

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 сменных многогранных пластин методом конечных элементов</b>

УДК 517.962:621.9.025:539.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ци Мэнсюй		5.06.21

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения ИШНПТ, доцент	Козлов Виктор Николаевич	к.т.н., доцент		5.06.21

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук ШБИП, доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		05.06.21

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин ШБИП, старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			05.06.21

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностранных языков ШБИП, доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		05.06.21

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2021 г

**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**

\_\_\_\_\_ магистерской диссертации

В форме:

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

Группа	ФИО
4АМ91	Ци Мэнсюй

Студенту:

Тема работы:

**Исследование прочности сменных многогранных пластин методом конечных элементов**

Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)	12.04.2021 №102-33/с
---	----------------------

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Рассчитать напряжённо-деформированное состояние режущего инструмента. Повысить надёжность работы режущего 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 напряжённо-деформированное состояние при резании стали40Х. Исследование длины контакта стружки с передней поверхностью при переднем угле от -10 до +35° при обработке стали40Х 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

	<p>напряжений на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности.</p> <p>Построение эпюр контактных напряжений и определение зависимости их основных параметров от толщины среза и величины переднего угла.</p> <p>Исследование напряжённо-деформированного состояния режущего инструмента с помощью программы ANSYS при переднем угле от -7 до +35° при обработке стали 40X с толщиной среза от 0,05 до 0,368 мм.</p>
--	--

<b>Перечень графического материала</b>	Слайды по литературному обзору, Техпроцесс обработки стальных валов, графики влияния толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, эпюры контактных напряжений на передней и задней поверхностях, влияние переднего угла и толщины среза на картины НДС режущих пластин.
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Раздел ВКР на иностранном языке	Айкина Татьяна Юрьевна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:**

**Calculating the distribution of normal and shear contact stresses in cutting steel**

<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., доцент		10.10.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ци Мэнсюй		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 Ци Мэнсюй **Исследование прочности сменных многогранных пластин методом конечных элементов**

Выпускная квалификационная работа выполнена на 117 страницах, содержит: 70 рисунков, 37 таблицы, 22 источников.

**Ключевые слова:** сменная многогранная пластина, обрабатываемость стали 40Х, контактные напряжения, износ режущего инструмента, прочность режущего инструмента, напряжённо-деформированное состояние режущего инструмента.

**Объектом исследования** является сменная многогранная пластина.

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

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

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

Результаты работы позволят использовать рациональные геометрические параметры СМП и режимы резания при обработке стали 40Х для повышения работоспособности режущих пластин.

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

Область применения: производство машиностроительной продукции.

Экономическая значимость работы достаточно высокая.

В будущем планируется участвовать в организации производства режущих твердосплавных пластин.

## SUMMARY

final qualifying work of the student gr. 4AM91 Qi Mengxu

### **Study of the strength of replaceable polyhedral plates by the finite element method**

The Final Qualifying Work (Diploma Thesis) is executed on 117 pages of the explanatory note, contains: 70 figures, 37 tables, 22 sources.

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

The object of research is replaceable polyhedral plate.

The purpose of the work is to confirm the qualification "Master of engineering and technology" in the major 15.04.01 "Automation of technological processes and productions in mechanical engineering". During the research, the review and analysis of scientific and technical literature on the topic of master's work, the formulation of the goals and objectives of the research were carried out. The paper presents the results of an experimental study of the effect of the uncut thickness and the rake angle on the technological and physical components of the cutting force when using replaceable polyhedral plates (RPP), which will be used on turning tool. 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 turning tools are given, and optimal cutting modes are determined.

The experiments used a 1K62 lathe, a three-component Kistler turning dynamometer, and the "ANSYS" program for calculating the stress-deformed condition (SDC) of RPP.

The necessary economic parameters were determined, such as processing productivity, processing costs, and tool costs.

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

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

Field of application: manufacturing of engineering products.

The economic significance of the work is quite high.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	11
<b>1. Цель и задание исследования</b> .....	12
<b>2. Литературный обзор</b> .....	13
2.1 Анализ конструкций и геометрических параметров СМП.....	13
2.2 Исследование сил резания и температуры резания.....	15
2.3 Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента.....	20
2.4 Расчёт напряжений в СМП методом конечных элементов (МКЭ).....	23
<b>3. Методика выполнения исследования</b> .....	27
3.1 Определение технологических составляющих сил резания.....	27
3.2 Расчёт физических составляющих сил резания.....	29
3.3 Определение длины контакта стружки с передней поверхностью.....	32
3.4 Построение эпюр контактных напряжений.....	35
3.5 Определение основных параметров эпюр контактных напряжений.....	38
3.6 Исследование влияния подачи и переднего угла на НДС СМП.....	41
3.7 Построение эпюр контактных напряжений на фаски задней поверхности.....	51

3.8 Исследование влияния длины фаски износа по задней поверхности и переднего угла на НДС СМП.....	54
3.9 Исследование влияние угла наклона главной режущей кромки на НДС СМП.....	60
<b>Раздел на иностранном языке.....</b>	<b>65</b>
<b>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....</b>	<b>75</b>
<b>Раздел «Социальная ответственность».....</b>	<b>98</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>115</b>

## Введение

В машиностроении большое внимание уделяется повышению работоспособности инструмента. В настоящее время большинство режущих инструментов оснащается сменными многогранными пластинами (СМП) из-за их быстрой замены после предельно допустимого износа. При этом исследование прочности СМП является актуальным и важным.

Надёжность работы СМП определяется её гарантированной стойкостью при рациональных режимах резания. Стойкость зависит и от интенсивности износа, и от хрупкого разрушения. Для оценки вероятности выкрашивания режущей кромки или скола, определения рациональной геометрии и режима резания необходим расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) СМП или её режущего клина.

Построение эпюра контактных напряжений для расчётов с помощью программного обеспечения ANSYS позволило в данной работе выполнить анализ влияния геометрии режущего инструмента и режима резания на НДС сменных многогранных пластин.

## **1.Цель и задание исследования**

**Цель работы:** Повысить надёжность работы сменных многогранных пластин (СМП) при обработке стали.

### **Задача исследования:**

1. Определить длину контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента при разных передних углах и режимах резания и эмпирические формулы для её расчёта.
2. Измерить технологические составляющие силы резания и рассчитать её физические составляющие.
3. Построить эпюры контактных напряжений при обработке стали при разных передних углах и режимах резания;
4. Определить эмпирические формулы для расчёта основных параметров эпюр контактных напряжений при разных передних углах и режимах резания;
5. Рассчитать напряжённо-деформированное состояние (НДС) режущего инструмента при разных передних углах ;
6. Определить рациональные геометрические параметры СМП и предельно допустимую подачу и глубину резания при выбранной геометрии СМП.

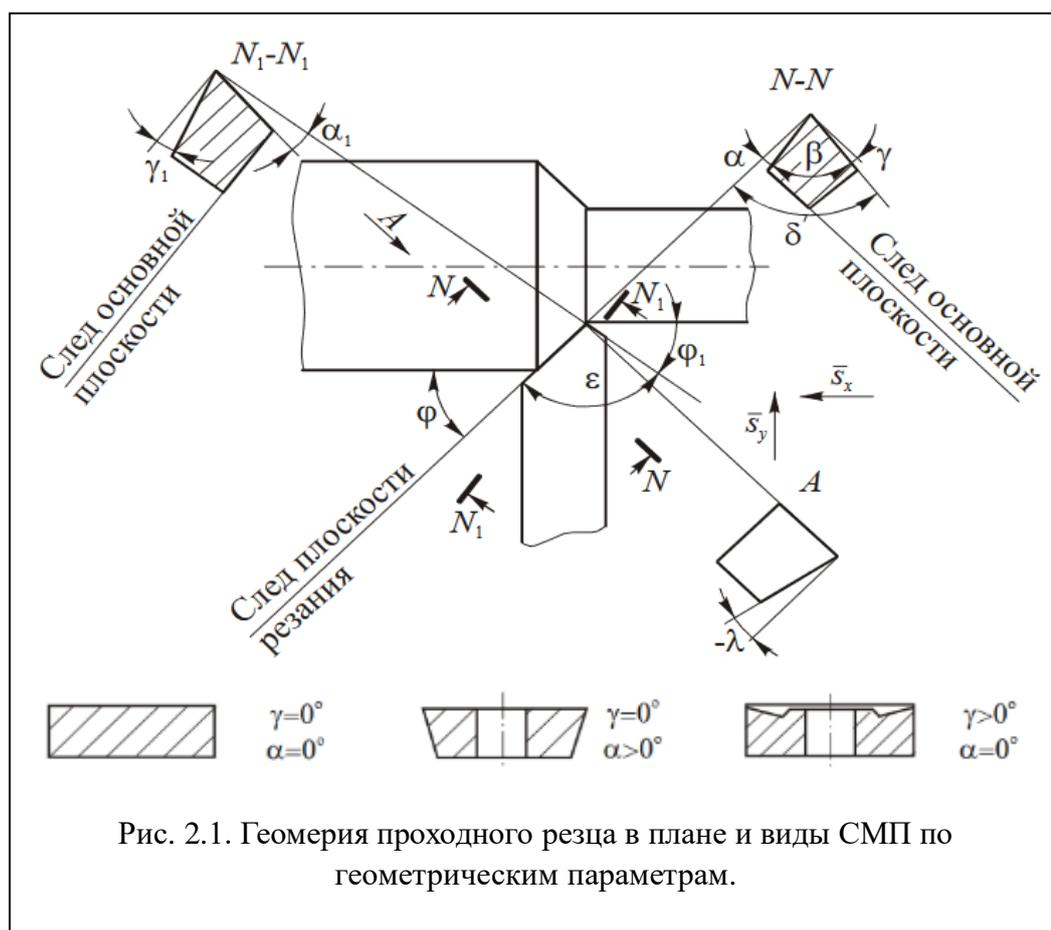
### **Научная новизна:**

1. Получено распределение контактных напряжений при отрицательном переднем угле;
2. Получены закономерности изменения НДС при изменении переднего угла и угла наклона главной режущей кромки.

