

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
<b>Исследование прочности цельных фрез методом конечных элементов</b>

УДК: 517.962:621.914.2:539.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ю Цзяньюй	<i>ЮЦзяньюй</i>	05.06.21

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов Виктор Николаевич	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мартюшев Никита Владимирович	к.т.н.		

**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	Ю Цзяньюй

Тема работы:

Исследование прочности цельных фрез методом конечных элементов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.04.2021 № 102-33/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследовать влияние геометрии концевых фрез на их напряжённно-деформированное состояние при резании стали. Рассчитать напряжённно- деформированное состояниережущего инструмента.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Обзор и анализ научно-технической литературы по теме ВКР. Формулирование цели и задач исследования о влиянии геометрии режущего инструмента и режима резания на их напряжённно-деформированное состояние при резании стали. Исследование длины контакта стружки с передней поверхностью при переднем угле от 0 до +15° 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 определение распределения контактных напряжений на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности.

	Построение эпюр контактных напряжений и определение зависимости их основных параметров от толщины среза и величины переднего угла. Исследование напряжённо-деформированного состояния режущего инструмента с помощью программы ANSYS при переднем угле от 0 до +15° при обработке стали с толщиной среза от 0,05 до 0,368 мм.
<b>Перечень графического материала</b>	Слайды по литературному обзору, 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.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Раздел ВКР на иностранном языке	Айкина Татьяна Юрьевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
<b>Investigation of the strength of solid end milling cutters by the finite element method</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.10.19
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ю Цзяньюй	<i>ЮЦзяньюй</i>	10.10.2019

## Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать 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, вырабатывая 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
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
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
<b>Профессиональные компетенции</b>	
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 Ю Цзяньюй

### **Исследование прочности цельных фрез методом конечных элементов**

Выпускная квалификационная работа выполнена на 128 страницах, содержит: 97 рисунков, 33 таблицы, 10 источников.

**Ключевые слова:** концевая цельная фреза, обрабатываемость стали, прочность режущего инструмента, износ режущего инструмента, напряжённо-деформированное состояние режущего инструмента.

**Объектом исследования** является концевая цельная фреза.

**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 концевых цельных фрез. Рассмотрено влияние толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, параметры эпюр контактных напряжений на передней и задней поверхностях, картины НДС концевых цельных фрез. Приведены экспериментальные данные по стойкости фрез, определены оптимальные режимы резания. При проведении экспериментов использовался токарный станок 1К62, трехкомпонентный токарный динамометр Kistler, а также программа «ANSYS» для расчета НДС концевых цельных фрез.

В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент.

Результаты работы позволят использовать рациональные геометрические параметры концевых цельных фрез и режимы резания при обработке стали для повышения работоспособности концевых цельных фрез.

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 твердосплавными пластинами.

**The report**  
of graduate qualification work  
by student of gr. 4AM91 You Jianyu  
**Investigation of the strength of solid end milling cutters by the finite element  
method**

The Final Qualifying Work (Diploma Thesis) is executed on 128 pages of the explanatory note, contains: 97 figures, 33 tables, 10 sources.

**Key words:** solid end milling cutter, 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 solid end milling cutter.

**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 end milling cutter. 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 end milling cutter.

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 end milling cutter and cutting modes when processing steel cutting to improve the performance of end milling cutter.

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.....	12
1. Цели и задачи исследования.....	13
2. Литературный обзор.....	14
2.1. Исследование конструкции концевых цельных фрез.....	14
2.2. Исследование режима резания при фрезеровании стали .....	16
2.3. Влиянии угла наклона главной режущей кромки $\lambda$ при токарной обработке	21
2.4. Влиянии угла подъёма винтовой канавки фрезы $\omega$ силы резания .....	23
2.5. Исследование контактных и внутренних напряжений .....	27
2.6. Исследование сил резания при фрезеровании .....	29
2.7. Метод конечных элементов (МКЭ).....	31
3. Методика выполнения работы .....	32
3.1. Измерение составляющих сил резания при резании стали.....	32
3.2. Расчёт составляющих силы резания, действующих на зуб фрезы .....	33
3.3. Расчёт физических составляющих силы резания.....	39
3.4. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений и построение эпюр .....	40
3.5. Окончательное определение параметров эпюр контактных напряжений.....	43
3.6. Расчёт физических составляющих силы резания, действующих на ограниченных участках контакта стружки .....	45
3.7. 3D-модель концевой цельной фрезы .....	47
3.8. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS.....	48
3.9. Исследование НДС режущего клина с тремя передними углами $\gamma$ и с тремя различными углами подъёма винтовой канавки фрезы $\omega$ .....	50
3.10. Исследование влияния износа по ленточке на НДС режущего клина .....	61
3.11. Исследование влияния износа по уголкам на НДС режущего клина.....	66
Заключение.....	74
Список литературы.....	75

Задания для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	77
Задания для раздела «Социальная ответственность» .....	100
Приложение А.....	118

## Введение

Режущие инструменты используются во всех отраслях промышленности при изготовлении деталей. 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 цельные концевые фрезы из твёрдосплавных материалов. Для получения поверхностей детали хорошего качества фрезы становятся более сложными, но из-за хрупкости твёрдого сплава возникает выкрашивание режущей кромки или даже поломка. Это значительно увеличивает себестоимость обработки.

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

При увеличении подачи происходит увеличение напряжений в режущем клине. Знание наибольшего эквивалентного, нормальных и касательного напряжений даст возможность оценки прочности инструментального материала для сопротивления этим нагрузкам. Другой проблемой является появление фаски износа на задней поверхности и, как следствие, увеличение на ней контактных напряжений. Именно увеличение нагрузки со стороны задней поверхности является в большинстве случаев причиной поломки режущих инструментов.

Несмотря на большое количество исследований в этой области, влияние геометрии режущего инструмента и, в частности, переднего угла и угла наклона винтовой канавки на внутренние напряжения остаётся недостаточно изученным.

Построение математических моделей концевых цельных фрез 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.

## 1. Цели и задачи исследования

**Цель работы:** повысить надёжность работы концевых цельных фрез и дать рекомендации по проектированию фрез и использованию рациональных режимов резания.

Задачи исследования:

1. Анализ литературы по исследованию режущего инструмента на прочность и стойкость.
2. Измерить составляющие силы резания и длину контакта стружки с передней поверхностью.
3. Определить эмпирические формулы для расчёта длины контакта стружки с передней поверхностью при разных передних углах и режимах резания.
4. Построить эпюры контактных напряжений при обработке стали 40Х.
5. Определить эмпирических формул для расчёта параметров эпюр контактных напряжений.
6. Исследовать напряженно-деформированное состояние(НДС) концевых цельных фрез при резании стали методом конечных элементов (МКЭ).
7. Определить влияние толщины среза  $a$  и переднего угла на внутренние напряжения концевых цельных фрез.
8. Определить влияние износа по задней поверхности главной режущей кромки (образование ленточки износа) и износа по уголкам на стойкость и надёжность работы концевых цельных фрез.
9. Дать практические рекомендации по использованию результатов исследований, выполненных в ВКР.

## 2. Литературный обзор

### 2.1. Исследование конструкции концевых цельных фрез

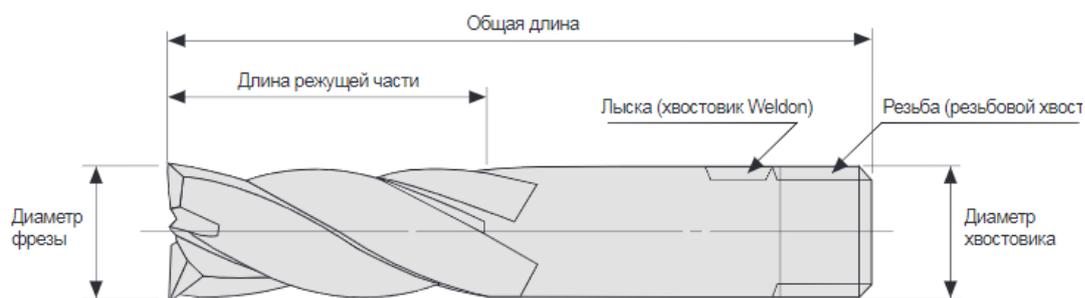


Рис.2.1.1.Конструкция концевой цельной фрезы

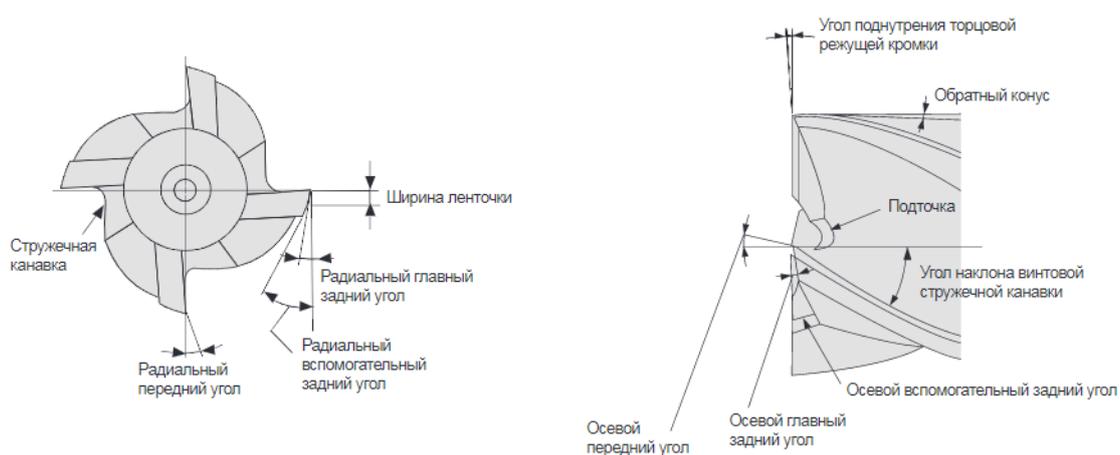


Рис.2.1.2.Конструкция концевой цельной фрезы

Концевая фреза—это многолезвийный режущий инструмент для фрезерования пазов, уступов и выемок на корпусе заготовки.

Режущая кромка – непосредственно режущая часть зуба, срезающая стружку. Линия пересечения передней и задней поверхности, она отвечает за основную режущую работу.

Ленточка - узкая поверхность на задней поверхности режущей кромки. На фрезах делается для облегчения контроля радиального биения, на черновых фрезах её нет (режущие кромки затачиваются наостро).

## Технические особенности концевых цельных фрез

Радиальный передний угол - угол между радиусом инструмента и радиальной передней поверхностью зуба, передний угол  $\gamma$  измеряется в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке.

Радиальный главный задний угол - задний угол измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы, т. е. в плоскости торца фрезы

Угол наклона винтовой канавки - угол наклона  $\omega$  винтовой режущей кромки служит для увеличения плавности работы фрезы и для создания направления сходящей стружки. Обычно угол наклона режущей кромки  $\omega$  назначают в пределах  $10-55^\circ$  в зависимости от типа фрез.



Рис.2.1.3. Фреза концевая твердосплавная 16 x 35 x 100 четырёх зубая, ВК8 передний угол  $\gamma=10^\circ$ , угол подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega=40^\circ$



Рис.2.1.4. Фреза концевая быстрорежущая 16 x 35 x 92 четырёх зубая (бывают трёх зубые для черновой обработки), P6M5, передний угол  $\gamma 10^\circ$ , угол подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega 40^\circ$

После сравнение параметров концевой цельной фрезы из P6M5 и ВК8 узнал, что нет разницы в параметрах.

## 2.2. Исследование режима резания при фрезеровании стали

### Скорость резания $V$ .

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v \quad (2.1)$$

где  $C_v$  – коэффициент, зависящий от вида фрезы, обрабатываемого и инструментального материалов;  $t$  – глубина резания (мм), для всех фрез, кроме торцевой, измеряется перпендикулярно оси фрезы;  $B$  – ширина фрезерования (мм), для всех фрез, кроме торцевой, измеряется параллельно оси фрезы;  $S_z$  – подача на зуб (мм/зуб);  $z$  – количество зубьев фрезы (шт.);  $D$  – диаметр фрезы (мм).

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания [1]

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} \quad (2.2)$$

где  $K_{Mv}$  – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал;

$K_{nv}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

$K_{uv}$  – коэффициент, учитывающий марку материала инструмента.

### Силы резания $P_z$ .

Главная составляющая силы резания при фрезеровании - окружная сила  $P_z$ ,  
Н

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} \quad (2.3)$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от вида фрезы, обрабатываемого и инструментального материалов;  $t$  – глубина резания (мм), для всех фрез, кроме торцевой, измеряется перпендикулярно оси фрезы;  $B$  – ширина фрезерования (мм), для всех фрез, кроме торцевой, измеряется параллельно оси фрезы;  $S_z$  – подача на зуб (мм/зуб);  $z$  – количество зубьев фрезы (шт.);  $D$  – диаметр фрезы (мм);  $n$  – частота вращения фрезы,  $V$  – скорость резания (м/мин), назначается или рассчитывается исходя из требуемой стойкости

инструмента  $T$  (мин), обрабатываемого и инструментального материалов, подачи и глубины резания.

$$\frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ об/мин.}$$

**Крутящий момент, Н·м, на шпинделе**

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} \quad (2.4)$$

Где  $D$ —диаметр фрезы, мм.

**Мощность резания (эффективная), кВт:**

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \quad (2.5)$$

Исследовал режимы резания при черновой и получистовой обработке стали 45 и стали 40Х для каждого материала фрезы, результат выглядит следующим образом:

- Материал фрезы : Р6М5
- Вид обработки: Черновая
- Обрабатываемый материал: Сталь45

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 0,9 \times 0,8 \times 1 = 0,72$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 16^{0,45}}{30^{0,3} \times 5^{0,5} \times 0,05^{0,5} \times 12^{0,1} \times 4^{0,1}} \times 0,72 = 57,3 \text{ м/мин;}$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 68,2 \times 5^{0,86} \times 0,05^{0,72} \times 12 \times 4}{16^{0,86} \times 1} \times 0,3 = 435 \text{ Н;}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{435 \times 16}{2000} = 3,48 \text{ Н·м;}$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{435 \times 57,3}{1020 \times 60} = 0,41 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы : Р6М5
- Вид обработки: Черновая
- Обрабатываемый материал: Сталь40Х

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 0,9 \times 0,8 \times 1 = 0,72$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 16^{0,45}}{30^{0,3} \times 5^{0,5} \times 0,05^{0,5} \times 12^{0,1} \times 4^{0,1}} \times 0,72 = 57,3 \text{ м/мин;}$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 68,2 \times 5^{0,86} \times 0,05^{0,72} \times 12 \times 4}{16^{0,86} \times 1} \times 0,3 = 435 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{435 \times 16}{2000} = 3,48 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{435 \times 57,3}{1020 \times 60} = 0,41 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы : P6M5
- Вид обработки: Получистовая
- Обрабатываемый материал: Сталь45

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 0,9 \times 0,8 \times 1 = 0,72$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 16^{0,45}}{30^{0,3} \times 1^{0,5} \times 0,01^{0,5} \times 12^{0,1} \times 4^{0,1}} \times 0,72 = 286 \text{ м/мин};$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 68,2 \times 1^{0,86} \times 0,01^{0,72} \times 12 \times 4}{16^{0,86} \times 1} \times 0,3 = 32,7 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{32,7 \times 16}{2000} = 0,26 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{32,7 \times 286}{1020 \times 60} = 0,15 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы : P6M5
- Вид обработки: Получистовая
- Обрабатываемый материал: Сталь 40X

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 0,9 \times 0,8 \times 1 = 0,72$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 16^{0,45}}{30^{0,3} \times 1^{0,5} \times 0,01^{0,5} \times 12^{0,1} \times 4^{0,1}} \times 0,72 = 286 \text{ м/мин};$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 68,2 \times 1^{0,86} \times 0,01^{0,72} \times 12 \times 4}{16^{0,86} \times 1} \times 0,3 = 32,7 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{32,7 \times 16}{2000} = 0,26 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{32,7 \times 286}{1020 \times 60} = 0,15 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы : BK8
- Вид обработки: Черновая
- Обрабатываемый материал: Сталь 45

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 1 \times 0,8 \times 0,8 = 0,64$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{145 \times 16^{0,44}}{30^{0,3} \times 5^{0,24} \times 0,04^{0,26} \times 12^{0,1} \times 4^{0,13}} \times 0,64 = 117 \text{ м/мин};$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 5^{0,85} \times 0,04^{0,75} \times 12 \times 4}{16^{0,73} \times 2328^{-0,13}} \times 0,3 = 225 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{225 \times 16}{2000} = 1,8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{225 \times 117}{1020 \times 60} = 0,43 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы :ВК8
- Вид обработки: Черновая
- Обрабатываемый материал: Сталь40Х

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 1 \times 0,8 \times 0,8 = 0,64$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{145 \times 16^{0,44}}{30^{0,3} \times 5^{0,24} \times 0,04^{0,26} \times 12^{0,1} \times 4^{0,13}} \times 0,64 = 117 \text{ м/мин};$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 5^{0,85} \times 0,04^{0,75} \times 12 \times 4}{16^{0,73} \times 2328^{-0,13}} \times 0,3 = 225 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{225 \times 16}{2000} = 1,8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{225 \times 117}{1020 \times 60} = 0,43 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы :ВК8
- Вид обработки: Получистовая
- Обрабатываемый материал: Сталь45

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 1 \times 0,8 \times 0,8 = 0,64$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{145 \times 16^{0,44}}{30^{0,3} \times 1^{0,24} \times 0,02^{0,26} \times 12^{0,1} \times 4^{0,13}} \times 0,64 = 206 \text{ м/мин};$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 1^{0,85} \times 0,02^{0,75} \times 12 \times 4}{16^{0,73} \times 4100^{-0,13}} \times 0,3 = 124 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{124 \times 16}{2000} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{124 \times 206}{1020 \times 60} = 0,42 \text{ кВт.}$$

- Материал фрезы :ВК8
- Вид обработки: Получистовая
- Обрабатываемый материал: Сталь 40Х

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 1 \times 0,8 \times 0,8 = 0,64$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{145 \times 16^{0,44}}{30^{0,3} \times 1^{0,24} \times 0,02^{0,26} \times 12^{0,1} \times 4^{0,13}} \times 0,64 = 206 \text{ м/мин};$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 1^{0,85} \times 0,02^{0,75} \times 12 \times 4}{16^{0,73} \times 4100^{-0,13}} \times 0,3 = 124 \text{ Н};$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{124 \times 16}{2000} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{124 \times 206}{1020 \times 60} = 0,42 \text{ кВт}.$$

Согласно приведенным выше результатам получается таблица 2.1. :

Таблица. 2. 1. – Исследование режимы резания при черновой и получистовой обработке стали 45 и стали 40X для материала фрезы P6M5 и BK8

Материалрезы	P6M5				BK8			
	Черновая		Получистовая		Черновая		Получистовая	
Обрабатываемый материал	45	40X	45	40X	45	40X	45	40X
Глубина фрезерования $t$ , мм	5	5	1	1	5	5	1	1
Ширина фрезерования $B$ , мм	12	12	12	12	12	12	12	12
Подачу на один зуб $s_z$ , мм/мин	0,05	0,05	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02
Скорость резания $v$ , м/мин	57,3	57,3	286	286	117	117	206	206
Стойкость $T$ , мин	30	30	30	30	30	30	30	30
Окружная сила $P_z$ , Н	435	435	32,7	32,7	225	225	124	124
Крутящий момент $M$ , Н·м	3,48	3,48	0,26	0,26	1,8	1,8	1	1
Мощность резания $N_e$ , кВт	0,41	0,41	0,15	0,15	0,43	0,43	0,42	0,42

Хотя у нас обрабатываемые материалы разные (Сталь 40X и Сталь 45), нет никакой разницы в режимах резания, рассчитанных по приведенной выше формуле. Или можно сказать, что разница в режиме резания очень мала для обрабатываемых материалов Стали 40X и Стали 45.

Рассчитал режимы резания по приведенной выше формуле и сравнил ее с результатом эксперимента:

- Материал фрезы : P6M5
- Вид обработки: Черновая
- Обрабатываемый материал: Сталь 45
- Режим резания:  $t=1$  мм;  $B=8$  мм;  $D=16$  мм;  $z=4$ .
- Сила  $P_z = 220$  Н.

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 0,9 \times 0,8 \times 1 = 0,72.$$

Исходные данные:  $t=1$  мм;  $B=2$ мм;  $D=16$ мм;  $Z=4$ .

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 68,2 \times 1^{0,86} \times 0,09^{0,72} \times 8 \times 4}{16^{0,86} \times 1} \times 1 = 384 \text{ Н};$$

После сравнения сил резания по формуле с силам резания по эксперименту, делаем вывод, что эксперимент даёт более правильный результат, поэтому поправочный коэффициент  $K$ , на который необходимо умножать **рассчитанную** величину  $P_z$  ( $P_{z \text{ расч}}$ ),  $K = 220/384 = 0,57$ .

- Материал фрезы: ВК8
- Вид обработки: Черновая
- Обрабатываемый материал: Сталь 45
- Режим резания:  $t=1$  мм;  $B=8$  мм;  $D=16$ мм;  $z=4$ .
- Сила  $P_z = 200$  Н.

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} = 1 \times 0,8 \times 0,8 = 0,64$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 1^{0,85} \times 0,09^{0,75} \times 8 \times 4}{16^{0,73} \times 2328^{-0,13}} \times 1 = 244 \text{ Н};$$

поэтому поправочный коэффициент  $K = 200/244 = 0,82$ .

### 2.3. Влиянии угла наклона главной режущей кромки $\lambda$ при токарной обработке

**Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$**  – угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью. Влияет на условия первоначального контакта инструмента и заготовки, на направление схода стружки.

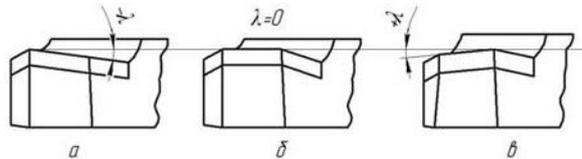


Рис.2.3.1. угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ :  
а – отрицательный угол; б – равен нулю; в – положительный угол

**Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  оказывает влияние:**

- на направление схода стружки;
- на последовательность вступления в работу различных точек режущей кромки;
- на её активную длину;
- на плавность врезания и выхода режущей кромки из контакта с заготовкой.

Необходимо отметить, что с увеличением угла  $\lambda$  качество обработанной поверхности ухудшается.

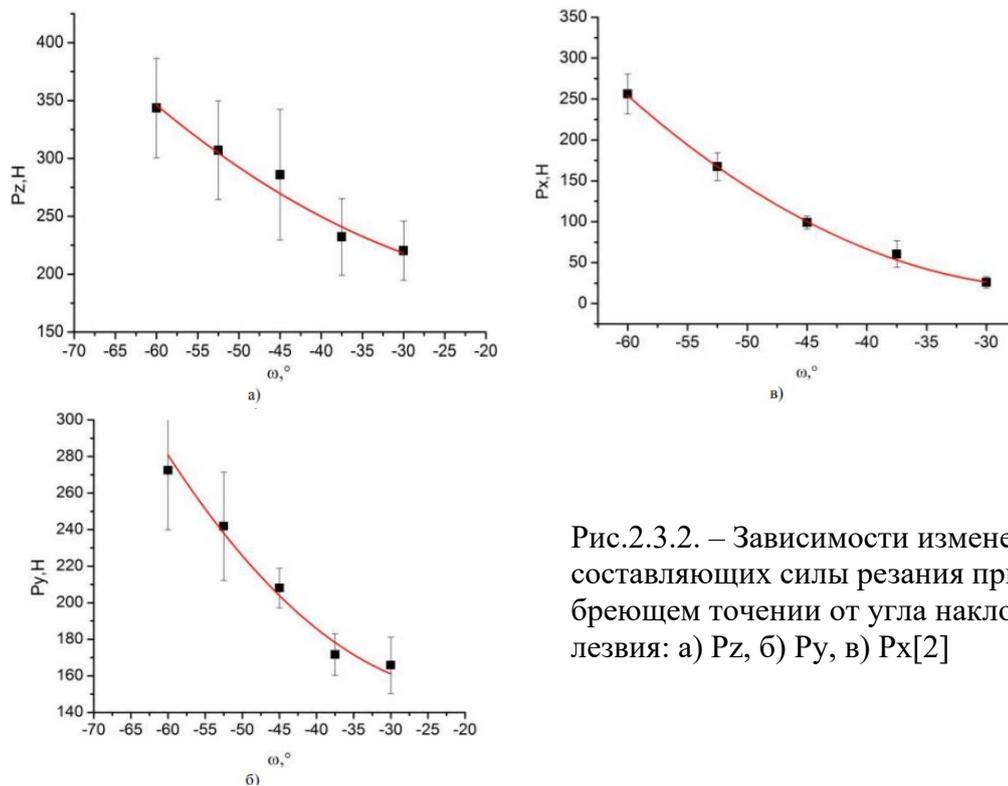


Рис.2.3.2. – Зависимости изменения составляющих силы резания при брющем точении от угла наклона лезвия: а)  $P_z$ , б)  $P_y$ , в)  $P_x$ [2]

## 2.4. Влиянии угла подъёма винтовой канавки фрезы $\omega$ на силы резания

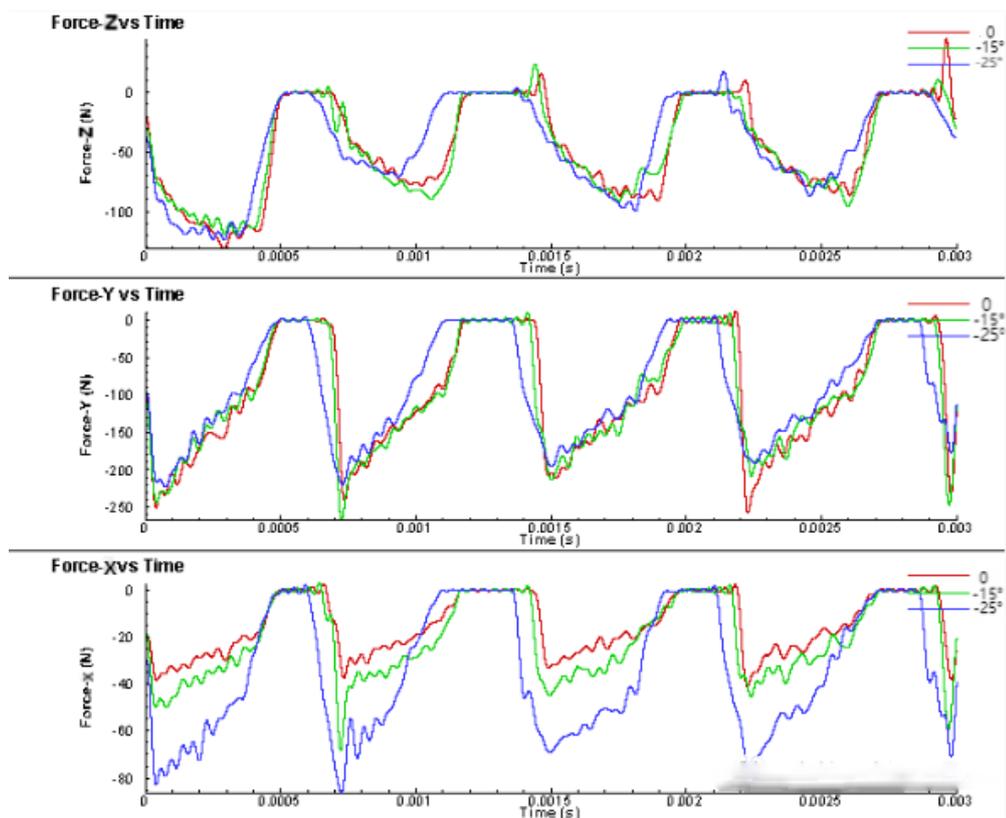


Рис.2.4.1. – Зависимости изменения составляющих силы резания при разных углах подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega$  от времени работы [3]

Преобразование графиков из отрицательных сил в графики с положительными силами, например, для силы  $P_z$  увеличивающимися от 0 до +129 Н, делаем скриншот графика и переворачиваем график на 180°, затем проводим вертикальные линии (жёлтый цвет) для оси времени (0,0005 с, 0,001 с и т.д.)

