НДС режущей пластины фрезы создали серию моделей с разными передними углом ($\gamma = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$) и задним углом $\alpha = 15^\circ$. Модель режущей пластины с $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$ приведён на рис. 6.3 и рис. 6.4.

Схемы НДС режущей пластины фрезы с $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$ приведены на рис 6.3 и рис. 6.4.

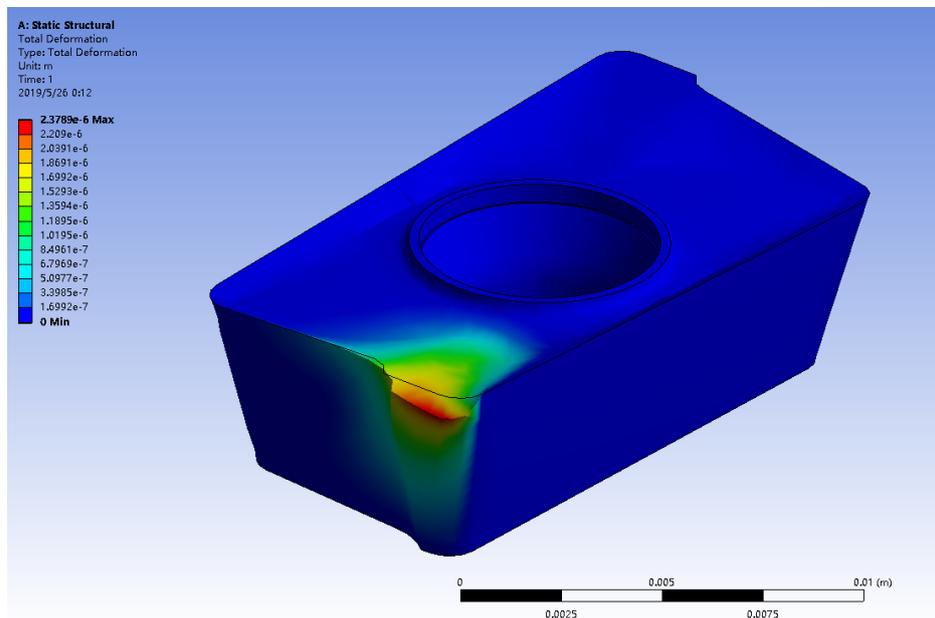
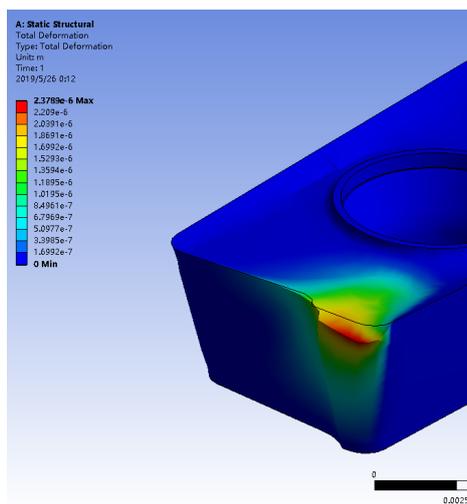
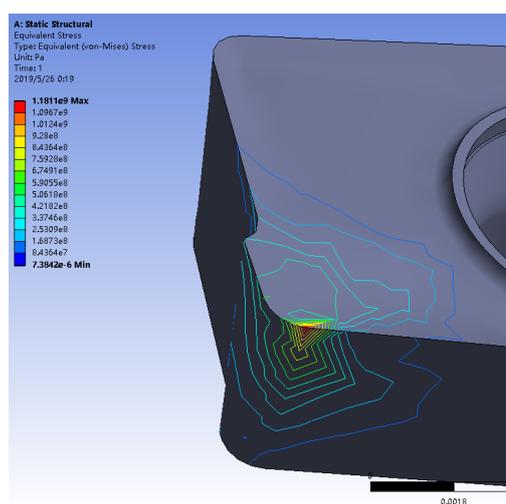


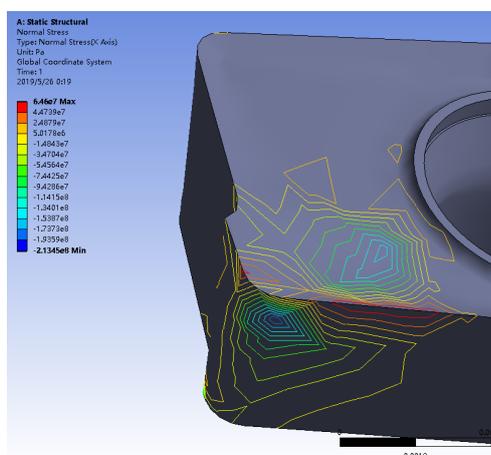
Рис. 6.3. НДС режущей пластины фрезы с углом $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$
(Сталь 40X - T15K6, $s_z = 0,15$ мм/зуб, $t = 12$ мм; $v = 120$ м/мин)



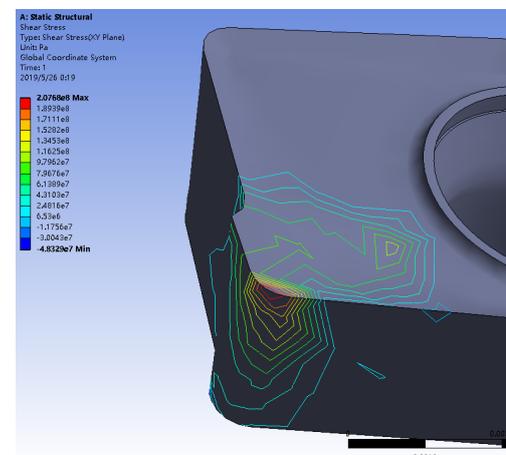
а



б



в



г

- а) Деформация режущей пластины с углом $\gamma = 10^\circ$
- б) Эквивалентные напряжения режущей пластины фрезы
- в) Нормальные напряжения режущей пластины фрезы
- г) Касательные напряжения режущей пластины фрезы

Рис. 6.4. НДС режущей пластины фрезы с углом $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$
(Сталь Т15К6, $s_z = 0,15$ мм/зуб, $t = 12$ мм; $v = 120$ м/мин)

Расчёты показали, что у СМП с $\gamma = +7^\circ$ при увеличении подачи с 0,05 мм/об до 0,52 мм/об наибольшие внутренние напряжения увеличиваются почти в 1,5 раза и приближаются к предельно допустимым на изгиб (рис. 6.4). Увеличение переднего угла с 7° до 15° при подаче $s = 0,07$ мм/об приводит к увеличению $\sigma_{\text{экр max}}$ в 1,2 раза.

7. Исследования НДС СМП с фаской по задней поверхности

В процессе резания у режущих инструментов появляется износ. Наиболее интенсивно он происходит на задней поверхности в виде фаски длиной h_3 (мм), увеличение которой больше $h_{3 \text{ критич}}$ приводит к разрушению режущего клина. Как правило, при длине фаски износа менее 0,7-0,9 мм задний угол на ней $\alpha_h = 0^\circ$.

Исследования распределения контактных напряжений на искусственной фаске задней поверхности с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$ показали, что при обработке стали у режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются. Особо опасное состояние появляется при врезании, когда силы на задней поверхности быстро увеличиваются до появления стружки

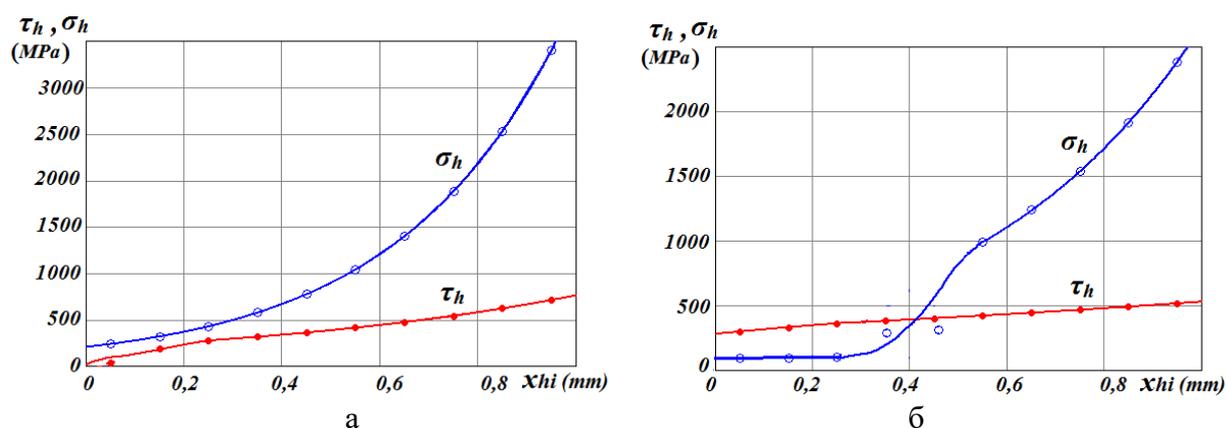


Рис. 7.1. Распределение нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений (МПа) на фаске задней поверхности при врезании. Сталь 40X - T15K6; $\gamma = +7^\circ$; $v = 120$ м/мин. а – $s = 0,07$ мм/об; б – $s = 0,52$ мм/об. Ордината – нормальные σ_h (МПа) и касательные τ_h (МПа) контактные напряжения на фаске задней поверхности; абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль длины фаски износа по задней поверхности x_{hi} (мм) [16]

(рис. 7.2).

Это объясняется тем, что на передней поверхности инструмента даже во время только формирования стружки действует радиальная составляющая сила P_y (рис. 7.2), которая оказывает давление на поверхность резания (перпендикулярно поверхности среза), тем самым способствуя появлению

прогиба mn_1j этой поверхности. Из-за наличия прогиба поверхность резания mn_1j , контактирующая с поверхностью фаски задней поверхности на участке mn , оказывает небольшое силовое воздействие непосредственно у режущей кромки, поэтому на этом участке контактные напряжения малы. При отдалении от режущей кромки происходит упругое восстановление прогиба поверхности резания, силовое воздействие увеличивается, поэтому контактные напряжения возрастают.

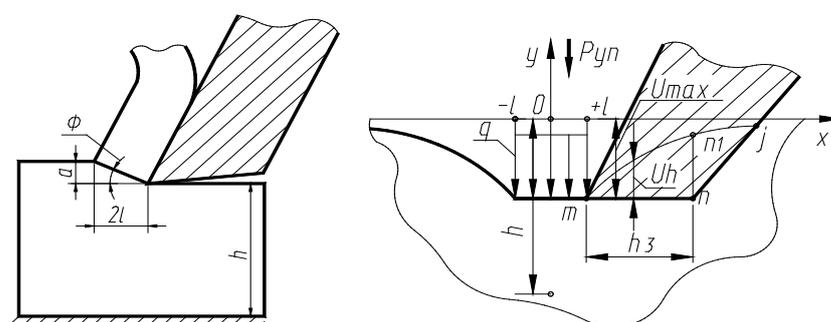


Рис. 7.2. Силовое взаимодействие поверхности резания mn_1j с фаской задней поверхности mn

Для оценки влияния длины фаски на задней поверхности на НДС СМП было предложено рассчитать НДС СМП с фаской износа по задней поверхности, т.е. создать новые модели СМП с фаской $h_3 = 0,2$ мм, $0,5$ мм, $0,7$ мм и $0,9$ мм. Эти 4 фаски необходимо использовать для того, чтобы потом построить графики с более точным характером. Если построить по двум точкам, например, $h_3=0,2$ мм (мало изношенный режущий клин) и $0,9$ мм (сильно изношенный), то характер зависимости напряжений в СМП от длины фаски h_3 выявлен не будет.

При $h_3 = 0,95$ мм и $\gamma = +35^\circ$ величина наибольших внутренних напряжений располагается у задней поверхности, и они больше, чем предел прочности даже на сжатие твёрдого сплава, режущая пластина будет ломаться. Результаты расчётов остальных случаях представлены в Табл. 7.1.

Табл. 7.1. Наибольшие напряжения и деформации в СМП с различными величинами переднего угла γ° и длины фаски задней поверхности h_3 (мм)

γ	h_3 , мм	a , мм	$\sigma_{\text{экв max}}$, МПа	$\sigma_z \text{ max}$, МПа	ε_{max} , мм
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,7$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1925,8$	$\sigma_z \text{ max} = -2085,8$	0,00431
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,5$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1251$	$\sigma_z \text{ max} = -1182,7$	0,0031
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{экв max}} = 961,03$	$\sigma_z \text{ max} = -1012,2$	0,0017
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1085,05$	$\sigma_z \text{ max} = -1035,63$	0,0026
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{экв max}} = 3533,2$	$\sigma_z \text{ max} = -3763,8$	0,0076
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1179,8$	$\sigma_z \text{ max} = -1239,4$	0,002
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1293,5$	$\sigma_z \text{ max} = -1289,9$	0,003
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,5$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1726,3$	$\sigma_z \text{ max} = -1673,8$	0,0038
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{экв max}} = 3661,9$	$\sigma_z \text{ max} = -3810,2$	0,008
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1835,9$	$\sigma_z \text{ max} = -1795,2$	0,0109
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 3858,3$	$\sigma_z \text{ max} = -3872,6$	0,0128
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 2185,6$	$\sigma_z \text{ max} = -2058,1$	0,0089
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 2231,4$	$\sigma_z \text{ max} = -2168,1$	0,0110
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0,5$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 2698,4$	$\sigma_z \text{ max} = -2532,1$	0,0179
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 4423,4$	$\sigma_z \text{ max} = -4363,1$	0,0204
$\gamma = 15^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 3992,6$	$\sigma_z \text{ max} = -3947,7$	0,0141
$\gamma = 15^\circ$	$h_3=0$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{экв max}} = 1574,1$	$\sigma_z \text{ max} = -1724,3$	0,0079

По результатам расчётов были построены графики зависимости внутренних напряжений от величины переднего угла γ° , длины фаски задней поверхности h_3 (мм) и толщины среза a (мм).