## 2. Литературный обзор

### 2.1 Анализ конструкций и геометрических параметров СМП

В настоящее время большинство режущих инструментов оснащается сменными многогранными пластинами (СМП) из-за их быстрой замены после предельно допустимого износа. Использование от двух до шести режущих кромок позволяет увеличить срок службы режущей пластины, а значит и уменьшить себестоимость обработки.



По геометрическим параметрам СМП делется на: а) негативные ( $\gamma = 0^\circ, \alpha = 0^\circ$ ) ;б)позитивные ( $\gamma = 0^\circ, \alpha > 0^\circ$ ) ;в) негативно-позитивные ( $\gamma > 0^\circ, \alpha = 0^\circ$ ) (рис. 2.1).

Передний угол  $\gamma$  - это угол между основной плоскостью и плоскостью,

касательной к передней поверхности (рис. 2.1). Оптимальные значение переднего угла  $\gamma$  определяется опытным путем, которое зависит от свойства обрабатываемого и режущего материалов, факторов режима резания.

Задний угол  $\alpha$  – это угол между плоскостью резания и плоскостью касательной к заданной поверхности.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  – это угол между основной плоскостью, проведенной через вершину резца, и режущей кромкой. Он изменяет направление схода стружки и вектора результирующей силы резания.

Углы в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  (главный и вспомогательный) – это углы между направлением продольной подачи  $S$  и, соответственно, проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость. Углы в плане определяются опытным путём в зависимости от форм СМП.

Радиус при вершине  $R(r)$  играет решающую роль на шероховатость обработанной поверхности, особенно при малой подаче.

Практически все СМП покрываются износостойкими покрытиями, применение которых хоть и увеличивает стоимость пластин, но благодаря увеличению стойкости от трёх до восьми раз также способствует снижению себестоимости обработки.

Общеизвестно, что покрытия толщиной 2...10 мкм улучшают ряд характеристик инструмента и существенно изменяют условия его работы. Снижение силы и температуры резания на 20...40% позволяет повысить стойкость режущего инструмента в 1,5...2,0 раза, а также позволяет увеличить режимы резания на 20...60%, повысить качество металла поверхностного слоя

детали.[1]

Мы исследовали СМП с износостойкими покрытиями-TiCN.[9]

Тип / Цвет	Последовательность Слоев	Толщина слоев, мкм	Особенности применения
MT TiCN Золотой	TiN	1	Точение угреодистой, легированной,коррозинно-стойкой стали, стального и чугунного литья, Средняя скорость резания
	MT TiCN	9	
	TiN	1	

Пластины крепятся к державке пайкой или механическим путем.

Инструменты, оснащенные СМП, по сравнению с напайными, имеют следующие преимущества:[1]

- 1 Более высокие прочность, надежность и стойкость.
- 2 Меньшие расходы на смену и утилизацию пластин.
- 3 Меньшие простои оборудования при замене.

## 2.2 Исследование сил резания и температуры резания

Равнодействующая сила резания при точении заготовки проходным резцом может быть разложена на технологические составляющие  $P_z$  -тангенциальная составляющая, действует в направлении вектора окружной скорости  $v$  и определяет мощность главного привода станка;  $P_x$  – осевая составляющая, действует вдоль оси заготовки параллельно подаче  $s$  и

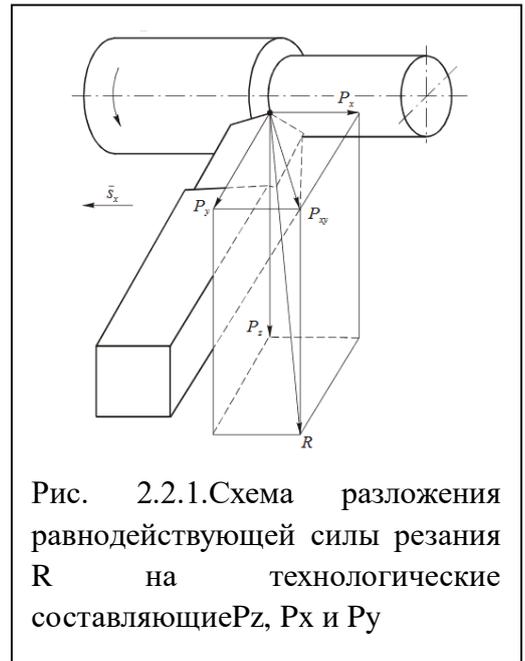


Рис. 2.2.1.Схема разложения равнодействующей силы резания R на технологические составляющие  $P_z$ ,  $P_x$  и  $P_y$

определяет нагрузку на механизм подачи станка;  $P_y$ -радиальная составляющая, направлена по оси Y радиально к оси заготовки, определяет силу отжатия резца от заготовки.

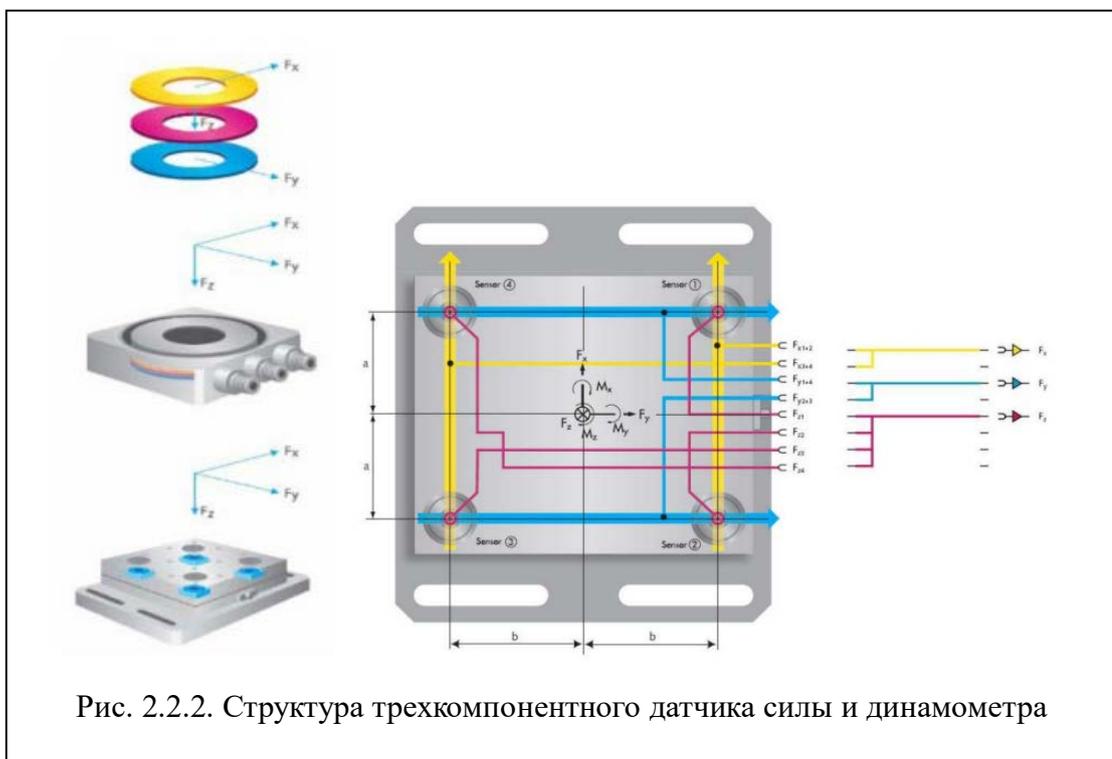


Рис. 2.2.2. Структура трехкомпонентного датчика силы и динамометра

Пьезоэлектрический принцип идеально подходит для создания

многокомпонентных датчиков силы. Структура многокомпонентного датчика аналогична структуре однокомпонентного датчика, изображенной на рис. 2.2.2. Используется пара кварцевых колец для определения силы в направлении оси Z и две дополнительные пары для определения поперечных сил. Многокомпонентные датчики силы, как правило, не используются отдельно, а устанавливаются совместно, в количестве от 3 до 4 штук, образуя динамометр.[6]



Результирующая сила, действующая на динамометр пропорциональна алгебраической сумме соответствующих компонент отдельных сил, которые образуются в результате параллельного расположения, что отражено на рис.2.2.2. Таким образом, динамометр является многокомпонентным датчиком силы, независимым от точки ее приложения.