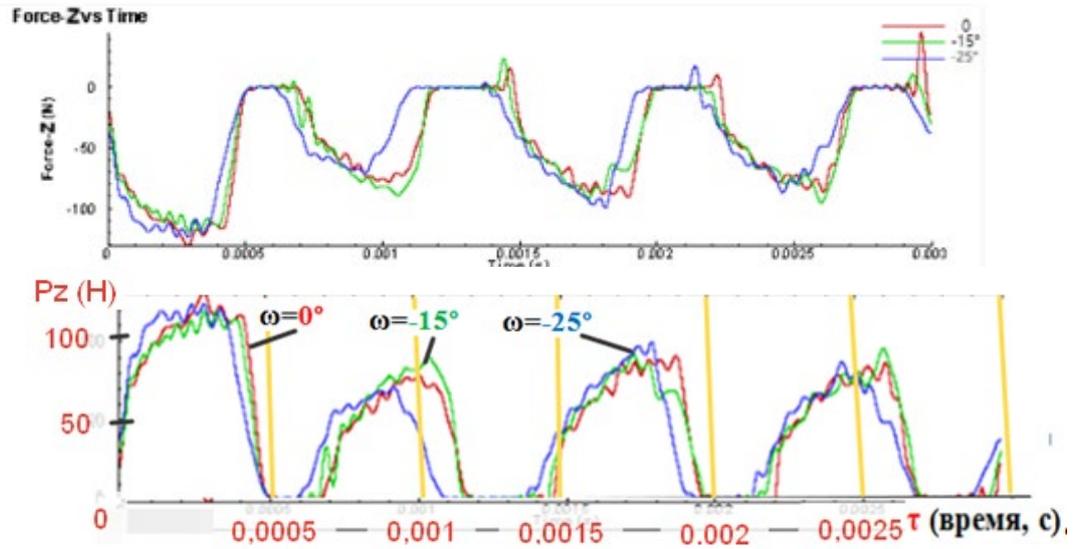


Рис.2.4.2. Изменение величины силы  $P_z$  от времени  $\tau$  (с)

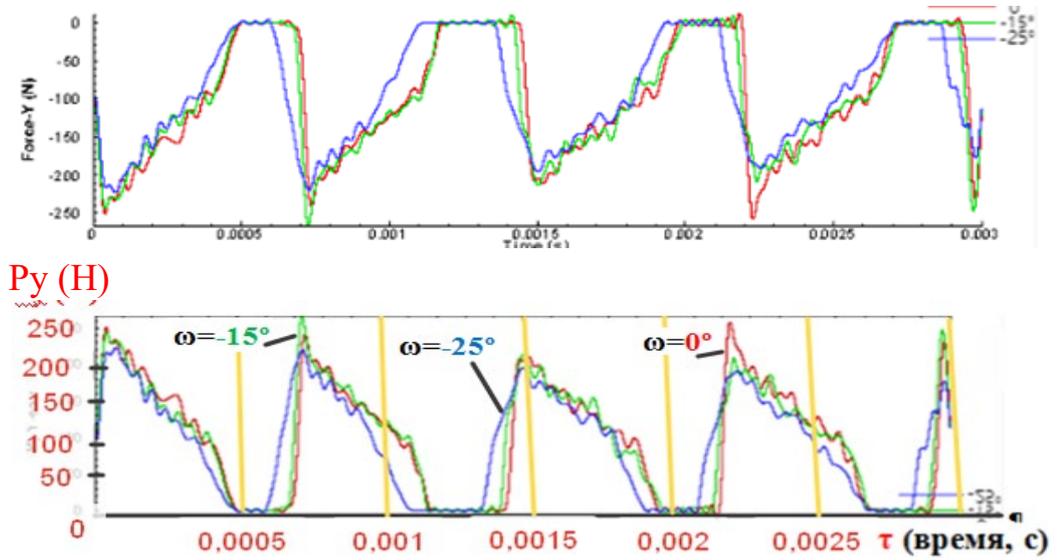


Рис.2.4.3. Изменение величины силы  $P_y$  от времени  $\tau$  (с)

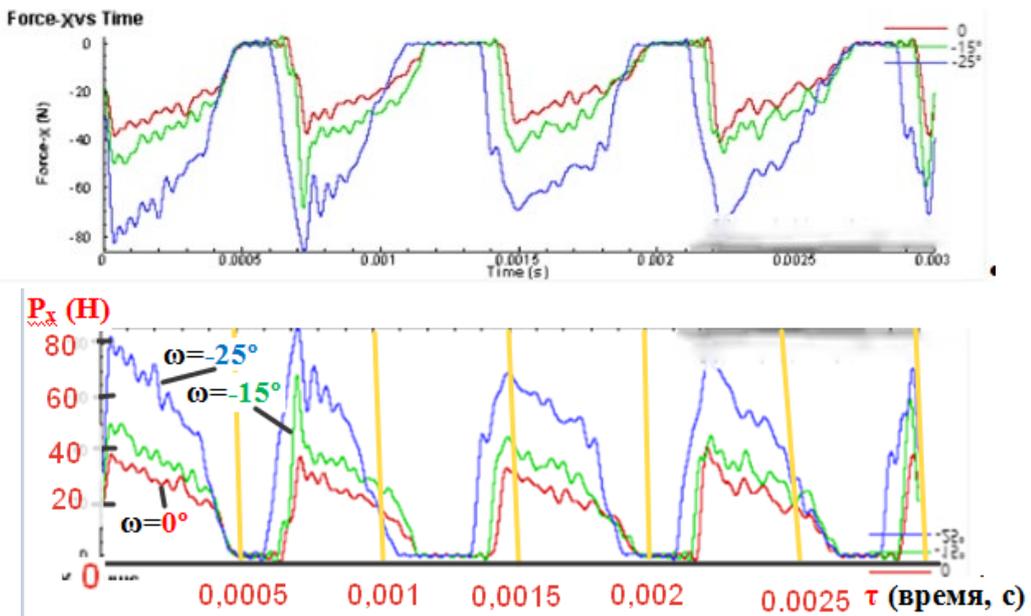


Рис.2.4.4. Изменение величины силы  $P_x$  от времени  $\tau$  (с)

После преобразования графиков на рис. 2.4.1 – 2.4.4 в более удобный для анализа вид (рис. 2.4.5.), можно сделать вывод, что при установившемся резании угол наклона главной винтовой канавки  $\omega$  от 0 до 25° мало влияет на составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$ .

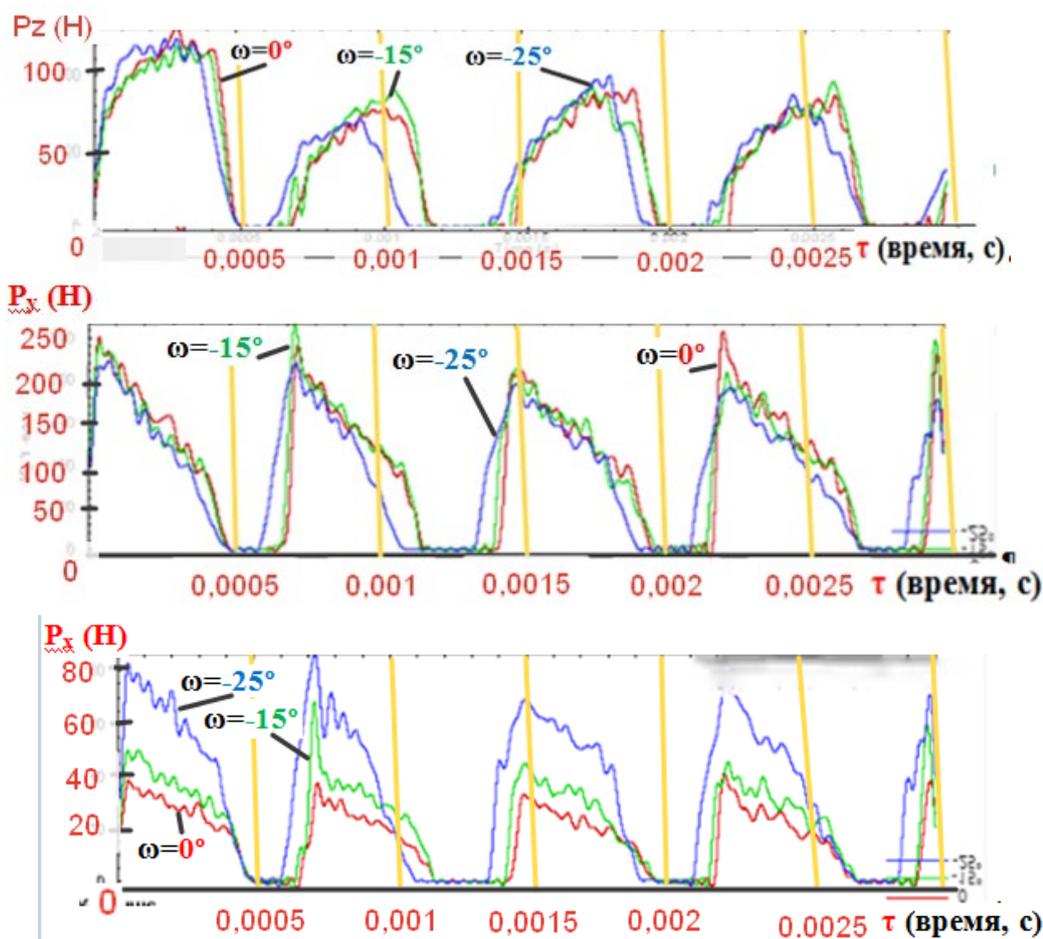


Рис. 2.4.5. – Зависимости изменения составляющих силы резания при разных углах подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega$  от времени работы при попутном фрезеровании [3]

#### Выводы из графиков рис. 2.4.5:

- угол наклона главной винтовой канавки  $\omega$  от 0 до 25° мало влияет на составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  при установившемся резании;
- при наступлении установившегося резания составляющие силы резания сила  $P_x$  тем больше, больше угол  $\omega$ , особенно при  $\omega$  больше 15°: при  $\omega = 25^\circ$  сила  $P_x$  почти в два раза больше, чем при  $\omega = 0$  и 15°;

- Наибольшая сила  $P_y$ : она в 1,7 раз больше  $P_z$  и в 2,75 раз больше  $P_x$  при  $\omega = 25^\circ$  и в 5,5 раз больше  $P_x$  и  $P_y$  при угле  $\omega$  от 0 до  $15^\circ$ ;
- при врезании силы быстро увеличиваются (т.к. рассмотрено **попутное** фрезерование), а при выходе зуба из контакта медленнее уменьшаются при  $\omega = 15$  и  $25^\circ$ . При  $\omega = 0^\circ$  при выходе зуба из контакта сила  $P_z$  уменьшаются также быстро, как и увеличивается при врезании;
- чем больше угол  $\omega$ , тем более плавно уменьшаются составляющие силы резания  $P_x$  и  $P_y$  при выходе зуба из контакта. На величину силы  $P_z$  и её изменение угол  $\omega$  от 0 до  $25^\circ$  не влияет, эта составляющая практически не изменяется в процессе резания зубом фрезы;
- сила  $P_z$  уменьшается почти в 1,6 раза на последующих зубьях фрезы после прохождения первого зуба. Аналогичное явление происходит с силой  $P_x$ ; на силу  $P_y$  такое влияние оказывается в меньшей степени;

Анализ влияния угла  $\omega$  при фрезеровании концевой фрезой и угла  $\lambda$  при брющем точении позволяют сделать вывод, что составляющие силы резания существенно увеличиваются при  $\omega (\lambda) > 25^\circ$  (рис. 2.4.5). При брющем точении все эти составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  примерно равны по величине, а сила  $P_x$  меньше их более чем в 2 раза, особенно при  $\omega > 30^\circ$ , хотя именно сила  $P_x$  увеличивается наиболее интенсивно при увеличении угла  $\omega$  более  $30^\circ$ .

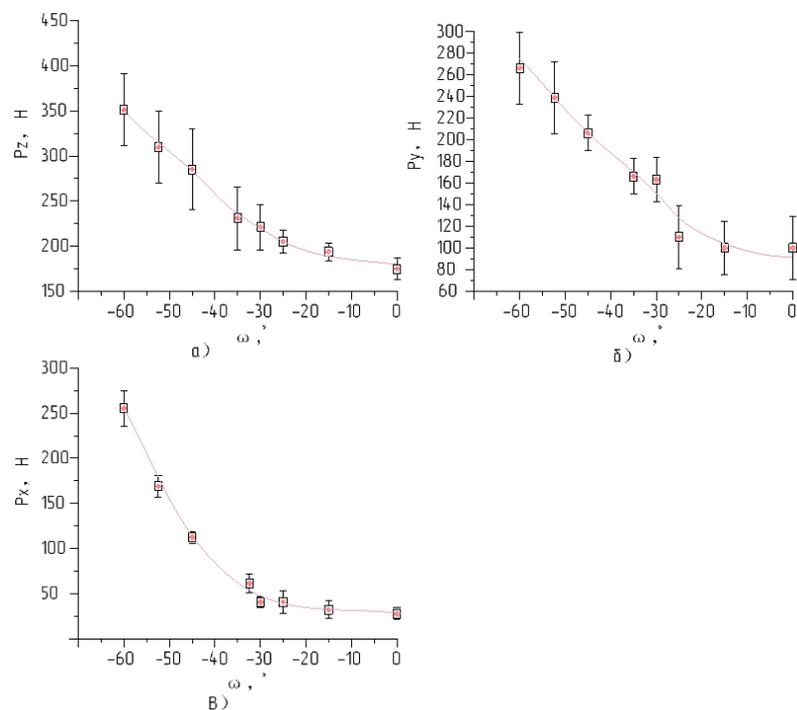


Рис.2.4.6. Зависимости изменения составляющих силы резания от угла наклона главной винтовой канавки  $\omega(^{\circ})$ : а)  $P_z$ ; б)  $P_y$ ; в)  $P_x$

## 2.5. Исследование контактных и внутренних напряжений

Расчет износостойких покрытий, оценка прочности инструмента требует знания величины и характера распределения контактных нагрузок на поверхности инструмента. При резании труднообрабатываемых материалов, таких как титановые и жаропрочные сплавы, эта задача особенно актуальна в связи с интенсивным износом инструмента.

Контактные напряжения возникают при механическом взаимодействии твёрдых деформируемых тел на площадках их соприкосновения и вблизи площадок. Значение контактных напряжений важно для расчёта на прочность режущих инструментов.

Для расчёта внутренних напряжений требуется приложить внешние нагрузки в виде сосредоточенной силы на передней поверхности и на задней поверхности. Наиболее точным расчёт будет при приложении контактных

напряжении на указанные выше поверхности.

Приложение силы резания на передней поверхности возможно в виде сосредоточенных нормальной  $N$  и касательной  $F$  физических составляющих сил.

Виды приложения внешних напряжений различаются подразделяются:

- Приложение сосредоточенных составляющих силы резания (рис 2.5.1);
- Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок (рис 2.5.2);
- Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение (рис 2.5.3) .

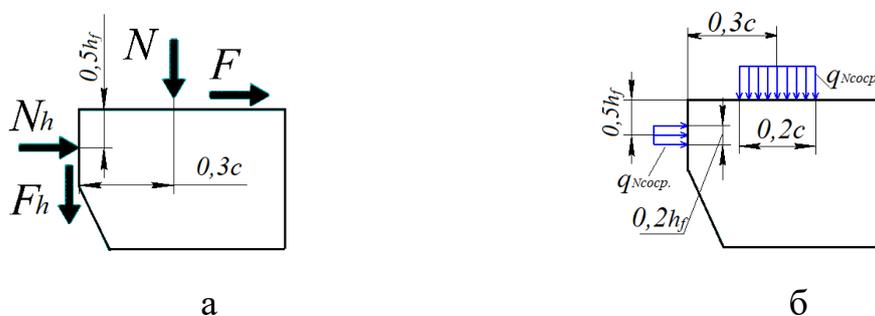


Рис.2.5.1 Приложение сосредоточенных составляющих силы резания: а – точки приложения сосредоточенных сил; б-замена сил, приложенных в точке, на равномерно распределённые контактные нагрузки на небольшом участке в этой области (на рисунке указано распределение только нормальных нагрузок)

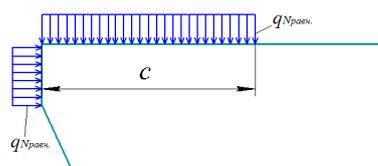


Рис. 2.5.2. Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок

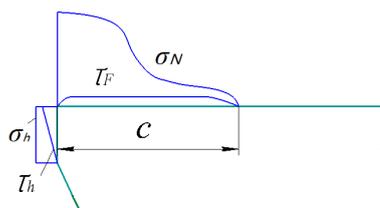


Рис. 2.5.3. Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение

В наших исследованиях исследуются нормальные, касательные и эквивалентные внутренние напряжения. Среди этих напряжений эквивалентные напряжения являются сами важными для прочности режущих инструментов.

Распределение деформаций в режущем клине также важно, особенно при проектировании износостойких покрытий.

## 2.6. Исследование сил резания при фрезеровании

При торцевом фрезеровании (рис. 2.6.1) сила  $P_x$  существенно больше, чем при концевом фрезеровании. В остальном изменение составляющих силы резания при резании происходит аналогично. При встречном фрезеровании

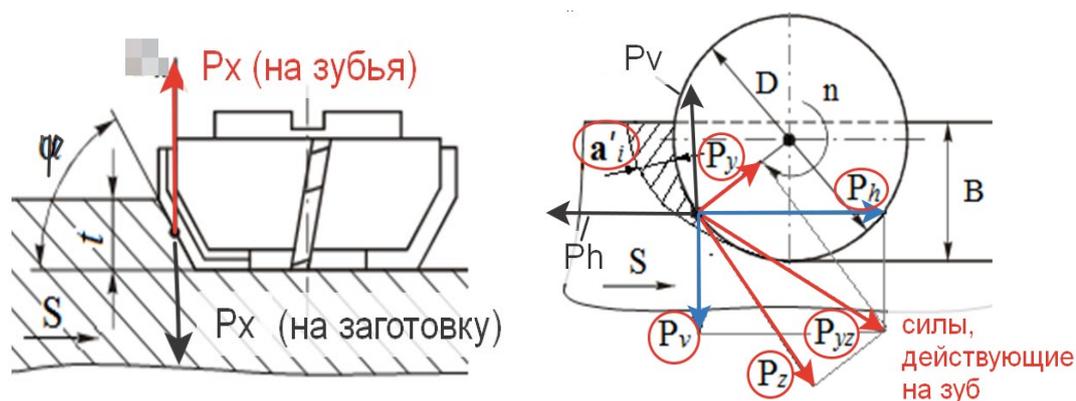


Рисунок.2.6.1. Изменение составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  при повороте зуба фрезы

(рис. 2.6.1) в момент врезания зуба из-за округления её режущей кромки происходит подмятие металла под радиусный участок режущей кромки, из-за чего составляющие силы резания интенсивно увеличиваются, но после образования стружки они быстро уменьшаются.

При дальнейшем повороте зуба фрезы силы резания увеличиваются из-за увеличения толщины среза  $a$ . Когда зуб фрезы выходит из контакта с заготовкой силы быстро уменьшаются до нуля.

Такое изменение сил характерно при угле наклона винтовой канавки  $\omega = 0^\circ$ . Если  $\omega > 0^\circ$ , то изменение сил происходит более плавно, и чем больше угол  $\omega$ , ширина фрезерования  $B$  и глубина резания  $t$ , тем более плавно происходят эти

изменения.

У концевых фрез обычно  $\omega \approx 40^\circ$ , поэтому дополнительно к явлениям, описанным выше, происходит увеличение осевой силы  $P_x$ , которая при  $\omega > 0$  направлена вниз, т.е. старается вытянуть фрезу из цангового патрона, т.к. концевые фрезы до 20 мм обычно изготавливаются с цилиндрическим хвостовиком.

Стойкостные испытания фрез  $\varnothing 16$  мм показали, что быстрорежущие фрезы имеют стойкость около 40 минут, а твёрдосплавные в 6 раз больше (около 240 минут) (рис. 2.6.2).

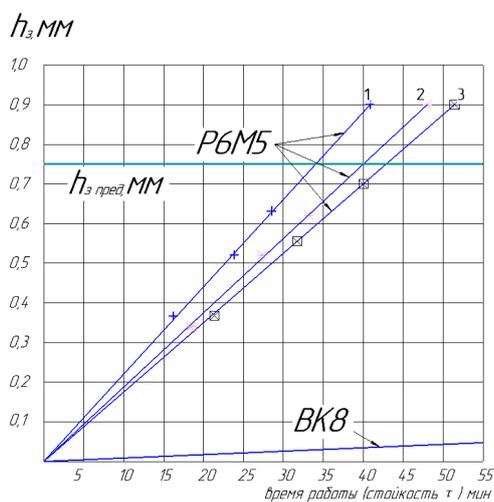


Рис.2.6.2. Зависимость длины фаски износа по задней поверхности  $h_z$  (мм) от времени работы фрезы  $T$  (мин).

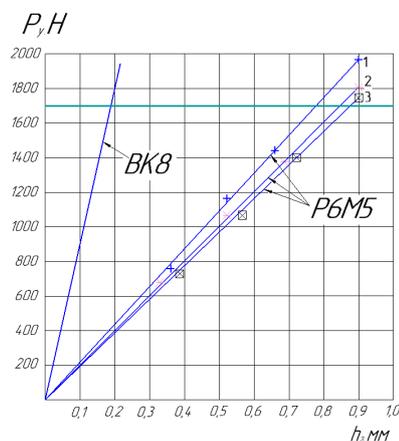


Рис.2.6.3. Влияние износа  $h_z$  на составляющие силы  $P_y$ .

Наибольшая стойкость наблюдается у фрез с наименьшим радиусом округления режущей кромки (фреза №3,  $\rho=11,15$  мкм, стойкость  $T=40$  мин; фреза №1,  $\rho=12,40$  мкм, стойкость  $T=33$  мин).

Однако у фрезы, имеющей достаточно большой радиус округления  $\rho = 12,9$  мкм, интенсивность износа по критерию длины фаски износа  $h_z$  наименьшая: при времени работы  $\tau = 26$  мин  $h_z = 0,43$  мм.

Во время стойкостных испытаний измерялись составляющие силы резания. Наиболее интенсивно при износе увеличивается сила  $P_y$ , меньше всего – сила  $P_x$ .

Фреза, имеющая наибольшую стойкость  $T = 40$  мин, при таком же времени

работы  $\tau = 26$  мин имеет бóльший износ –  $h_3 = 0,46$  мм. Испытание первой фрезы остановили из-за увеличения силы  $P_y$  до 1428 Н. У второй фрезы (№3) после 40 мин работы  $P_y = 1410$  Н.

## 2.7. Метод конечных элементов (МКЭ)

Сущность метода конечных элементов (МКЭ) заключается в том, что рассматриваемая область разбивается на большое число отдельных элементов простой геометрической формы, связанных в узловых точках налагаемыми связями. Каждому элементу предписываются конкретные свойства, неизменные внутри каждого элемента. На узлы, являющимися общими для выделенного элемента и остальным телом инструмента, налагаются необходимые связи. К элементам рабочих поверхностей прикладываются контактные нагрузки, после чего определяются деформации и напряжения в каждом элементе.

Величина контактных нагрузок на рабочих поверхностях резца может быть определена методом разрезного резца, а также расчётами с учетом характера распределения контактных нагрузок и экспериментально найденных сил на передней поверхности. Определение длины контакта на передней поверхности инструмента производится обычно на инструментальном микроскопе по следу контакта.

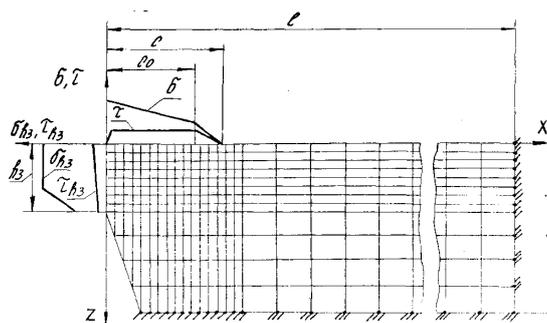


Рис. 2.7.1 Разбивка тела резца на конечные элементы с приложением внешних распределённых нагрузок

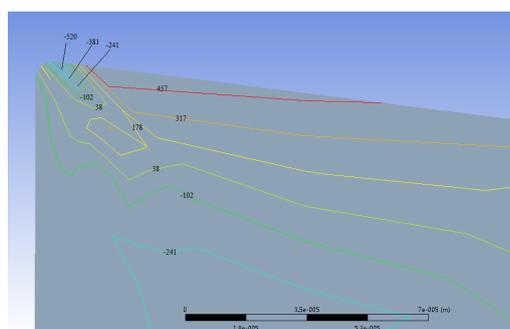


Рис. 2.7.2. Распределение нормального внутреннего напряжения.

Режущий клин разбивается на прямоугольные и треугольные элементы (в зависимости от геометрии режущего клина). Чем количество элементов больше, тем выше точность расчётов, поэтому количество элементов обычно 500...1000 штук. Обычная схема разбивки, выбранная система координат и характер

наложенных связей на опорные узлы приведены на рис. 2.7.1.

Благодаря использованию программы ANSYS, мы можем получить значение внутренних напряжений очевидно и точно методом конечных элементов(МКЭ). Пример распределения внутренних напряжений по программе ANSYS приведен на рис.2.7.2.

### 3. Методика выполнения работы

#### 3.1. Измерение составляющих сил резания при резании стали

Точные, быстрые и удобные измерения силы резания замечательно влияют на процесс выполнения работы и точность результатов работы. В исследованиях, приведённых в данной работе, была использована измерительная система (рис. 3.1.1.) с динамометром Kistler модели 9257B (рис 3.1.2.), чтобы не только измерить силы резания, но и получить графики их изменения.