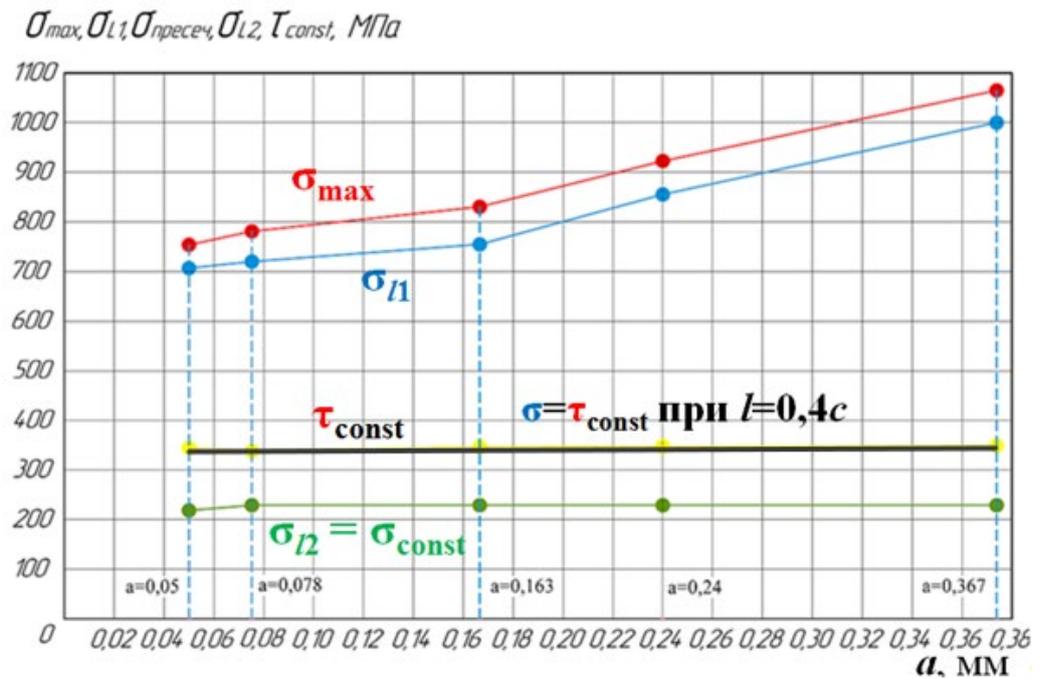


Рис. 7.3. Влияние толщины среза a на основные параметры эпюр контактных напряжений на передней поверхности при обработке стали 40X, $\gamma=+7^\circ$

При длине фаски на задней поверхности $h_3 = 0,95$ мм и величине переднего угла $\gamma = +35^\circ$ величина наибольших внутренних напряжений в СМП больше, чем предел прочности даже на сжатие твёрдого сплава, режущая пластина будет ломаться. При $h_3 = 0,2$ мм наибольшие напряжения в СМП ещё не очень большие, почти такие, что и у неизношенного резца ($h_3 = 0$ мм), но режущий клин более прочный из-за этой небольшой фаски.

8. Моделирование и исследование процесса фрезерования с помощью программы ANSYS Workbench

Программа ANSYS Workbench является специальной программой для моделирования процесса обработки режущих инструментов, с ее помощью можем удобно и визуально исследовать процесс фрезерования, внутренние напряжения, температуры и деформация режущих инструментов.

Моделирование с помощью программы ANSYS Workbench процесса фрезерования приведено на рис 8.1.

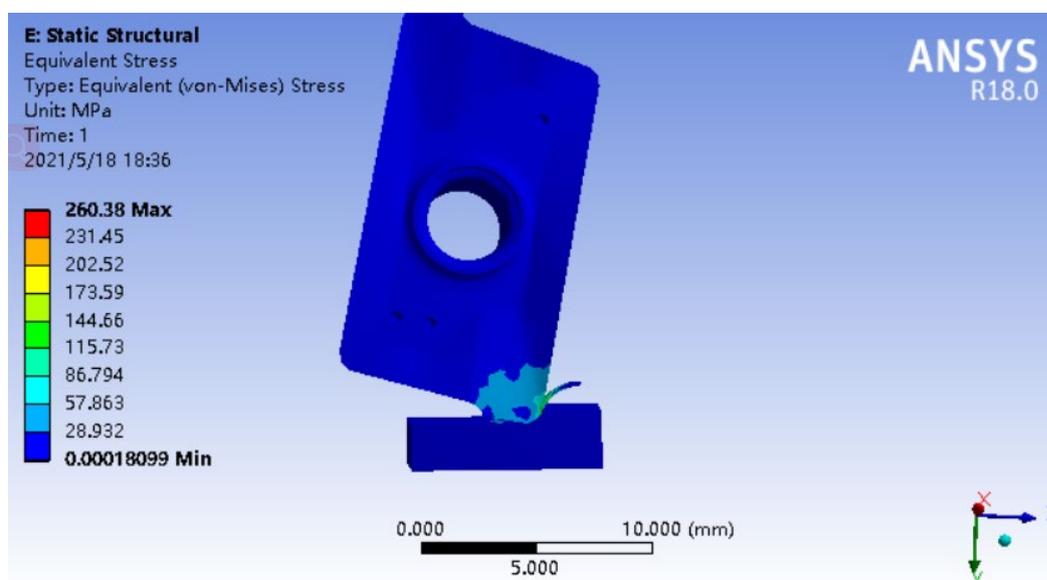


Рис. 8.1. Моделирование процесса фрезерования с помощью программы ANSYS Workbench

Исследование внутренних напряжений с помощью программы ANSYS Workbench приведено на рис.8.2. Благодаря использованию программы ANSYS Workbench, можем визуально смотреть распределение напряжений при обработке стали.

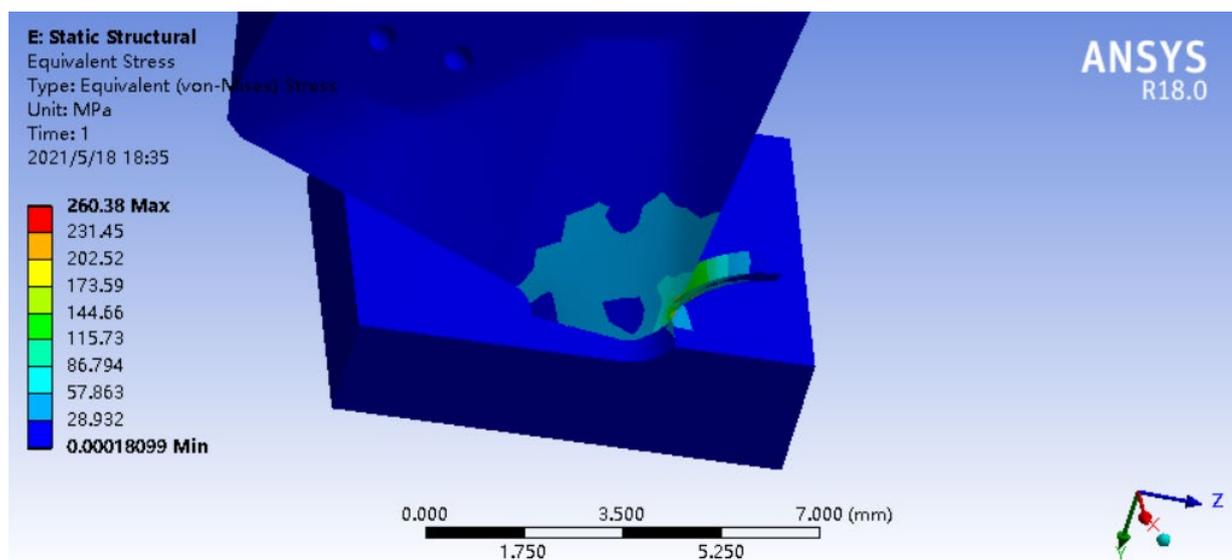


Рис. 8.2. Исследование напряжений при фрезеровании

Кроме этого, с помощью программы ANSYS Workbench мы ещё можем исследовать температуру зоны контакта (рис 8.3) и направление разлёта стружки (рис. 8.4) и т.п.

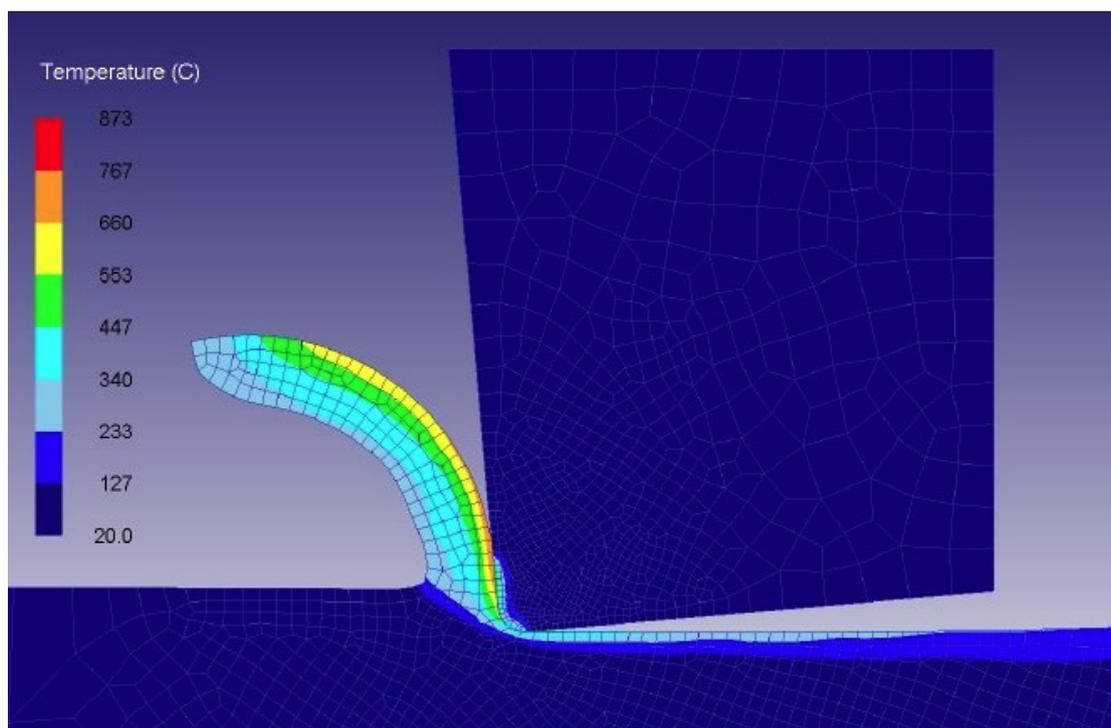


Рис 8.3. Температура зоны контакта режущих инструментов с обрабатываемыми металлами с помощью ANSYS Workbench

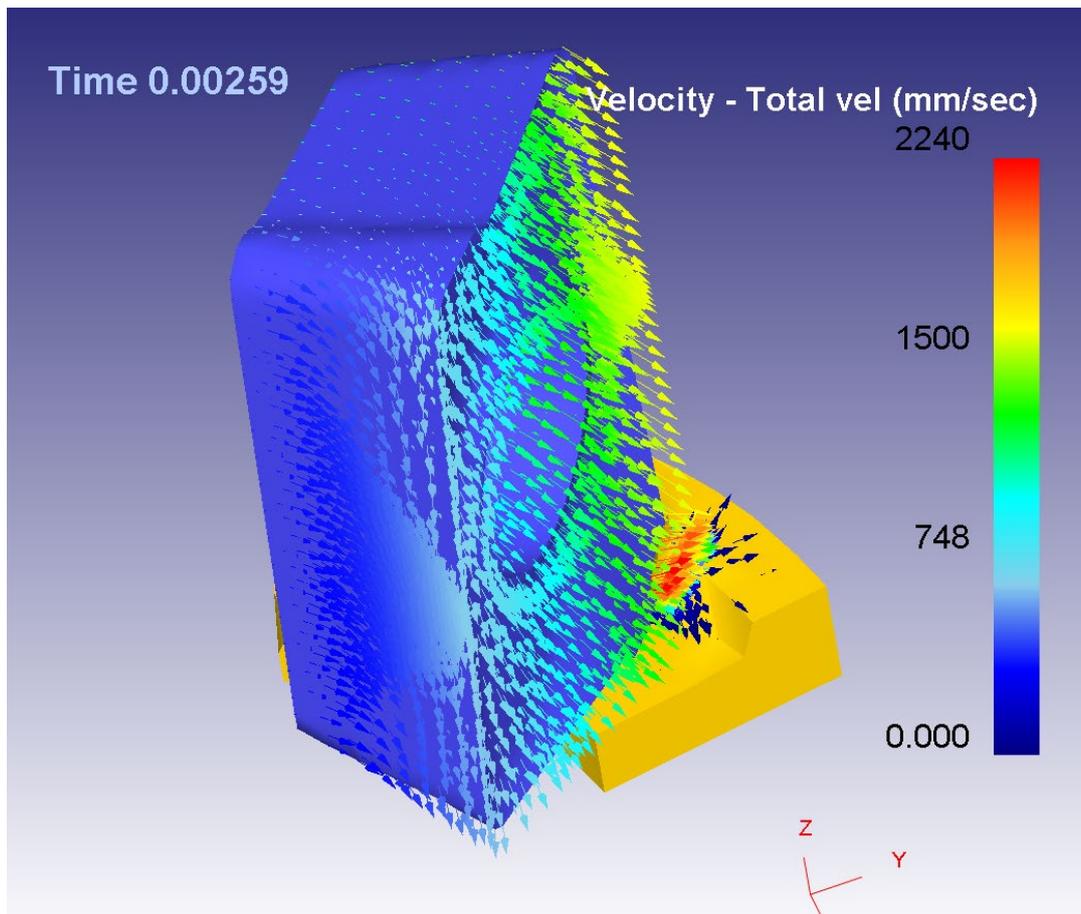


Рис. 3.9.4. Исследование направления разлета стружки при фрезеровании

Сравнение работы программы ANSYS в области исследования фрезерования позволяет сделать следующие выводы:

- 1) в области расчёта внутренних напряжений программа ANSYS имеет выше точность расчёта. Поэтому рекомендуем использовать программу ANSYS при расчёте внутренних напряжений режущих инструментов.
- 2) для ускорения исследования работы режущих инструментов и экономить себестоимость исследования, рекомендуем более использовать моделирующие программы.