Сила, действующая на динамометр, приводит к возниканию электрических сигналов в пьезодатчиках. Для усиления и преобразования сигнала используется 8-канальный усилитель-преобразователь. Для сбора и анализа данных используется программное обеспечение DynoWare. Результаты

демонстрируются на экране компьютера(рис. 2.2.4)и записываются в памяти компьютера.

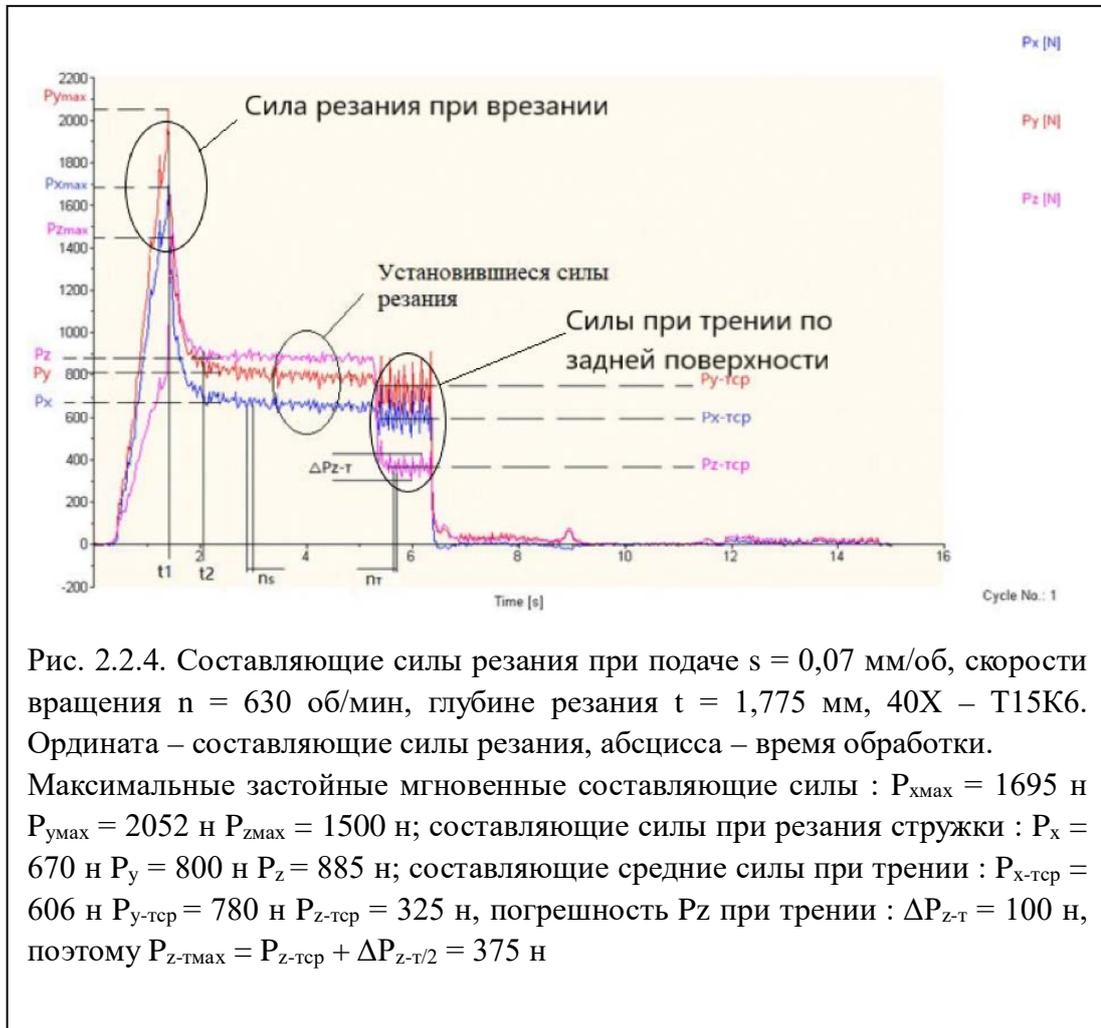


Рис. 2.2.4. Составляющие силы резания при подаче  $s = 0,07$  мм/об, скорости вращения  $n = 630$  об/мин, глубине резания  $t = 1,775$  мм, 40X – Т15К6. Ордината – составляющие силы резания, абсцисса – время обработки. Максимальные застойные мгновенные составляющие силы :  $P_{x\max} = 1695$  н  $P_{y\max} = 2052$  н  $P_{z\max} = 1500$  н; составляющие силы при резания стружки :  $P_x = 670$  н  $P_y = 800$  н  $P_z = 885$  н; составляющие средние силы при трении :  $P_{x-тср} = 606$  н  $P_{y-тср} = 780$  н  $P_{z-тср} = 325$  н, погрешность  $P_z$  при трении :  $\Delta P_{z-т} = 100$  н, поэтому  $P_{z-т\max} = P_{z-тср} + \Delta P_{z-т}/2 = 375$  н

Стойкость режущего инструмента во многом зависит от температуры рабочих поверхностей инструмента. Пластические деформации и трение на контактных площадках режущих инструментов сопровождаются столь обильным выделением теплоты, что инструмент

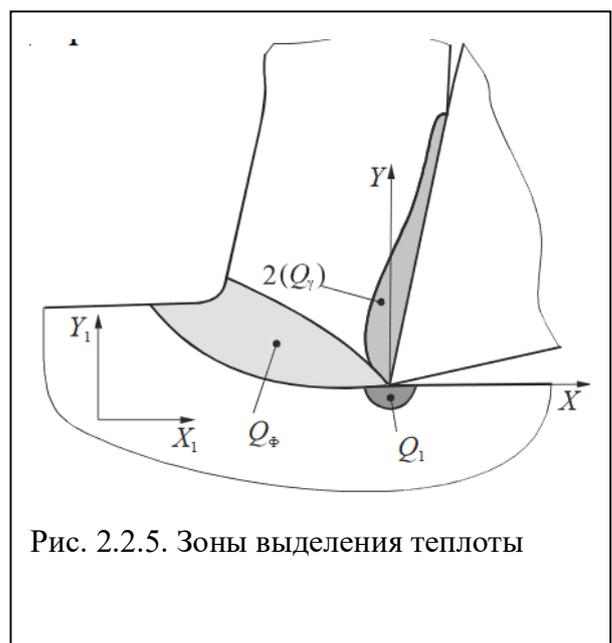


Рис. 2.2.5. Зоны выделения теплоты

и заготовка нагреваются до весьма высоких температур. Температура резания оказывает влияние также и на закономерности физических явлений, происходящих при резании материалов, и на их взаимосвязь. Наглядным примером этому служат рассмотренные выше закономерности наростообразования и связанные с ним изменения деформаций и сил резания. Общее количество теплоты, выделяющейся при резании.

$$Q = Q_{\Phi} + Q_{\gamma} + Q_1$$

По данным отечественных и зарубежных исследователей установлена следующая картина

распределения теплоты по указанным направлениям (рис. 2.2.6). Здесь с ростом скорости резания количество теплоты, уходящей в стружку  $Q_c$ , монотонно возрастает, причем наиболее интенсивно это происходит при резании на

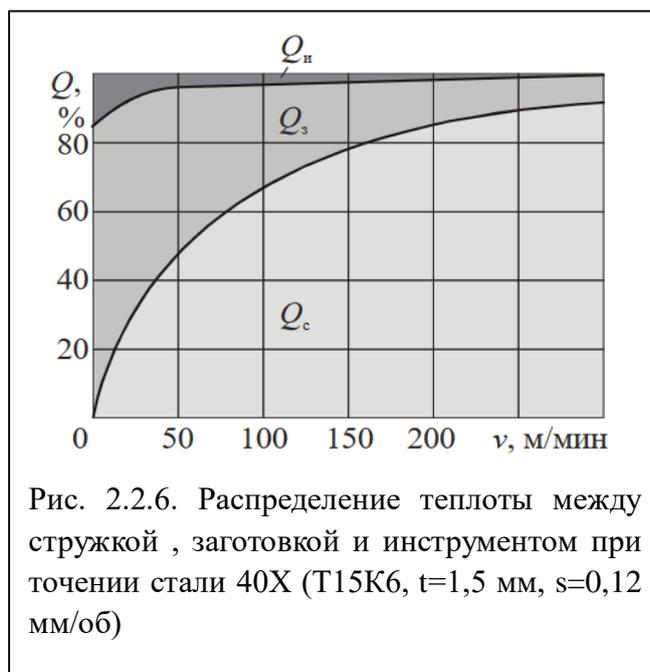


Рис. 2.2.6. Распределение теплоты между стружкой, заготовкой и инструментом при точении стали 40X (Т15К6,  $t=1,5$  мм,  $s=0,12$  мм/об)

низких скоростях. Доля теплоты, поступающей в заготовку  $Q_з$  и инструмент  $Q_и$ , при увеличении скорости резания наоборот сокращается.