Рис. 3.1.1. Состав измерительной системы для исследования изменения сил резания



Рис. 3.1.2. Внешний вид динамометра Kistler модели 9257B

### 3.2. Расчёт составляющих силы резания, действующих на зуб фрезы

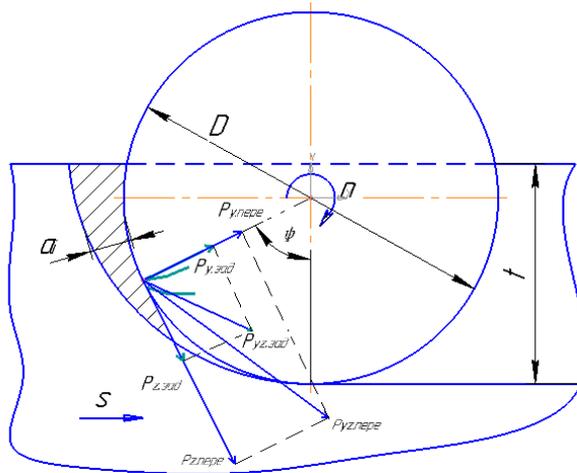


Рис.3.2.1. Составляющие силы резания с износом по задней поверхности.

$P_{y, \text{зад}} = N_h$  – нормальная сила на задней поверхности;

$P_{z, \text{зад}} = P_h$  – касательная сила на задней поверхности.

Полученное в результате экспериментов изображение изменения составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  с течением времени работы представлено на рис. 3.2.2. В самом начале, когда фреза была острая, силы были маленькие, а потом они начали увеличиваться. Это увеличение связано только с износом по задней поверхности и силами на фаске износа на задней поверхности. Выделение сил от горизонтальных начальных величин до величины при рассматриваемом времени работы – это будет сила на фаске износа.

Для быстрорежущего инструмента (**P6M5**):

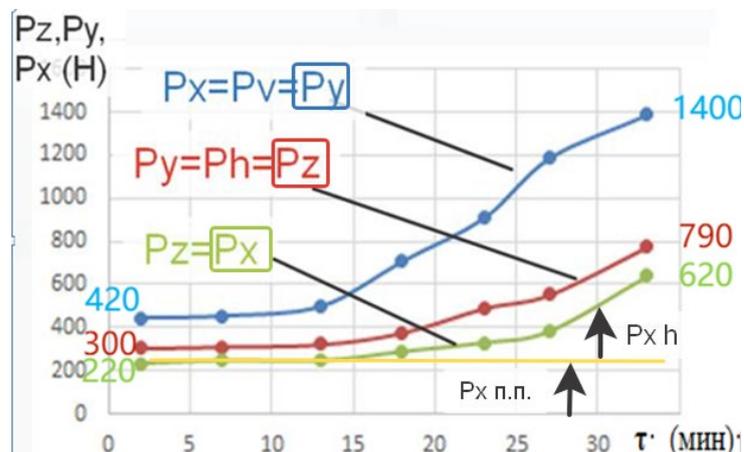


Рис.3.2.2. Зависимость составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  от времени работы  $\tau$  (мин) для быстрорежущей фрезы из P6M5. Сталь 40X – P6M5,  $t = 1$  мм;  $B = 8$  мм;  $\varnothing_{\text{дфр}} = 16$  мм,  $v = 29$  м/мин.

$$P_{xyh3} + P_{x п.п.} = P_x \rightarrow P_{x h3} = P_x - P_{x п.п.};$$

$$P_{y h3} + P_{y п.п.} = P_y \rightarrow P_{y h3} = P_y - P_{y п.п.};$$

$$P_{xy h3} + P_{xy п.п.} = P_{xy} \rightarrow P_{xy h3} = P_{xy} - P_{xy п.п.};$$

$$P_{z h3} + P_{z п.п.} = P_z \rightarrow P_{z h3} = P_z - P_{z п.п.};$$

При работе не изношенной фрезой:

$$P_{x п.п.} = 220 \text{ Н}; \quad P_{y п.п.} = 420 \text{ Н}; \quad P_{z п.п.} = 300 \text{ Н};$$

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

$$P_{xy п.п.} = \sqrt{220^2 + 420^2} = 492 \text{ Н};$$

При износе в конце периода стойкости (T=36 мин)

$$P_{x h.} = 620 - 220 = 400 \text{ Н}; \quad P_{y h.} = 1400 - 420 = 980 \text{ Н};$$

$$P_{z h.} = 790 - 300 = 490 \text{ Н};$$

$$P_{xy h.} = \sqrt{400^2 + 980^2} = 1059 \text{ Н}.$$

Удельное давление на передней поверхности зуба фрезы:

$$q_N = \frac{N}{l \cdot c} \quad (3.1)$$

где  $N$  – нормальная сила на передней поверхности зуба фрезы (Н) с учётом переднего угла  $\gamma$  (°);  $l$  – длина контакта главной режущей кромки зуба фрезы с заготовкой с учётом угла наклона главной режущей кромки (угла наклона винтовой канавки  $\omega$ ), глубины резания  $t$  (мм) и диаметра фрезы  $d_{фр}$  (мм);

$c$  – длина контакта стружки с передней поверхностью (мм), которая зависит от толщины среза  $a$  (мм). На разных участках режущей кромки из-за винтовой канавки величина разная, т.к. имеется винтовая канавка с углом  $\omega > 0^\circ$ . При повороте зуба на угол  $\psi$  будет и разная толщины среза  $a$ , поэтому будем



Рис.3.2.3.Износ главной режущей кромки фрезы по задней поверхности и по уголкам.

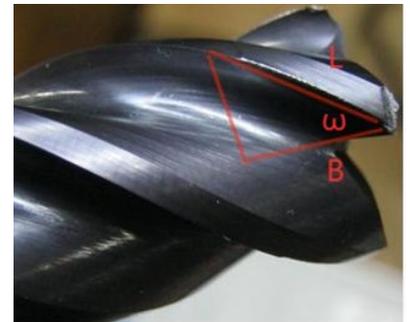


Рис.3.2.4. Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  и ширина фрезерования  $B$

рассматривать значение  $a \approx a_{max}$ .

$$a_{max} \approx S_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}} \quad (.2)$$

При  $t=1$  мм,  $d=16$  мм,  $s_z = 0,09$  мм/зуб,  $a = a_{max} = 0,003$  мм. Тогда длина контакта стружки с передней поверхностью зуба фрезы при  $\gamma = 7^\circ$  с:

$$c = 0,026 + 8,955a - 10,903a^2 = 0,026 + 8,955 \cdot 0,003 - 10,903 \cdot 0,003^2 = 0,052 \text{ мм.}$$

Круговой сектор – это часть круга, ограниченная дугой, называемой дугой сектора, и двумя радиусами, соединяющими концы дуги с центром круга (рис. 3.2.5). Длина окружности радиусом R равна  $C = 2 \pi R$ . Длина дуги окружности радиусом R равна  $C_\alpha = 2 \pi R \cdot \alpha / 360$ , где  $\alpha$  – градусная мера этой дуги.

Или:  $C_\alpha = \pi R \cdot \alpha / 180$ .

Расчёт длины контакта режущей кромки фрезы  $l_{\text{конт}}$  при  $B=8$  мм,  $t=1$  мм,  $d=16$  мм,  $\omega=40^\circ$ ,  $\alpha_{\text{сект}} = 30^\circ$  (рис. 3.2.5).

1) при  $t=1$  мм и  $d=16$  мм рассчитываем длину дуги сектора  $l_{\text{дуги}}$ :

$$l_{\text{дуги}} = \pi R \alpha_{\text{сект}} / 180 = 3,14 \cdot 8 \cdot 30^\circ / 180^\circ = 4,19 \text{ мм;}$$

2) рассчитываем длину контакта режущей кромки фрезы с заготовкой  $l_{\text{конт}}$ :

$$l_{\text{конт}} = l_{\text{дуги}} / \cos \omega = 4,19 / \cos 40^\circ = 5,47 \text{ мм.}$$

Удельное давление на фаске задней поверхности:

$$q_{Nh} = \frac{P_{xy} h}{l \cdot h_3} \quad (.3.3)$$

$$q_{Nh} = q_{Pxyh} = \frac{P_{xyh}}{l \cdot h_3} = \frac{1059}{5,47 \cdot 0,62} = 312 \text{ Н/мм}^2;$$

$$q_{Fh} = q_{Pzh} = \frac{P_{zh}}{l \cdot h_3} = \frac{490}{5,47 \cdot 0,62} = 144 \text{ Н/мм}^2.$$

Рассчитываем средний условный коэффициент трения на фаске износа по

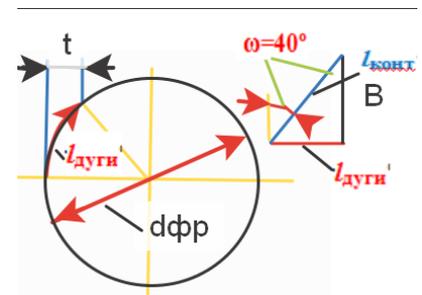


Рис.3.2.5. Расчёт длины дуги сектора  $l_{\text{дуги}}$  и длины контакта гл. режущей кромки фрезы с заготовкой  $l_{\text{конт}}$

задней поверхности  $\mu_h$ :

$$\mu_h = q_{Fh}/q_{Nh} = 144/312 = 0,46.$$

Рассчитываем нормальную силу на передней поверхности фрезы ( $P_{xy \text{ п.п.}} = 492 \text{ Н}$ ,

$P_z \text{ п.п.} = 300 \text{ Н}$ ,  $c = 0,052 \text{ мм}$ ,  $l_{\text{конт}} = 5,47 \text{ мм}$ ,  $\gamma = +7^\circ$ ):

$$1) N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma \\ = 300 \times \cos 7 - 492 \times \sin 7 = 238 \text{ Н}.$$

$$2) F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = \\ = 492 \times \cos 7 + 300 \times \sin 7 = 525 \text{ Н}.$$

$$q_N = \frac{N}{l \cdot c} = \frac{238}{5,47 \cdot 0,052} = 820 \text{ Н/мм}^2$$

$$q_F = \frac{F}{l \cdot c} = \frac{525}{5,47 \cdot 0,052} = 1816 \text{ Н/мм}^2.$$

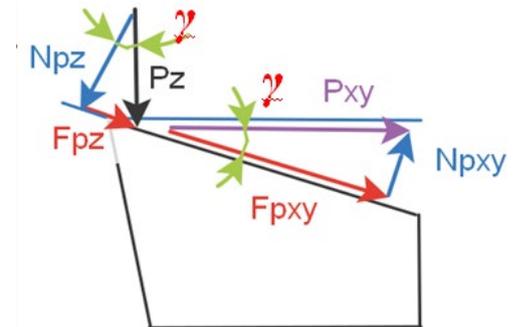


Рис.3.2.6. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости

Средний условный коэффициент

трения на передней поверхности зуба фрезы  $\mu_{\text{п}} = q_F/q_N = 1816/820 = 2,21$ .

Рассчитываем нормальную силу на фаске износа по задней поверхности фрезы ( $F_h = P_{zh} = 490 \text{ Н}$ ;  $N_h = P_{xyh} = 1059 \text{ Н}$ ;  $l_{\text{конт}} = 5,47 \text{ мм}$ ;  $h_3 = 0,62 \text{ мм}$ ):

$$q_{Fh} = q_{Pzh} = \frac{Pzh}{l_{\text{конт}} \cdot h_3} = \frac{490}{5,47 \cdot 0,62} = 144 \text{ Н/мм}^2;$$

$$q_{Nh} = q_{Pxyh} = \frac{Pxyh}{l_{\text{конт}} \cdot h_3} = \frac{1059}{5,47 \cdot 0,62} = 312 \text{ Н/мм}^2.$$

Средний условный коэффициент трения на фаске износа по задней поверхности фрезы  $\mu_h = q_{Fh}/q_{Nh} = 144/312 = 0,46$ .

После времени работы  $\tau = 30 \text{ мин}$ :

$$P_{x, \text{текущ}} = 620 \text{ Н}; \quad P_{z, \text{текущ}} = 790 \text{ Н}; \quad P_{y, \text{текущ}} = 1400 \text{ Н};$$

При фрезеровании стали 40Х **твёрдосплавной** фрезой из ВК8 при том же режиме резания:

$P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  (Н)

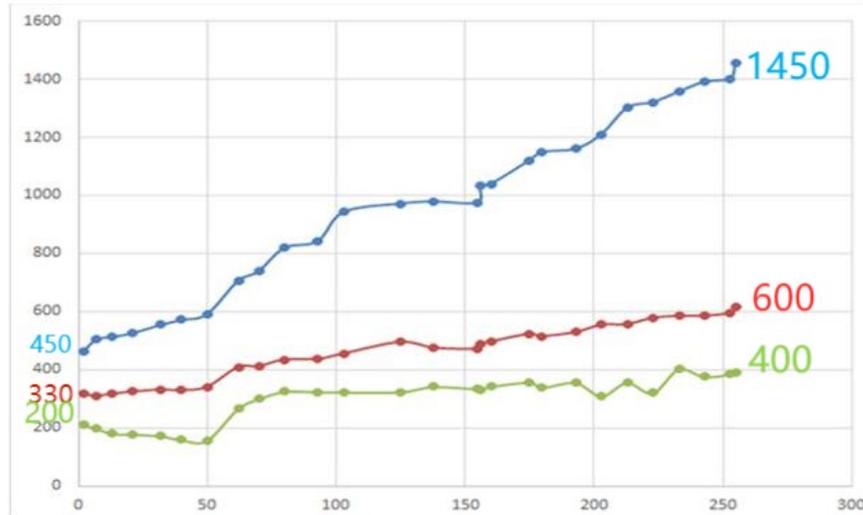


Рис.3.2.7. Зависимость составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  от времени работы  $\tau$  (мин) для твёрдосплавной фрезы (BK8). Сталь 40X – Р6М5,  $t = 1$  мм;  $B = 8$  мм;  $\varnothing d_{фр} = 16$  мм,  $v = 29$  м/мин

Силы на передней поверхности:

$$P_{x.п} = 200 \text{ Н}; P_{z.п} = 330 \text{ Н}; P_{y.п} = 450 \text{ Н};$$

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

$$P_{xy.п} = \sqrt{200^2 + 450^2} = 492 \text{ Н};$$

Параметры контакта режущей кромки

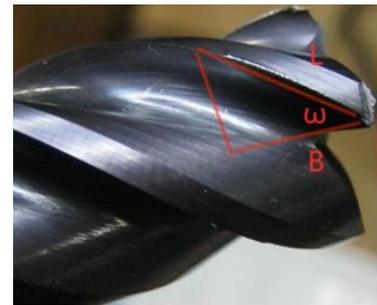


Рис.3.2.8. Износ фрезы по задней поверхности и уголкам.

фрезы у твёрдосплавных фрез такие же, как и у быстрорежущих фрез при  $B = 8$  мм,  $t = 1$  мм,  $d = 16$  мм,  $\omega = 40^\circ$ :  $\alpha_{сект} = 30^\circ$ ,  $l_{конт} = 5,47$  мм (рис. 3.2.5), длина контакта по уголкам  $l_{конт\ уг} = 2,05$  мм, длина фаски износа по уголкам  $h_3 = h_{3\ уг} = 0,62$  мм.

Рассчитываем нормальную силу на передней поверхности фрезы из BK8 ( $P_{x.п} = 200$  Н;  $P_{y.п} = 450$  Н;  $P_{xy.п} = 492$  Н,  $P_{z.п.п.} = 330$  Н,  $c = 0,052$  мм,  $l_{конт} = 5,47$  мм,  $\gamma = +7^\circ$ ):

$$1) N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 330 \times \cos 7 - 492 \times \sin 7 = 267 \text{ Н.}$$

$$2) F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 492 \times \cos 7 + 330 \times \sin 7 = 528 \text{ Н.}$$

Рассчитываем удельные контактные нагрузки (силы) на **передней** поверхности:

$$q_N = \frac{N}{l \cdot c} = \frac{267}{5,47 \cdot 0,052} = 938 \text{ Н/мм}^2; \quad q_F = \frac{F}{l \cdot c} = \frac{528}{5,47 \cdot 0,052} = 1856 \text{ Н/мм}^2.$$

Средний условный коэффициент трения на передней поверхности зуба **твёрдосплавной** фрезы  $\mu_{\text{п}} = q_F/q_N = 1856/938 = 1,98$ .

Износ твёрдосплавных фрез, в отличие от быстрорежущих фрез, происходит в основном по уголкам (по вершинам) (рис. 3.2.8), а по задней поверхности он очень незначительный. Поэтому принимаем износ по уголкам как  $h_{\text{уг}}$ , и наибольший износ по уголкам в конце периода стойкости  $T = \tau = 260$  мин, длина контакта по уголкам  $l_{\text{конт уг}} = 2,05$  мм, длина фаски износа по уголкам  $h_3 = h_{\text{уг max}} = 0,62$  мм.

После работы  $\tau = 250$  мин текущая (общая) величина сил:

$$P_{x \text{ текущ}} = P_{x \text{ общ}} = 400 \text{ Н}; \quad P_{z \text{ текущ}} = P_{z \text{ общ}} = 600 \text{ Н}; \quad P_{y \text{ текущ}} = P_{y \text{ общ}} = 1450 \text{ Н};$$

Силы на фаске износа по уголкам:

$$P_{z h} = P_{z \text{ текущ}} - P_{z \text{ нач}} = 600 - 330 = 270 \text{ Н};$$

$$P_{y h} = P_{y \text{ текущ}} - P_{y \text{ нач}} = 1450 - 450 = 1000 \text{ Н}$$

$$P_{x h} = P_{x \text{ текущ}} - P_{x \text{ нач}} = 400 - 200 = 200 \text{ Н}.$$

$$P_{xyh} = \sqrt{P_{xh}^2 + P_{yh}^2} = \sqrt{200^2 + 1000^2} = 1020 \text{ Н}.$$

Удельное давление на фаске задней поверхности по уголкам:

$$qNh_{\text{уг}} = q_{Pxyh_{\text{уг}}} = \frac{Pxyh_{\text{уг}}}{l_{\text{конт уг}} \cdot h_3} = \frac{1020}{2,05 \cdot 0,62} = 802 \text{ Н/мм}^2;$$

Удельная сила трения на фаске задней поверхности по уголкам:

$$qFh_{\text{уг}} = q_{Pzh_{\text{уг}}} = \frac{Pzh_{\text{уг}}}{l_{\text{конт уг}} \cdot h_3} = \frac{270}{2,05 \cdot 0,62} = 212 \text{ Н/мм}^2;$$

Удельное давление на фаске задней поверхности **по уголкам** у твёрдосплавной фрезы ( $qNh = 802 \text{ Н/мм}^2$ ) почти в 3 раза больше, чем по фаске

износа на задней поверхности главной режущей кромки (по ленточке износа) быстрорежущих фрез ( $q_{Nh} = 312 \text{ Н/мм}^2$ ). Это объясняется большей жёсткостью контакта, т.к. в **осевом направлении** жёсткость системы СПИД при фрезеровании концевой фрезой существенно больше, чем в радиальном направлении из-за вылета фрезы относительно цангового патрона.

Средний условный коэффициент трения на поверхности износа зуба по уголкам **твёрдосплавной** фрезы  $\mu_{п} = q_F/q_N = 212/802 = 0,26$ .

Такой маленький коэффициент трения обусловлен, на наш взгляд, более высокой температурой контакта по фаске износа по уголкам. Это, в свою очередь, вызвано меньшим коэффициентом теплоотвода у твёрдого сплава (в нашем случае ВК8) по сравнению с быстрорежущей сталью (в нашем случае Р6М5). Высокая температура контактного слоя обрабатываемого материала приводит к **уменьшению предела прочности на сдвиг этого слоя**.

### 3.3. Расчёт физических составляющих силы резания

Рассчитываем нормальную силу на **передней поверхности** фрезы из **Р6М5**:

( $P_{xy \text{ п.п.}} = 492 \text{ Н}$ ,  $P_{z \text{ п.п.}} = 300 \text{ Н}$ ,  $c = 0,052 \text{ мм}$ ,  $l_{\text{конт}} = 5,47 \text{ мм}$ ,  $\gamma = +7^\circ$ ):

$$1) N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 300 \times \cos 7 - 492 \times \sin 7 = 238 \text{ Н.}$$

$$2) F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 492 \times \cos 7 + 300 \times \sin 7 = 525 \text{ Н.}$$

Расчёт физических составляющих  $N_h$  и  $F_h$  на **задней поверхности** фрезы:

$$N_h = P_{xy h} = \sqrt{P_{xz}^2 + P_{yz}^2} = \sqrt{400^2 + 980^2} = 1058 \text{ Н}; F_h = P_{z h} = 490 \text{ Н};$$

Рассчитываем нормальную силу на **передней поверхности** твёрдосплавной фрезы из **ВК8** ( $P_{x.п} = 200 \text{ Н}$ ;  $P_{y.п} = 450 \text{ Н}$ ;  $P_{xy.п} = 492 \text{ Н}$ ,  $P_{z \text{ п.п.}} = 330 \text{ Н}$ ,  $c = 0,052 \text{ мм}$ ,  $l_{\text{конт}} = 5,47 \text{ мм}$ ,  $\gamma = +7^\circ$ ):

$$1) N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 330 \times \cos 7 - 492 \times \sin 7 = 267 \text{ Н.}$$

$$2) F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 492 \times \cos 7 + 330 \times \sin 7 = 528 \text{ Н.}$$

Расчёт физических составляющих  $N_h$  и  $F_h$  на задней поверхности фрезы из **ВК8**:

$$N_h = P_{xyh} = \sqrt{P_{xz}^2 + P_{yz}^2} = \sqrt{200^2 + 1000^2} = 1020 \text{ Н; } F_h = P_{zh} = 270 \text{ Н;}$$

### 3.4. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений и построение эпюр

Определение длины контакта стружки с передней поверхностью выполняется по стертому участку омеднённой поверхности, строятся графики влияния толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) (рис. 3.4.1).

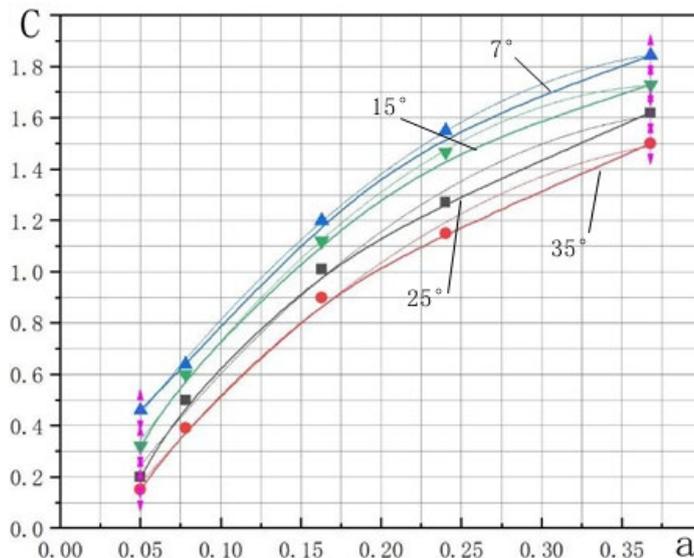


Рис.3.4.1. Зависимость длины контакта стружки  $c$  (мм) по передней поверхности от толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ).  
 при  $\gamma=7^\circ$ :  $c=0,026+8,955a-10,903a^2$ ; при  $\gamma=15^\circ$ :  $c=-0,1028+9,564a-12,483a^2$ ;  
 при  $\gamma=25^\circ$ :  $c=-0,0164+8,728a-10,638a^2$ ; при  $\gamma=35^\circ$ :  $c=-0,205+8,105a-9,507a^2$ .

Расчёт параметров эпюр контактных напряжений для **быстрорежущего** инструмента (P6M5) на передней поверхности фрезы при толщине среза  $a=0,003$  мм: при  $\gamma=7^\circ$   $c=0,74$  мм; при  $\gamma=15^\circ$   $c=0,66$  мм.

Если передний угол  $\gamma=10^\circ$ ,  $0,66 < c < 0,74$ ,  $c \approx 0,7$  мм;

$$b = 8 \text{ мм; } N = 238 \text{ Н; } F = 525 \text{ Н;}$$

$$\tau_{\max} = F / c \times 0,75 \times b = 525 / 0,7 \times 0,75 \times 8 = 128 \text{ МПа;}$$

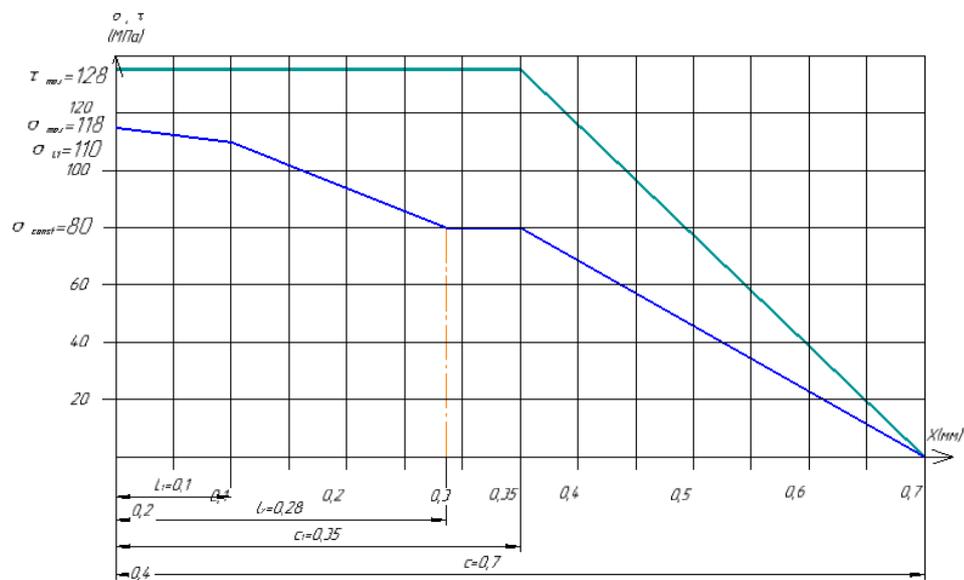


Рис.3.4.2. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы (Р6М5) при  $a = 0,09$  мм при  $\gamma = +10^\circ$

Площадь (удельная) эпюры  $\sigma$ :  $S_\sigma = 29,7$  МПа/мм;

$$N = 29,7 \times 8 = 237,6 \text{ Н} \approx N_{\text{эксн}} = 238 \text{ Н};$$

Площадь эпюры  $\tau$ :  $S_\tau = \frac{0,35+0,7}{2} \times 125 = 65,83$  МПа/мм;

$$F = S_\tau \times b = 65,83 \times 8 = 526,6 \text{ Н} \approx F_{\text{эксн}} = 525 \text{ Н}.$$

Для  $h_3 = 0,62$  мм строим эпюры контактных напряжений для быстрорежущего инструмента (Р6М5) на фаске **задней** поверхности, методом экстраполяции продлеваем эпюры до  $h_3 = 0,75$  мм (рис. 3.4.3).