8.1. Исследование тенденция составляющих сил резания при фрезеровании стали

Мы можем исследовать тенденция измерения составляющих сил резания фрезы при резании стали, пример результаты приведён на рис. 8.1.1.

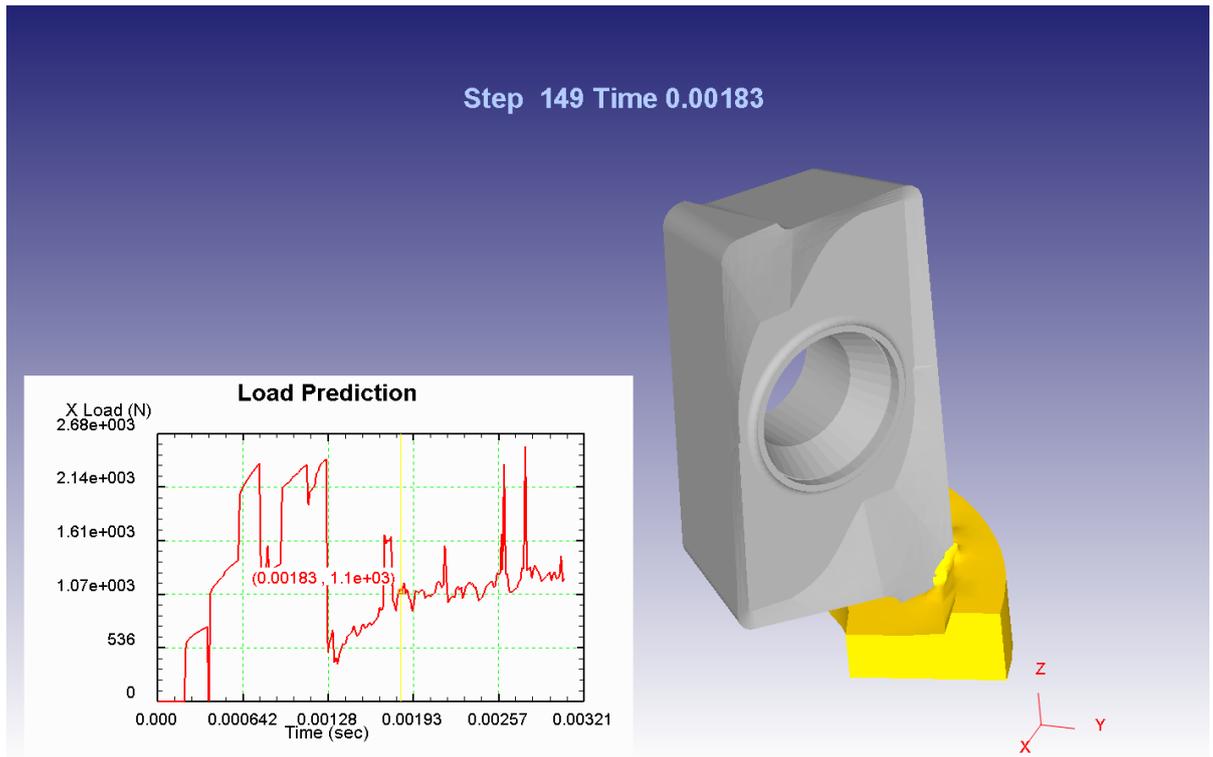


Рис. 8.1.1. Пример результаты составляющих сил резания

В работе были исследованы влияние подачи ($S_{06}=0,1-0,3$ мм/об) на составляющие силы резания фрезы, результаты приведены на рис. 8.1.2.

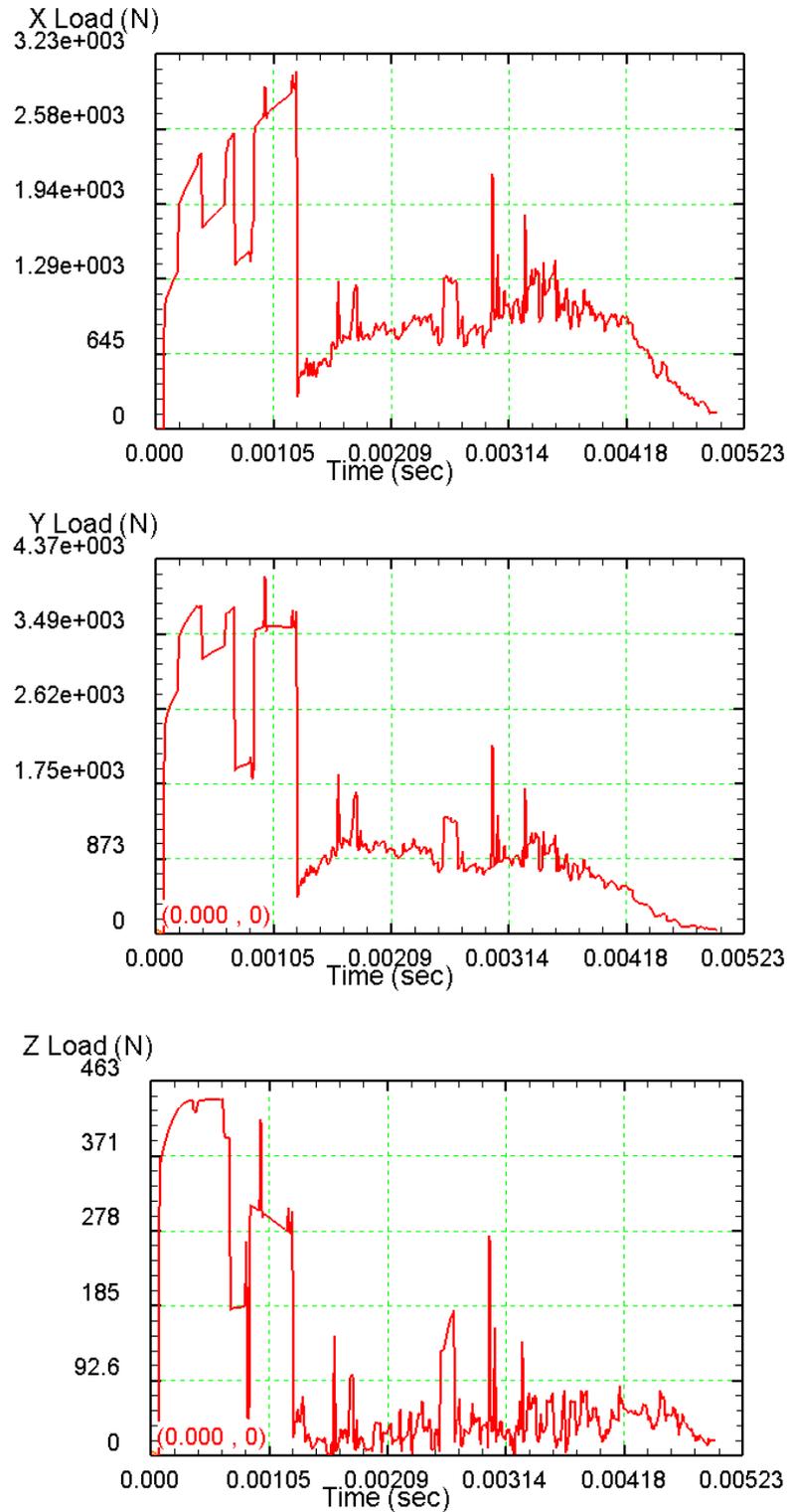


Рис. 8.1.2. Составляющие силы резания фрезы при подаче T15K6-40X; $S_{06}=0,3$ мм/об; скорость резания $V=120$ м/об; глубина резания $t=1$ мм.

Влияние подачи на составляющую силы резания инструмента (рис. 8.1.4) и измеренное значение составляющей силы резания инструмента (рис. 8.1.3) можно получить наглядно и просто.

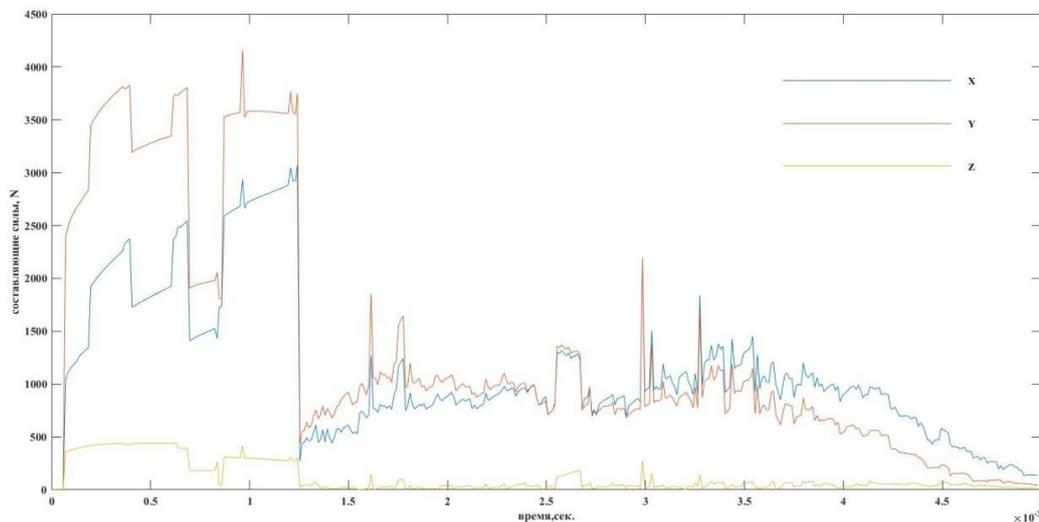
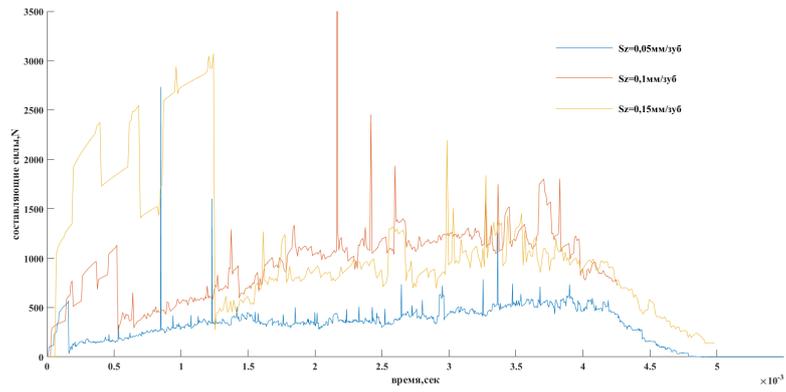


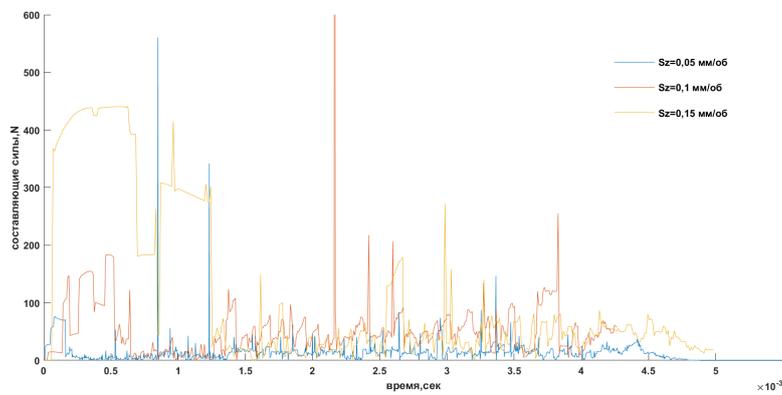
Рис 8.1.3. Изменение составляющих сил резания при встречном фрезеровании (Т15К6-40Х; $S_{об}=0,3$ мм/об; скорость резания $V=120$ м/об; глубина резания $t=1$ мм.)

Из предыдущих графиков получили следующие выводы:

- 1) при врезании составляющие силы резания фрезы быстро увеличиваются, затем быстро уменьшаются и немного увеличиваются при повороте зуба фрезы.
- 2) Увеличение подачи на зуб фрезы приводит к увеличению составляющих сил резания при врезании.
- 3) При врезании составляющие силы резания фрезы при подаче $S_z=0,15$ мм/зуб приблизительно в 2 раза больше, чем при подаче $S_z=0,1$ мм/зуб и в 4 раза больше, чем при подаче $S_z=0,05$ мм/зуб.