Среди многочисленных методов определения температуры резания можно выделить четыре группы.[17]

К первой группе относятся методы, с помощью которых *измеряется* только средняя температура стружки, изделия или резца: метод естественной термо-ЭДС, и измеренная инфракрасным термометром MS-6530 (рис. 2.2.7.) в области стружкообразования на боковой поверхности резца



Рис. 2.2.7. Инфракрасный термометр MS-6530

Ко второй группе принадлежат методы, с помощью которых измеряется температура узкоограниченных участков зоны резания или резца, например: метод искусственных термопар; оптический и радиационный методы.

К третьей группе относятся методы, позволяющие сразу экспериментально определить распределение температуры на определенных участках изделия или резца (температурные поля): метод цветов побежалости, метод термокрасок.

К четвертой группе относятся расчётные и аналоговые методы, которые требуют начальных экспериментальных данных, полученных непосредственно при резании.

## **2.3 Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента**

### **2.3.1 Поляризационно-оптический метод**

Поляризационно-оптический метод позволяет определить характер распределения напряжений, изменение коэффициента трения вдоль передней поверхности резца (рис. 2.3.1), но его применение возможно только при обработке мягких материалов (например, свинца, кадмия и т.п.) при небольших скоростях



Рис. 2.3.1. Величина контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента при резании свинца

резания. При этом методе резец изготавливается из оптически активного материала, например, оргстекла, материал которого изменяет свои оптические свойства при изменении внутреннего напряжения.[4]

### 2.3.2 Метод лазерной интерферометрии

Метод лазерной интерферометрии заключается в том, что на боковую поверхность заготовки и инструмента направляется поляризованный монохроматический луч лазера (рис. 2.3.2). Монохроматический свет используется для того, чтобы свет не разбивался на спектр, что уменьшает

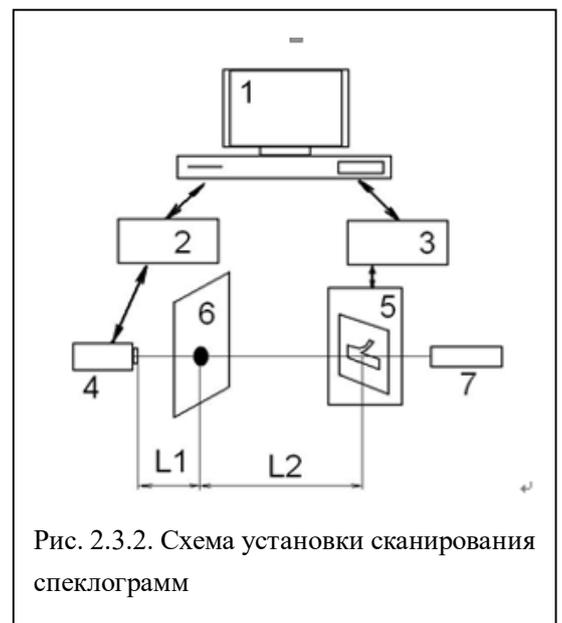


Рис. 2.3.2. Схема установки сканирования спеклограмм

чёткость картин полос. Отражённый от резца и заготовки свет попадает на экран, где происходит интерференция волн света базового и отражённого от

боковой поверхности резца излучения из-за микроскопического увеличения ширины резца под действием силы резания. При этом методе сложно разделить нормальные и касательные контактные напряжения, а также действующие на передней и задней поверхности.

### 2.3.3 Метод разрезного резца

Метод разрезного резца позволяет отдельно определять нормальные и касательные контактные напряжения, а также действующие на передней и задней поверхности. Этот метод был разработан Гордоном М.Б. в 1965 г., а затем стал широко использоваться при разных способах его реализации благодаря его универсальности. В более надёжном способе используется очень широкий

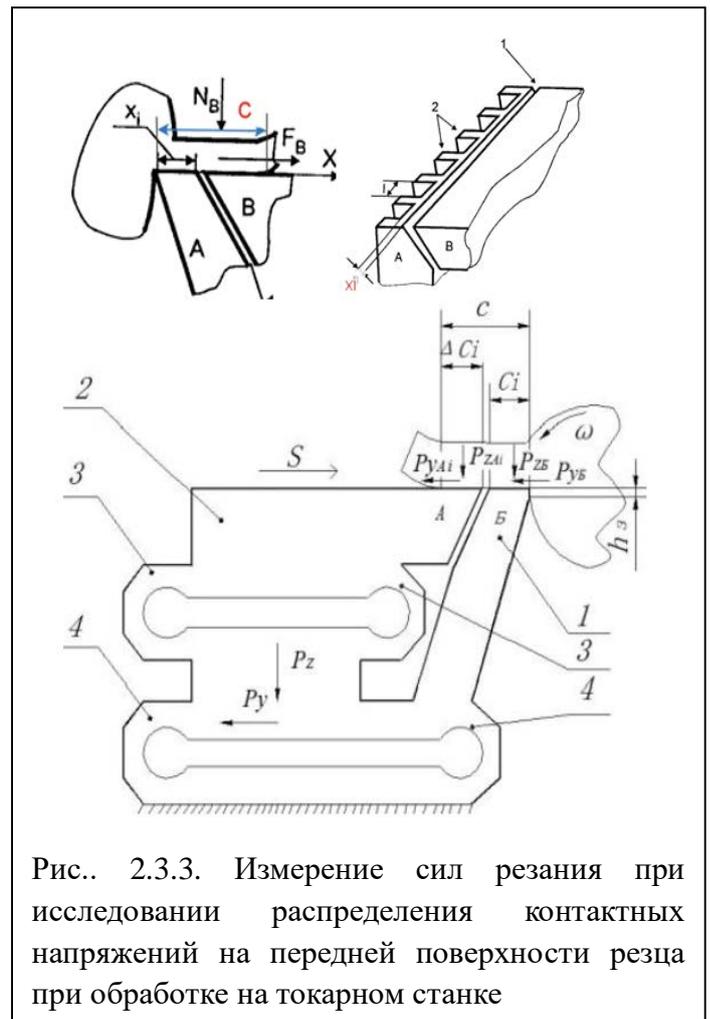


Рис.. 2.3.3. Измерение сил резания при исследовании распределения контактных напряжений на передней поверхности резца при обработке на токарном станке

резец (шириной 120 мм), который состоит из двух частей – пластины А и пластины В (рис. 2.3.3) [4]. Зазор между пластинами должен быть не более 0,02 мм. Этот зазор располагается так, чтобы расстояние от режущей кромки до зазора  $x_i$  дискретно изменялся от 0,2 мм до величины, немного большей,

чем длина контакта с стружки с передней поверхностью инструмента через 0,1-0,2 мм.[4]

При измерении контактных нагрузок на передней поверхности резца при прямоугольном свободном резании диска из обрабатываемого материала измеряются силы, действующие на пластину А и на пластину Б разрезного резца.

Уменьшая последовательно длину участка пластины В , и, тем самым, увеличивая длину контакта стружки с пластиной А, при неизменной длине контакта стружки с передней поверхностью с, рассчитываем контактные нагрузки как отношение приращения силы на пластине А к приращению площади контакта на её поверхности.

Удельная нормальная и касательная силы на передней поверхности

$$q_{Pz} = q_N = \frac{P_{Z_{Ai}} - P_{Z_{A(i-1)}}}{(X_{i-1} - X_i) B_i} \quad q_{Py} = q_F = \frac{P_{y_{Ai}} - P_{y_{A(i-1)}}}{(X_{i-1} - X_i) B_i}$$

## 2. 4 Расчёт напряжений в СМП методом конечных элементов

Метод конечных элементов – один из наиболее распространенных современных численных методов.

Перед расчётом НДС необходимо создать модель резца, задать свойства материала модели резца, закрепить модель резца, задать (приложить) внешние нагрузки

СМП-Т15К6, Химический состав и физико-механические свойства[9]

Марка сплава	карбид вольфрама	кобальт	карбид титана	Предел прочности при изгибе, МПа	Удельный Вес г/см <sup>3</sup>	Твердость По роквеллу Шкала А
T15K6	79	6	15	1079	11,0...12,7	90

В программе ANSYS выбран материал из общих нелинейных материалов. (рис. 2.4.1).