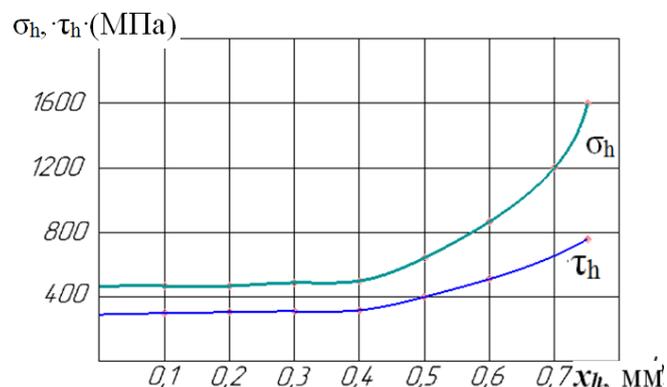


Рис.3.4.3. Эпюры контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности  $\sigma_h, \tau_h$  (МПа) фрезы (Р6М5) при толщине среза  $a = a_{\text{max}} = 0,003$  мм,  $t = 1$  мм,  $d = 16$  мм,  $s_z = 0,09$  мм/зуб.

Расчёт параметров эпюр контактных напряжений для **твёрдосплавного** инструмента (ВК8) на передней поверхности фрезы при толщине среза  $a=0,003$  мм: при  $\gamma=7^\circ$   $c=0,74$  мм; при  $\gamma=15^\circ$   $c=0,66$  мм.

Если передний угол  $\gamma=10^\circ$ ,  $0,66 < c < 0,74$ ,  $c \approx 0,7$  мм;

$b=8$  мм;  $N=267$  Н;  $F=528$  Н;  $\tau_{\max} = F/c \times 0,75 \times b = 528/0,7 \times 0,75 \times 8 = 128$  МПа.

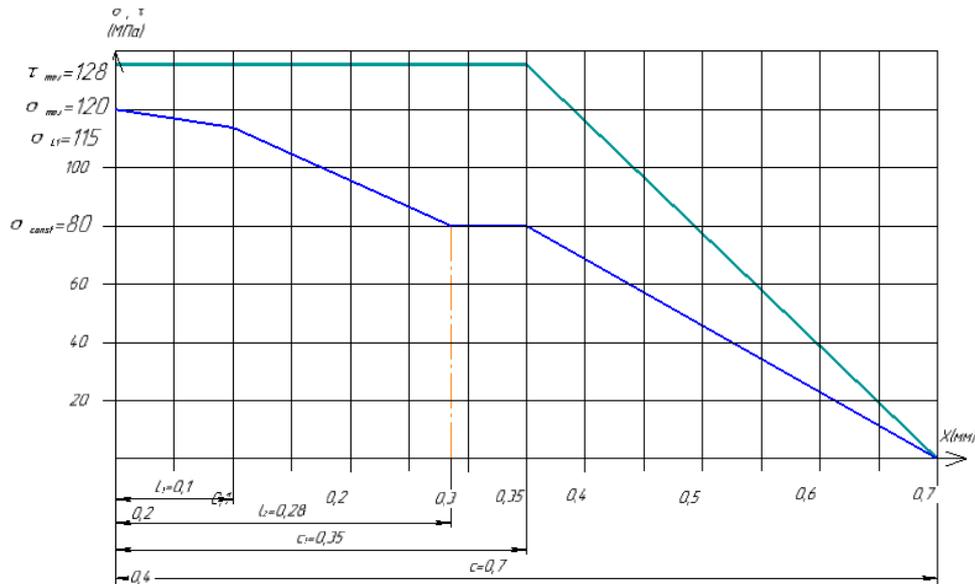


Рис.3.4.4. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности (ВК8) при  $a=0,09$  мм при  $\gamma=+10^\circ$

$N_{\text{эксн}} = 267$  Н; Площадь (удельная) эпюры  $\sigma$ :  $S_\sigma = 33,25$  МПа/мм;

$$N_\sigma = S_\sigma \times b = 33,25 \times 8 = 266 \text{ Н} \approx N_{\text{эксн}} = 267 \text{ Н};$$

Площадь эпюры  $\tau$ :  $S_\tau = \frac{0,35+0,7}{2} \times 120,7 = 66$  МПа/мм;

$$F = S_\tau \times b = 66 \times 8 = 528 \text{ Н} \approx F_{\text{эксн}} = 528 \text{ Н}.$$

При расчёте параметров эпюр контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности по уголкам для **твёрдосплавной** фрезы (ВК8) учитывается длина контакта по уголкам: **ширина** контакта (**вдоль вспомогательной** режущей кромки) после износа  $l_{\text{конт уг}} = 2,05$  мм, длина фаски износа по уголкам  $h_3 = h_{\text{уг max}} = 2,6$  мм, нормальная сила на фаске износа по уголкам  $N_h = 1020$  Н и касательная сила  $F_h = 270$  Н (рис. 3.4.5). В связи с **неодинаковым износом** уголков **разных зубьев** у одной фрезы были

рассчитаны крайние случаи (рис. 3.4.5 а и б). Силы при этом принимались одинаковые.

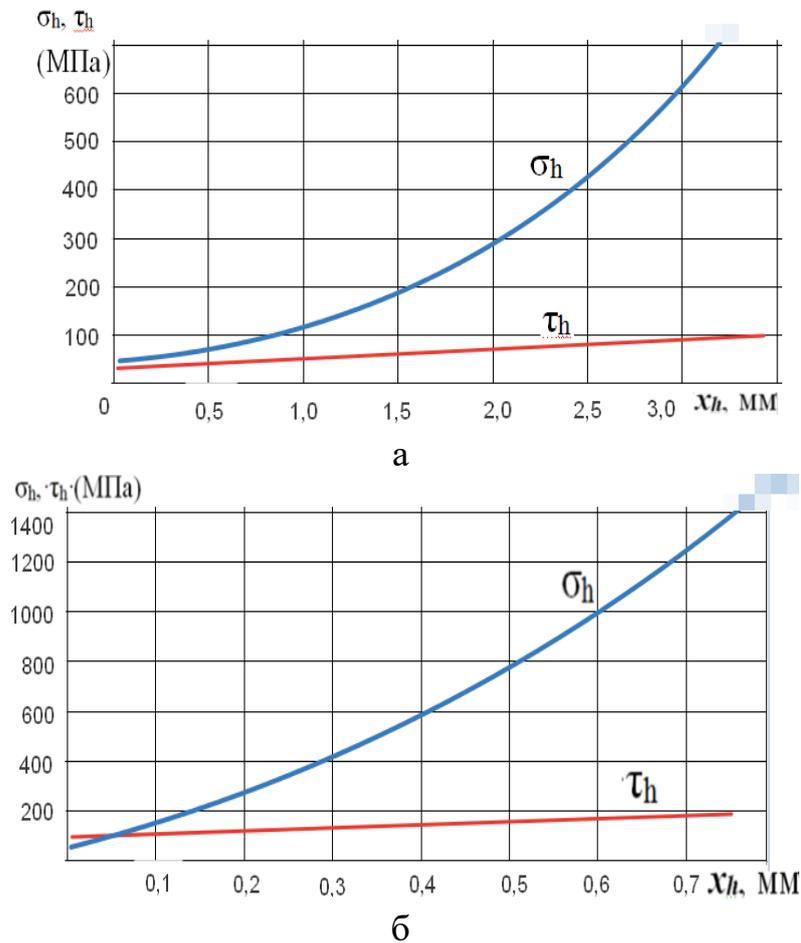


Рис. 3.4.5. Эпюры контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности по уголкам  $\sigma_h$ ,  $\tau_h$  (МПа) твёрдосплавной фрезы (ВК8) при толщине среза при  $a = 0,09$  мм при  $\gamma = +10^\circ$ . а – если  $l_{\text{конт уг}} = 2,05$  мм,  $h_3 = h_{\text{уг max}} = 2,6$  мм; б) если  $l_{\text{конт уг}} = 2,05$  мм,  $h_3 = h_{\text{уг max}} = 0,62$  мм.

### 3.5. Окончательное определение параметров эпюр контактных напряжений

Для облегчения построения эпюр контактных напряжений и анализа влияния переднего угла  $\gamma$  и толщины среза  $a$  на параметры эпюр контактных напряжений были построены графики влияния толщины среза  $a$  на основные параметры эпюр (рис. 3.5.1 , 3.5.2 , 3.5.3 , 3.5.4) [4].

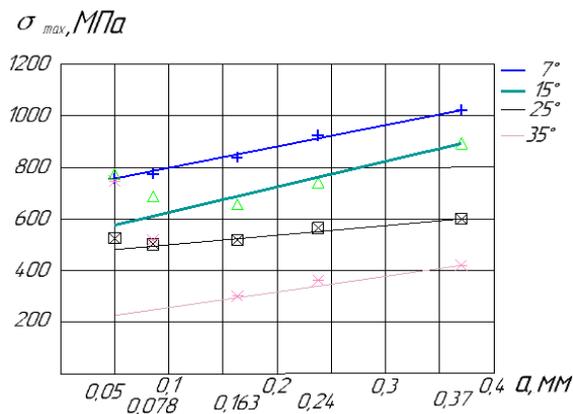


Рис.3.5.1. Влияние толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на наибольшую величину нормального контактного напряжения  $\sigma_{\max}$  (МПа) у режущей кромки на эпюре нормальной физической составляющей силы резания  $N$  (Н) на передней поверхности. Сталь 40Х-Т15К6,  $t=1,99$  мм.

Для  $\gamma=7^\circ$ :  $\sigma_{\max} = 1415,1 \times a + 649$  [МПа];  
 для  $\gamma=15^\circ$ :  $\sigma_{\max} = 754,7 \times a + 582$  [МПа];  
 для  $\gamma=25^\circ$ :  $\sigma_{\max} = 377,36 \times a + 481$  [МПа];  
 для  $\gamma=35^\circ$ :  $\sigma_{\max} = 267,3 \times a + 316,64$  [МПа]

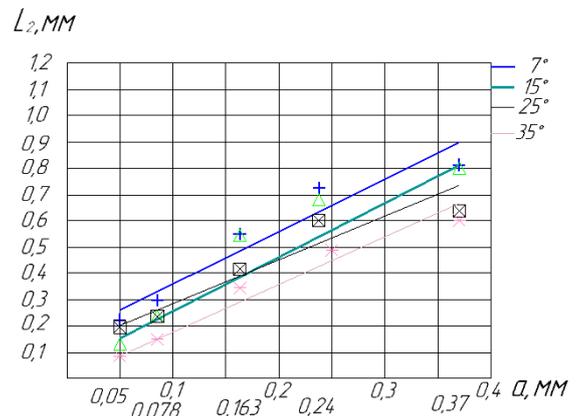


Рис.3.5.2. Влияние толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на расстояние  $L_2$  (мм) от режущей кромки до точки, где у эпюры нормальных контактных напряжений  $\sigma$  начинается горизонтальный участок. Сталь 40Х-Т15К6,  $t=1,99$  мм.

Для  $\gamma=7^\circ$ :  $L_2 = 1,887 \times a + 0,18565$  [мм];  
 для  $\gamma=15^\circ$ :  $L_2 = 2,075 \times a + 0,1116$  [мм];  
 для  $\gamma=25^\circ$ :  $L_2 = 1,635 \times a + 0,118$  [мм];  
 для  $\gamma=35^\circ$ :  $L_2 = 1,855 \times a + 0,0011$  [мм]

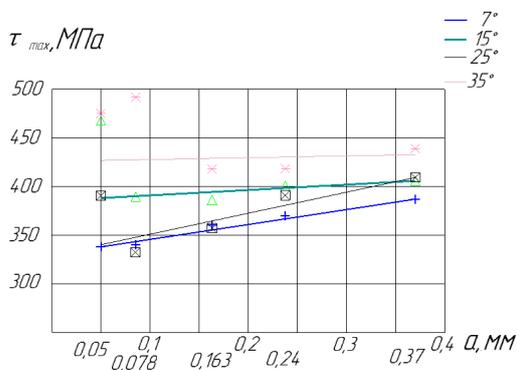


Рис.3.5.3. Влияние толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на наибольшую величину касательного контактного напряжения  $\tau_{\max}$  (МПа) у режущей кромки. Сталь 40Х-Т15К6.

Для  $\gamma=7^\circ$ :  $\tau_{\text{const}} = 94,34 \times a + 335$  [МПа];  
 для  $\gamma=15^\circ$ :  $\tau_{\text{const}} = 78,6 \times a + 381$  [МПа];  
 для  $\gamma=25^\circ$ :  $\tau_{\text{const}} = 298,74 \times a + 315$  [МПа];  
 для  $\gamma=35^\circ$ :  $\tau_{\text{const}} = 62,89 \times a + 416,9$  [МПа]

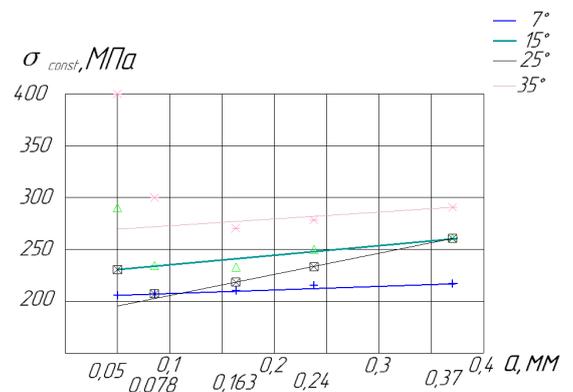


Рис.3.5.4. Влияние толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на величину нормального контактного напряжения  $\sigma_{\text{const}}$  (МПа) на горизонтальном участке эпюры  $\sigma$ . Сталь 40Х-Т15К6.

Для  $\gamma=7^\circ$ :  $\sigma_{\text{const}} = 22 \times a + 213,9$  [МПа];  
 для  $\gamma=15^\circ$ :  $\sigma_{\text{const}} = 188,68 \times a + 200,57$  [МПа];  
 для  $\gamma=25^\circ$ :  $\sigma_{\text{const}} = 204,4 \times a + 189,78$  [МПа];  
 для  $\gamma=35^\circ$ :  $\sigma_{\text{const}} = -31,45 \times a + 281,57$  [МПа]

Для  $\gamma=10^\circ$  были определены основные параметры эпюр по графикам рис. 3.5.1 – 3.5.4:  $\sigma_{\max} = 700$  МПа;  $L_2 = 0,32$  мм;  $\tau_{\text{const}} = 370$  МПа;  $\sigma_{\text{const}} = 220$  МПа и построены эпюра контактных напряжений на передней поверхности фрезы (рис. 3.5.5).

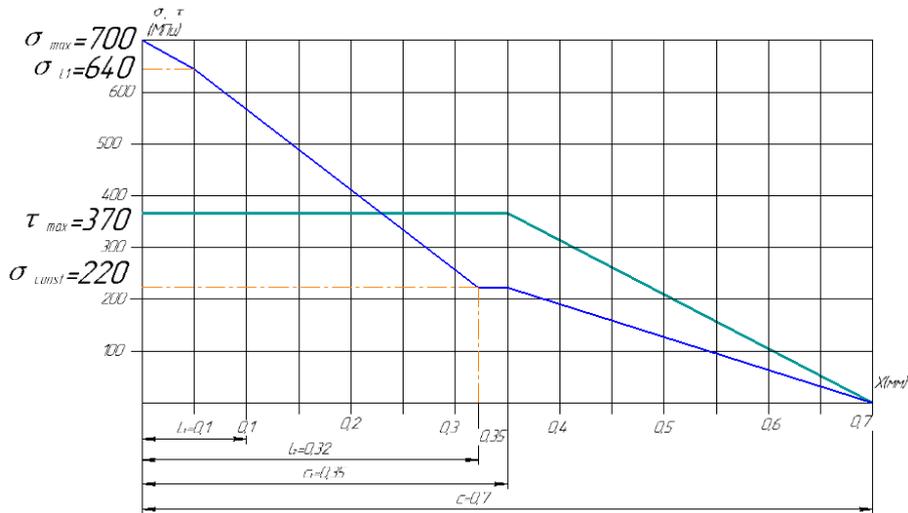


Рис. 3.5.5. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы при  $a = 0,07$  мм при  $\gamma=+10^\circ$ . Сталь 40Х-Т15К6.

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

Для приложения внешней нагрузки к модели инструмента необходимо задать контактные напряжения или, чаще всего, **силу** на каждом небольшом участке рабочих поверхностей. Рассчитаем НДС режущего клина в условиях свободного прямоугольного резания (точение диска с радиальной подачей). При длине контакта стружки  $c=0,7$  мм принимаем длину каждого участка  $L_{\text{п}i} = 0,1$  мм, ширина контакта (среза) равна ширине диска  $b = 2$  мм.

На каждом  $i$ -том участке по эпюрам контактных напряжений определяем физические силы  $N_i$  и  $F_i$ , которые прикладываем к соответствующему  $i$ -тому участку:  $N_i = \sigma_{\text{icp}} \times L_{\text{п}i} \times b$  (Н);  $F_i = \tau_{\text{icp}} \times L_{\text{п}i} \times b$  (Н).

В программе ANSYS задаются силы **не параллельные** передней поверхности, а по осях OZ, OY и OX, поэтому требуется сначала по эпюрам

надо определить среднее напряжение в середине этого участка  $\sigma_i$  и  $\tau_i$ , потом рассчитать **физические** составляющие  $N_i$  и  $F_i$  на каждом маленьком  $i$ -том участке площадью  $S_i = L_{ni} \times b$  (мм<sup>2</sup>), а по ним уже **технологические** составляющие  $Pz_i$ ,  $P_{y_i}$  и  $P_{x_i}$  (Н).

От физической силы  $N_i$  будут действовать две технологические составляющие:  $Pz_{Ni}$  и  $P_{y_{Ni}}$ ; от физической силы  $F_i$  будут действовать тоже две технологические составляющие:  $P_{y_{Fi}}$  и  $Pz_{Fi}$ . Рассчитываем их по формулам:

$$Pz_{Ni} = N_i \times \cos \gamma; \quad P_{y_{Ni}} = N_i \times \sin \gamma; \quad P_{y_{Fi}} = F_i \times \cos \gamma;$$

$$Pz_{Fi} = F_i \times \sin \gamma; \quad P_{zi} = Pz_{Ni} + Pz_{Fi}; \quad P_{yi} = P_{y_{Fi}} - P_{y_{Ni}}.$$

Таблица.3.6.1. – Составляющие силы резания при расчёте НДС на **передней поверхности** резца из **Р6М5** и **ВК8** с шириной  $b=2$  мм,  $\gamma=10^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{y_{Ni}}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{y_{Fi}}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	620	124	122	21,4	370	74	72	12,8	134,8	50,6
2	0,1-0,2	480	96	94	16,6	370	74	72	12,8	106,8	55,4
3	0,2-0,3	310	62	60	10,8	370	74	72	12,8	72,8	61,2
4	0,3-0,4	210	42	40	7,2	350	70	72	12,8	52,8	64,8
5	0,4-0,5	155	31	30	5,4	270	54	52	9,4	39,4	46,6
6	0,5-0,6	80	16	15,8	2,8	160	32	30	5,6	21,4	27,2
7	0,6-0,7	35	7	6,8	1,2	55	11	10	2	8,8	9,6

Таблица.3.6.2. – Составляющие силы резания при расчёте НДС на **фаске** задней поверхности резца из **Р6М5** с шириной  $b=2$  мм,  $\gamma=10^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{y_{Ni}}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{y_{Fi}}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	420	84	82	14,6	300	60	58	10,4	92,4	43,4
2	0,1-0,2	430	86	84	15	310	62	60	10,8	94,8	45
3	0,2-0,3	440	88	86	15,2	320	64	62	11,2	97,2	46,8
4	0,3-0,4	450	90	88	15,6	330	66	64	11,4	99,4	48,4
5	0,4-0,5	550	110	108	18,8	370	74	72	12,8	120,8	53,2
6	0,5-0,6	800	160	158	28	500	100	98	17,4	175,4	70
7	0,6-0,75	1100	220	218	38	600	120	118	20	238	80

Таблица.3.6.3. – Составляющие силы резания при расчёте НДС на задней поверхности резца из ВК8 с шириной  $b=2$  мм,  $\gamma=10^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{y_{Ni}}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{y_{Fi}}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	450	90	88	15,6	320	64	62	11,2	99,2	46,4
2	0,1-0,2	610	122	120	21,2	370	74	72	12,8	132,8	50,8
3	0,2-0,3	750	150	148	26	420	84	82	14,6	162,6	56
4	0,3-0,4	850	170	168	29	470	94	92	16,4	184,4	63
5	0,4-0,5	950	190	188	33	510	102	100	17,8	206	67
6	0,5-0,6	1050	210	208	36	560	112	110	19,6	228	74
7	0,6-0,75	1250	250	248	44	580	116	114	20	268	70

### 3.7. 3D-модель концевой цельной фрезы

После сравнение параметров концевой цельной фрезы из Р6М5 и ВК8 узнал, что нет разницы в параметрах, поэтому можно использовать одну 3D-модель фрезы для Р6М5 и ВК8.

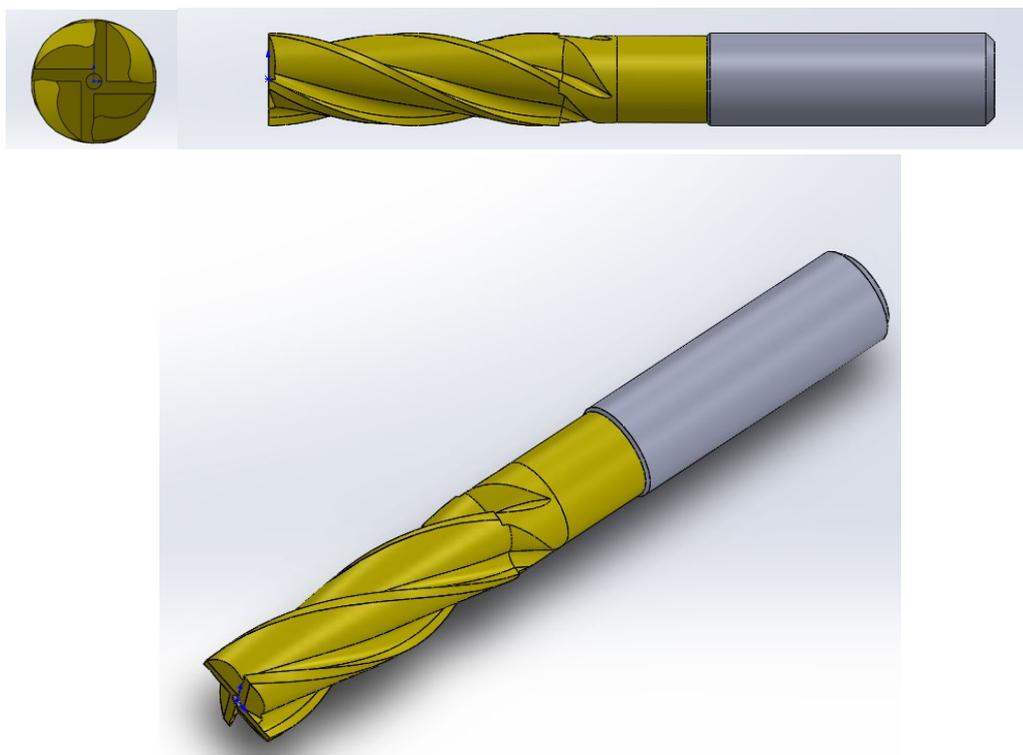


Рис.3.7.1. 3D-моделей концевой цельной фрезы без износа;  $\varnothing 16$  мм, передний угол  $\gamma 10^\circ$ , угол подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega 40^\circ$

### 3.8. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS

Чтобы получить результаты анализа НДС режущего клина с помощью программы ANSYS, необходимо сделать следующее:

- **Введение характеристик материала модели**

Для точного расчёта НДС пластины вводим величины модуля Юнга, коэффициента Пуассона и плотность материала в интерфейсе программы как «Engineering data» (рис 3.8.2).

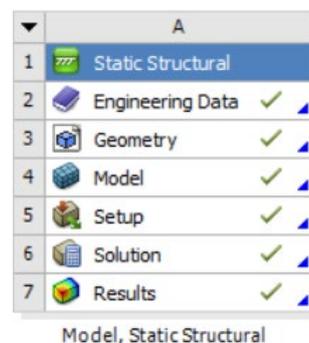


Рис3.8.1.Интерфейс «Static Structural»

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	14.7	g cm <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Mod...			
8	Young's Modulus	2.2E+05	MPa		
9	Poisson's Ratio	0.27			
10	Bulk Modulus	1.5942E+11	Pa		
11	Shear Modulus	8.6614E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress				
		Tabular			

Рис. 3.8.2. Ввод физико-механических характеристик материала модели

- **Введение 3D-модели концевой цельной фрезы**

Вводим 3D модели концевой цельной фрезы в интерфейс «Geometry».

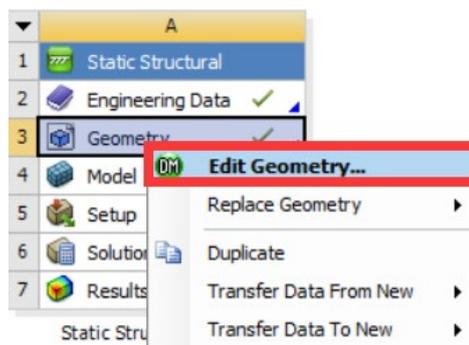


Рис3.8.3.Интерфейс «Geometry»

- **Создание сетки 3D-модели**

Программа ANSYS автоматически разделит сетку 3D-модели.

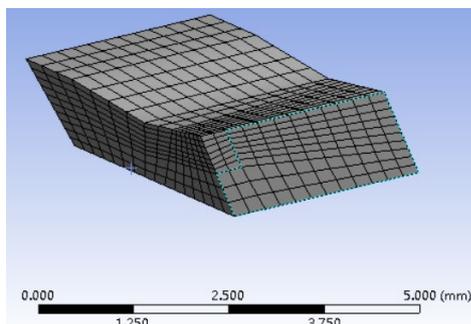


Рис.3.8.4. Вид конечных элементов

- **Закрепление модели**

Для наиболее точно моделирования процесса резания стали, мы задаём закрепление на двух поверхностях (рис. 3.8.5). В этом случае считается, что за указанными границами ни упругих, ни, тем более, пластических деформаций нет.

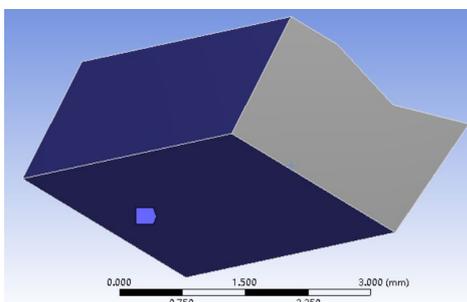


Рис. 3.8.5. Закрепление модели

- **Приложение внешних контактных нагрузок**

Пример приложения внешних контактных нагрузок на передней и задней поверхности приведен на рис. 3.8.6.