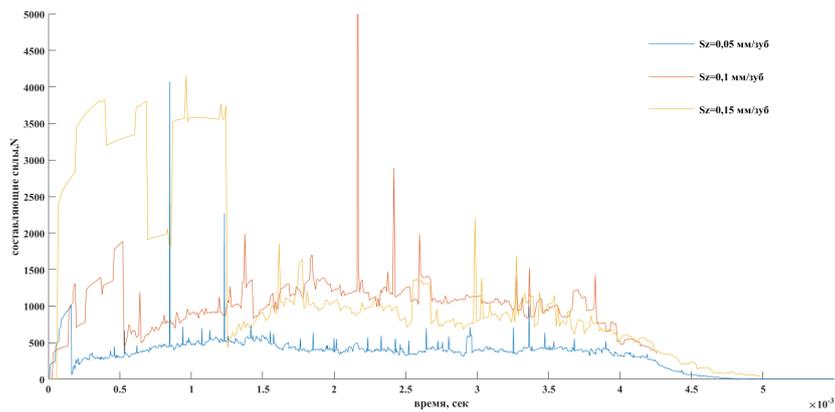


а) влияние подачи на составляющие силы резания фрезы (ось X)



б) влияние подачи на составляющие силы резания фрезы (ось Z)

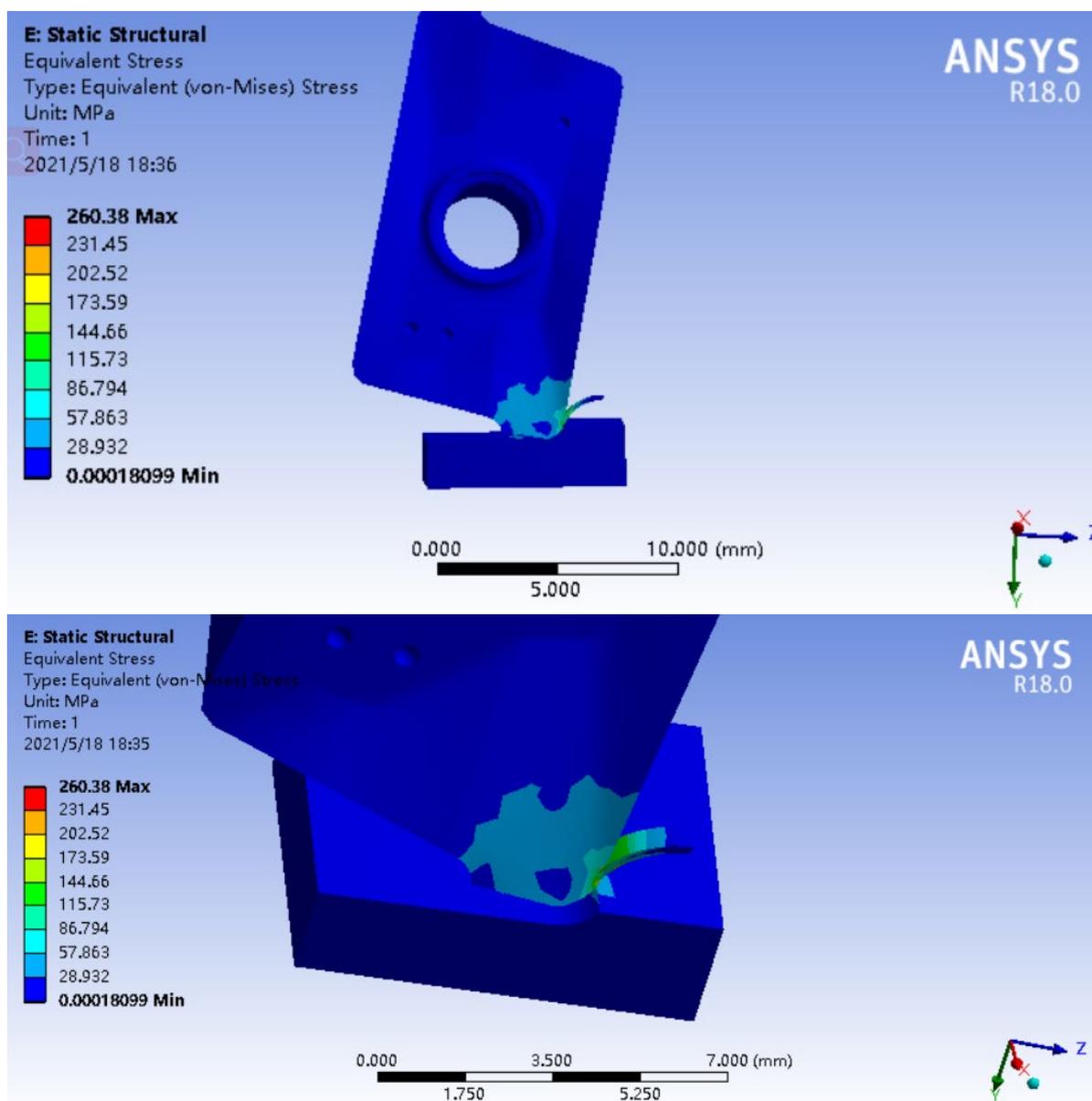
Рис. 8.1.4. Влияние подачи на составляющие силы резания фрезы



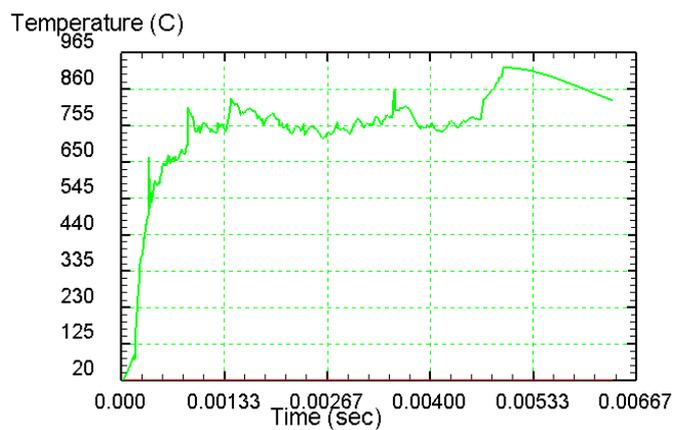
г) влияние подачи на составляющие силы резания фрезы (ось Y)

Рис. 8.1.4 (продолжение). Влияние подачи на составляющие силы резания фрезы

8.2. Исследование влияния подачи на температуру стружки в зоне контакта

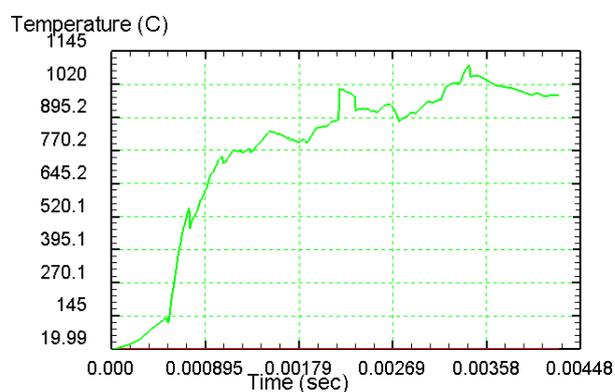


В работе было исследование влияния подачи на температуры стружки в зоне контакта. Мы вводим режим резания при фрезеровании в программу ANSYS, и получили результаты (рис 8.2.1).

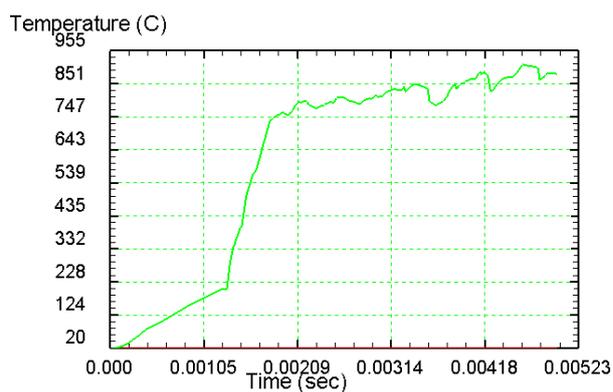


а) температуры зоны обработки при подаче $S_{06}=0,1$ мм/об

Рис. 8.2.1. Температура стружки в зоне контакты с различными подачами



б) температуры зоны обработки при подаче $S_{06}=0,2$ мм/об



в) температуры зоны обработки при подаче $S_{06}=0,3$ мм/об

Рис. 8.2.1 (продолжение). Температура стружки в зоне контакты с различными подачами

После анализа результаты с помощью получили зависимость температуры стружки в зоне обработки от подачи (рис.8.2.2).

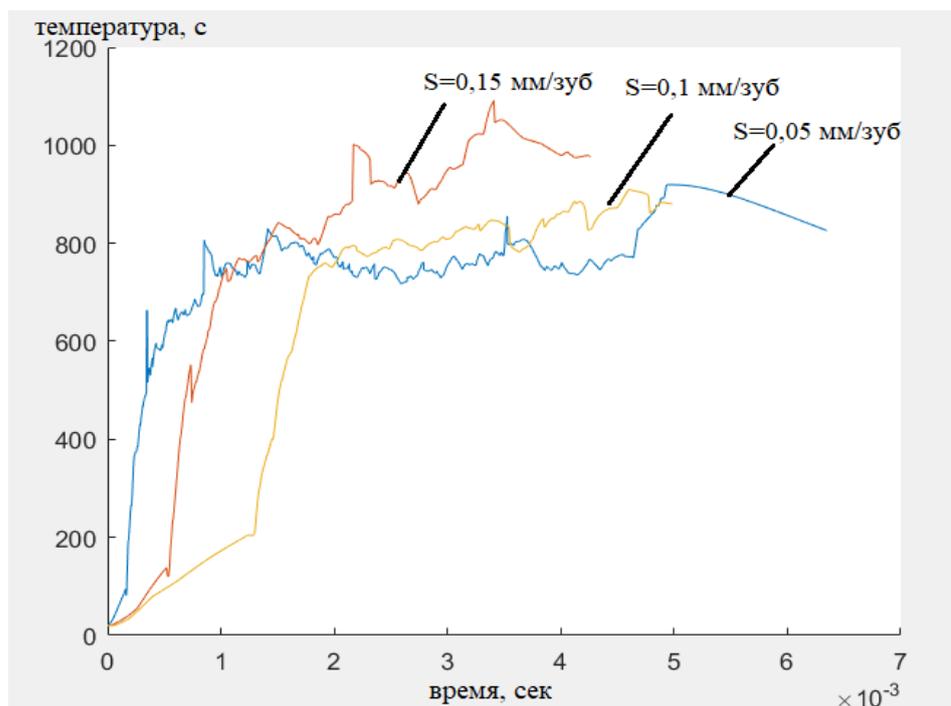


Рис 8.2.2. Зависимость температуры стружки в зоне контакту обработки от подачи

Из рис. 8.2.2 видно, что при врезании температура стружки в зоне контакте интенсивно увеличивается, и потом мало изменяется.

В общем, получили, что увеличение подачи на зуб s_z приводит к увеличению температуры стружки в зоне контакта, что связано с большим объёмом удаляемого металла в одинаковое время.

9. Исследования стойкости СМП

На рис. 9.1 представлена зависимость стойкости T (мин) СМП с различными покрытиями от скорости резания V (м/мин), полученная при точении стали Т15К6 исследуемыми СМП. Наибольшая допустимая длина фаски по задней поверхности была принята 0,25 мм ($h_{з доп} = 0,25\text{мм}$) из-за прекращения дробления стружки при увеличении фаски износа, появления путанной стружки, ухудшения её удаления и увеличения вероятности поражения оператора от разлетающейся

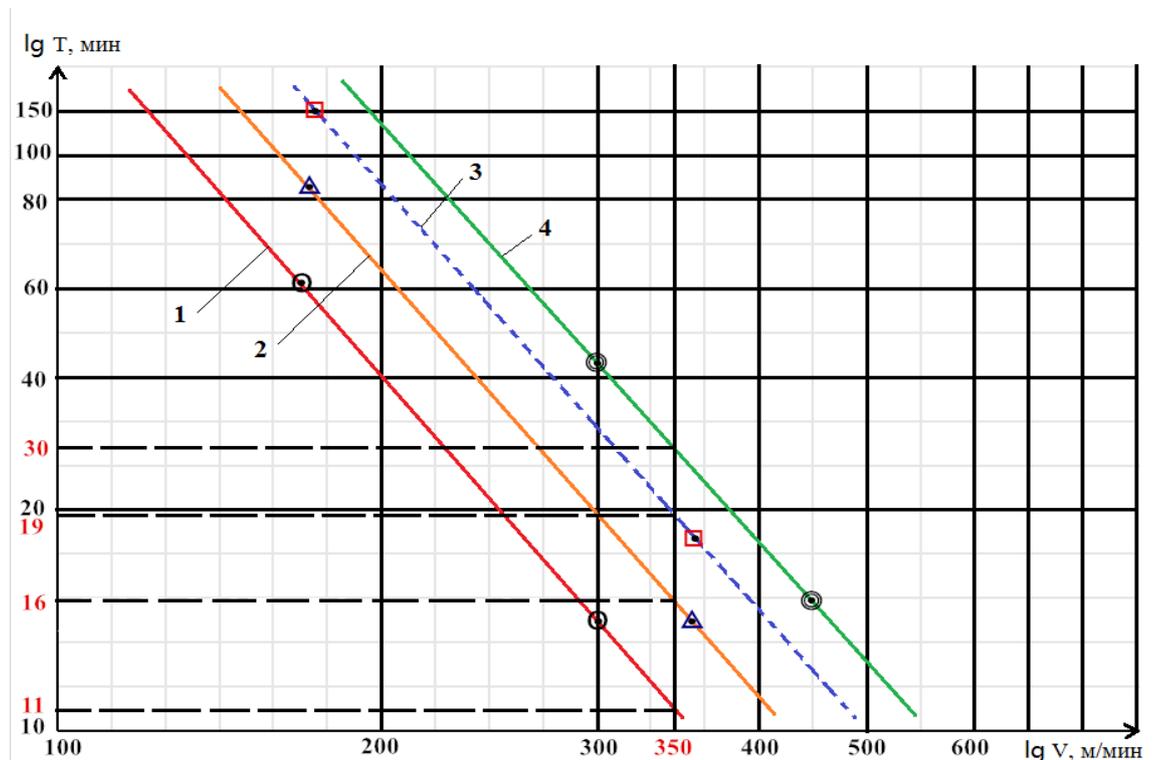


Рис. 9.1. Зависимость стойкости T (мин) СМП с износостойкими покрытиями (2, 3, 4) от скорости резания V (м/мин) при обработке стали 40Х: 1- без покрытия, 2- с покрытием TiN, 3- с покрытием AlTiN, 4- с покрытием TiCN

стружки [9,19].