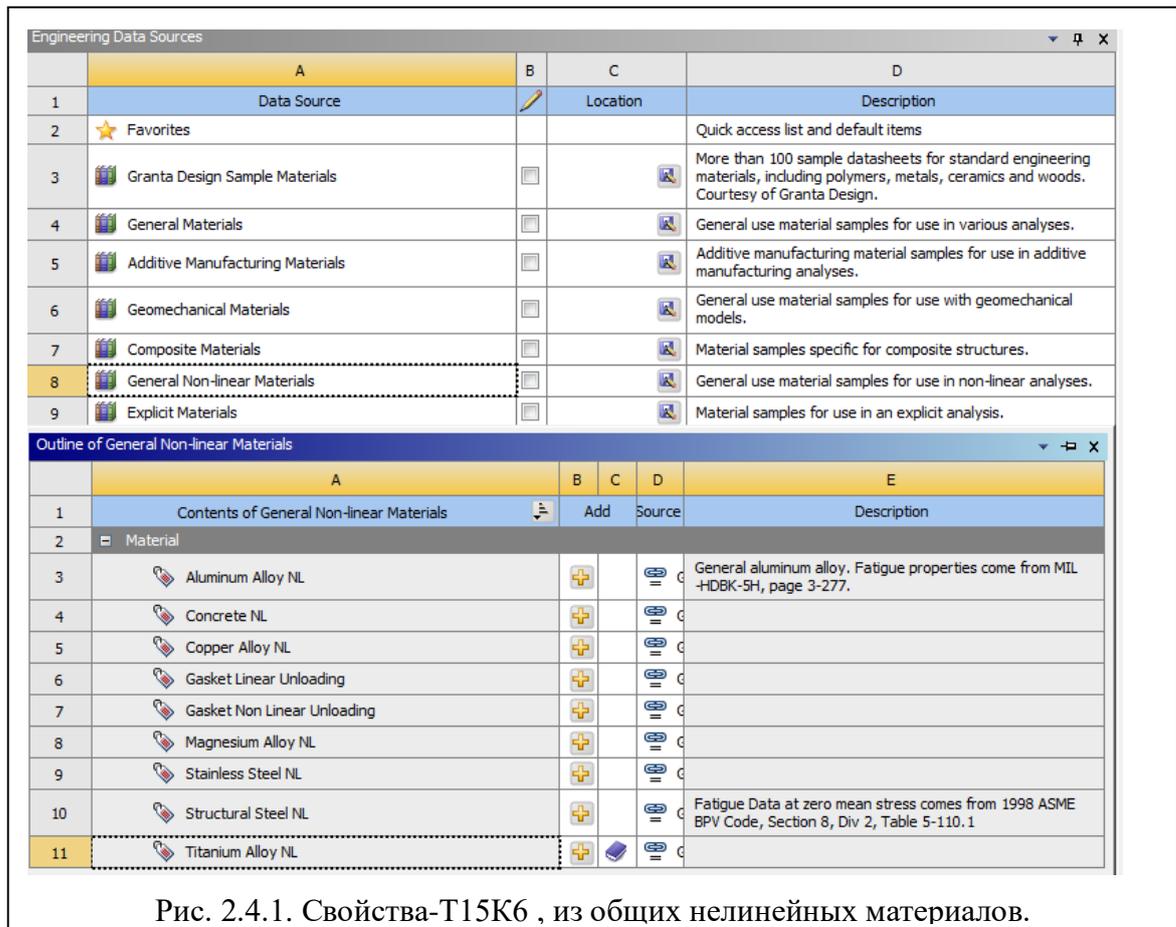


Рис. 2.4.1. Свойства-T15K6 , из общих нелинейных материалов.

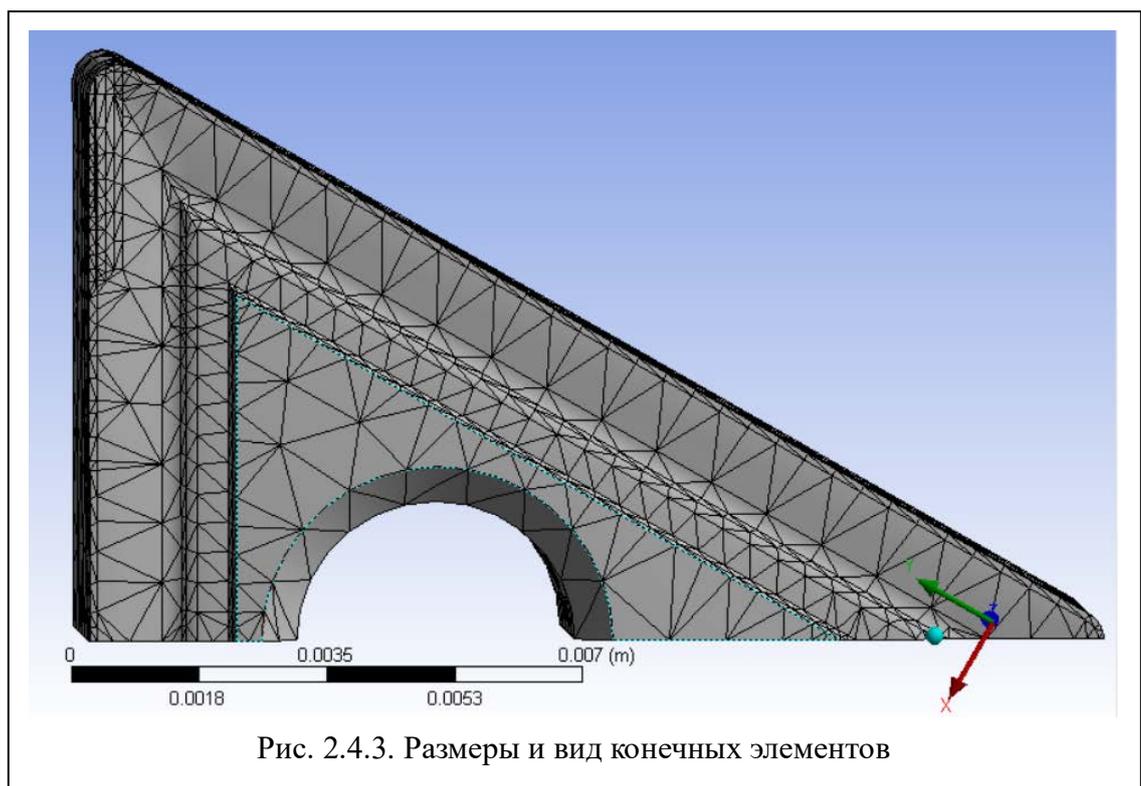
В программе ANSYS выбран материал модули в интерфейсе «Engineering date», либо при введении модуль Юнга и коэффициент Пуассона

остальная информация о материале показывается автоматически.

Properties of Outline Row 11: Titanium Alloy NL			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	4620	kg m <sup>-3</sup>
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and Poisso...	
5	Young's Modulus	9.6E+10	Pa
6	Poisson's Ratio	0.36	
7	Bulk Modulus	1.1429E+11	Pa
8	Shear Modulus	3.5294E+10	Pa
9	Bilinear Isotropic Hardening		
10	Yield Strength	9.3E+08	Pa
11	Tangent Modulus	2.15E+09	Pa

Рис. 2.4.2. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона T15K6

Режущий клин разбивается на прямоугольные и треугольные элементы (в зависимости от геометрии режущего клина) (рис. 2.4.3). Чем меньше размеры элементов, тем выше точность расчёта.



Далее задаётся закрепление поверхностей модели (рис. 2.4.4).

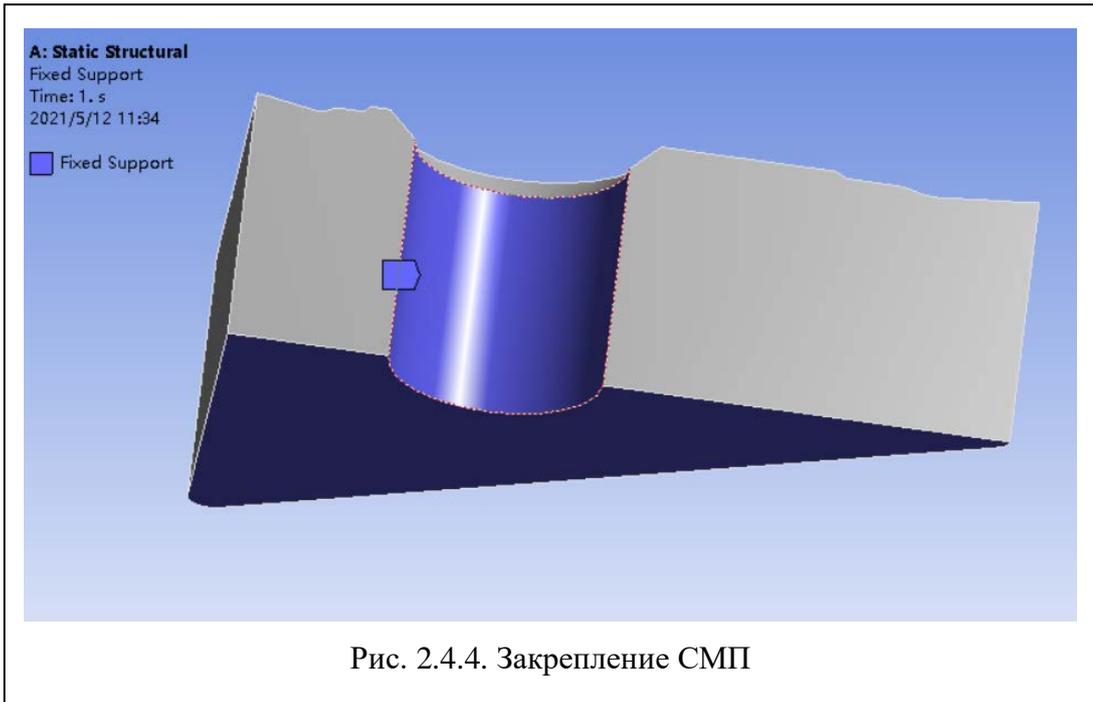


Рис. 2.4.4. Закрепление СМП

СМП нагружается на рабочих участках режущей пластины в соответствии с нагрузкой при резании (рис. 2.4.5).