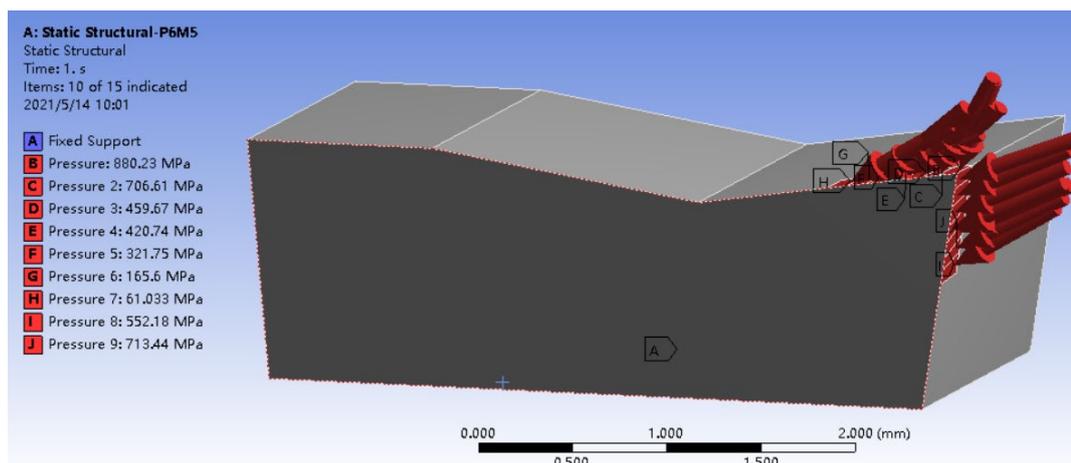


Рис.3.8.6. Приложение внешних контактных нагрузок на передней и задней поверхности

● **Получение картины НДС режущей пластины**

В нашей работе исследовались внутренние эквивалентные напряжения (Equivalent Stress), нормальные напряжения (Normal Stress) и касательные напряжения (Shear Stress) в режущем клине.

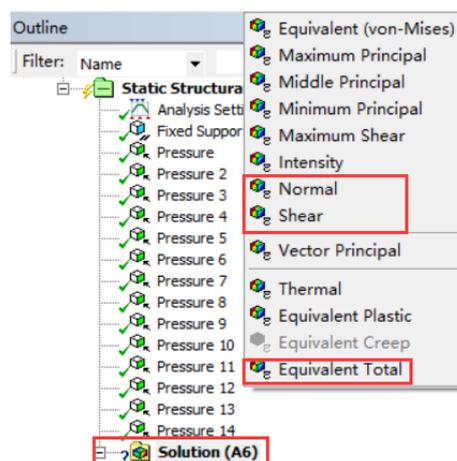


Рис. 3.8.7. Установление требуемых расчётов: деформации модели (мм); эквивалентных, нормальных и касательных напряжений (МПа)

**3.9. Исследование НДС режущего клина с тремя передними углами  $\gamma$  и с тремя различными углами подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega$**

После введения данных из таблицы 3.6.1, 3.6.2 и 3.6.3 в программу ANSYS, получил НДС режущего клина фрез из Р6М5 и ВК8 с передним углом  $\gamma = 10^\circ$  и с углом подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega = 40^\circ$ :

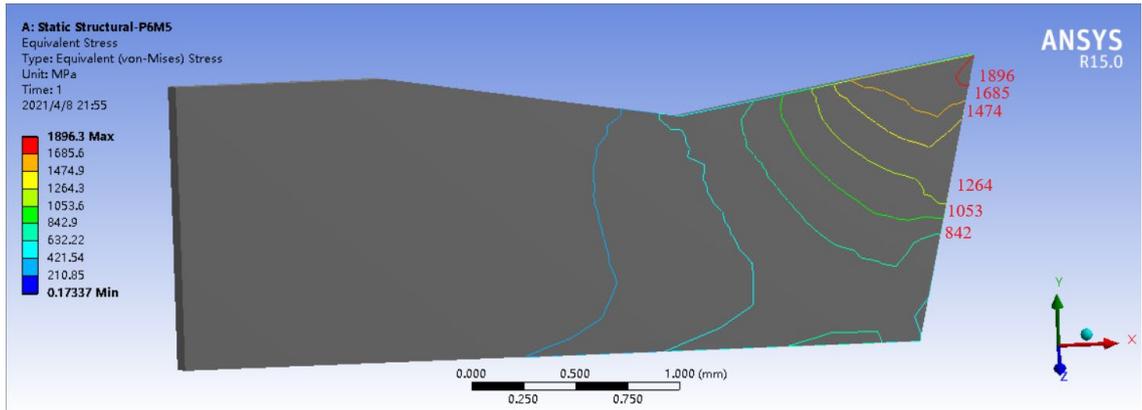
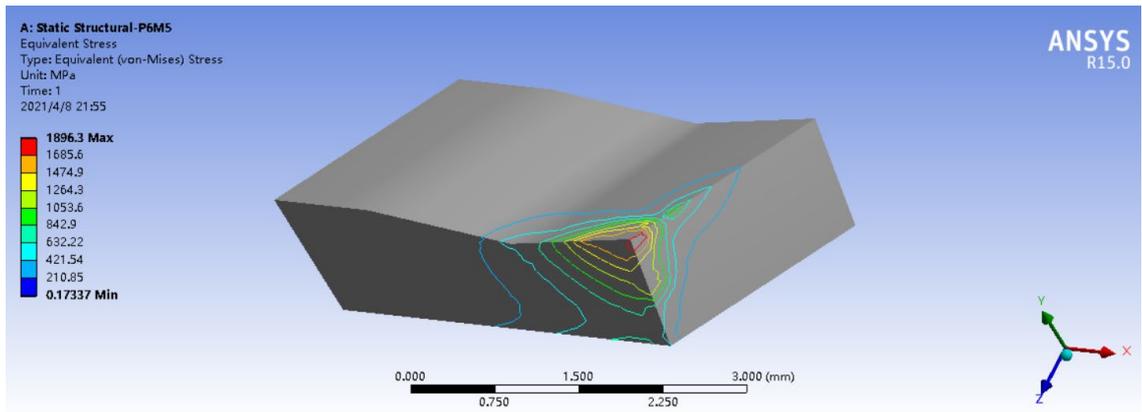


Рис.3.9.1. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1896,3$  МПа

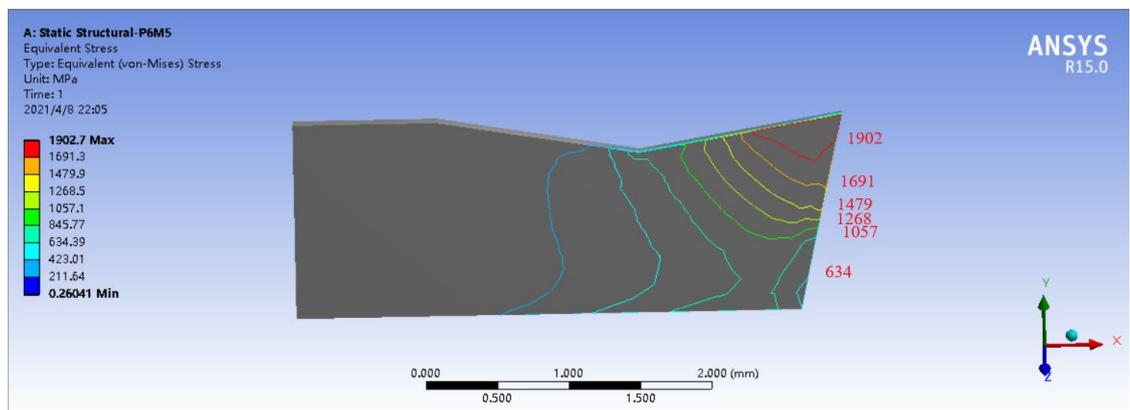
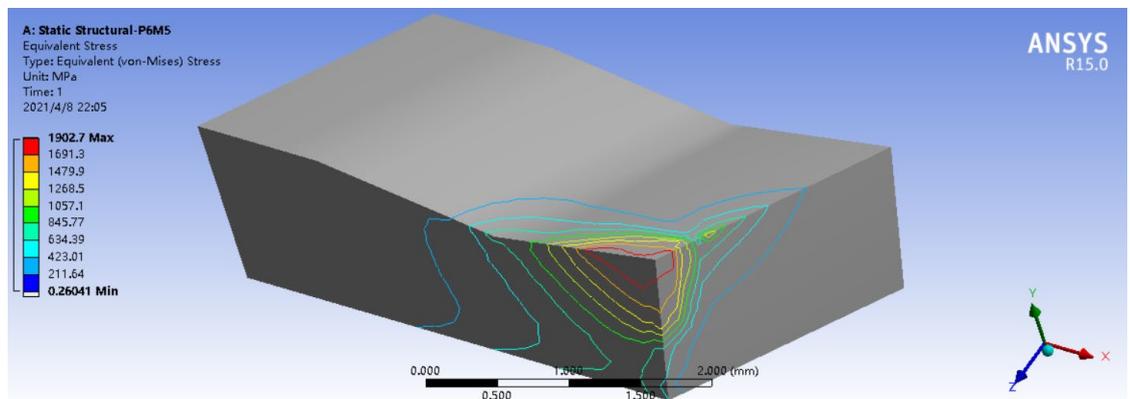


Рис.3.9.2. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – BK8,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1902,7$  МПа

На рис. 3.9.1 показано распределение эквивалентных напряжений при  $\gamma=10^\circ$ , также необходимо исследование НДС режущего клина с педными углами  $\gamma=0^\circ$  и  $\gamma=15^\circ$ , для этого нам нужно обратиться к рис. 3.5.1, рис. 3.5.2, рис. 3.5.3 и рис. 3.5.4, чтобы построить эпюры контактных напряжений. На этих графиках показано влияние толщины среза  $a$  и переднего угла  $\gamma$  на основные параметры эпюр контактных напряжений:

- наибольшую величину нормального контактного напряжения  $\sigma_{max}$  ;
  - расстояние  $L_2$  от режущей кромки до точки, где у эпюры нормальных контактных напряжений  $\sigma$  начинается горизонтальный участок. ;
  - наибольшую величину касательного контактного напряжения  $\tau_{max}$  ,
  - нормального контактного напряжения  $\sigma_{const}$  на горизонтальном участке эпюры  $\sigma$  .
- Для  $\gamma=0^\circ$   $\sigma_{max} = 850$  МПа;  $L_2 = 0,3$  мм;  $\tau_{const} = 320$  МПа;  $\sigma_{const} = 170$  МПа;

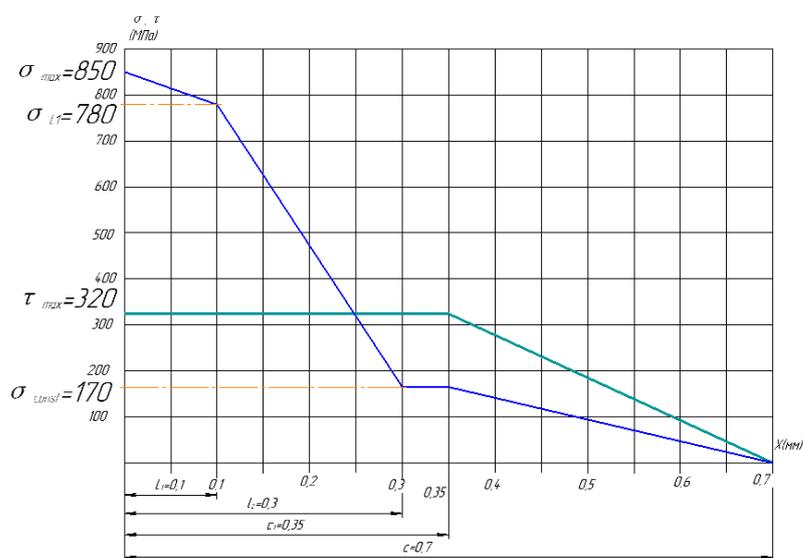


Рис.3.9.3. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности врезывания по технологическим силам  $P_{xy}$  и  $P_z$  Сталь 40X – P6M5,  $\gamma=0$ ,  $\omega=40^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;

Таблица 3.9.1. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b=2$  мм,  $\gamma=0^\circ$ ,  $\omega=40^\circ$  ( $a=0,09$  мм),  $c=0,7$ мм, Сталь 40X - P6M5

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{yNi}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{yFi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-0,1	820	164	164	0	320	64	64	0	164	64
2	0,1-0,2	630	126	126	0	320	64	64	0	126	64
3	0,2-0,3	330	66	66	0	320	64	64	0	66	64
4	0,3-0,4	295	59	59	0	300	60	60	0	59	60
5	0,4-0,5	225	45	45	0	230	46	46	0	45	46
6	0,5-0,6	80	16	16	0	145	29	29	0	16	29
7	0,6-0,7	35	7	7	0	50	10	10	0	7	10

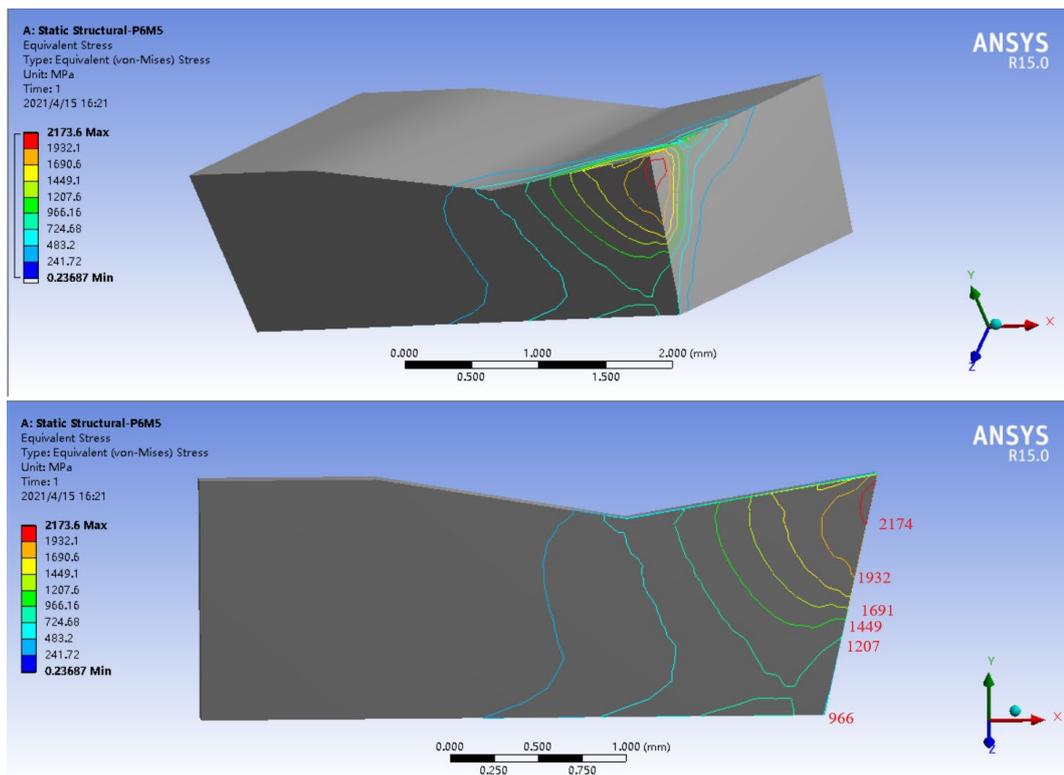


Рис.3.9.4. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma = 0$ ,  $\omega=40^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2174$  МПа

■ Для  $\gamma=15^\circ$   $\sigma_{\max} = 570$  МПа;  $L_2 = 0,2$  мм;  $\tau_{\text{const}} = 380$  МПа;  $\sigma_{\text{const}} = 230$  МПа;

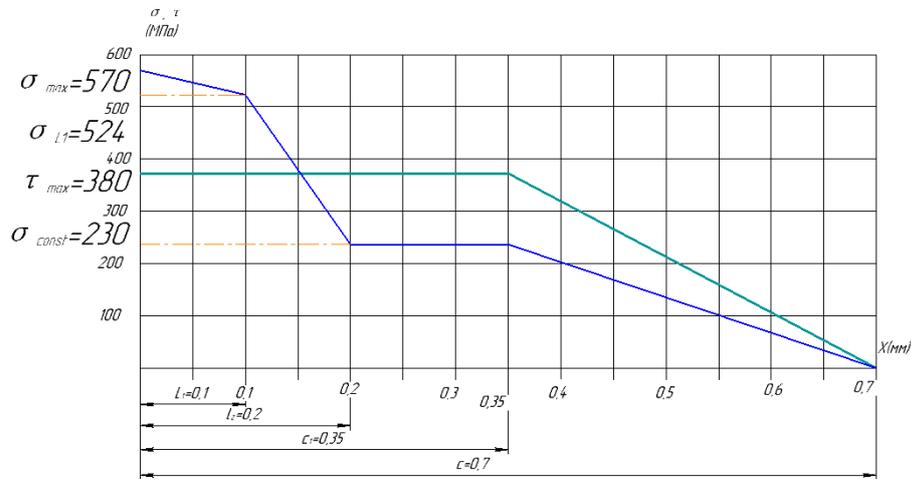


Рис.3.9.5. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности врезки по технологическим силам  $P_{xy}$  и  $P_z$  Сталь 40Х – Р6М5,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\omega=40^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;

Таблица 3.9.2. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b=2$  мм ( $\gamma=15^\circ$ ,  $\omega=40^\circ$  ( $a=0,09$  мм),  $c=0,7$  мм) Сталь 40Х - Р6М5

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$Py_{Ni}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$Py_{Fi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	540	108	104,3	28	380	76	73,4	19,7	124	45,4
2	0,1-0,2	365	73	70,5	18,9	380	76	73,4	19,7	90,2	54,5
3	0,2-0,3	230	46	44,4	11,9	380	76	73,4	19,7	64,1	61,5
4	0,3-0,4	220	44	42,5	11,4	350	70	67,6	18	60,5	56,2
5	0,4-0,5	175	35	33,8	9	270	54	52,2	14	47,8	43,2
6	0,5-0,6	100	20	19,3	5,2	165	33	31,9	8,5	27,8	26,7
7	0,6-0,7	50	10	9,7	2,6	60	12	11,6	3	12,7	9

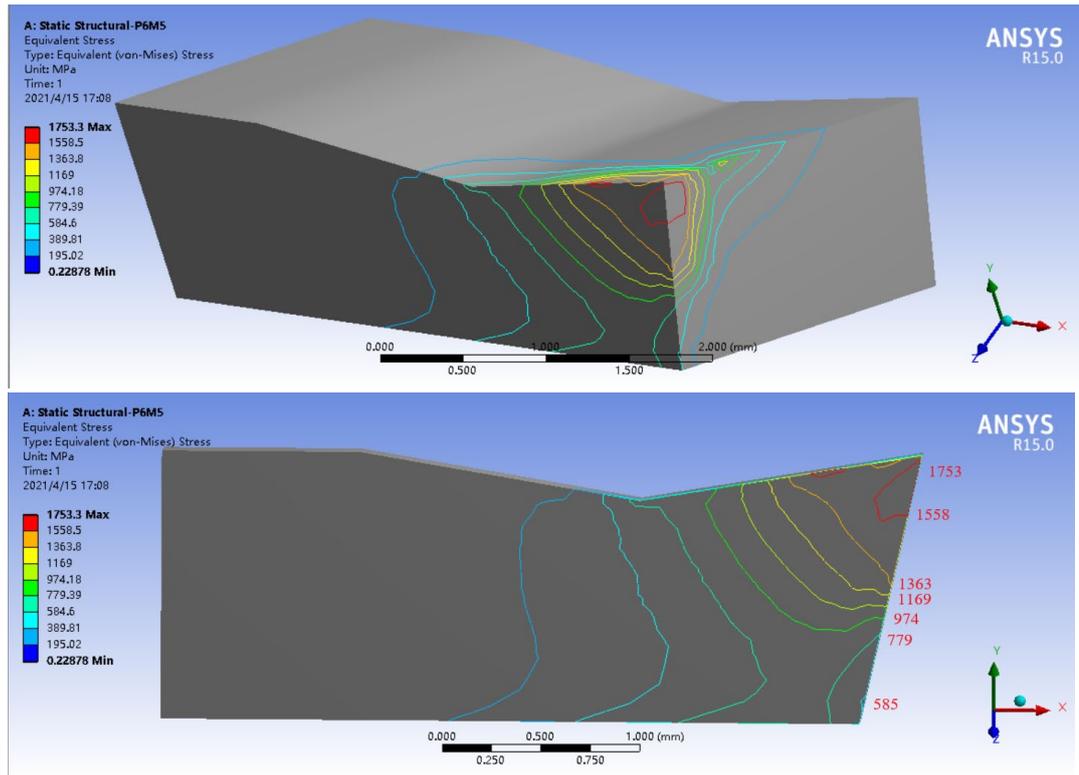


Рис.3.9.6. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40Х – Р6М5,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;  $\sigma_{\text{экв max}} = 1753$  МПа

На основе приведенных выше результатов, мы можем нарисовать график влияния **переднего угла  $\gamma$**  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{max}}$  (МПа) режущего клина при  $a = 0,09$  мм.

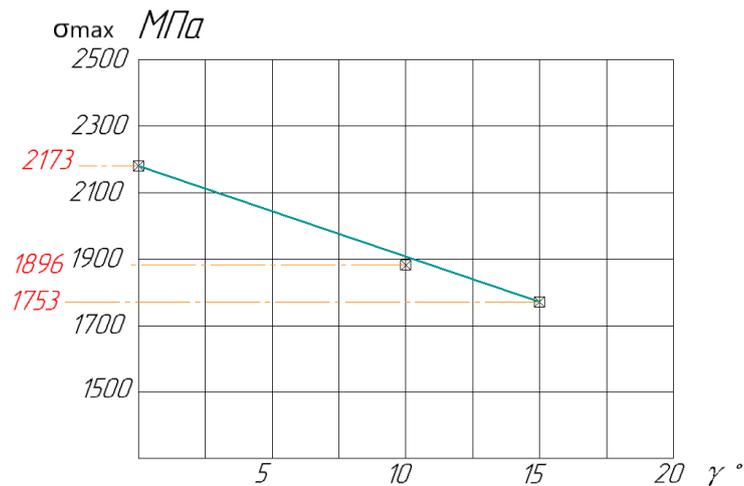


Рис.3.9.7. Влияние **переднего угла  $\gamma$**  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{max}}$  (МПа) режущего клина фрезы с  $\omega = 40^\circ$  при  $a = 0,09$  мм,

Выводы из графика рис. 3.9.7. заключается в том, что  $\sigma_{\text{max}}$  режущего клина уменьшается с увеличением **переднего угла  $\gamma$** .

На рис. 3.9.1 показано распределение эквивалентных напряжений при  $\omega=40^\circ$ , также необходимо исследование НДС режущего клина с углом наклона винтовой канавки  $\omega=50^\circ$  и  $\omega=20^\circ$ , для этого нам нужно обратиться к рис. 2.4.6. На графике показаны зависимости изменения составляющих силы резания от угла наклона винтовой канавки  $\omega$ .

■ Для  $\omega = 20^\circ$ ;

$$K_{Pz}=200/250=0,8; K_{Py}=120/150=0,8, K_{Px}=190/150=0,63;$$

$$P_{x.п} = 220 \times 0,8 = 176; P_{z.п} = 300 \times 0,9 = 270 \text{ Н}; P_{y.п} = 420 \times 0,92 = 386 \text{ Н};$$

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

$$P_{xy.п} = \sqrt{176^2 + 386^2} = 424 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$ ,  $N_1$  и  $F_1$  силы резания.

Для быстрорежущего инструмента (Р6М5) передний угол  $\gamma = 10^\circ$ ;

$$N = 424 \times \cos 10^\circ + 270 \times \sin 10^\circ = 464 \text{ Н};$$

$$F = 270 \times \cos 10^\circ - 424 \times \sin 10^\circ = 192 \text{ Н};$$

$$\tau_{\max} = F / c \times 0,75 \times b = 192 / 0,7 \times 0,75 \times 2 = 183 \text{ МПа};$$

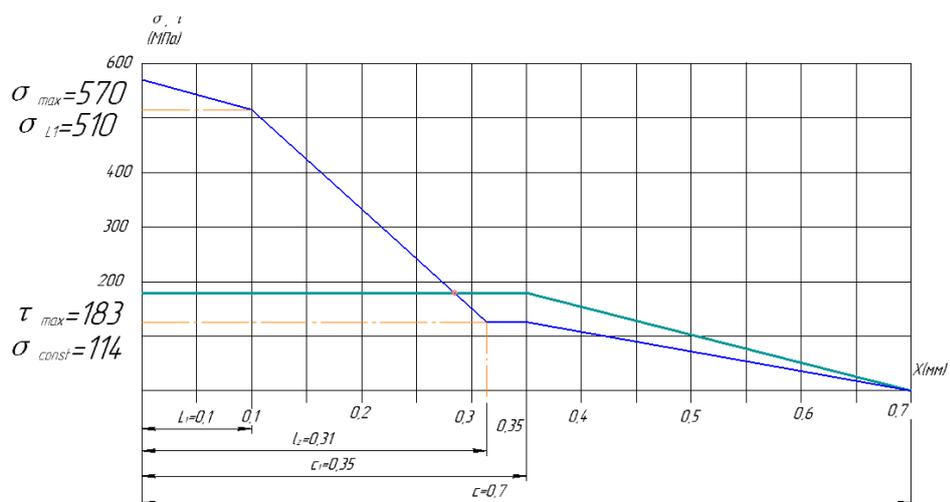


Рис.3.9.8. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы. Сталь 40Х – Р6М5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 20^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм

Таблица 3.9.3.– Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b=2$  мм ( $\gamma=10^\circ$ ,  $\omega=20^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм, Сталь 40X - P6M5

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{yNi}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{yFi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	540	108	107	21,4	183	36,6	36	12,8	119,8	14,6
2	0,1-0,2	400	80	79	16,6	183	36,6	36	12,8	91,8	19,4
3	0,2-0,3	210	42	41	10,8	183	36,6	36	12,8	53,8	25,2
4	0,3-0,4	110	22	21	7,2	160	32	31	12,8	33,8	23,8
5	0,4-0,5	90	18	17	5,4	120	24	23	9,4	27,4	17,6
6	0,5-0,6	50	10	9	2,8	80	16	15	5,6	14,6	12,2
7	0,6-0,7	20	4	3	1,2	30	11	10	2	5	8,8

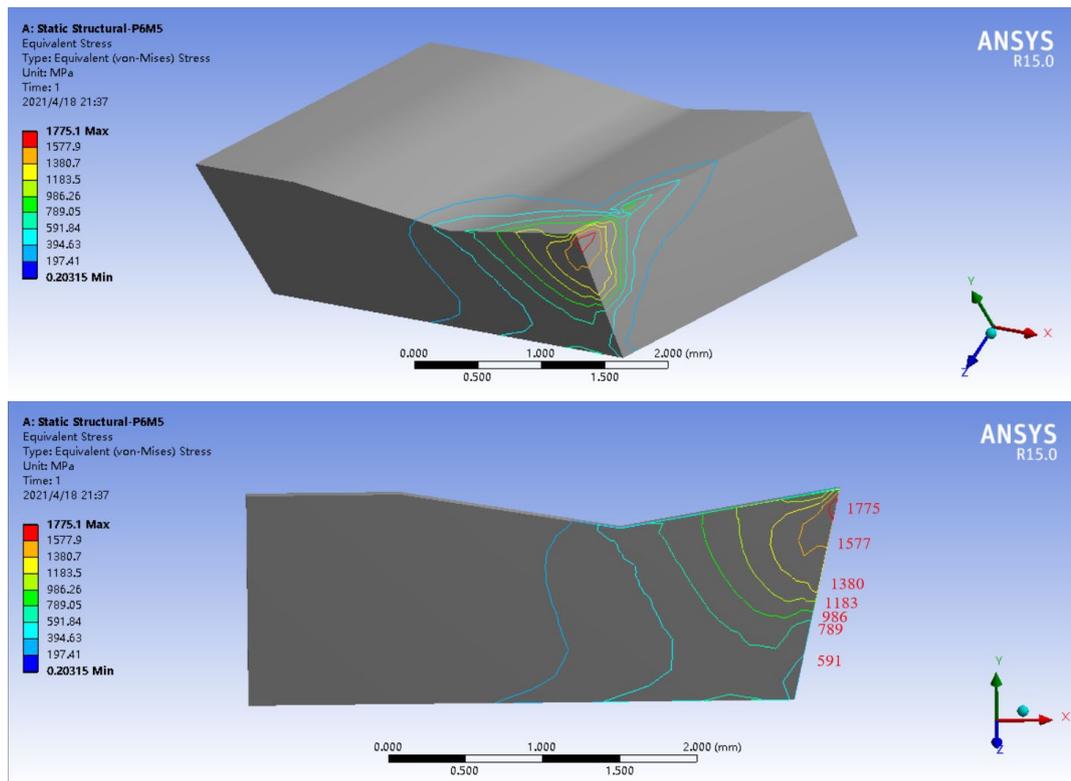


Рис.3.9.9. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega=20^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1775$  МПа

■ Для  $\omega = 50$   $K_{Pz}=300/250=1,2$ ;  $K_{Py}=220/180=1,22$ ,  $K_{Px}=150/80=1,88$ ;

$$P_{x.п} = 220 \times 1,88 = 414 ; P_{z.п} = 300 \times 1,2 = 360 \text{ Н}; P_{y.п} = 420 \times 1,22 = 512 \text{ Н};$$

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

$$P_{xy.п} = \sqrt{414^2 + 512^2} = 658 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$ ,  $N_1$  и  $F_1$  силы резания.