СМП без покрытия имеет наименьшую стойкость, а наибольшую — с покрытием TiCN. Однако требуется рассчитать экономическую эффективность использования СМП с износостойкими покрытиями.

Сравнение эффективности применения пластин

Длина обработки за период стойкости равна: $L_{обр} = v \cdot T$ (мм),

где v – скорость резания (м/мин), T – стойкость пластины (мин).

Обработанная площадь поверхности равна: $S_{обр} = L_{обр} \cdot s$ (мм²),

где s – подача (мм/об).

Оценку эффективности применения режущих пластин лучше выполнять по удельной стоимости обработки длины пройденного пути:

$$C_{уд} = \frac{ЦЕНА}{L_{обр}} \text{ (руб/м)}.$$

Для получистовой обработки рациональная скорость резания $v = 350$ м/мин и подача $s = 0,13$ мм/об. Рассчитываем длину одного витка при обточке прутка с диаметром $d = 60$ мм:

$$L_{\text{одного витка}} \approx L_{\text{окр.детали}} = \pi \cdot d = 188 \text{ мм}.$$

Результаты расчётов записываем в табл. 9.1.

Табл. 9.1. Оценка эффективности применения СМП с различными видами износостойких покрытий

Тип пластин	Цена, руб	Стойкость T, мин	$L_{обр}$, м	$S_{обр}$, м ²	$C_{уд}$, руб/м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1. СМП без покрытия	100	11	3850	0,50	0,026
2. СМП с покрытием TiN	120	16	5600	0,73	0,021
3. СМП с покрытием AlTiN	150	19	6650	0,86	0,023
4. СМП с покрытием TiCN	200	30	10500	1,37	0,019

Из столбца № 6 таблицы 9.1 видно, что СМП с покрытием TiCN имеют наименьшую стоимость обработки 1 м ($C_{уд} = 0,019$ руб/м), а СМП с покрытием TiN лучше, чем с покрытием AlTiN. Наибольшую удельную стоимость имеют СМП без покрытия.

Рекомендации по выбору износостойкого покрытия для получистовой обработки стали 40Х: СМП с покрытием TiCN и СМП с покрытием TiN.

Расчёты НДС СМП с покрытиями показали, что внутренние напряжения в режущем клине инструмента с износостойким покрытием TiN уменьшаются на 18% по сравнению с режущей пластиной без покрытия:
 $\sigma_{\text{Э}} \text{ наиб р.клина с покр}} = 112 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{Э}} \text{ наиб р.клина без покр}} = 136 \text{ МПа}$ (рис. 9.2).

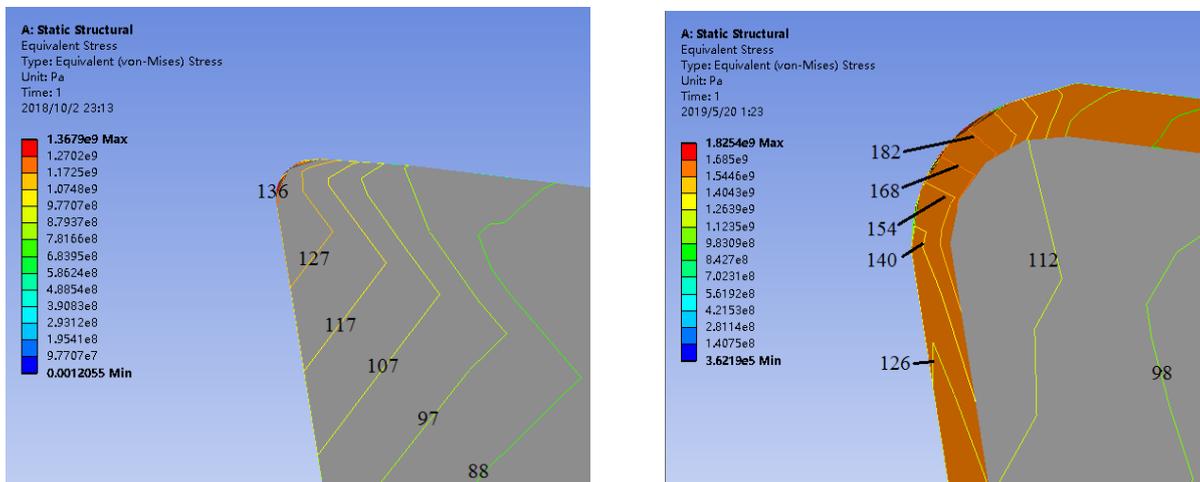


Рис. 9.2. Распределения эквивалентных напряжений в режущем клине СМП из Т15К6 с покрытием TiN и без него при установившемся резании стали Т15К6, $v = 180 \text{ м/мин}$; $s = 0,13 \text{ мм/об}$; $t = 1 \text{ мм}$. а) пластина из Т15К6 без покрытия; б) пластина из Т15К6 с покрытием TiN

Выводы

1. Для экономии времени и расходов на исследования режущих инструментов рекомендуем использовать программы моделирования, например, программу Deform.
2. В области расчета и анализа напряжений инструментов рекомендуем использовать программу ANSYS, потому что она имеет большую точность и меньшую скорость расчёта, чем программа Deform, но ANSYS не имеет возможности расчета НДС в динамике.
3. С целью исследования динамических состояний инструментов при работе рекомендуем использовать программу Deform.
4. Когда передний угол γ увеличиваются до оптимального значения, наибольшие внутренние напряжения уменьшаются, а затем при увеличении переднего угла γ они возрастают.
5. Внутренние напряжения в режущей пластины фрезы при обработке сталей в 10 раз больше, чем внутренние напряжения при обработке алюминии.
6. Увеличение подачи на зуб фрезы приводит к увеличению температуры стружки в зоне контакте, что связано с что связано с большим объёмом удаляемого металла в одинаковое время.
7. При врезании составляющие силы резания фрезы быстро увеличиваются, затем быстро уменьшаются и немного увеличиваются при повороте зуба фрезы.
8. Увеличение подачи на зуб фрезы приводит к увеличению составляющих сил резания фрезы при врезании
9. При врезании составляющие силы резания фрезы при подаче $s_z=0,15$ мм/зуб почти в 2 раза больше, чем при подаче $s_z =0,1$ мм/зуб и в 4 раза больше чем при подаче $s_z =0,05$ мм/зуб.

Раздел ВКР на иностранном языке

Calculation of distribution of normal and shear contact stresses in cutting of steel

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Чжао Цзялунь		17.05.2021

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		17.05.2021

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ИБИП	Айкина Т.Ю.	к.ф.н., доцент		17.05.2021

INTRODUCTION

For calculation of a cutting tool strength, it is necessary to know not only component forces of cutting, but also distribution of contact stresses (contact loads) on rake surfaces.

This task is especially important for the processing of difficult-to-machine materials and for rough cutting by the worn out instrument when chipping and failure of a cutting plate occur on a cutting edge.

Wear on a flank surface with appearance of chamfer on a flank surface (flank-land) and the big contact loads leading to a tool failure is the most dangerous.

Therefore we have carried out research on the calculation of epures' parametres of contact stresses which use the measured or calculated technological components of cutting force.

1. Materials and methods

Research of force dependences was executed in turning a workpiece made from a steel P6M5 (steel 5140 in accordance to ASTM-SAE) with hardness HB 190 ... 210 and ultimate tensile stress $\sigma_B=560$ MPa by a cutter at through passage with a cutting plate made from cemented carbide T15K6 with hardness HRA 95 and bending strength $\sigma=1200$ MPa with the principal edge angle in the plan $\varphi = 45^\circ$, the end cutting-edge angle (the auxiliary edge angle in the plan) $\varphi_1=45^\circ$, the nose radius $r=0,1$ mm (fig. 1), the side-rake angle $\gamma=+7^\circ$, $+15^\circ$, $+25^\circ$, $+35^\circ$, the side-relief angle (the principal clearance angle) $\alpha = 10^\circ$, the angle of the principal cutting edge inclination $\lambda=0^\circ$.

2. Calculation of the contact stress diagram in cutting steel

1) Determination of the technological components of the cutting forces (experimentally using a dynamometer Kistler);

Calculation of the physical components of the cutting force by the technological components of the cutting force is very important for plotting epures of contact stresses.

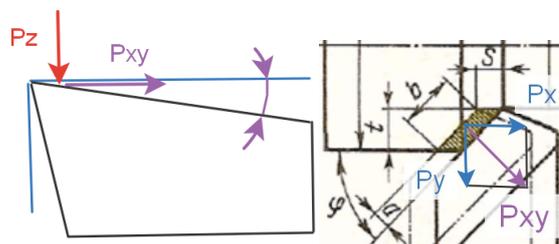


Fig. 1. Technological P_x , P_y , P_z and P_{xy} components of the cutting force

If the main rake angle γ is not equal to zero, then directly the physical components of the cutting force N_{Π} and F_{Π} cannot be measured. Therefore, when using a dynamometer, the technological components of the cutting force are measured:

Tangential component P_z directed vertically downward (Fig.1.);

The radial component P_y directed from the axis of rotation of the workpiece towards the operator in the main plane (horizontally) ;

Axial component P_x directed along the axis of rotation of the workpiece from the spindle in the main plane (horizontally).

The resulting force P_y and P_x , the force P_{xy} , acting in the main secant plane (Fig.1.), is calculated by the formula:

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Measurement of technological components of forces on a lathe using a dynamometer Kistler is shown in Fig. 2.

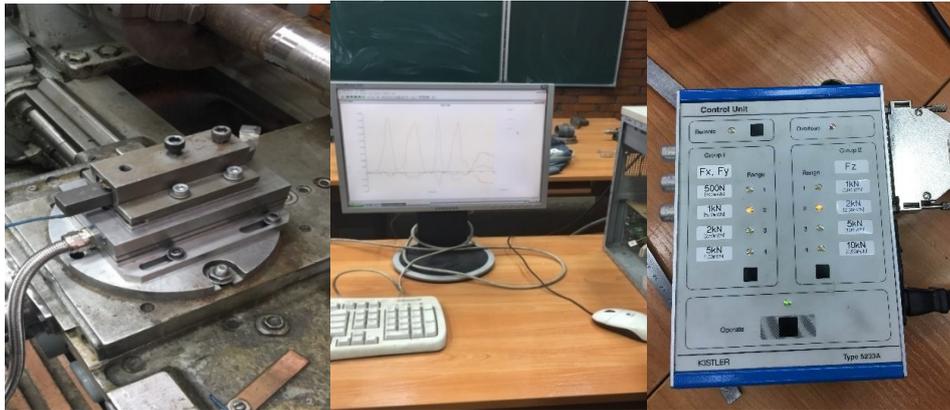


Fig. 2. Installing the cutter in a dynamometer Kistler on a lathe, setting up an amplifier to measure the technological components of the cutting force, measuring the length of chip contact with the front surface under various cutting conditions

2) Determination of the contact length of the chip with the rake surface;

After the experiment, the contact length with the chips with the front surface of the tool c is measured at various front angles γ (Fig.3.).

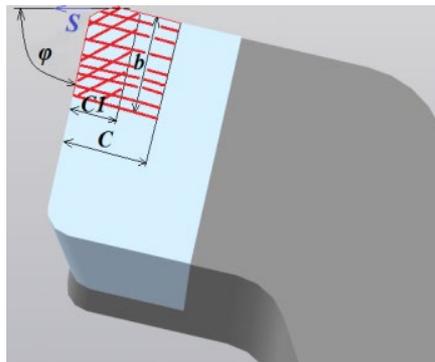


Fig.3. Measurement of total contact length c and length of plastic contact c_1 of a chip with a rake surface of a cutter

From the experimental points of the graphs of the change in the contact length c from the slice thickness a using the MatLab software, the functional relationship

between c and a is determined for different rake angles γ [$c = f(a)$] (Fig. 4):

When $\gamma=7^\circ$ $c=0.026+8.955a-10.903a^2$ (mm);

When $\gamma=15^\circ$ $c=-0.1028+9.564a-12.483a^2$ (mm).

When $\gamma=25^\circ$ $c=-0.0164+8.728a-10.638a^2$ (mm).

When $\gamma=35^\circ$ $c=-0.205+8.105a-9.507a^2$ (mm).

We determine the equations $c = f(\gamma)$ (Fig. 5.) for $s = 0.07-0.52$ mm / rev by using the MatLab software;

When $a=0,05\text{MM}$ $c = -0.01*\gamma + 0.5(\text{mm})$;

When $a=0,078\text{MM}$ $c = -0.01015*\gamma + 0.75(\text{mm})$;

When $a=0,163\text{MM}$ $c = -0.01074*\gamma + 1.28(\text{mm})$;

When $a=0,24\text{MM}$ $c = -0.01137*\gamma + 1.55(\text{mm})$;

When $a=0,368\text{MM}$ $c = -0.0115*\gamma + 1.905(\text{mm})$.