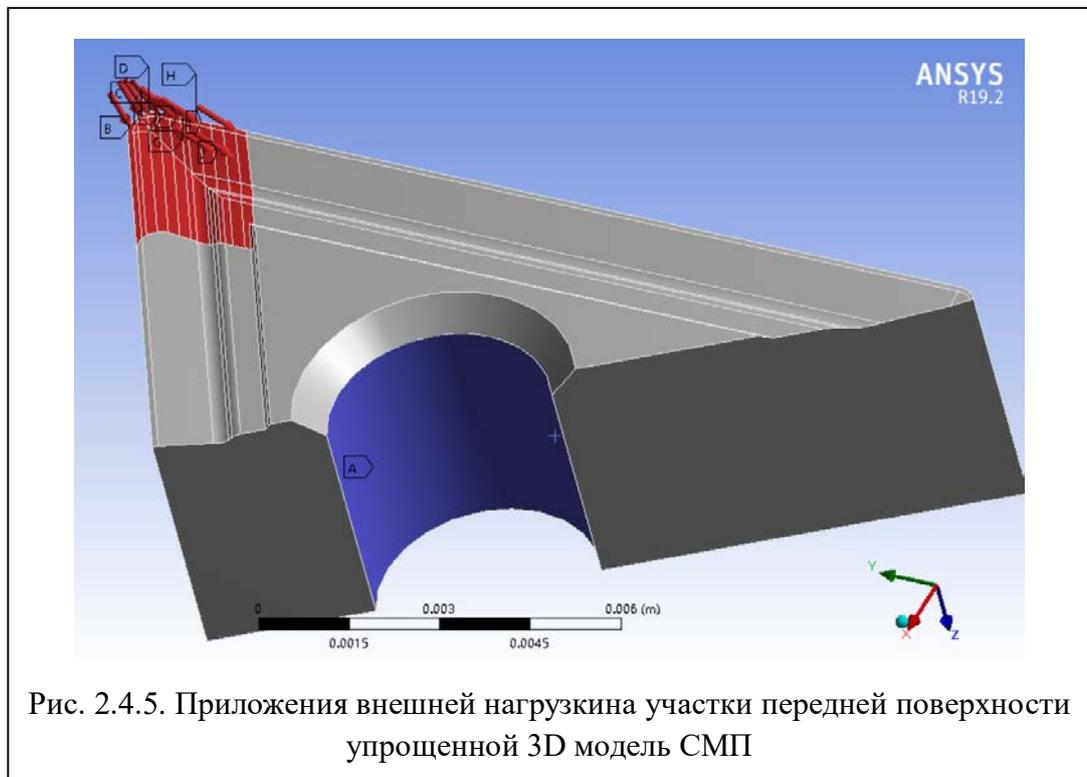


Рис. 2.4.5. Приложения внешней нагрузки на участки передней поверхности упрощенной 3D модель СМП

Для определения прочности СМП необходимо получить состояния

внутренних эквивалентных напряжений, нормальных напряжений и касательных напряжений.

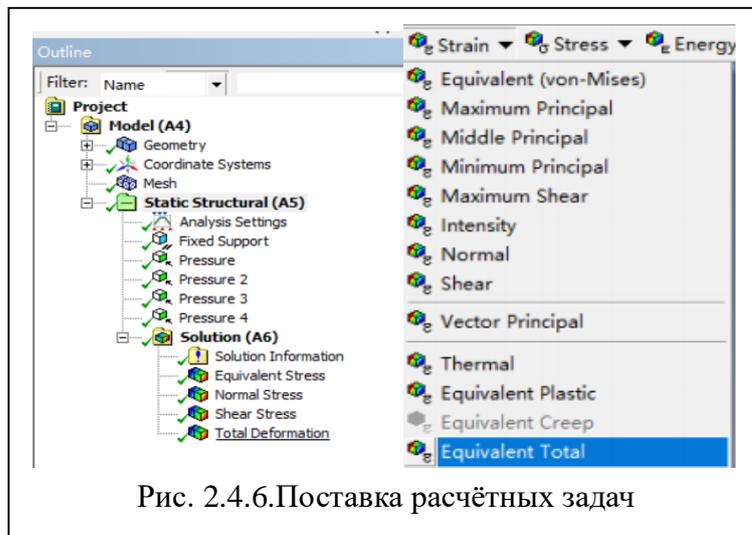


Рис. 2.4.6.Поставка расчётных задач

DEFORM-3D - это основа комплексной системы моделирования, которая объединяет необработанные производство материалов, (литье, термообработка) и механическая обработка. Система может предсказать форма стружки, сила резания, температура инструмента и заготовки, износ инструмента и остаточное напряжение.

Можно смоделировать деформацию детали или инструмента в результате распределения остаточного напряжения во всей детали. Но результаты моделирования отличаются от экспериментальных на 20-50%, поэтому чаще всего результаты моделирования не используются.

### 3 Методика выполнения исследования

#### 3.1 Определение технологических составляющих сил резания

Возникающие в процессе резания силы являются одним из важнейших факторов, которые необходимо учитывать как при проектировании режущего

инструмента.

При экспериментальном исследовании осуществляется точение заготовки и с использованием динамометра измеряются технологические составляющие  $P_z$ ,  $P_x$  и  $P_y$  силы резания (Н).

Составляющие  $P_x$  и  $P_y$  складываясь, дают промежуточную равнодействующую  $R_{xy}$ , лежащую в основной плоскости, т.е.

$$\overline{R}_{xy} = \overline{P}_x + \overline{P}_y \quad P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Табл. 3.1 – Силы резания, полученных из эксперимента при точении с постоянной условной глубиной резания  $t=2$  мм при  $\varphi = 45^\circ$

<i>a</i> , мм	<i>s</i> , мм/об	Технологические средние силы при устан. резании при <i>t</i> при <i>t=1,99</i> мм и $\gamma = +7^\circ$ , Н			Технологические силы (Н) при устан. резании при <i>t=1,99</i> мм, $\gamma = +15^\circ$ , Н		
		$P_{xy\text{ ср}}$	$P_{z\text{ ср}}$	$\mu_{\text{ср}}$	$P_{xy}$	$P_z$	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	286	443	0,646	223	433	0,516
0,078	0,11	396	619	0,640	309	577	0,536
0,163	0,23	742	1216	0,610	635	1087	0,584
0,240	0,34	961	1735	0,554	864	1592	0,543
0,368	0,52	1144	2370	0,483	1078	2222	0,485
<i>a</i> , мм	<i>s</i> , мм/об	Технологические средние силы (Н) при устан. резании при <i>t=1,99</i> мм, и $\gamma = +25^\circ$ , Н			Технологические силы (Н) при устан. резании при <i>t=1,99</i> мм, и $\gamma = +35^\circ$ , Н		
		$P_{xy\text{ ср}}$	$P_{z\text{ ср}}$	$\mu_{\text{ср}}$	$P_{xy}$	$P_z$	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	167	394	0,646	110	354	0,313
0,078	0,11	223	520	0,640	137	463	0,295
0,163	0,23	479	981	0,610	324	874	0,370
0,240	0,34	650	1414	0,554	436	1234	0,353
0,368	0,52	817	1948	0,483	556	1674	0,332

В наших исследованиях использовался динамометр Kistler. При отсутствии динамометра эти силы могут быть рассчитаны по удельным силам резания.

Таблица 3.2. Силы резания, рассчитанные по удельным силам резания при глубине резания  $t = 2$  мм и подаче  $s = 0,52$  мм/об

Передний угол $\gamma$	Технологические силы	
	$P_{xy\text{cp}}$ , Н	$P_{z\text{cp}}$ , Н
+7°	1140	2370
0°	1465	2424
-7°	1929	2512

### 3.2 Расчёт физических составляющих сил резания

Для всех подачи рассчитать физические составляющие силы резания  $N$  и  $F$  по технологическим составляющим  $P_z$  и  $P_{xy}$  при разном переднем угле по формулам.

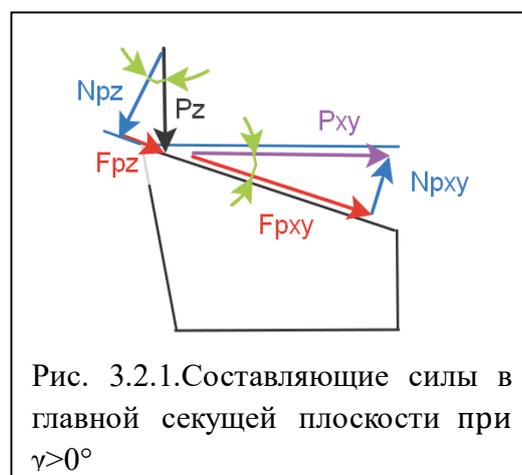
1. При передний угол  $\gamma > 0^\circ$

$$\vec{P}_z = \vec{N}_{Pz} + \vec{F}_{Pz};$$

$$\vec{P}_{xy} = \vec{F}_{Pxy} + \vec{N}_{Pxy};$$

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F = F_{Pxy} - F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma - P_z \times \sin \gamma. \quad (2)$$



2. При передний угол  $\gamma = 0^\circ$

Физические составляющие силы резания  $N$  и  $F$  равны технологическим составляющим  $P_z$  и  $P_{xy}$

3. При передний угол  $\gamma < 0^\circ$

$$\vec{P}_z = \vec{N}_{Pz} + \vec{F}_{Pz};$$

$$\vec{P}_{xy} = \vec{F}_{Pxy} + \vec{N}_{Pxy};$$

$$N = N_{Pz} + N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma + P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F = F_{Pxy} - F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma - P_z \times \sin \gamma. \quad (2)$$

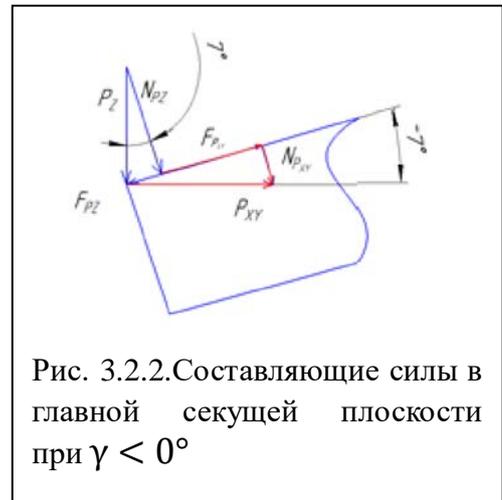


Рис. 3.2.2. Составляющие силы в главной секущей плоскости при  $\gamma < 0^\circ$

По удельной силе резания можно

рассчитать силу резания без измерения динамометром.