Для быстрорежущего инструмента (Р6М5) передний угол  $\gamma = 10^\circ$ ;

$$N = 360 \times \cos 10^\circ - 658 \times \sin 10^\circ = 709 \text{ Н};$$

$$F = 658 \times \cos 10^\circ + 360 \times \sin 10^\circ = 244 \text{ Н};$$

$$\tau_{\max} = F / c \times 0,75 \times b = 244 / 0,7 \times 0,75 \times 2 = 244 \text{ МПа};$$

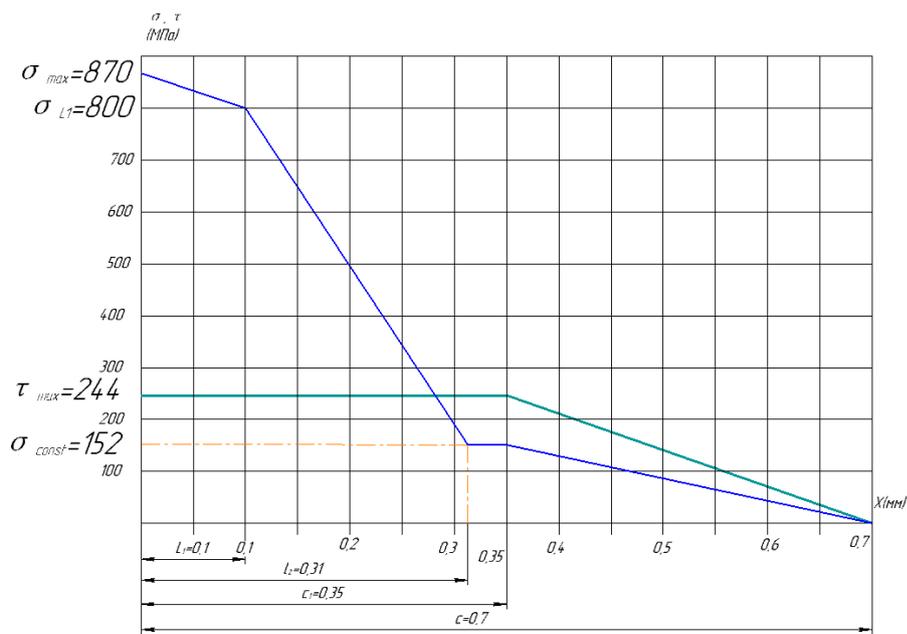


Рис.3.9.10. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности врезки по технологическим силам  $P_{xy}$  и  $P_z$  Сталь 40Х – Р6М5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 50^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм

Таблица.3.9.4. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b=2$  мм ( $\gamma=10^\circ$ ,  $\omega=50^\circ$  ( $a=0,09$  мм),  $c=0,7$ мм) Сталь 40X - P6M5

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{mi}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{yN}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{yF}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-0,1	840	168	166	29	244	49	48	8,5	174,5	19
2	0,1-0,2	620	124	123	21	244	49	48	8,5	131,5	27
3	0,2-0,3	320	64	63	11	244	49	48	8,5	71,5	37
4	0,3-0,4	140	28	27	5	220	44	43	8,5	35,5	38
5	0,4-0,5	100	20	19	3,4	180	36	35	6	25	31,6
6	0,5-0,6	80	16	15,8	2,8	100	20	19	3,5	19,3	16,2
7	0,6-0,7	35	7	6,8	1,2	55	11	10	2	8,8	8,8

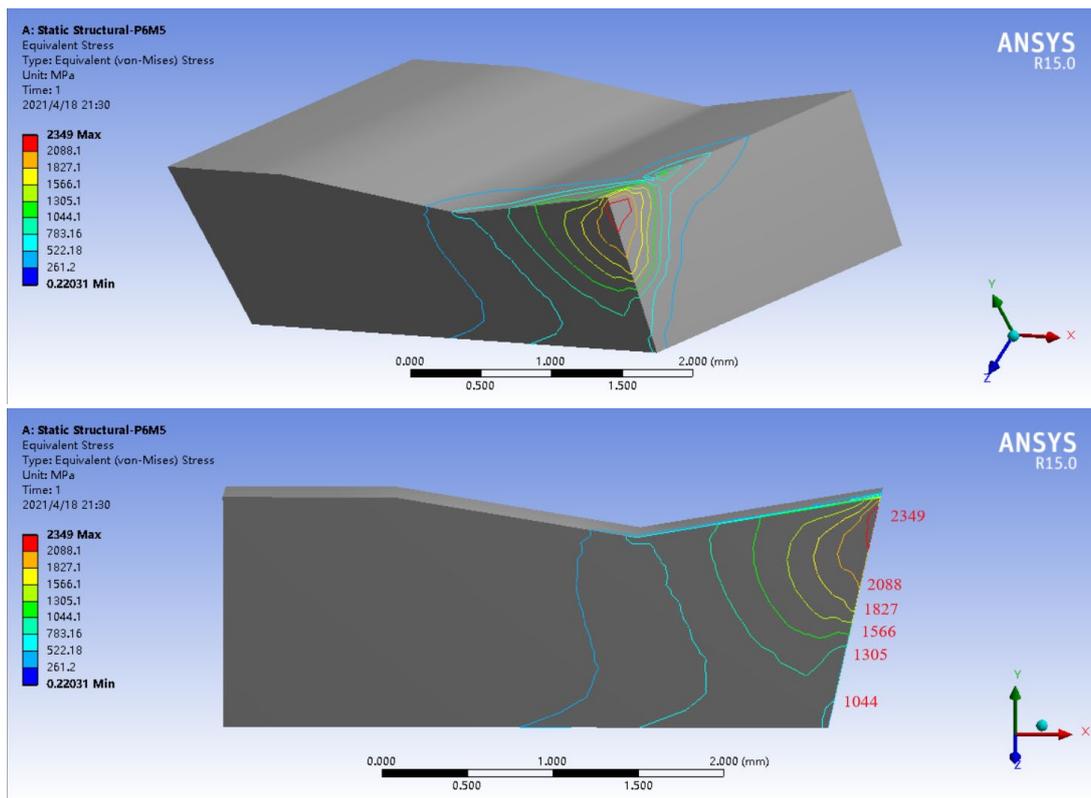


Рис.3.9.11. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma=10^\circ$ ,  $\omega=50^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм;  $\sigma_{\text{экв max}} = 2349$  МПа

На основе приведенных выше результатов, мы можем нарисовать график влияния угла наклона винтовой канавки  $\omega$  на наибольшее эквивалентное

напряжение  $\sigma_{\max}$  (МПа) режущего клина (рис. 3.9.12).

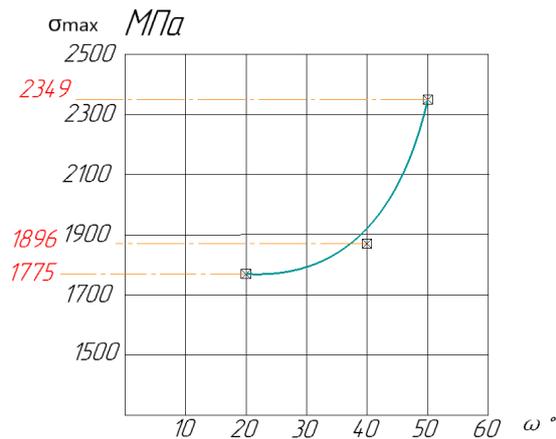


Рис.3.9.12. Влияние угла наклона главной винтовой канавки  $\omega$  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\max}$  (МПа) режущего клина

Выводы из графика рис. 3.9.12. заключается в том ,что

- $\sigma_{\max}$  режущего клина **увеличивается** с увеличением угла подъёма  $\omega$ ;
- $\sigma_{\max}$  режущего клина **увеличивается** существенно с увеличением угла подъёма  $\omega$  с  $20^\circ$  до  $50^\circ$ .
- Для уменьшения выкрашивания вершин (уголков) у твёрдосплавных фрез надо делать не правое, а **левое направление винтовых канавок с  $\omega = 20^\circ$**  .
- Подача на зуб  $s_z$  от 0,2 до 0,4 мм/зуб в зависимости от глубины резания  $t$  , т.е. зависит от  $a_{\max}$  ( $a_{\max} \approx 2s_z(t/D)^{0.5}$ ), и, в меньшей степени, от глубины уступа  $h$  (ширины фрезерования  $B$ ).

### 3.10. Исследование влияния износа по ленточке на НДС режущего клина

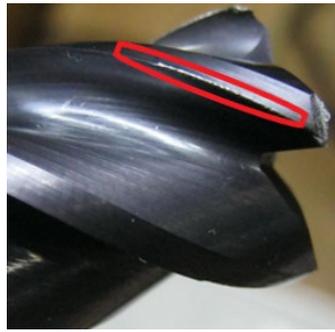


Рис.3.10.1.Износ  $h_z$  по главной режущей кромке с образованием ленточки износа

Был получен график влияния износа по ленточке  $h_z$  на составляющие силы резания (рис. 3.10.2).

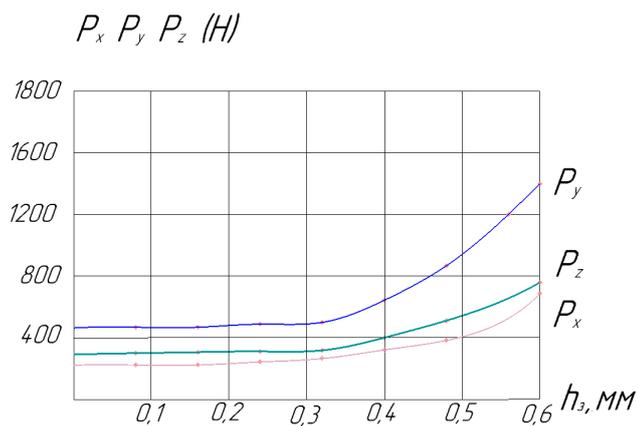


Рис.3.10.2.График влияния износа по ленточке  $h_z$  на составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_x$ ,  $P_y$  (Н)

Чтобы выявлять влияние износа по ленточке  $h_z$  на НДС режущего клина, из графика рис. 3.10.2. можно получить исходные данные о составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_x$ ,  $P_y$ .

- При  $h_z=0,2$ мм;

$$P_z = 320 \text{ Н}; \quad P_x = 280 \text{ Н}; \quad P_y = 490 \text{ Н}; \quad P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = 564 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$  на передней поверхности при  $\gamma = 10^\circ$ ;

$$N = N_{P_z} - N_{P_{xy}} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 217 \text{ Н};$$

$$F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 611 \text{ Н};$$

$$b = t / \sin \varphi = 2 / \sin 90^\circ = 2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\max} = F / (c \times 0,75 \times b) = 611 / (0,7 \times 0,75 \times 2) = 581 \text{ МПа};$$

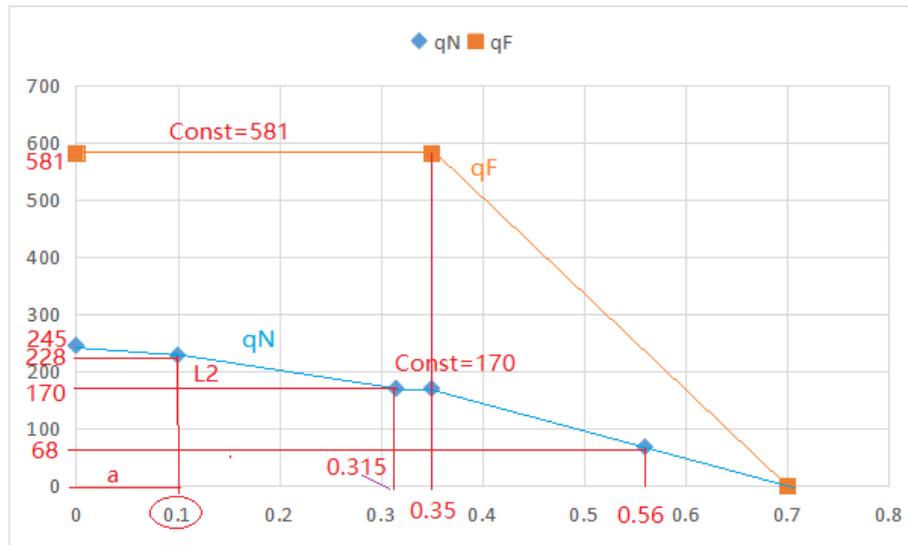


Рис.3.10.3. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы (Р6М5) при  $a = 0,09$  мм,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $h_z = 0,2$  мм

Таблица 3.10.1 – Составляющие силы на передней поверхности реза с шириной  $b = 2$  мм ( $\gamma = 10^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_z = 0,2$  мм) Сталь 40Х - Р6М5

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$Py_{Ni}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$Py_{Fi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	236,5	47,3	46,9	8,2	581	116,2	114,4	20,2	67,1	106,2
2	0,1-0,2	214	42,8	42,1	7,4	581	116,2	114,4	20,2	63	107
3	0,2-0,3	187,5	37,5	36,9	6,5	581	116,2	114,4	20,2	57,7	107,9
4	0,3-0,4	165	33	32,5	5,7	550	110	108	19,1	51,6	102,3
5	0,4-0,5	130	26	25,6	4,5	400	80	78,8	13,9	39,5	74,3
6	0,5-0,6	68	13,6	13,4	2,4	250	50	49	8,7	22,1	46,6
7	0,6-0,7	25	5	4,9	0,87	90	18	17,7	3,1	8	16,83

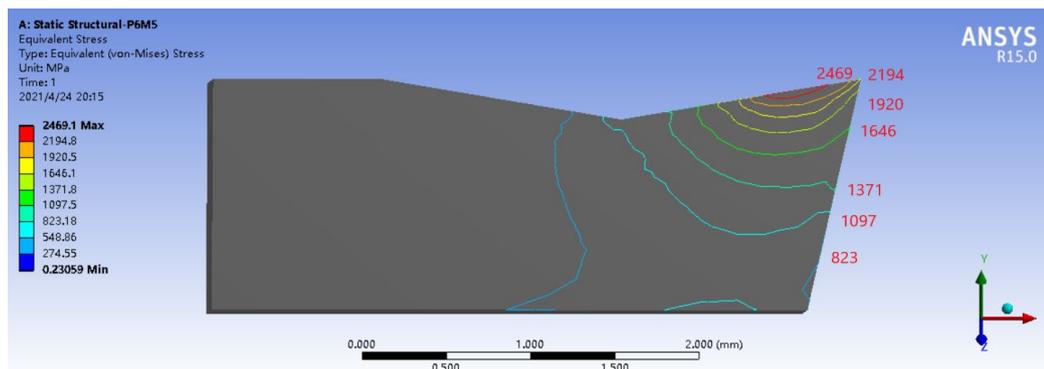


Рис.3.10.4. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_z = 0,2$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2194$  МПа

■ При  $h_z = 0,4$  мм:  $P_z = 400$  Н;  $P_x = 320$  Н;  $P_y = 620$  Н;

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = 697 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$  на передней поверхности при  $\gamma = 10^\circ$ :

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 273 \text{ Н};$$

$$F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 757 \text{ Н};$$

$$b = t / \sin \varphi = 2 / \sin 90^\circ = 2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\text{max}} = F / (c \times 0,75 \times b) = 757 / (0,7 \times 0,75 \times 2) = 721 \text{ МПа};$$

Таблица.3.10.2. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b = 2$  мм ( $\gamma = 10^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_z = 0,4$  мм) Сталь 40X - P6M5

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz Ni$ , Н	$Py Ni$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$Py Fi$ , Н	$Pz Fi$ , Н	$Pzi$ , Н	$Pyi$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	292	58,4	57,5	10,1	721	144	142	25	82,5	131,9
2	0,1-0,2	267	53,4	52,6	9,3	721	144	142	25	77,6	132,7
3	0,2-0,3	235	47	46,3	8,2	721	144	142	25	71,3	133,8
4	0,3-0,4	200	40	39,4	6,9	680	136	134	23,3	62,7	127,1
5	0,4-0,5	150	30	29,5	5,2	500	100	98	17,4	46,9	68,5
6	0,5-0,6	90	18	17,7	3,1	300	60	59	10,4	28,1	55,9
7	0,6-0,7	30	6	5,9	1	120	24	24	4,2	10,1	23

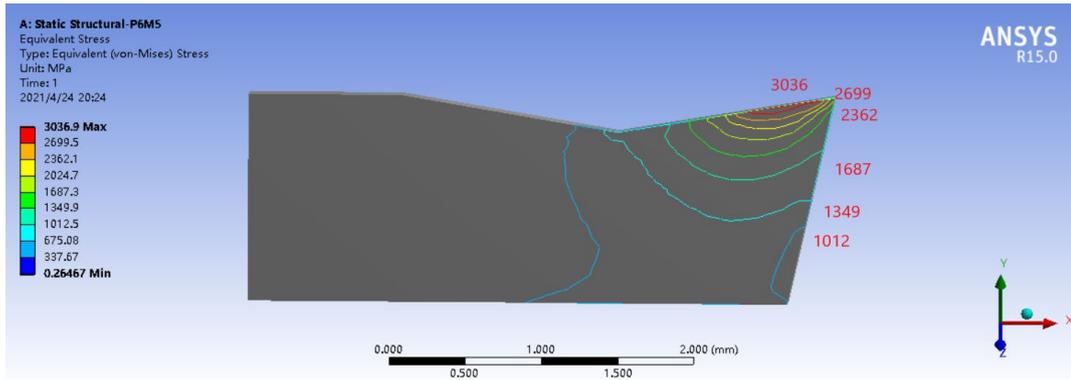


Рис.3.10.6.Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_3 = 0,4$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2699$  МПа

- При  $h_3 = 0,6$  мм:  $P_z = 750$  Н;  $P_x = 700$  Н;  $P_y = 1400$  Н;

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = 1565 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$  на передней поверхности при  $\gamma = 10^\circ$ :

$$N = N_{P_z} - N_{P_{xy}} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 467 \text{ Н};$$

$$F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 1671 \text{ Н};$$

$$b = t / \sin \varphi = 2 / \sin 90^\circ = 2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\text{max}} = F / (c \times 0,75 \times b) = 757 / (0,7 \times 0,75 \times 2) = 1591 \text{ МПа};$$

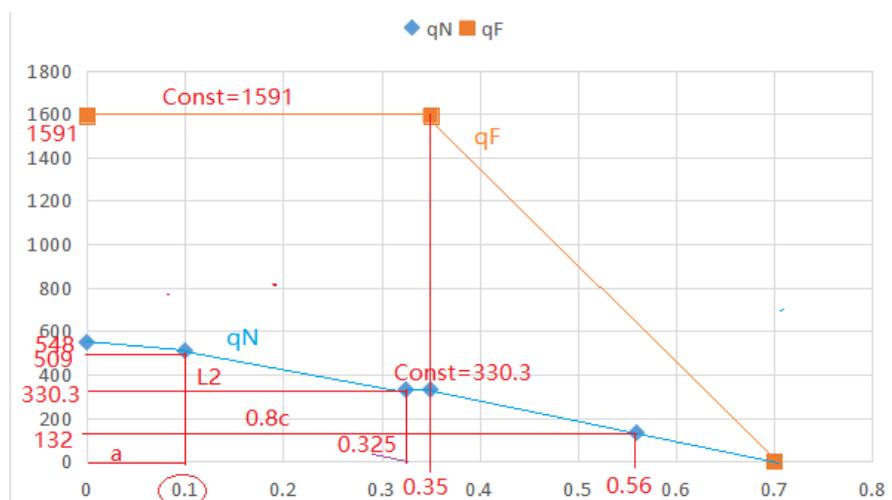


Рис.3.10.7.Эпюры контактных напряжений на передней поверхности врезь (P6M5) при  $a = 0,09$  мм,  $h_3 = 0,6$  мм по технологическим силам  $P_{xy}$  и  $P_z$  при  $\gamma = +10^\circ$

Таблица.3.10.3. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b=2$  мм ( $\gamma=10^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$ мм,  $h_z=0,6$ мм) Сталь 40X - P6M5

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ли}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{yNi}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{yFi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-0,1	528	106	104	18,4	1591	318	313	55,2	159,2	294,6
2	0,1-0,2	450	90	88,7	15,6	1591	318	313	55,2	143,9	297,4
3	0,2-0,3	380	76	74,8	13,2	1591	318	313	55,2	130	299,8
4	0,3-0,4	300	60	59,1	10,4	1500	300	295,4	52,1	111,2	285
5	0,4-0,5	250	50	49,2	8,7	1100	220	216,7	38,2	87,4	208
6	0,5-0,6	130	26	25,6	4,5	680	136	134	23,6	49,2	129,5
7	0,6-0,7	40	8	7,9	0,17	270	54	53,2	9,4	17,3	53,03

На основе приведенных выше результатов, мы можем нарисовать график влияния износа по ленточке  $h_z$  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{max}$  режущего клина.

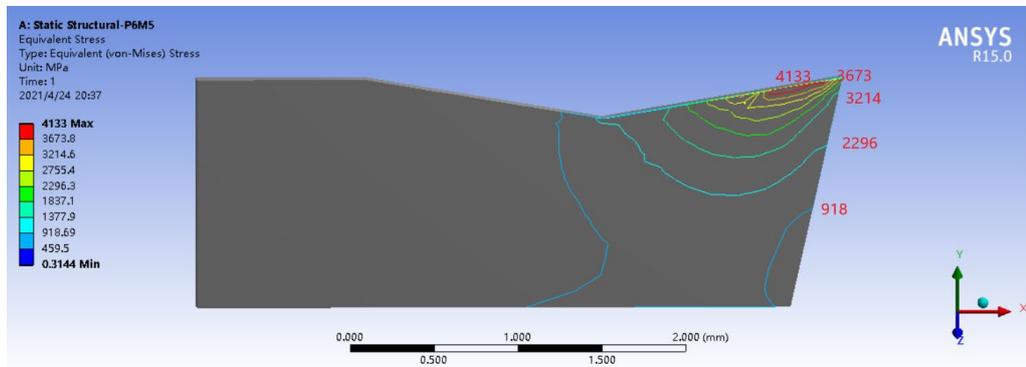


Рис.3.10.8. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – P6M5,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega=40^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_z=0,6$  мм;  $\sigma_{эКВ\ max} = 3673$  МПа

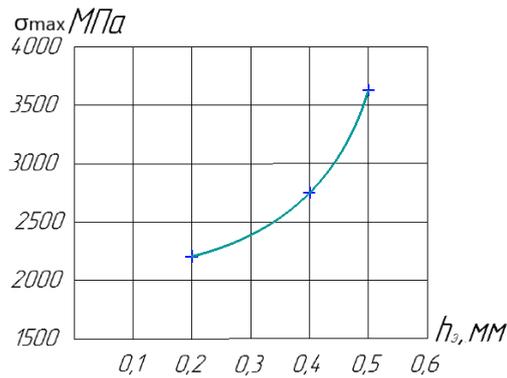


Рис.3.10.9. Влияние износа по ленточке  $h_z$  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{max}$  (МПа) режущего клина

Выводы из графика рис. 3.10.9. заключается в том, что  $\sigma_{max}$  режущего клина очень существенно увеличивается с увеличением износа по ленточке  $h_z$  более 0,2 мм.

### 3.11. Исследование влияния износа по уголкам на НДС режущего клина

Влияние износа по уголкам сильно проявляется только при обработке твёрдосплавными фрезами.

У твёрдосплавных фрез износ по главной режущей кромке с образованием ленточки износа (образование фаски износа по главной задней поверхности длиной  $h_z$ ) очень мал ( $h_z$  не более 0,17 мм).

Поэтому считаем, что приращение всех составляющих силы резания вызван износом по уголкам. Величину этого износа мы не измеряли, но наибольший износ к концу периода стойкости  $T$  составил 2,6 мм ( $h_{уг\ max}=2,6$  мм). Считаем, что износ протекает приблизительно равномерно, поэтому строится график влияния времени фрезерования  $\tau$  (мин) на длину износа по уголкам  $h_{уг}$ :  $h_{уг} = f(\tau)$ .