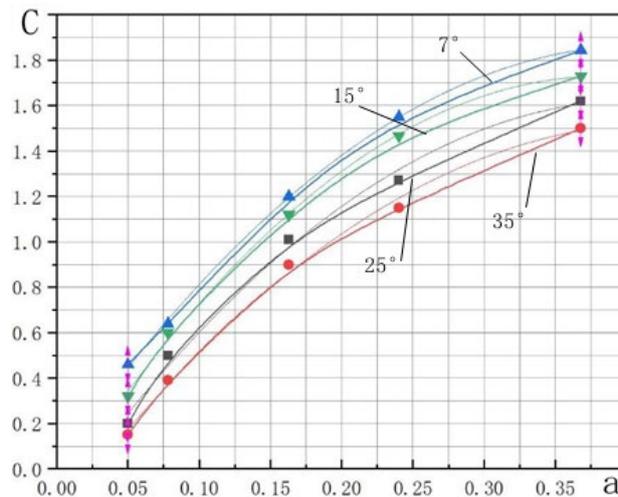


Fig. 4. Determining the equation of change in the contact length $C(C = f(a))$ depending on the cut depth a for the rake angle $\gamma=7^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ and 35° when processing 40x steel

3) The calculation of physical components of the cutting force

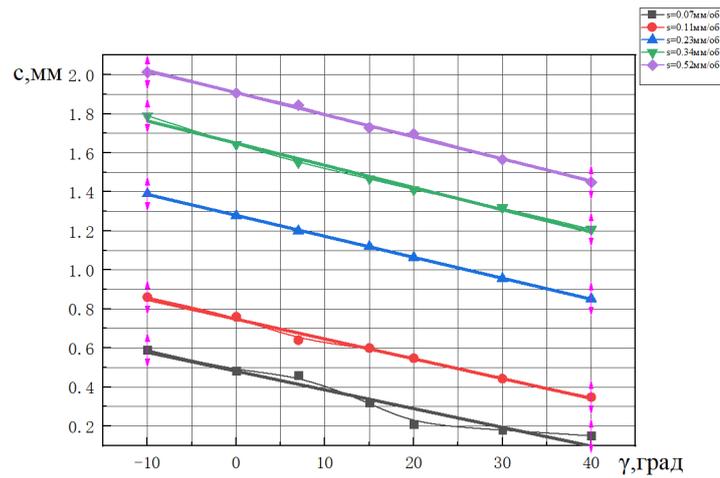


Fig. 5. Determining the equation of change in the contact length $C(C = f(\gamma))$ depending on the rake angle γ for the cut depth $a = 0.05-0.37$ mm when processing 40x steel

The calculation of the physical components of the cutting force N and F according to the technological components P_z and P_{xy} at a rake angle $\gamma \neq 0^\circ$ is carried out according to the formulas obtained from vector sums (Fig.6.):

$$P_z = NP_z + FP_z; \quad P_{xy} = FP_{xy} + NP_{xy};$$

From these formulas we get 2 equations for calculating the physical cutting forces: 1) $N = NP_z - NP_{xy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma$;

$$2) F = FP_{xy} + FP_z = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma.$$

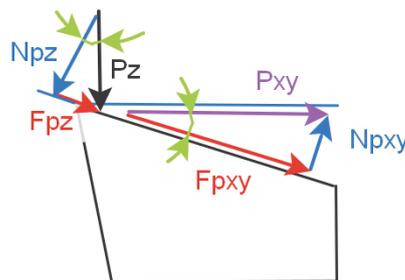


Fig. 6. Components of cutting forces on the rake surface in the main secant plane

4) The calculation of the shear contact stresses diagrams

Shear contact stress on a front surface in steel 40X machining on the area with length c_1 does not vary at moving far from the cutting edge, which confirms plastic character of the chip contact with the rake surface. It has magnitude $\tau_{\max} \approx P_{xy} / (c \times 0,75 \times b)$ MPa that is equal to shear strength of this steel at temperature nearby 700°C that corresponds to knowledge about the processes occurring on a rake surface .

5) Determination of the parameters of the diagrams of normal contact stresses relative to shear stresses

1. We proceed to the construction of the diagram of normal contact stresses σ (MPa). It is based on the regularity of the ratio τ / σ , i.e. a change in the conditional coefficient of friction $\mu = \tau / \sigma$ along the front surface, which is little dependent on the cutting conditions and the rake angle γ (Fig.7.).

2. With a relative contact length $\psi = x_i / a \approx 0.4$, i.e. at $x = 0.4 \times c = 0.4 \times 0.46 = 0.184$ mm, the graph σ will intersect with the graph τ , because at this point friction $\mu = 1$, i.e., there $\tau = \sigma$.

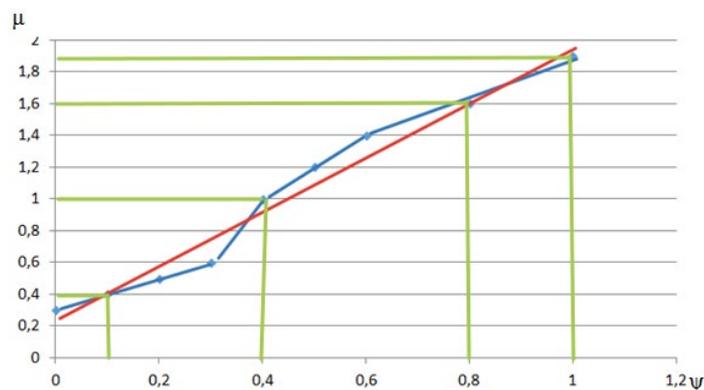


Fig.7. Change in the conditional coefficient of friction μ ($\mu = \tau / \sigma$) along the contact length of the chip with the front surface. $\psi_i = x_i / c$ - relative contact length [5]

3. In the area up to $x \approx 0.5c$ there is a horizontal line at the plot of normal cont. For example, σ , and at a further distance from the cutting edge, the plot σ has a rectilinear decrease to zero at the point $x = c$.
4. At the end of the chip contact with the cutter point $\psi \approx 0,8$ (i.e. at $x \approx 0,8c$) there should be $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$.
5. At a distance from the cutting edge $l_1 \approx a$, $\sigma_{l1} \approx (0,92 \dots 0,93) \times \sigma_{max}$, because there is no chip yet, it is only formed, the pressure from the cutter goes to the workpiece, so there is an approximately uniform distribution of normal stresses σ .
6. We set the approximate value σ_{max} . Approximately $\sigma_{max} \approx 2 \sigma_B$ (σ_B is the time resistance to rupture (MPa), we look at the reference for this material and heat treatment, i.e. the hardness of HB, for example, for steel 40X in bars (in the state of delivery, i.e. without additional heat treatment) $\sigma_B = 560$ MPa).

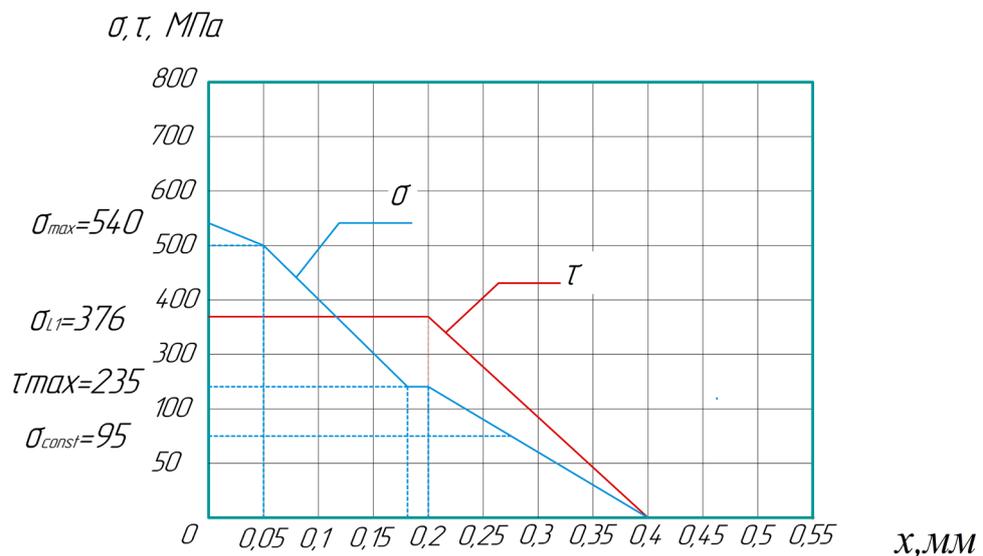


Fig. 8. Distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter in the main cross-section plane in steel 40X machining . $\gamma=7^\circ$, $\phi=45^\circ$, $v=120$ mm/s, $t=1.99$ mm $s=0.07$ mm/r. Abscissa is distance from a cutting edge along a rake surface x_i (mm).

6) Checking the correctness of distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter

1. Then we build the plot σ and correct it (correct), so that the equality

$N = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx$ is observed, where x_i changes from 0 (the coordinate at the cutting edge, i.e. at $x_i = 0$ mm) to $x_i = c$ (the coordinate of the chip separation point from the front surface, i.e. at $x_i = c$). To do this, we calculate the plot area σ : $S_\sigma = \sum \sigma_i$ (MPa / mm);

2. The normal force on the plot $N_\sigma = S_\sigma \times b$ (H) must be $\approx N_{\text{experiment}}$;

where b is the width of the chip contact with the cutter point, $b = t / \sin \varphi$.

If you want to increase the N_{digram} , then increase the σ_{max}

3. The shear force along the plot $F_\tau = S_\tau \times b$ (H) must be $\approx F_{\text{experiment}}$;

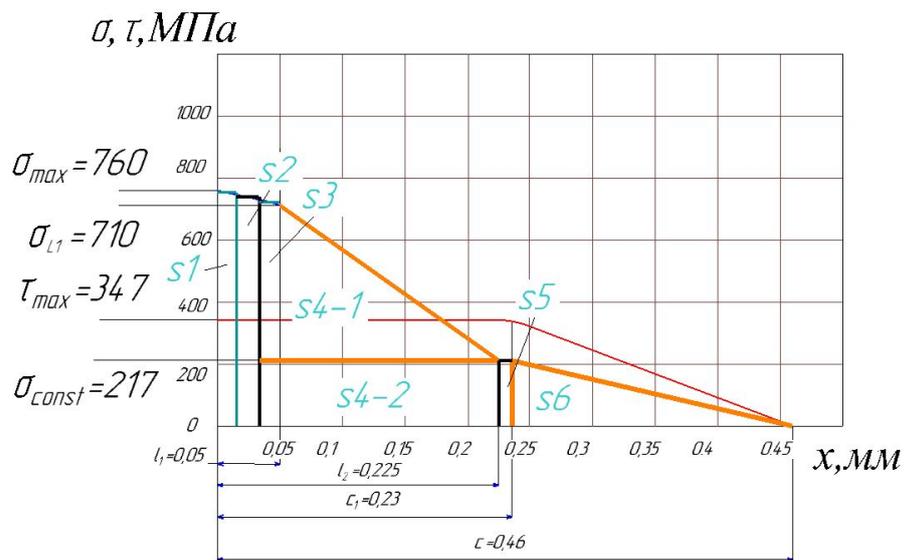


Fig.9. Checking the correctness of distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter in the main cross-section plane in steel 40X machining. $\gamma = 7^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $v = 120$ mm/s, $t = 1.99$ mm $s = 0.07$ mm/r.

Conclusions

1. In steel machining on the first half of a chip contact with a rake surface of a cutter the uniform shear contact stresses $\tau \approx \text{const} \approx 200\text{-}300$ MPa act, that speaks about plastic character of contact on this section.

2. In machining steel 40X a medium (an average) coefficient of friction on a rake surface is large $\mu_m \approx 0.6\text{-}0.8$. It leads to occurrence of essential radial force on a rake surface P_{y_r} , leads a sag of a transient surface.

3. In machining steel 40X we accept that length of contact of a chip with a rake surface $c = 9 \dots 10 \cdot a$, where a – is uncut chip thickness (mm);

4. In machining steel 40X the greatest normal contact stress on a rake surface $\sigma_{\max} \approx 1900\text{-}2300$ (MPa) depends on feed rate;

5. In machining steel 40X a normal σ_h and a shear τ_h contact stresses on a flank surface chamfer near the cutting edge is approximately equal to zero that is connected with a sag of a transient surface under the influence of a radial component cutting force on the rake surface P_{y_r} in machining of the materials forming a discontinuous chip.

6. In machining steel 40X a normal σ_h and a shear τ_h contact stresses on a flank surface chamfer are increased when moving far from a cutting edge that is connected with recovery of a transient surface. It explains a tool failure at wear on a flank surface more than 1.3 mm ($h_f > 1.3$ mm).

7. Under our formulas, output on the basis of experimental data, it is possible to calculate component forces of cutting and contact stresses on a rake surface and on a flank-land of a cutter in turning steel 40X.

Acknowledgments

The reported study was funded by National Research Tomsk Polytechnic University.

References

[1] Kozlov V., Zhang J., Cui J., Bogolyubova M. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. v. 743, pp. 252-257. (<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.743.252>).

[2] Kozlov V.N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear // Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, v. 2, pp. 147-151.

[3] Proskokov A.V. and Petrushin S.I. Chip Formation with a Developed Plastic-Deformation Zone // Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, v. 2, pp 173-177.

[4] Артамонов Е. В., Помигалова Т. У., Утешев М. Х. Исследование напряжений, деформаций и прочности сменных режущих пластин методом конечных элементов / Е. В. Артамонов, Помигалова Т. У., Утешев М. Х. / под общей ред. М.Х. Утешева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. – 147 с.

[5] Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 352-356.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Чжао Цзялунь

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		22.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжао Цзялунь		22.02.21

4 .Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью работы является исследование конструкции и технических особенностей концевых фрез из Р6М5

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие работы

1) Определить возможные способы увеличения прочности и износостойкости концевых фрез с механическим креплением СМП.

2) Определить рациональные режимы резания (v , s_z , V , t) при черновой обработке стали.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (исследовательских работ).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Конкурентоспособность
------------------------	---------------------	--------------	------------------------------

		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,08	5	3	4	0,5	0,4	0,4
2. Энергоэкономичность	0,13	4	4	4	0,65	0,65	0,39
3. Время расчеты в ansys	0,08	5	5	5	0,4	0,39	0,24
4. Энергоэкономичность	0,09	4	5	4	0,28	0,28	0,21
5. Надёжность	0,12	5	5	4	0,48	0,48	0,62
6. Простота эксплуатации	0,12	4	4	3	0,55	0,54	0,46
7. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,11	5	4	4	0,53	0,52	0,37
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,06	4	4	3	0,46	0,38	0,43
3. Финансирование научного исследования	0,12	5	4	4	0,42	0,33	0,32
Итого	1	46	43	39	4,72	4,42	3,8

Расчет конкурентоспособности, на примере простоты эксплуатации второго конкурента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i \quad (4.1)$$

Где:

K – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя;

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2:

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Установить ANSYS на компьютер сложнее
С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Высокие требования к моделям оборудования
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.
С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Универсальность продукции	Сл5. Относительно высокая цена
Возможности	Угрозы
В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.	У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Использование в сфере машиностроения	У3. Конкуренция.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3 – 4.6:

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	+	-	-
	B2	+	-	-	+	-
	B3	+	-	-	+	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны».