Наши ранее выполненные исследования показали, что глубина резания  $t$  практически не влияет на распределение контактных напряжений и их величину, поэтому были рассчитаны удельные силы резания, приходящиеся на 1 мм длины режущей кромки  $q_P$  (Н/мм) (рис. 3.2.3 и 3.2.4). По удельной силе можно рассчитать составляющие  $P_{xy}$  и  $P_z$  при любой длине контакта  $b$  главной режущей кромки с поверхностью резания, т.е. при одной и той же величине главного угла в плане  $\phi$  с любой глубиной резания  $t$ . Это позволяет сократить количество экспериментов по измерению сил резания при разных глубинах резания.

Длина контакта режущей кромки с поверхностью резания  $b$  рассчитывается по формуле  $b = t/\sin\phi$ ; составляющие силы резания

$$P_{xy} = q_{Pxy} \times b \text{ (Н)}, \quad P_z = q_{Pz} \times b \text{ (Н)}.$$

При расчёте силы резания без измерения динамометр, необходимо знать удельные силы резания, действующие на передней поверхности, и длину

контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

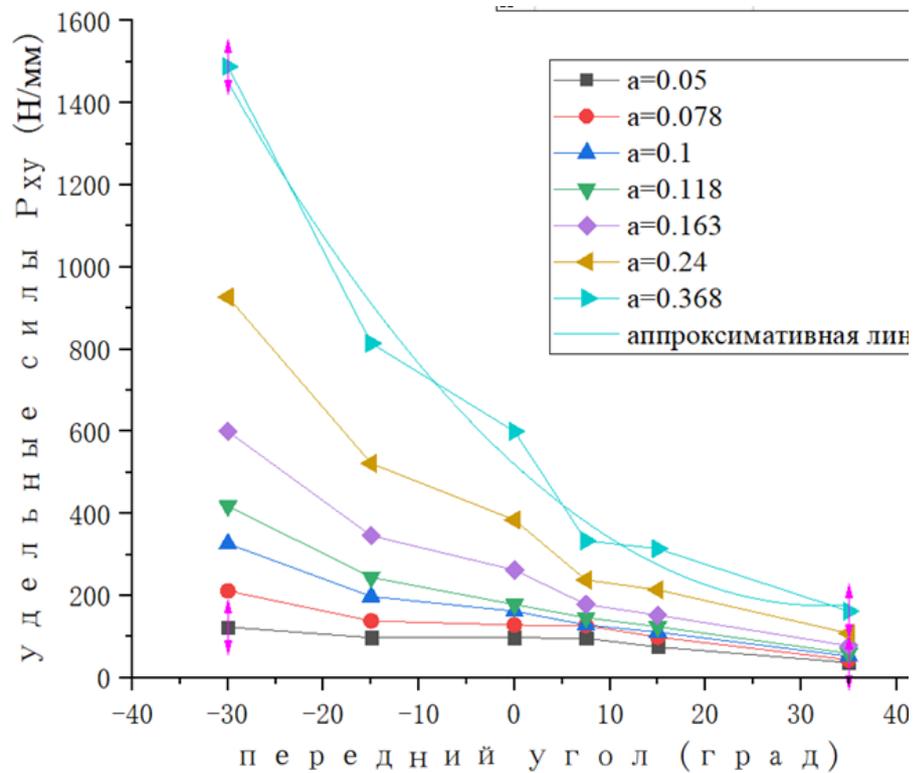


Рис. 3.2.3. Влияние переднего угла  $\gamma$  (°) на удельную силу резания,  $q_{P_{xy}}$  (Н/мм) при разных толщинах среза  $a$  (мм)

По графикам Рис. 3.2.3. были построены графики влияния толщины среза  $a$  (мм) и величины переднего угла  $\gamma$  на величину удельных сил  $P_{xy}$ .

По графикам Рис. 3.2.3 были определены уравнения  $q_{P_{xy}} = f(a)$  для  $a = 0,368$ мм/об с помощью программного обеспечения OriginLab:

$$q_{P_{xy}} = 519.7 - 21.2a + 0.326a^2 \text{ (Н/мм)}$$

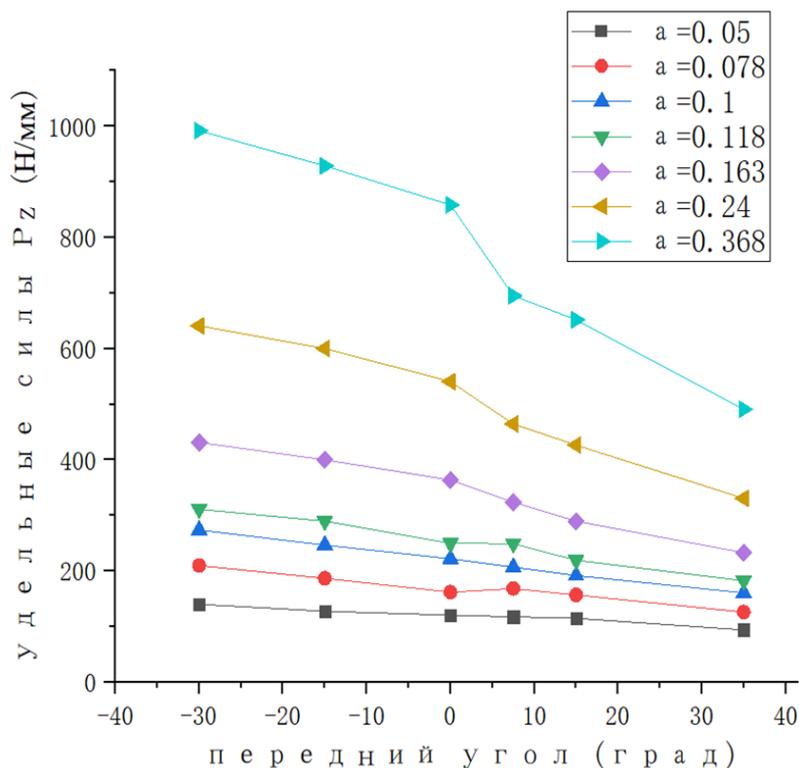


Рис. 3.2.4. Влияние переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на удельную силу резания,  $q_{P_z}$  (Н/мм) при разных толщинах среза  $a$  (мм)

По графикам Рис. 3.2.4. были построены графики влияния толщины среза  $a$  (мм) и величины переднего угла  $\gamma$  на величину удельных сил  $P_z$ . По графикам Рис.7. были определены уравнения  $q_{P_z} = f(a)$  для  $a = 0,368$  мм с помощью программного обеспечения OriginLab:

Для  $a = 0,368$  мм и  $\gamma = +7 \dots +35(^\circ)$ ,  $q_{P_z} = -8,045a + 772,375$  (Н/мм);

Для  $a = 0,368$  мм и  $\gamma = -30 \dots +0(^\circ)$ ,  $q_{P_z} = -4,45a + 859,6$  (Н/мм).

### 3.3 Определение длины контакта стружки с передней поверхностью.

При выполнении работы помимо технологических составляющих  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  (Н) силы резания измерялась длина контакта стружки  $c$  с использованием микроскопа «Мир».