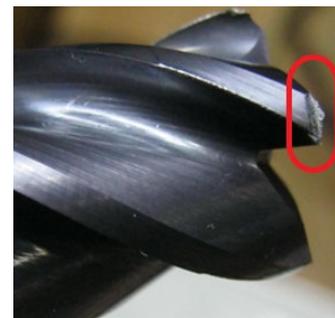


Рис.3.11.1. Износ  $h_{уг}$  по уголкам

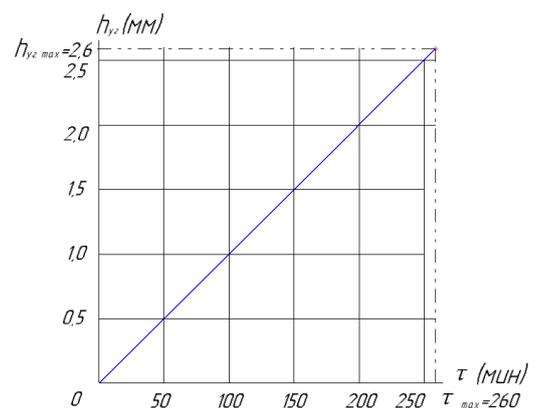


Рис.3.11.2. График влияния времени фрезерования  $\tau$  (мин) на длину износа по уголкам  $h_{уг}$

После этого на графиках  $P_z = f(\tau)$ ,  $P_x = f(\tau)$ ,  $P_y = f(\tau)$  на оси абсцисс вместо времени  $\tau$  (мин) ставится ось  $h_{yT}$  (мм). Получаем изменение сил резания от длины фаски износа по уголкам  $h_{yT}$  (пренебрегаем влиянием износа по главной режущей кромке):  $P_z = f(h_{yT})$ ,  $P_x = f(h_{yT})$ ,  $P_y = f(h_{yT})$ . В этом случае можно считать, что рассматриваем не равномерный износ по уголкам, а реальный, т.к. по оси абсцисс у нас  $h_{yT}$ .

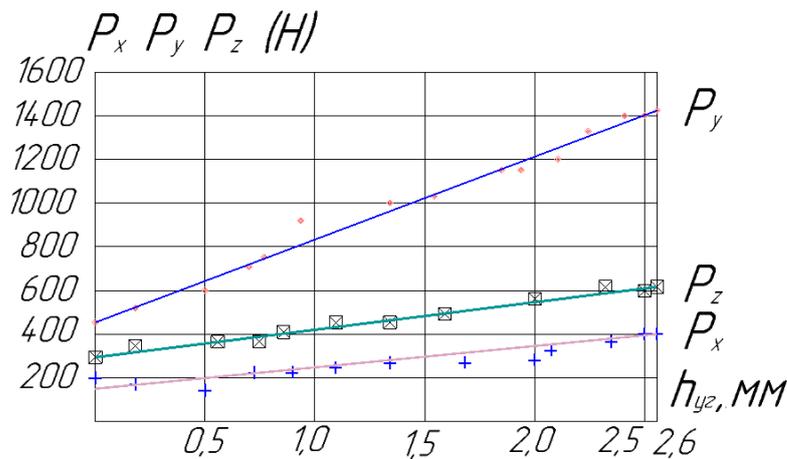


Рис.3.11.3. График влияния длины износа по уголкам  $h_{yT}$  на составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_x$ ,  $P_y$  (Н)

■ При  $h_{yT}=1,0$  мм:

$P_z = 460$  Н;  $P_x = 320$  Н;  $P_y = 950$  Н;

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = 1002 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$  на передней поверхности:

$$\gamma = 10^\circ;$$

$$N = N_{P_z} - N_{P_{xy}} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 279 \text{ Н};$$

$$F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 1067 \text{ Н};$$

$$b = t / \sin \varphi = 2 / \sin 90^\circ = 2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\max} = F / (c \times 0,75 \times b) = 1067 / (0,7 \times 0,75 \times 2) = 1016 \text{ МПа};$$

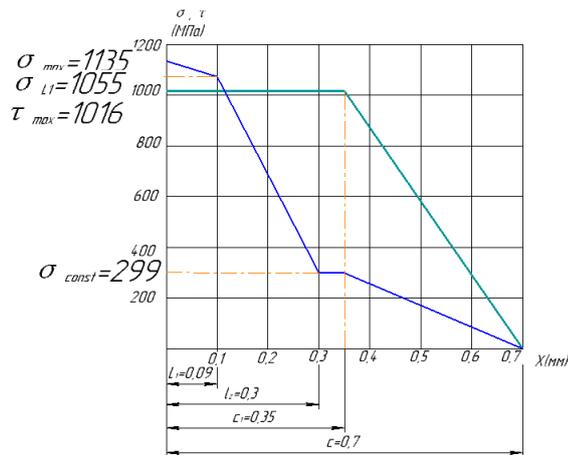


Рис.3.11.4.Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы (ВК8) при  $a = 0,09$  мм,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $h_{y2} = 1,0$  мм

Таблица.3.11.1. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b = 2$  мм ( $\gamma = 10^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_{y2} = 1,0$  мм) Сталь 40X - ВК8

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$Py_{Ni}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$Py_{Fi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	1090	218	216	37,8	1016	211	208	36	252	170
2	0,1-0,2	850	170	168	29,5	1016	211	208	36	204	179
3	0,2-0,3	500	100	99	17,4	1016	211	208	36	135	191
4	0,3-0,4	270	54	53	9,4	950	190	187	33	86	178
5	0,4-0,5	210	42	41	7,3	730	146	144	25	66	137
6	0,5-0,6	130	26	25	4,5	410	82	81	14	39	77
7	0,6-0,7	20	4	3	1,2	170	34	33	6	9	32

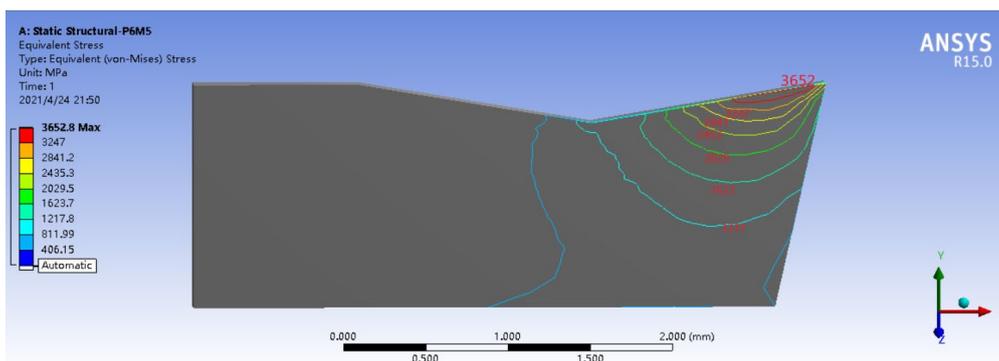


Рис.3.11.5. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – ВК8,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_{y2} = 1,0$  мм;  $\sigma_{\text{экв max}} = 3652$  МПа

■ При  $h_{y2} = 1,5$  мм:

$$P_z = 470 \text{ Н}; P_x = 350 \text{ Н}; P_y = 980 \text{ Н}; P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = 1040 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$  на передней поверхности:

$$\gamma = 10^\circ;$$

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 283 \text{ Н};$$

$$F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 1106 \text{ Н};$$

$$b = t / \sin \varphi = 2 / \sin 90^\circ = 2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\text{max}} = F / (c \times 0,75 \times b) = 1106 / (0,7 \times 0,75 \times 2) = 1053 \text{ МПа}$$

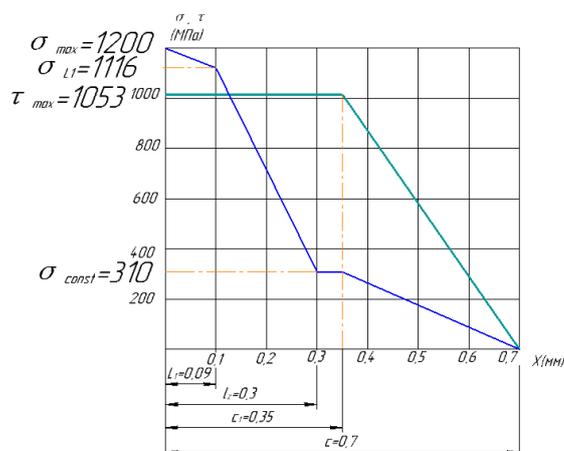


Рис.3.11.6. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы (ВК8) при  $a = 0,09$  мм,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $h_{y2} = 1,5$  мм

Таблица.3.11.2. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b=2$  мм ( $\gamma=10^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм,  $h_{yz}=1,5$  мм) Сталь 40X - BK8

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$Py_{Ni}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$Py_{Fi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	0-0,1	1158	231	229	40	1053	211	208	36	265	168
2	0,1-0,2	850	170	168	29,5	1053	211	208	36	204	179
3	0,2-0,3	550	110	108	19	1053	211	208	36	144	189
4	0,3-0,4	270	54	53	9,4	950	190	187	33	86	178
5	0,4-0,5	210	42	41	7,3	730	146	144	25	66	137
6	0,5-0,6	130	26	25	4,5	410	82	81	14	39	77
7	0,6-0,7	20	4	3	1,2	170	34	33	6	9	32

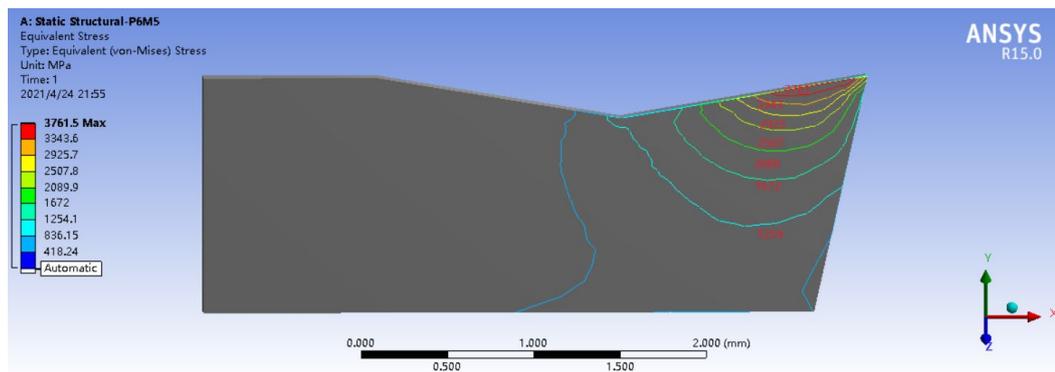


Рис.3.11.7. Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40X – BK8,  $\gamma=10^\circ$ ,  $\omega=40^\circ$ ,  $a=0,09$  мм,  $c=0,7$  мм,  $h_{yz}=1,5$  мм;  $\sigma_{\text{экв max}} = 3761$  МПа

■ При  $h_{yz}=2,6$  мм:

$$Pz = 620 \text{ Н}; P_x = 400 \text{ Н}; P_y = 1450 \text{ Н};$$

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = 1504 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих  $N$  и  $F$  на передней поверхности:

$$\gamma = 10^\circ;$$

$$N = N_{Pz} - N_{P_{xy}} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma = 349 \text{ Н};$$

$$F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma = 1589 \text{ Н};$$

$$b = t / \sin \varphi = 2 / \sin 90^\circ = 2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\max} = F / (c \times 0,75 \times b) = 1589 / (0,7 \times 0,75 \times 2) = 1513 \text{ МПа};$$

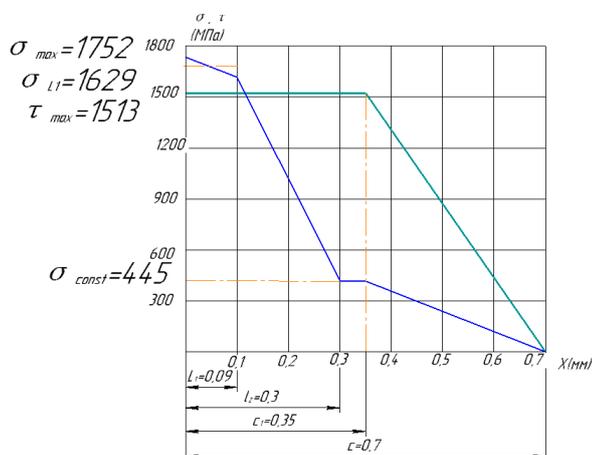


Рис.3.11.8. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности врез (ВК8) при подаче  $s = 0,09$  мм/об,  $\gamma = +10^\circ$ ,  $h_{yz} = 2,6$  мм по технологическим силам  $P_{xy}$  и  $P_z$

Таблица.3.11.3. – Составляющие силы резания на передней поверхности резца с шириной  $b = 2$  мм ( $\gamma = 10^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_{yz} = 2,6$  мм) Сталь 40X - ВК8

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ , МПа	$N_i$ , Н	$Pz_{Ni}$ , Н	$P_{yNi}$ , Н	$\tau_i$ , МПа	$F_i$ , Н	$P_{yFi}$ , Н	$Pz_{Fi}$ , Н	$P_{zi}$ , Н	$P_{yi}$ , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-0,1	1690	338	336	59	1513	303	301	53	389	242
2	0,1-0,2	1250	250	248	43	1513	303	301	53	301	258
3	0,2-0,3	700	140	139	24	1513	303	301	53	192	277
4	0,3-0,4	330	66	65	11	1400	280	278	49	114	267
5	0,4-0,5	280	56	55	10	1050	210	209	36	91	199
6	0,5-0,6	250	50	49	9	610	122	121	21	70	112
7	0,6-0,7	50	10	9	2	200	40	39	7	16	37

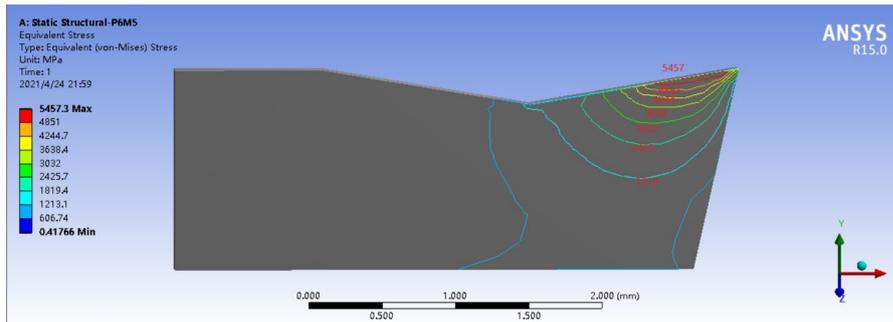


Рис.3.11.9.Распределение эквивалентных напряжений. Сталь 40Х – ВК8,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\omega = 40^\circ$ ,  $a = 0,09$  мм,  $c = 0,7$  мм,  $h_{yz} = 2,6$  мм;  $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 5457$  МПа

На основе приведенных выше результатов, мы можем нарисовать график влияния износа по уголкам  $h_{yz}$  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{max}}$  режущего клина (рис. 3.11.10).

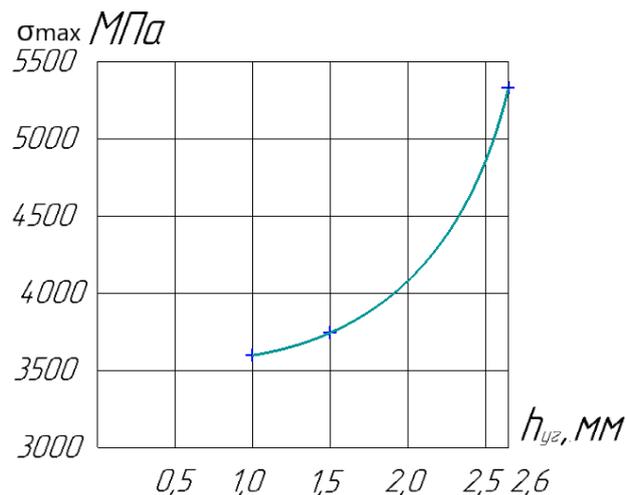


Рис.3.11.10.Влияние износа по уголкам  $h_{yz}$  на наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{max}}$  (МПа) режущего клина

Выводы из графика рис. 3.11.10. заключается в том, что  $\sigma_{\text{max}}$  режущего клина увеличивается с увеличением износа по уголкам  $h_{yz}$ .

Для уменьшения интенсивности износа по углам твёрдосплавных фрез можно порекомендовать изготовление правосторонних концевых фрез (рабочее вращение  $n$  (об/мин) как обычно направо), но винтовая канавка левого направления (рис. 3.11.11).

В этом случае врезаться в заготовку будет сначала не вершина, как у обычных фрез с правым направлением винтовой канавки, а выше расположенный участок режущей кромки, поэтому не будет удара, что разрушает хрупкий твёрдый сплав фрезы. Особенно это актуально при попутном фрезеровании, когда зуб начинает врезаться при наибольшей толщине среза  $a$ .

Недостатком такой конструкции является увеличение усилия при врезании и осевая сила направлена вниз даже у не изношенной фрезы. К сожалению, изготовить и испытать такие фрезы мы не смогли из-за пандемии.

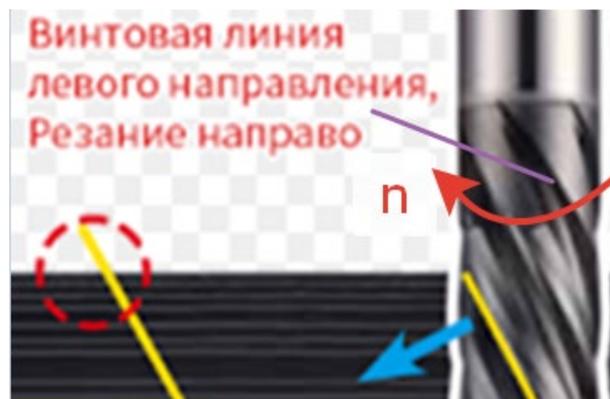


Рис.3.11.11. Фреза с винтовой канавкой левого направления при обычном правом вращении фрезы

## Заключение

1. Разница в режиме резания очень мала для обрабатываемых материалов Стали 40Х и Стали 45.
2. Мало практически влияет угол наклона главной винтовой канавки  $\omega$  от 0 до  $-25^\circ$  на составляющие силы резания при установившемся резании.
3. Наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\max}$  режущего клина **уменьшается** с увеличением **переднего угла  $\gamma$** ;
4. Наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\max}$  режущего клина **уменьшается** с увеличением угла подъёма  $\omega$ ;
5. Наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\max}$  режущего клина **увеличивается** существенно с увеличением угла подъёма  $\omega$  с  $20^\circ$  до  $50^\circ$ .
6. Для уменьшения **выкрашивания вершин** (уголков) у **твёрдосплавных фрез** надо делать не правое, а **левое направление винтовых канавок** с  $\omega = 20^\circ$ .
7. Наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\max}$  режущего клина существенно увеличивается с увеличением износа по ленточке  $h_z$  более 0,2 мм;
8. Наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\max}$  режущего клина существенно увеличивается с увеличением износа по уголкам  $h_{уг}$  более 1 мм.

## Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т.2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
2. Филиппов А.В. Повышение точности обработки нежестких валов путём оптимизации параметров брешущего течения, 2015. С. 152-153.
3. Джин Ган. Моделирование силы резания и анализ влияющих факторов переменной спиральной фрезы, "Механическая прочность": Джин Ган, 2017 Выпуск 4 С.810-815
4. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с..
5. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца. Сб. статей “Вопросы оптимального резания металлов”. Вып. 1. -Уфа, 1976, с. 98-104.
6. Прочность сменных многогранных пластин при обработке стали / Ци Мэнсюй (4AM91), Ю Цзяньюй (4AM91), Чэнь Юэчжоу (4AM82); науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2020 . — [С. 263-268].
7. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с.
8. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148с.

9. Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков. Утенков В.М., Быков П.А. / 77-48211/492011, № 10 октябрь 2012 г, Инженерный вестник, №10, 2012.
10. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ91	Ю Цзяньюй

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение Школа</b>	<b>Материаловедение</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	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>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности ИР</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Диаграмма Ганта</li> <li>4. Бюджет НИ</li> <li>5. Основные показатели эффективности НИ</li> </ol>
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		08.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ91	Ю Цзяньюй	ЮЦзяньюй	08.02.21

#### **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 НИР является определение возможные альтернативы научным исследованиям, которые отвечают современным требованиям с точки зрения эффективности использования ресурсов и защиты ресурсов;. планирование научно-исследовательские план; определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

## 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности

проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Существуют различные материалы концевых цельных фрез на рынке:

- 1) Концевые цельные фрезы из материал P6M5;
- 2) Концевые цельные фрезы из материал BK8;

В таблице 4.1 показано сравнение различных материалов концевых цельных фрез по ресурсоэффективности с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,12	5	3	4	0,72	0,72	0,81
2. Производительность устройства	0,11	5	5	3	0,4	0,48	0,64
3. Энергоэкономичность	0,06	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Надежность	0,09	4	4	3	0,28	0,28	0,21
5. Уровень шума	0,12	4	4	5	0,35	0,42	0,42
6. Эффективность работы	0,1	5	5	4	0,55	0,55	0,44
7. Безопасность	0,11	5	5	4	0,45	0,45	0,36
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,11	5	4	3	0,6	0,48	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Финансирование научного исследования	0,09	5	4	4	0,32	0,5	0,52
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>42</b>	<b>37</b>	<b>4,47</b>	<b>4,57</b>	<b>4,4</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \quad (4,1)$$

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. Достаточная эффективность продукции.	Сл1. Относительно высокая цена.
С2. Достаточная надежность продукции.	Сл2. Высокие требования к моделям оборудования.
С3. Регулировка продукции.	Сл3. Относительно высокая сложность установки.
С4. Новизна идеи научного исследования.	
С5. Относительно экологически чистый.	

<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Быстрое продвижение на рынок.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У2. Незаинтересованность потребителей в разработке.
В3. Сотрудничество с рядом новых организаций.	У3. Конкуренция.
В4. Усовершенствование продукции.	У4. Кризис.

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

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

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	-
	В2	-	+	+	+	+
	В3	+	-	-	-	-
	В4	-	+	+	-	-

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

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	-	+	+	-	-
	В3	+	-	-	-	-
	В4	-	+	+	-	-

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

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	+	+	+	+
	У4	-	+	+	-	-

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

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	+	-	-	+
	У4	-	+	+	+	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Достаточная эффективность продукции.</p> <p>С2. Достаточная надежность продукции.</p> <p>С3. Регулировка продукции.</p> <p>С4. Новизна идеи научного исследования.</p> <p>С5. Относительно экологически чистый.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Относительно высокая цена.</p> <p>Сл2. Высокие требования к моделям оборудования.</p> <p>Сл3. Относительно высокая сложность установки.</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл5. Вероятность получения</p>
--	--	---

		брака.
<b>Возможности</b> В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Сотрудничество с рядом новых организаций. В4. Усовершенствование продукции.	<b>Направления развития</b> В1С1С2. Выстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства. В2С2С3. Дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства. В4С2С3. Усовершенствование продукции за счёт его переналадки и возможности адаптации.	<b>Сдерживающие факторы</b> В1Сл1. Может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем В2Сл2Сл3. Появление дополнительного спроса может быть мало из-за больших габаритов устройства.
<b>Угрозы</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Незаинтересованность потребителей в разработке. У3. Конкуренция. У4. Кризис.	<b>Угрозы развития</b> У1С1С2. Устойчивость к борьбе с конкурентами за счет новизны идеи. У3С2. Возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	<b>Уязвимости:</b> У1Сл1. В связи с тем, что продукт не продавался, может быть, отсутствие спроса. У3Сл2Сл3. Из-за монтажа и больших габаритов могут возникнуть проблемы с продажей данного продукции.

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 технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка	8	Обработка полученных данных	Инженер

результатов	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	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:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

$t_{\text{max}i}$  – 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$  – 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 (4.3):

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5)$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , 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 технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,8	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
<b>Итого:</b>	7	59	15	84	10,2	69	71,8	102

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

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	■												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■											
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■										
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			■										
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■									
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					■	■							
8	Обработка полученных данных	Исп2	18							■	■					
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5									■				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13										■	■		

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

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Эти затраты и процессы обеспечивают передачу (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителям. Сюда также входят расходы по сделке продажи (так называемая транзакция). Ориентировочно они оцениваются в процентах от продажной цены закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20%. Результаты этой статьи приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 –Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Заготовка(круглый прокат)	52 руб/кг	800мм ~5,05кг	262,6
Режущие инструменты	150	3	450
Приспособление	500	1	500

Бумага для принтера формата А4	280 руб/уп	1	280
Оплетка расчетно- пояснительной записки	100	1	100
Итого:			1592,6

### 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:

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

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	4	80	80
<b>Итого</b>		80 тыс. руб.			

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A N}{12} \times m = \frac{0,25 \times 80000}{12} \times 3,5 = 5833 \text{руб}$$

### 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  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.8)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (по таблице 4.9 для инженера:  $T_{p2} = 69$  дней, для руководителя:  $T_{p1} = 10,2$  дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{руб.}, \quad (4.9)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_0$  – 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):

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

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 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}, \text{руб}$	$Z_{\text{он}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$Z_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10,2	21902,46
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	69	120273,9
Итого:								142176,36

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} \quad (4.11)$$

Где:

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

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

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для руководителя:

$$Z_{\text{доп1}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 21902,46 = 3285,37 \text{ руб}$$

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{\text{доп2}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 120273,9 = 18041,09 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{\text{доп общ}} = Z_{\text{доп1}} + Z_{\text{доп2}} = 3285,37 + 18041,09 = 21326,46 \text{ руб}$$

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле 4.12:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.12)$$

Где:  $k_{\text{внеб}}$  – 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).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя определяются по формуле 4.12:

$$Z_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) = 0,3 \times (21902,46 + 3285,37) = 7556,35 \text{ руб}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 4.12:

$$Z_{\text{внеб}2} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}2} + Z_{\text{доп}2}) = 0,3 \times (120273,9 + 18041,09) = 41494,5 \text{ руб}$$

Таким образом, общие затраты на составляется отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб общ}} = Z_{\text{внеб}1} + Z_{\text{внеб}2} = 7556,35 + 41494,5 = 49050,85 \text{ руб}$$

#### 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 телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

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

где  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

#### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
5833	1592,6	142176,36	21326,46	49050,85	219979,27	35196,68	255175,95

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Исследование структурно-фазового состояния и физикомеханических свойств защитных нанокompозитных покрытий системы Zr-Y-O на поверхности кремния» 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	1592,6	4626,3	15945
2	Затраты на специальное оборудование	5833	22959,8	43453
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	142176,36	148391	148391
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21326,46	22258,7	22258,7
5	Отчисления во внебюджетные фонды	49050,85	51194,9	51194,9
6	Накладные расходы	35196,68	49776,6	49776,6
Бюджет затрат НИР		255175,95	299177,3	331019,2

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) Просветляющие покрытия на основе CVD алмаза для германиевой ИК-оптики;

2) Композиционные материалы на основе ZrC-BN, структура и свойства.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 255175,95$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 299177,3$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 331019,2$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тех.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{255175,95}{331019,2} = 0,77$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{299177,3}{331019,2} = 0,91;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{331019,2}{331019,2} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

**4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	4
4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

#### 4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}. \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,90} = 5,18, \quad I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,91} = 4,18, \quad I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,77	0,91	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,18	4,18	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

## **Выводы по разделу**

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 13 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 255175,95 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,77, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,18, по сравнению с 4,18 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Ю Цзяньюй

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Тема ВКР:

<b>Исследование прочности фрез методом конечных элементов</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Влияние параметры концевых цельных фрез на прочность Область применения: машиностроение
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2021)</li> <li>– 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1. Анализ показателей микроклимата</li> <li>– 2. Анализ уровня шума</li> <li>– 3. Анализ освещенности</li> <li>– 4. Анализ электробезопасности</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1. Влияние деятельности на литосферу, атмосферу и гидросферу: Токсичные выбросы, неразлагающийся мусор</li> <li>– 2. Способы утилизации отходов</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перечислить возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– указать наиболее типичную ЧС.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ю Цзяньюй	<i>ЮЦзяньюй</i>	20.03.2021

## Введение

При выполнении работы большая часть времени проводилась в 16А корпусе ТПУ. В лаборатории № 101 проводилось исследование стойкости и прочности цельных концевых врез из материала ВК8 и Р6М5.