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	+	+	-	+

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-
	У3	-	+	+	+	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны».

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	-
	У3	-	+	-	+	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4,7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями. С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере. С5. Универсальность продукции</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Установить ANSYS на компьютер сложнее Сл2. Высокие требования к моделям оборудования Сл3. Высокие требования к установке внутренних настроек в программу ANSYS. Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. Сл5. Относительно высокая цена</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения. В3. Использование в сфере машиностроения</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что соответствует дополнительному спросу на полученные результаты исследования в учебной сфере. В2В3С1С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии и перспективный способ изучения соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие технологии машиностроения и внедрению технологии в аэрокосмической области.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В3Сл2Сл3Сл5. Внедрение технологии в машиностроительной области требует долгого времени к подготовке моделирования и высококвалифицированных знаний о программе ANSYS</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок. У3. Конкуренция.</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С4. Несмотря на отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях, наши исследования обладают высокой перспективностью в данной сфере. У2С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями и более свежие результаты по сравнению с зарубежными аналогами.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У2Сл4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок угрожает полученным результатам исследования за счёт их погрешности и неопределенности в некоторых случаях.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные

недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8:

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководи- тель
	2	Календарное планирование вы- полнения диссертации.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические ис- следования	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер
	6	Подготовка образцов для экспе- римента	Инженер, Научный руководитель
	7	Проведение компьютерного экс- перимента.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных.	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов.	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной за- писки.	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} \quad (4.2)$$

Где:

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{Pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{Pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

Где:

T_{Pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел;

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k \quad (4.4)$$

Где:

T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

k – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5)$$

Где:

$T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{праз}}$ – общее количество праздничных дней в году;

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 4.9:

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{Рi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{Кi}$
	$t_{мини}$, чел-дни		$t_{макс}$, чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение тем диссертации, утверждение плана-графика.	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4,14
2. Календарное планирование выполнения диссертации.	1	3	3	4	1,8	3,4	3,4	3,85
3. Обзор научной литературы	-	10	-	15	-	12	12	17,76
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	5,62
5. Планирование эксперимента	4	8	6	12	4,8	9,6	9,6	10,66
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	8,58
7. Проведение компьютерного эксперимента.	-	10	-	15	-	12	12	17,76
8. Обработка полученных данных.	-	20	-	30	-	24	24	35,52
9. Оценка правильности полученных результатов.	3	8	5	10	3,8	8,8	8,8	9,32
10. Составление пояснительной записки.	-	20	-	40	-	28	28	41,44
Итого:	10	87	18	138	13,2	107,4	110,2	154,65

Примечание:

Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – инженер;

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Виды работ	Исп	Т _к . кал · дн.	Продолжительность работ																
				Январь			Февраль			Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Исп1	4																	
2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Исп1 Исп2	4	 																
3	Обзор научной литературы	Исп2	18																	
4	Выбор методов исследования	Исп2	6																	
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	10				 													
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9																	
7	Проведение компьютерного эксперимента.	Исп2	18																	
8	Обработка полученных данных.	Исп2	36																	
9	Оценка правильности полученных результатов.	Исп1 Исп2	9														 			
10	Составление пояснительной записки.	Исп2	41																	

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель);



– Исп. 2 (инженер);

4.3 Бюджет научно-технического исследования.

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при исследовании. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	5	1 700
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			5190

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.6)$$

Где: n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m \quad (4.7)$$

Где:

I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	5	70	70
Итого				70 тыс. руб.	

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 5 лет (по формуле 4.6):

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 4.7):

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m = \frac{0,2 \times 70000}{12} \times 5 = 5833,33 \text{ руб}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p \quad (4.8)$$

Где:

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней. (по таблице 4.9 для инженера: $T_{p2} = 107,4$ дней, для руководителя: $T_{p1} = 13,2$ дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \times M}{F_d} = \frac{55575 \cdot 10,3}{246} = 2326,92 \text{ руб} \quad (4.9)$$

Где:

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M=10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \times M}{F_d} = \frac{29640 \cdot 11,2}{213} = 1558,54 \text{ руб.}$$

(4.10)

Должностной оклад работника за месяц по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{м1} = Z_{мс1} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 28500 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 55575 \text{ руб}$$

(4.11)

– для инженера:

$$Z_{м2} = Z_{мс2} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 15200 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 29640 \text{ руб}$$

(4.12)

Где:

$Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя

$Z_{мс1} = 28500$ руб, а для инженера $Z_{мс2} = 15200$ руб);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск);

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, \text{руб}$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, \text{руб}$	$Z_{дн}, \text{руб}$	$T_{р}, \text{дн}$	$Z_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	28500	0,3	0,2	1,3	55575	2326,92	13,2	30715,34
Инженер	15200	0,3	0,2	1,3	29640	1558,54	107,4	167387,2
Итого:								198102,54

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн} = 0,15 \cdot 30715,34 = 4607,301 \text{руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн} = 0,15 \cdot 167387,2 = 25108,08 \text{руб.}$$

Где:

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15);

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб1} = k_{внеб} \times (Z_{осн1} + Z_{доп1}) = 0,3 \times (30715,34 + 4607,301) = 10596,79 \text{руб}$$

– для инженера:

$$Z_{внеб2} = k_{внеб} \times (Z_{осн2} + Z_{доп2}) = 0,3 \times (167387,2 + 25108,08) = 57748,58 \text{руб}$$

Где:

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году –30% (ст. 425 НК РФ).

4.3.6 Накладные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5)k_{нр} \quad (4.13)$$

Где:

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.15:

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям.

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
5190	5833,33	198102,54	29715,381	68345,37	302640,29	48422,44	344585,73

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Исследование состояния пружины при нагрузке» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	5190	6200	4750
2	Затраты на специальное оборудование	5833	2300	2100
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	198102,54	200000	190000
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29715,381	30000	29000
5	Отчисления во внебюджетные фонды	68345,37	69500	67000
6	Накладные расходы	48422,44	49000	47000
Бюджет затрат НИР		344585,73	357000	339850

Где:

Исп.2 – Аналог 1, Исп.3- Аналог 2;

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1) Определить возможные способы увеличения прочности и износостойкости концевых фрез с механическим креплением СМП (19.02.21)

2) Определить рациональные режимы резания (v , s_z , B , t) при черновой обработке стали (22.02.21)

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 4.14:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.14)$$

Где:

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 344585,73 \text{руб} \quad \Phi_{\text{исп.1}} = 357000 \text{руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 339850 \text{руб}, \quad \Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.1}} = 357000 \text{руб}$$

По формуле 4,14 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{344585,73}{357000} = 0,983$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{357000}{357000} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{339850}{357000} = 0,952$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

4.4.2 Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

Объекты исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	5	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,15	5	4	4
4. Механические свойства	0,25	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	4

ИТОГО	1	4,8	4,4	3,95
-------	---	-----	-----	------

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0,25 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,8$$

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,25 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 4 + 0,15 \times 5 = 4,4$$

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,25 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 3 + 0,15 \times 4 = 3,95$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект с большим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

4.4.3 Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 4.15:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (4.15)$$

Где:

$I_{\text{эф.}i}$ – интегральный показатель эффективности i -ого варианта разработки;

$I_p^{\text{исп.}i}$ – интегральный показатель ресурсной эффективности i -ого варианта разработки;

$I_{\text{финр.}i}$ – интегральный финансовый показатель i -ого варианта разработки;

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_p^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр.текущ.проект}}} = \frac{4,8}{0,983} = 4,883$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.1}} = \frac{I_{\text{р}}^{\text{исп.1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,4}{1} = 4,4$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_{\text{р}}^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3,95}{0,952} = 4,149$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительные эффективности разработки.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,983	1	0,952
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,4	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	4,883	4,4	4,149
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,876	0.861

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу:

Вывод №1: результат анализа конкурентных технических решений заключается в том, что текущий проект является самым конкурентоспособным вариантом по сравнению с аналогами.

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общие количества дней для выполнения работ составляет 155 дней. Общие количества дней, в течение которых работал инженер, составляет 107,4 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 13,2 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет 344585,73 рублей. (требуемые затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

Вывод №4: Результаты оценки эффективности текущего проекта представляются ниже:

1) Значение интегрального финансового показателя текущего проекта составляет 0,983, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;

2) Значение интегрального показателя ресурсной эффективности текущего проекта составляет 4,8, по сравнению с 4,4 (первого конкурента) и 3,95 (второго конкурента);

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 4,883, по сравнению с 4,4 (первого конкурента) и 4,149 (второго конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

**Раздел «Социальная ответственность»
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Чжао Цзялунь

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	150401/Машиностроение

Тема ВКР: Повышение работоспособности концевых фрез с механическим креплением режущих пластин

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования является работоспособности концевых фрез с механическим креплением режущих пластин.</p> <p>Рабочая зона– участок цеха.</p> <p>Область применения: автоматизация технологического процесса</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p>1. Анализ показателей микроклимата</p> <p>2. Анализ показателей шума</p> <p>3. Анализ освещенности рабочей зоны</p> <p>4. Анализ значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</p>
3. Экологическая безопасность	<p>1. Защита селитебной зоны</p> <p>2. Анализ воздействия объекта на атмосферу;</p> <p>3. Анализ воздействия объекта на гидросферу;</p> <p>4. Анализ воздействия объекта на литосферу;</p> <p>5. Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<p>1. Перечень возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия;</p> <p>2. Выбор наиболее типичной ЧС;</p> <p>3. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.21
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			09.03.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжао Цзялунь		09.03.21

5. Социальная ответственность

Введение

При выполнении работы большая часть времени проводилась в корпусе (16А) ТПУ. В лаборатории № 101 проводилось исследование конструкции и технические особенности концевых фрез из P6M5.

В результате экспериментов было установлено влияние толщины резания при чистовой обработке на износ передней поверхности режущих пластин и изменение составляющих сил резания с учётом выбранного переднего угол концевых фрез. Используемое оборудование и материалы имеют следующие виды: 1) Станок универсальный токарно-винторезный модели 1К62. 2) динамометр фирмы Kistler (Германия) с интерфейсом для подключения к персональному компьютеру. 3) Микроскоп БМИ-1. 4) Прутки из стали марки 40Х. 5) Державка токарная с набором твёрдосплавных сменных многогранных пластин с разными передними углами.

Полученные результаты позволяют инженерам знать стойкости и надежности инструмента и оптимальные параметры обработки

В этом разделе рассматриваются вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии со стандартами промышленной санитарии, промышленной безопасности и охраны окружающей среды.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;
- переход от ручной работы к механизированной;
- безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- знание и соблюдение техники безопасности;
- безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных помещений (соблюдение норм предельно допустимого количества абразива в воздухе и паров химических веществ);
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
 - соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
 - доступ к системе водоснабжения, сан.узлу;
 - регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых;
 - оборудованное помещение для отдыха работников, оснащенное

необходимой мебелью (стулья, кресла, столы, холодильник, микроволновая печь, электрический чайник);

- доступ к питьевой воде.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

На рисунке 5.1 показано спроектированное рабочее место.

Необходимыми требованиями являются обеспечение условий для безопасного ведения работ, соблюдение норм и правил техники безопасности, правил работы с электрооборудованием. Необходимо следить за концентрацией вредных веществ в воздухе, исправностью проводки, изоляции кабелей и пр., чтобы не допустить возникновения пожароопасных и взрывоопасных ситуаций.

Эксперименты проводятся под полным руководством инструктора. В моей работе самая опасная зона является рабочим местом станочника, поэтому во время станочных операций только один специальный оператор работает в рабочей зоне, который носит защитные очки и нельзя носить перчатки, потому что перчатки легко захватываются движущимися частями станка в процессе обработки. При очистке железных стружки необходимо использовать железную щетку.

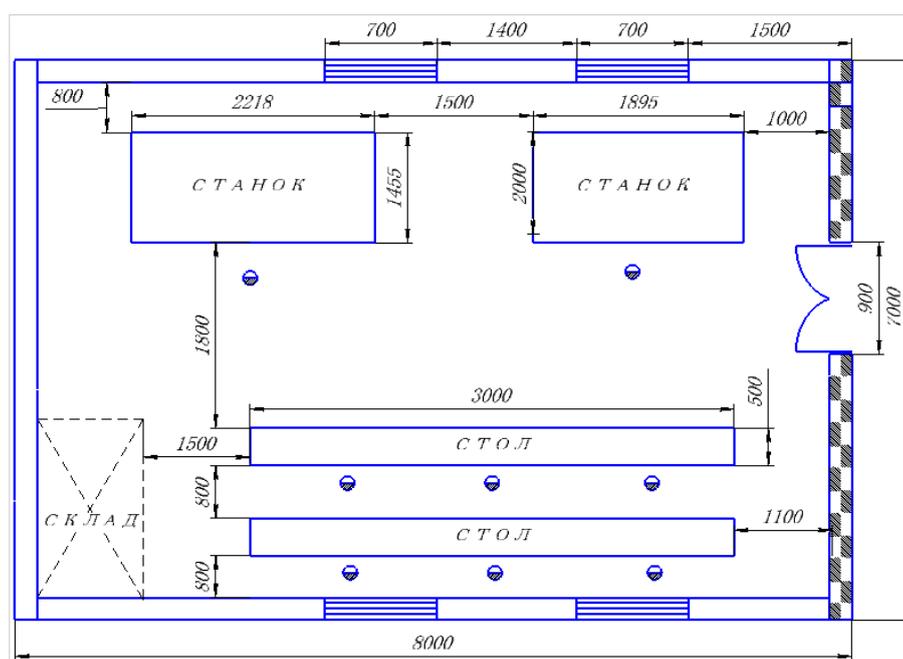


Рис.5.1 Рабочее место (Аудитория101А в 16А корпусе ТПУ)

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ условий труда на рабочем месте

Эксперименты проводились на металлообрабатывающем оборудовании, а по измерению – на динамометр:

- 1.Токарный станок 1К62;
2. Динамометр Kistler.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 5. 1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовле ние	Эксплуата ция	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

6. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся заготовки и материалы;	+	+	+	
--	---	---	---	--

5.2.2 Анализ показателей шума и вибрации

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не превышает 80 дБА. Максимальный уровень звука постоянного шума на нашем рабочем месте до 75 дБА. Основным источником шума является станки и обработки заготовки. Для снижения уровня шума, конструкцией станка предусмотрен закрытый корпус. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

Наиболее эффективны индивидуальные средства защиты, как правило, в области высоких частот. В качестве индивидуальных средств защиты применяют противозумные наушники, вкладыши и шлемофоны. Для высокого уровня шума применяются специальные шлемы, противозумные костюмы.

В данной работе используются противозумные наушники для защиты высокого уровня шума.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Шум от источников аэродинамического шума можно уменьшить применением виброизолирующих прокладок, установленных между

основанием машины, прибора и опорной поверхностью. В качестве прокладок используют резину, войлок, пробку, амортизаторы.

Настольные шумящие аппараты, счетные, перфорационные машины можно устанавливать на мягкие коврики из синтетических материалов, а под ножки столов - прокладки из резины, войлока толщиной 6-8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям. Замена - через 4-5 лет (из резины) и через 2-2,5 года (из войлока).

Действие акустического экрана основано на отражении или поглощении падающих на него звуковых волн и образование за экраном области звуковой тени. Экраны изготавливают из сложных твердых листов или щитов, облицованных звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм.

5.2.3. Анализ показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 75\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных

путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений соответствуют значениям, приведенным в таблице 2.2. [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплое время года необходимо обеспечить защиту от прямых солнечных лучей.

По общему энергопотреблению организма человека эти задачи делятся на три категории. Работа, связанная с разработчиками, попадает в категорию легких работ. В таблице 5.2 приведены допустимые значения микроклимата в этом случае.

Таблица 5.2. - Допустимые значения микроклимата

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	15 - 28	20 - 80	< 0,5
Теплый	средняя			

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов.

5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны

Помещения имеют как естественное, так и искусственное освещение. Вследствие того, что работа оператора по обслуживанию пульта управления радиостанцией соответствует разряду зрительной

работы III б, следует соблюдать следующие требования, предъявляемые рабочему месту.

Естественное освещение осуществляется через светопроемы, обеспечивающие необходимый коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,2 %.

В качестве источников света при искусственном освещении применяются преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ.

Освещенность системы общего освещения на рабочем месте оператора составляет не менее 200 лк, а комбинированная система освещения - не менее 750 лк. Для освещения помещения чаще всего используются светильники серии ЛБ 036 с зеркальными решетками, оснащенные высокочастотными балластами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Как правило, яркость светильника в вертикальном и горизонтальном направлениях, перпендикулярных углу излучения в диапазоне от 50 градусов до 90 градусов, составляет не более 200 кд / м², а угол защиты светильника составляет не менее 40 градусов. Коэффициент безопасности (Кз) общего осветительного оборудования принимается равным 1,5. Коэффициент пульсации не превышает 15%, что обеспечивается использованием газоразрядных ламп в общих осветительных приборах высокочастотных балластов (ВЧ ПРА) для всех типов ламп.

Рассчитаем искусственное освещение в помещении.

Проектирование искусственного освещения рабочего места будет сводиться к следующему:

- выбор системы освещения,
- определение необходимого числа светильников
- определение типа и размещения светильников.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, [м]:

H – высота помещения = 4;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес) = 0,5;

$h_n = H - h_c$ – высота светильника над полом, высота подвеса = 3,5;

h_p – высота рабочей поверхности над полом = 0,8;

$h = h_n - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью = $3,5 - 0,8 = 2,7$

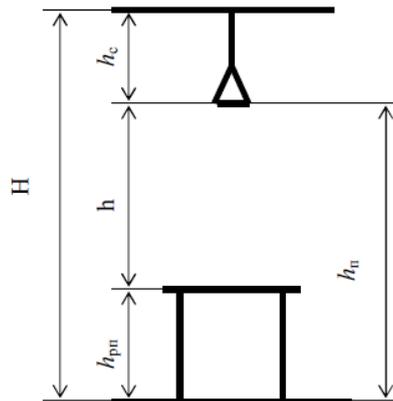


Рис.5.2 Основные расчетные параметры

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Приняв величину свеса светильника $h=2,7$ м и $\lambda=1,4$ (для ОД), определим расстояние между светильниками L :

$$L = \lambda \cdot h = 2,7 \cdot 1,4 = 3,78 \text{ м}$$

Необходимо изобразить в масштабе в соответствии с исходными данными план помещения, указать на нём расположение светильников и определить их число.

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$L/3 = 3,78/3 = 1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составит 52 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения в нем светильников (рис.2.2).

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 8 \cdot 1 \cdot 2 = 16$ ламп.

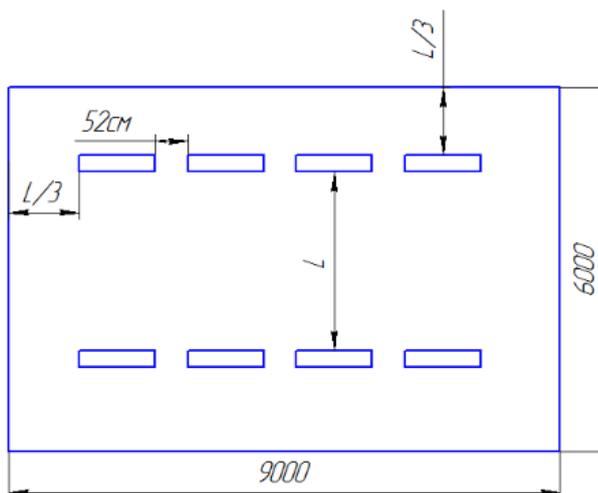


Рис.5.3 План размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле $i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}$.

$$i = \frac{6 \cdot 9}{2,7 \cdot (6 + 9)} = \frac{54}{40,5} = 1,3$$

По таблице определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,53$.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\hat{O} = \frac{E_i \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta}, \text{ где:}$$

E_i – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95,лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли);

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{cp.} / E_{min}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η - коэффициент использования светового потока

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 54 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,54} = \frac{24255}{5,76} \approx 3094 \text{ Лм}$$

Расчитав световой поток Φ , зная тип лампы, выбирается стандартная ближайшая лампа и определяется электрическая мощность всей осветительной системы. Если необходимый поток светильника выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректируется число светильников n либо высота подвеса светильников.

Выбираем стандартную ближайшую лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{2850 - 3094}{3094} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq -8,5\% \leq +20\%$$

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректировать число светильников n либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega * S = 40 * 54 = 2160 \text{ Вт.}$$

Тогда мощность каждой лампы:

$$P_n = P / n = 2160 / 16 = 135 \text{ Вт.}$$

Определим электрическую мощность осветительной установки

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт.}$$

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

В нашей рабочей области освещение является достаточным.

5.2.5 Анализ электробезопасности

Оборудование, находящееся в пределах рабочей площадки (насосы, ротор, подъемник), работает от электрического тока. Как следствие, существует вероятность поражения электрическим током рабочего. Проходя через человека электрический ток воздействует на организм следующим образом:

1) Биологическое воздействие. Выражается в раздражении и возбуждении живых клеток организма, что приводит к непроизвольным судорожным сокращениям мышц, нарушению нервной системы, органов дыхания и кровообращения.

2) Электролитическое воздействие. Проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

3) Термическое воздействие. Сопровождается ожогами участков тела и перегревом отдельных внутренних органов, вызывая в них различные функциональные расстройства. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

По электрической опасности помещение относится к категории без повышенной опасности.

При эксплуатации электрического оборудования необходимо помнить о возможности случайного прикосновения или приближения к токоведущим частям и прикосновения к металлическим нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, о переходе в трансформаторе высокого напряжения на низкое, о переходе тока низкой частоты в цепь высокой, об образовании электроискр, дуг или о нагреве токоведущих частей.

5.3 Анализ экологической безопасности.

Охрана окружающей среды является сложной проблемой, и наиболее активной формой её решения является снижение вредных выбросов промышленных предприятий путем полного перехода на безотходную или малоотходную технологию производства.

5.3.1 Защита селитебной зоны

В моем эксперименте не влияет на селитебную зону, потому что мой эксперимент далеко от жилых районов.

5.3.2. Анализ воздействия объекта на атмосферу

В моем эксперименте не влияет на состояние атмосферы, потому что в процессе не возникает новые вредные газы.

5.3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу

В моем эксперименте не влияет состояние гидросферы, потому что в процессе не использовать жидкость.

5.3.4 Анализ воздействия объекта на литосферу

В моем эксперименте не влияет состояние литосферы.

5.3.5 Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

При эксперименте точения стали образуются много железных стружек, мы собираем эти железные стружки и перенесем их на склад после эксперимента, а затем перевезут стружки в специализированный завод на переработку для повторного использования.

Экспериментальные инструменты и заготовки можно продолжать использовать на школьных фабриках. Больше изношенный режущий инструмента в эксперименте может быть использован в качестве типичного примера в обучении.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуация - это ситуация опасных событий или явлений,

которые приводят к нарушениям безопасности жизни. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физические упражнения, вредные дозы эффективных токсических веществ, высокие дозы радиации, производственный шум и вибрация и другие опасности, которые могут нанести вред человеческой жизни.

Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

Так как г.Томск расположен в Сибири, где температура зимой опускается до опасных для человека морозов, существует риск чрезвычайной ситуации природного характера. Природная чрезвычайная ситуация — обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате источника чрезвычайной ситуации, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Для того, чтобы устранить полностью или снизить ущерб от различных возможных чрезвычайных ситуаций, проводятся профилактические мероприятия, поэтому при аварии на:

- Водоканале: следует обеспечить подвоз питьевой и технической воды рабочим, если нет возможности прервать технологический цикл изготовления деталей. Также в цеху рекомендуется иметь запас питьевой воды из расчёта 2 л/чел. в смену.

- Теплотрассе: предусмотреть обогреватели помещения, работающие от электрической сети, а также СИЗ (тёплая одежда, перчатки, шапки).

- Электросетях: следует обеспечить генератором (бензиновым или дизельным), который сможет производить ток требуемой мощности. Так же для профилактики рекомендуется:

1)Снабжение предприятия, учреждения, населенного пункта с двух направлений, от независимых энергоисточников. Это значительно повышает надежность, так как одновременный выход из строя двух линий передачи электроэнергии (при закольцованности) менее вероятен;

2)замена воздушных линий на кабельные подземные;

– Транспорте: предприятие, зная механизм образования зимней скользкости, обязано не только ликвидировать ее при обнаружении в установленные сроки, но и проводить профилактические мероприятия при наличии прогноза погодных условий, являющихся причиной образования зимней скользкости на дорогах, в том числе применять меры реагирования по ее устранению после окончания выпадения осадков, не дожидаясь сообщений со стороны третьих лиц.

Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Помещение относится к категории ВЗ – пожароопасное.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

и мерах безопасности.

Предоставлены сведения о способах оповещения и необходимых действиях населения при возникновении аварии

В соответствии со стандартом, целями составления долю настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду. Данные цели достигнуты.

Список литературы

1. Энциклопедия по машиностроению XXL
2. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с..
3. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2014, 520 с.
4. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
5. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
6. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.
7. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
8. Каталог инструментов. Твёрдосплавный инструмент российского производства. АО «Кировоградский завод твёрдых сплавов» 2019, открытый доступ www.kzts.ru.
9. Чэнь Юэчжоу. Особенности исследования контактных напряжений на поверхностях резца / Чэнь Юэчжоу, Чжао Цзялунь, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 24-26 апреля 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 59-66] .
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т.2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
11. Zhang J., Kozlov V. N., Guo Y., Sabavath S. K. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V. N. Kozlov // Научная инициатива иностранных студентов и

аспирантов российских вузов : сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 39-45].

12. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014, № 2, с. 100–113.

13. V. N. Kozlov, Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear, *Proc. 7th Int. Forum on Strategic Technology* (2012) 2 147-151.

14. Козлов В.Н., Чжан Ц. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 8, ч. 2. – с. 88-94.

15. 77-48211/492011, 10 октябрь 2012 г, УДК621.914, Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков, Утенков В. М., Быков П. А

16. Чжан Цзяюй. Прочность режущего инструмента при врезании / Чжан Цзяюй, Ли Ян, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 24-26 апреля 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 46-52] .

17. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца // Вопросы оптимального резания металлов. – Уфа, Изд-во УФАИ, 1976. – С. 76-78.

18. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.

19. Чжан, Ц.. Влияние вида износостойкого покрытия на стойкость режущего инструмента [Электронный ресурс] / Ц. Чжан, В. Н. Козлов, Ш. Лю // Современные проблемы машиностроения сборник научных трудов

XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Ю. Арляпова [и др.] . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 160-163] . — Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.

20. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М.: Машгиз, 1962. 152 с.

21. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.Н., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Под ред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352 с.

22. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.

23. Kirsanov S. V., Babaev A. S. Study of Accuracy and Surface Roughness of Holes in Comparative Testing of Small Diameters Gun Drills // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 66. – I. 1. – P. 1-5.