В результате экспериментов было установлено влияние угла подъёма винтовой канавки фрезы  $\omega$  на износа передней поверхности врезы и изменение составляющих сил резания с учётом выбранного переднего угол. 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. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На рисунке 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.

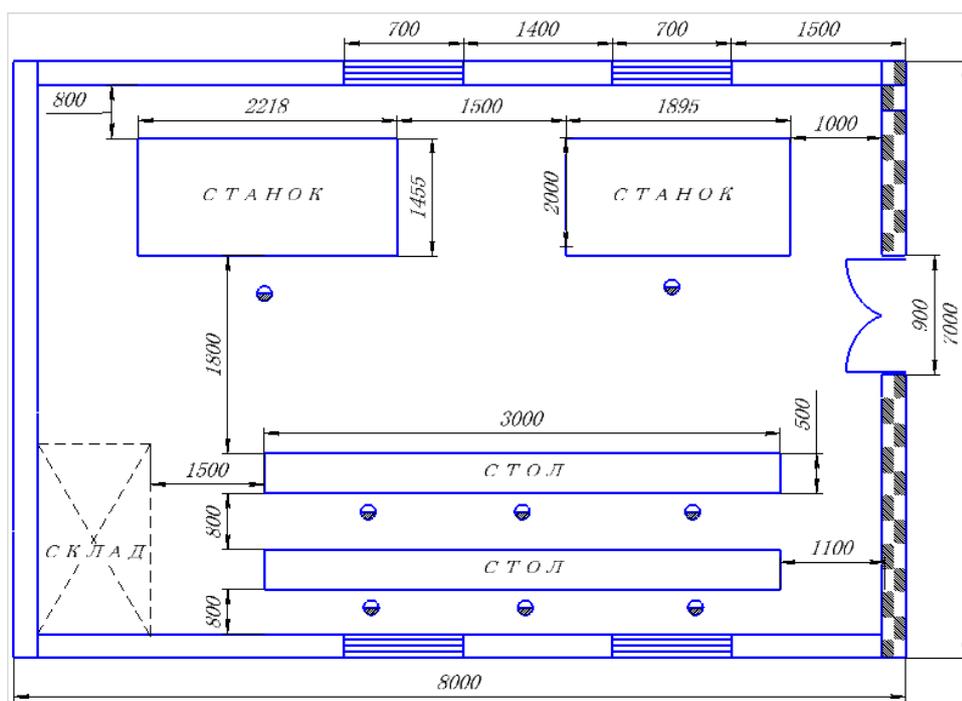


Рис.1.1 Рабочее место (Аудитория101А в 16А корпусе ТПУ)

# 1. Производственная безопасность

## а) 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 ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 2.1 - Возможные опасные и вредные факторы

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

напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				
6. Движущиеся машины и механизмы, передвижающиеся заготовки и материалы;	+	+	+	

### **б) 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 противошумные наушники, вкладыши и шлемофоны. Для высокого уровня шума применяются специальные шлемы, противошумные костюмы.

В данной работе используются противошумные 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 изготовляют из сложных твердых листов или щитов, облицованных звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм.

### **в) 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 2.2 приведены допустимые значения микроклимата в этом случае.

Таблица 2.2. - 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:**

Одной из основных мер по оптимизации микроклимата и состава воздуха промышленных площадок является обеспечение надлежащего воздухообмена и обогрева, а также изоляция нагреваемых поверхностей оборудования, воздуховодов и труб.

#### **г) 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 / м<sup>2</sup>, 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

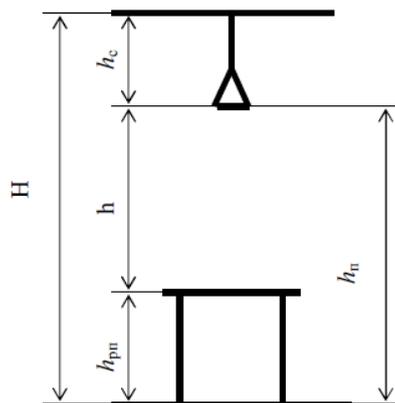


Рис. 2.1 Основные расчетные параметры

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.

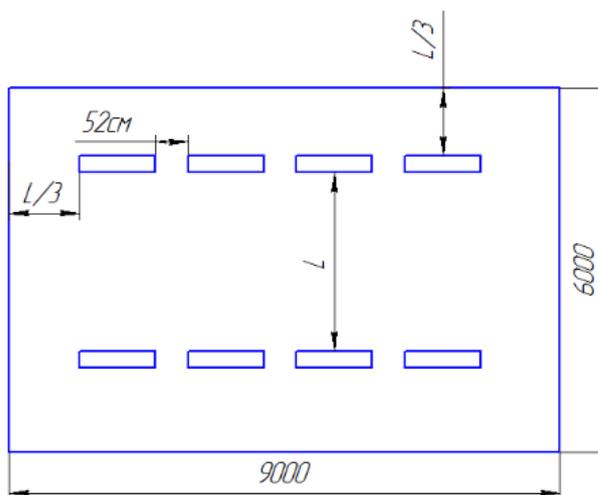


Рис. 2.2 План размещения светильников

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, м<sup>2</sup>;

$K_z$  – 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  $E_{\text{ср.}} / E_{\text{min}}$ .  
Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

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

Рассчитав световой поток  $\Phi$ , 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:

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

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.

#### **д) 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:**

В соответствии с электрическими опасностями помещения классифицируются как неопасные. При эксплуатации электрооборудования необходимо помнить о возможности случайного контакта или доступа к токоведущим частям и контакту с незаряженными металлическими частями, которые случайно находятся под напряжением, переходы высоковольтных трансформаторов на низкое напряжение и низкочастотные токи на высокое напряжение. Электрические цепи, образующие искры, дуги или нагревательные части под напряжением.

### **е) Анализ пожарной безопасности**

Противопожарная защита основана на исключении необходимых условий сгорания и принципа безопасности при использовании. При обеспечении пожарной безопасности необходимо решить следующие задачи:

- локализация возникших пожаров;
- защита людей и материальных ценностей;
- предотвращение пожаров;
- тушение пожара.
- возгорание;

На основании рекомендаций определяем категорию помещения по пожароопасности по ППБ – 03. В данном случае помещение относится к категории В2 - Пожароопасное.

#### **Обоснование мероприятий по снижению воздействия:**

Исключая образование горючих сред и источников возгорания и поддерживая параметры окружающей среды в пределах негорючего диапазона, можно обеспечить противопожарную защиту. В комнате, в зависимости от размера комнаты, необходимо оборудовать 2 огнетушителя ОП-5 и силовой щит, который может немедленно отключить вас.

### **3. Экологическая безопасность.**

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.

### **3.1 Защита селитебной зоны**

В моем эксперименте не влияет на **селитебная зона**, потому что мой эксперимент далеко от жилых районов.

### **3.2. Анализ воздействия объекта на атмосферу**

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

### **3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу**

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

### **3.4 Анализ воздействия объекта на литосферу**

В моем эксперименте не влияет состояние литосферы.

### **3.5 Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.**

При эксперименте точения стали образуют много железной стружки, 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. Большой изношенный режущий инструмента в эксперименте может быть использован в качестве типичного примера в обучении

## **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.

#### **4.1 Наиболее типичной ЧС в 1-ом этаже корпуса 16А, ТПУ:**

- возгорание устройств искусственного освещения.
- возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электро-соединений и электрораспределительных щитов;
- возгорание устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;
- возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок;

#### **Рассматриваем две ситуации ЧС:**

##### **1). Природная– сильные морозы зимой;**

Производственный цех находится в городе Томск с континентально- циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в Томске отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы.

#### **Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;**

-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.

## **2)Техногенная– шпионаж, диверсия;**

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. В большинстве случаев такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно не прекращаются.

### **Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;**

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключить распространение информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица проводят обучение каждые шесть месяцев, чтобы сформулировать действия в чрезвычайных ситуациях.

Так же необходимо предусмотреть наличие эвакуационных выходов для персонала. Количество эвакуационного выхода из здания на каждом этаже составляет не менее двух. Ширина эвакуационного выхода (ворот) зависит от общего количества людей, эвакуированных через выход, но ширина не менее 0,8м.Высота прохода на эвакуационных путях не менее 2 м. План эвакуации приведен на рис.4.1.



**Рис.4.1** План эвакуации при пожаре и других ЧС из 1-го этажа корпуса 16а.

## 5. Выводы

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, а так же способы уменьшения их воздействия.

К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: вибрации, шум, недостаток освещённости, эмоциональные нагрузки. В разделе приведены способы уменьшения воздействия на организм человека вредных факторов, а так же средства индивидуальной защиты для уменьшения воздействия этих факторов.

## Приложение А

### Investigation of the strength of solid milling cutters by the finite element method

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ю Цзяньюй	<i>ЮЦзяньюй</i>	25.05.21

Руководитель ВКР:

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

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

## INTRODUCTION

An end milling cutter is a machine tool widely used in mechanical engineering, it is designed for machining ledges, grooves and planes of small width on vertical milling machines.

The stress-strain state remarkably affects the cutting tools. Thus, the study of the influence of the end mills geometry on their stress-strain state when cutting steel is relevant and important. In addition, the shape and geometrical parameters of end mills are important in the assessment of their durability, quality of work and production efficiency. The study not only contributes to the choice of optimal sizes of end mills, it is also useful to improve the accuracy of machining tools and increase their durability and strength.

The program ANSYS 15.0 is the main program for the study. It combines the theoretical foundations of modern mathematics and mechanics with the methods of finite elements and the methods of computer graphics. With the help of the program ANSYS 15, we can obtain and visualize the calculation of the SSS (stress-strain state) of the cutting plates.

This paper presents the research in stress-strain states of end mills using the ANSYS 15.0 software.

## 1. The calculation of cutting conditions

**Cutting speed V:**

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v \quad (1.1)$$

**Tangential component of cutting force P<sub>z</sub>:**

The main component of the cutting force during milling is the circumferential force

P<sub>z</sub>, N

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} \quad (1.2)$$

where  $z$  is the number of cutter teeth;  $n$  is the rotation speed of the milling cutter,

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ r/min. [1]}$$

**Torque, N·m:**

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} \quad (1.3)$$

where  $D$  is the diameter of the milling cutter, mm.

## 2. Effect of tool geometry on machining

Both material and geometry of the cutting tools play very important roles in their performances to achieve effectiveness and overall economy of machining.

They are classified according to the number of major cutting edges (points) involved in cutting:

Single point: only one cutting tip is available. e.g., turning tools, shaping, planing and slotting tools and boring tools

Multipoint: more than one tip is available. e.g., drills, milling cutters, broaching tools, hobs, gear shaping cutters etc. [2]

To study the effect of tool geometry on machining is very important.

### Back rake angle $\gamma$ :

- Guides the direction of the chip flow.
- The size of the angle depends upon the material to be machined.
- The softer the material, the greater a positive rake angle.
- Rake angle (AI) > Rake angle (C.I.).
- With increase in back rake angle, the strength, forces and power consumption of tool will decrease and tool life increases.
- Positive rakes are used when cutting low tensile strength and non-ferrous materials.
- Zero back rake is used during machining of brass work pieces and also during thread cutting operations.
- The negative rake angles are used with tools which are weak in tension. (Carbide cutting tools)
- Higher value of rake angle weakens the cutting edge of a tool.
- The maximum value of positive rake angle is  $45^\circ$ .
- Cutting tools with negative rake angle are stronger and are used to cut high strength alloys.
- The usage of an increased negative rake angle leads to increase in the cutting force during machining.
- maximum negative back rake angle used =  $10^\circ$ .



Fig.2.1. Back Rake angle  $\gamma$ : a – negative angle; b – zero; c – positive angle

### Side rake angle $\lambda$ :

- Guides the direction of the chip away from the job.
- With increase in side rake angle, the amount of chip bend in width direction decreases.
- Larger side rake angle leads to smooth surface finish.
- As it increases, strength, forces and power consumption decrease, and tool life increases.

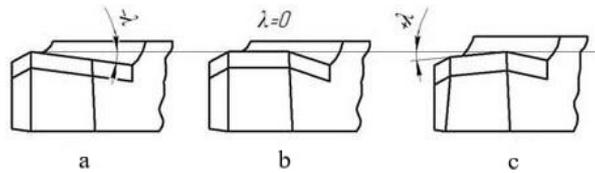


Fig.2.2. Side Rake angle  $\lambda$ : a – negative angle; b – zero; c – positive angle

### 3. The effect of the helix angle $\omega$ on the components of the cutting forces

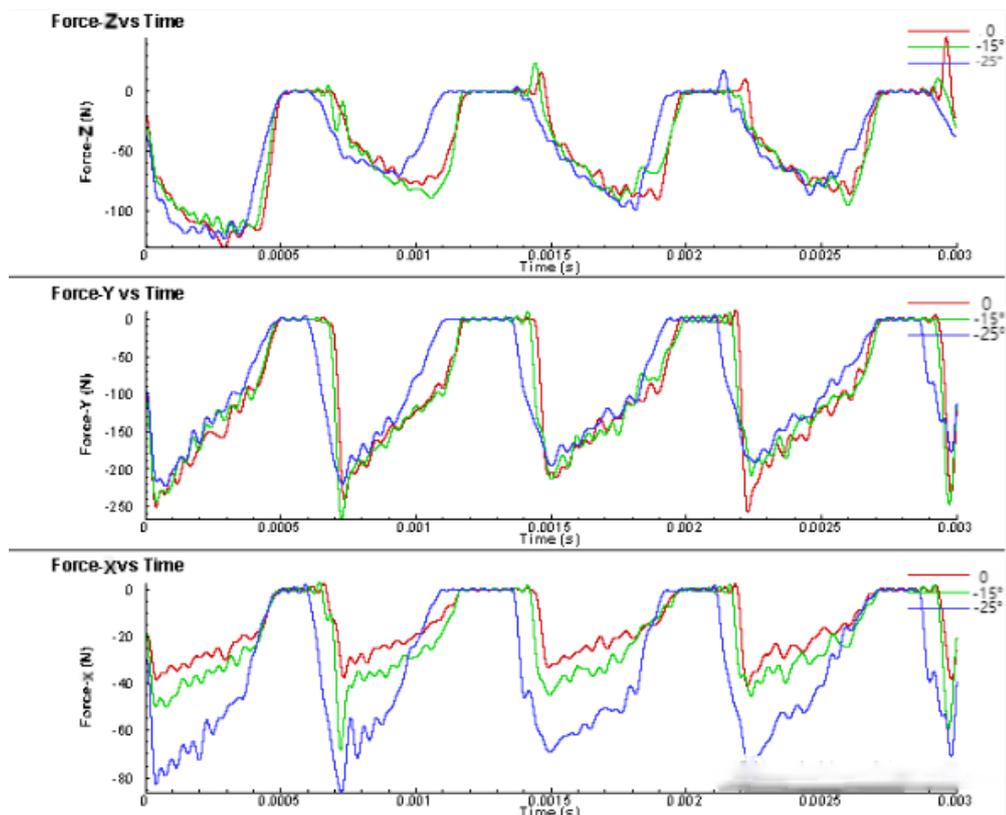


Fig.3.1. – The effect of the cutting time on the components of the cutting force

From Fig.3.1, we can see that all forces are negative, so we first transform the

figure. After transforming the figure (Fig. 3.2), it can be concluded that the helix angle  $\omega$  from 0 to 25 ° has little effect on the components of the cutting forces  $P_z$  and  $P_y$ .

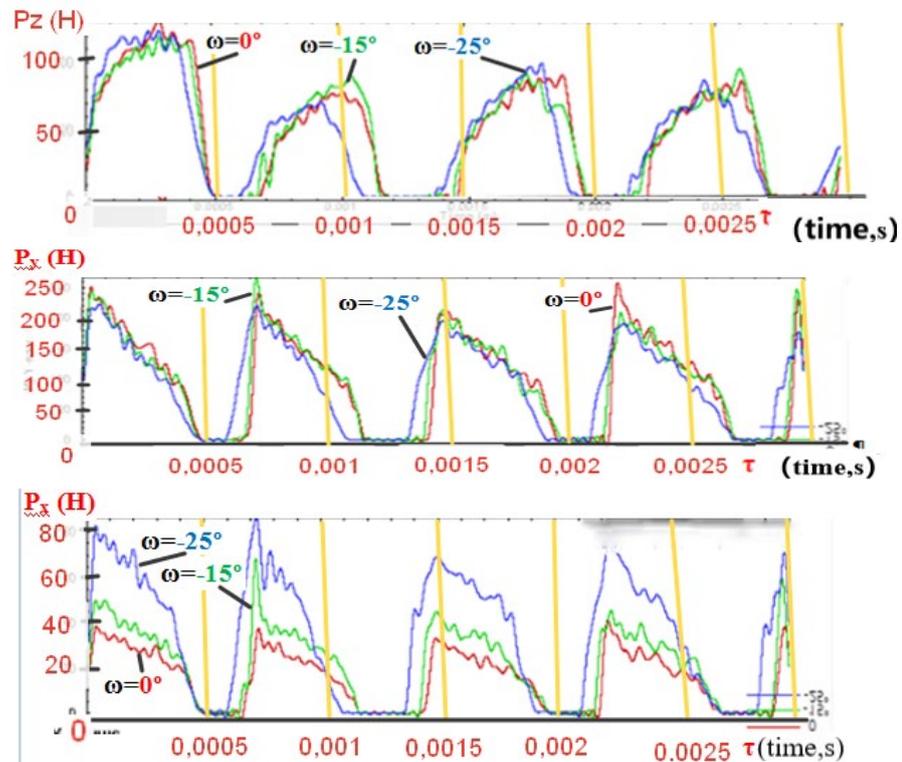


Fig. 3.2. – The effect of the cutting time on the components of the cutting force

The following conclusions can be made from the graphs in Fig.3.2 :

- the helix angle  $\omega$  from 0 to 25 ° has little effect on the components of the cutting forces  $P_z$  and  $P_y$  at stable cutting;
- at the onset of stable cutting, the greater the angle  $\omega$ , the greater the component force  $P_x$  of the cutting force, especially when  $\omega$  is more than 15°;
- The greatest force is  $P_y$ : it is 1.7 times greater than  $P_z$  and 2.75 times greater than  $P_x$  at  $\omega = 25^\circ$ ;
- The larger the angle  $\omega$ , the smoother the reduction of the components of the cutting forces  $P_x$  and  $P_y$ . The angle  $\omega$  from 0 to 25° does not affect the magnitude and change of the force  $P_z$ ;

On analyzing the effect of the angle  $\omega$  on the components of the cutting force, we can conclude that the component of the cutting force will increase significantly when  $\omega (\lambda) > 25^\circ$  (Fig 3.2). The magnitudes of all components of the cutting forces  $P_z$  and  $P_y$  are approximately equal, and the  $P_x$  force is more than 2 times smaller, especially when  $\omega > 30^\circ$ .

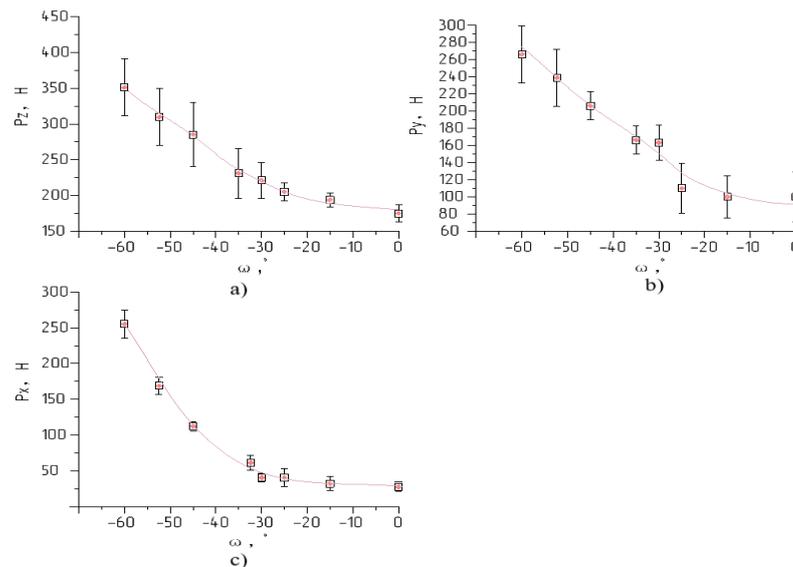


Fig.3.3. The effect of the helix angle  $\omega$  (°) on the components of the cutting force : a)  $P_z$ ; b)  $P_y$  ;

#### 4. Investigation of contact stress (loads) and internal stress

If we want to calculate the thickness of the wear-resistant coating and evaluate the strength of the tool, we need to know the value and nature of the load distribution on the tool surface. When cutting difficult-to-machine materials, such as titanium and high-temperature alloys, this task is very important due to the intense abrasion of the tool.

Deformable solids will generate contact stress on the contact area during the interaction. The value of contact stress is important for calculating the strength of cutting tools.

In order to calculate the internal stress, an external force has to be imposed to

the front and back surfaces in the form of concentrated forces. The most accurate application method is shown in Figure 4.3.

The cutting force can be applied to the front surface in the form of the physical components of the concentrated normal line  $N$  and the tangent line  $F$  of the force. There are three methods how external force can be imposed [3]:

- cutting force imposed to a point (Figure 4.1);
- cutting force imposed by evenly distributing force (Figure 4.2);
- cutting force imposed according to the real distribution (Figure 4.3).



Fig4.1 Cutting force imposed to a point

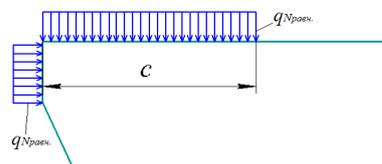


Fig.4.2. Cutting force imposed by evenly distributing force

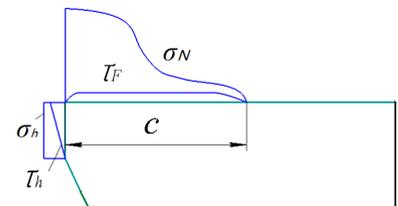


Fig.4.3. Cutting force imposed according to the real distribution according to the real

In our study we investigate normal, shear and equivalent internal stresses. Among these stresses, the equivalent stresses are most important for study of the cutting tool strength.

## **5. The finite element method (FEM)**

Finite element analysis uses mathematical approximations to simulate real physical systems (geometry and load conditions). With simple and interacting elements, a finite number of unknowns can be used to approximate the real system of infinite unknowns.

The advantages of FEM are the widespread availability of commercial and research codes, and the method can give a physically accurate description of most problem geometries. Unfortunately, the computation demands from FEM can be significant, and there is usually a trade-off between accuracy and computational speed. On the one hand, the forward problem should be represented with a large number of elements in the finite element mesh to ensure adequate accuracy. Normally this involves a study of mesh convergence, whereby meshes of different sizes and distributions are tested to determine the point at which the solution converges to a common value within error limits. On the other hand, computation time increases markedly with mesh size.

Over the years, the Finite Element Method techniques has been so well established that it is considered to be one of the best methods for solving wide variety of practical problems efficiently.

Thanks to the ANSYS program, we can obtain the value of the internal stress clearly and accurately by the finite element method (FEM).

## **6.Measurement of the components of the cutting forces when cutting steel**

Accurate, fast and convenient measurement significantly affects the work process and the accuracy of work results. In this measurement work, a measurement system with a Kistler dynamometer 9257B model is used, which can not only measure the cutting force, but also obtain its changing graphs.

## 7. Investigation of the stress-strain state of the cutting tool by using the ANSYS program

There are seven types of cells in ANSYS, their functions are as follows:

- Engineering Data:

Use the Engineering Data cell to define or access material models for use in an analysis.

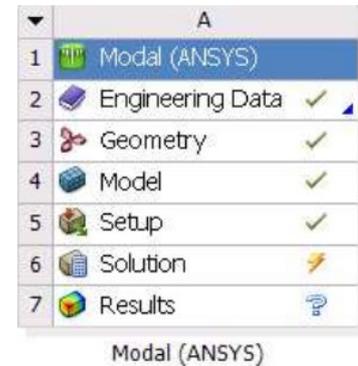


Рис. 7.1. Types of cells

Properties of Outline Row 3: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	14.7	g cm <sup>-3</sup>
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Mod...	
8	Young's Modulus	2.2E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0.27	
10	Bulk Modulus	1.5942E+11	Pa
11	Shear Modulus	8.6614E+10	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	

Рис. 7.2. The material characteristics of the model

- Geometry:

We can create, import or update the geometry model by using the Geometry cell.

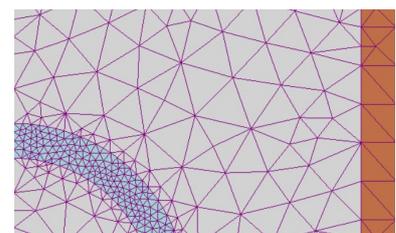


Fig.7.3 FEM mesh

- Model/Mesh

The Model cell affects the definition of the coordinate systems, geometry, connections and mesh branches of the model definition.

- Setup:

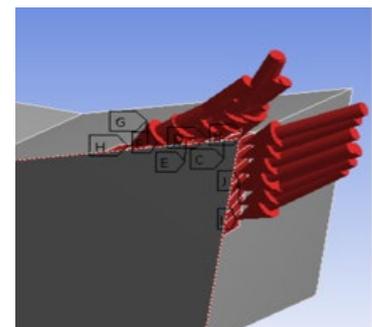


Fig 7.4. Application of loads

We can launch the appropriate application for that system by using the Setup cell. We can also define the loads (Fig 7.3.), boundary conditions, and otherwise configure the analysis in the application.

- Solution:

From the Solution cell, we can access the Solution of our application.

- Results:

The results cell can show us the status of the analysis results.

I got the stress-strain state of the end milling cutter through the above steps (Fig.7.4).

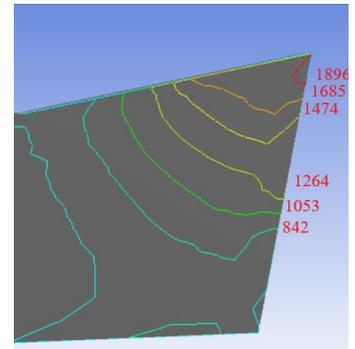


Fig 7.5. The analysis results

## References

- [1] Kozlov V.N. Calculation of modes, forces and cutting power, 2014,pp. 20-28.
- [2] Filippov A.V. Improving the machining accuracy of non-rigid shafts by optimizing the shaving turning parameters, 2015,pp. 152-153.
- [3] P. Solin, K. Segeth, I. Dolezel: Higher-Order Finite Element Methods, Chapman & Hall/CRC Press, 2003