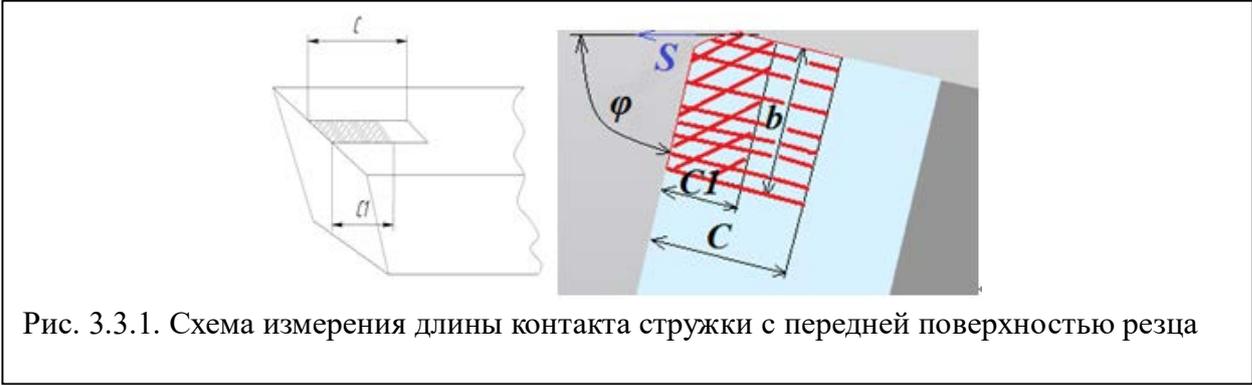


Рис. 3.3.1. Схема измерения длины контакта стружки с передней поверхностью резца

оборудование для измерения длина и усадки стружки



Рис. 3.3.2. Измерение микроскопом длины контакта стружки с передней поверхностью режущей пластины (а); и индикатор для измерения усадки стружки (б),  $K_a = a_1/a$  как мера пластической деформации стружки.  $a_1$  – толщина стружки,  $a$  – толщина среза  $a = s \cdot \sin \varphi$ .

При обработке мягкой и средней стали и других достаточно пластичных материалов обычно  $c \approx (4 \dots 7) \cdot a$ . При прямоугольном свободном резании  $a = s$ , при косоугольном резании  $a = s \cdot \sin \varphi$ . При обработке пластичных металлов длина пластического контакта стружки с передней поверхностью резца  $c_1 \approx (0,4 - 0,6) \cdot c$ .

Результаты измерения длины контакта стружки с передней поверхностью резца в зависимости от величины переднего угла  $\gamma$  представлены на рис. 3.3.3.

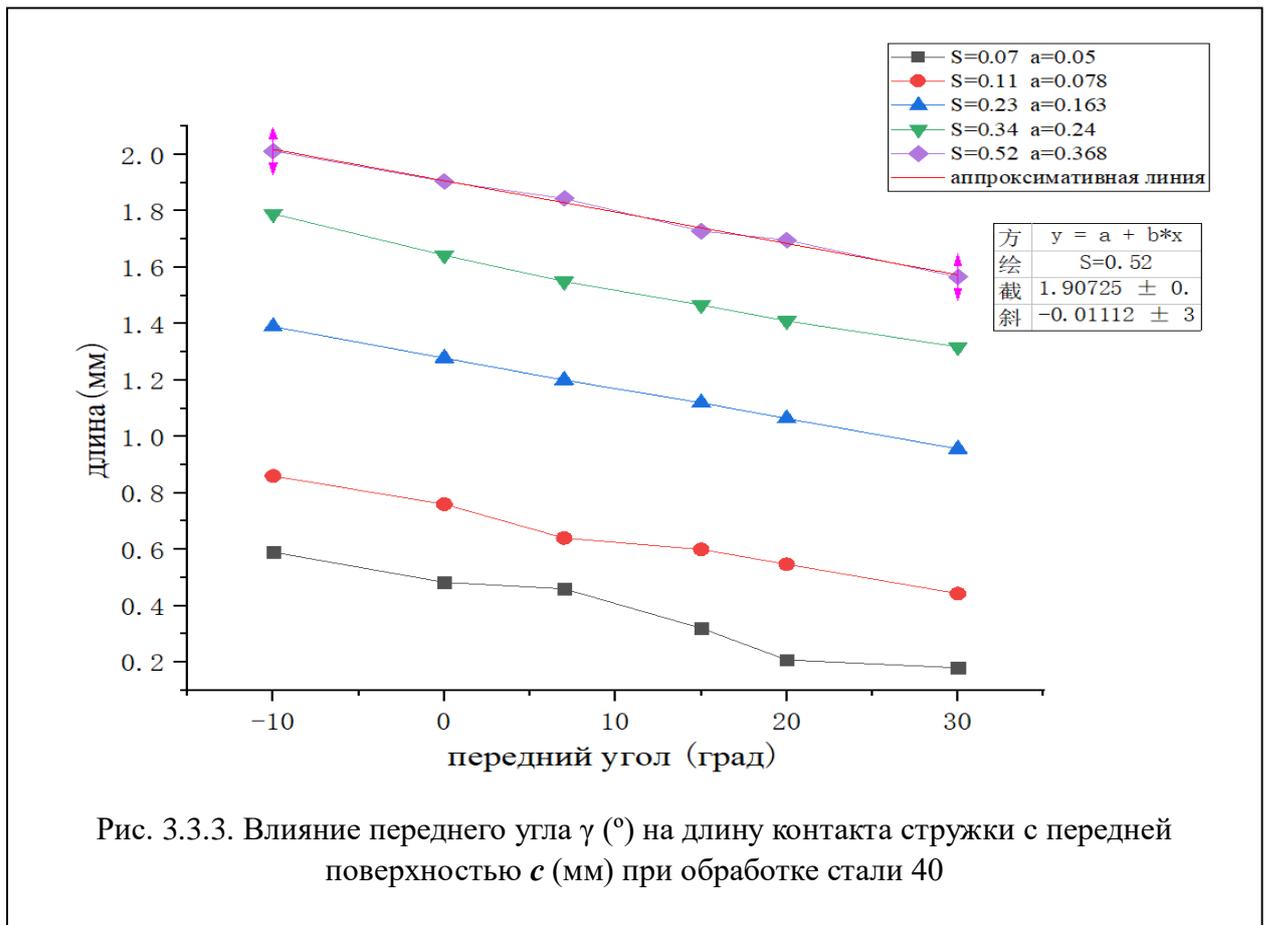


Рис. 3.3.3. Влияние переднего угла  $\gamma$  ( $^{\circ}$ ) на длину контакта стружки с передней поверхностью  $c$  (мм) при обработке стали 40

Были построены графики влияния толщины среза  $a$  (мм) и величины переднего угла  $\gamma$  на длину контакта стружки с передней поверхностью  $c$  (рис. 3.3.4). По этим графикам были построены графики влияния величины переднего угла  $\gamma$  на длину контакта стружки с передней поверхностью  $c$  (рис. 3.3.3), были определены уравнения  $c = f(\gamma)$  для  $s = 0,07-0,52$  мм/об с помощью программного обеспечения OriginLab:

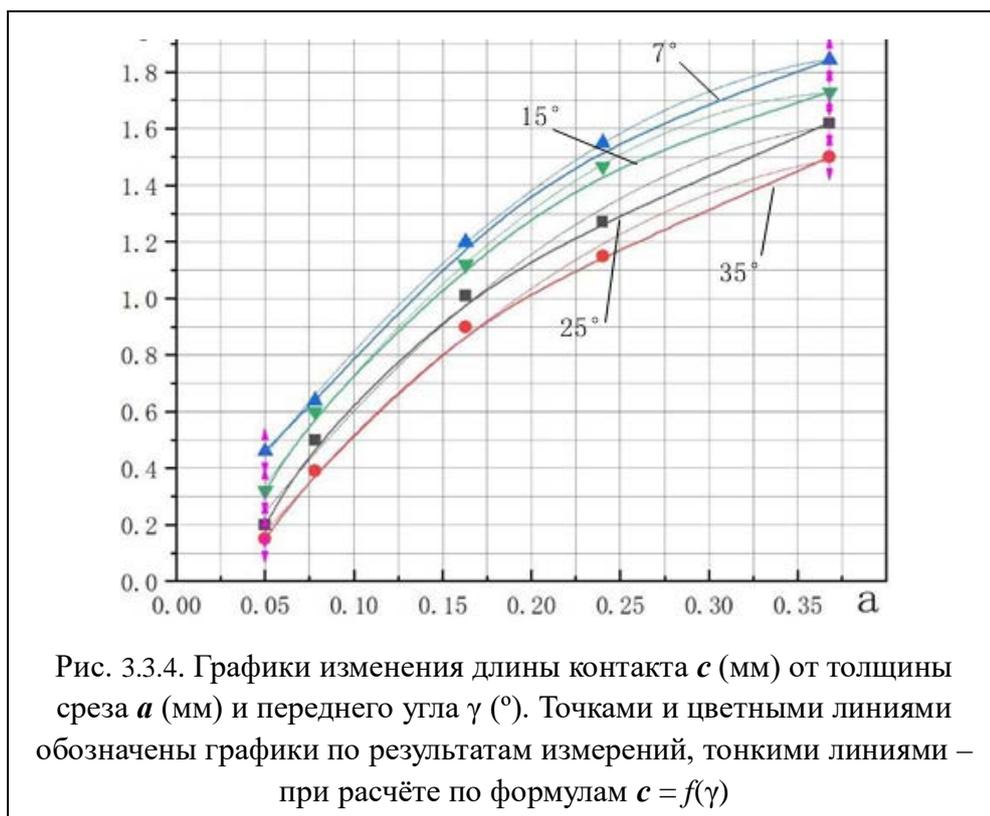
Для подачи  $s=0,07$  мм/об, длина контакта  $c = -0.01 \cdot \gamma + 0.5$  (мм);

Для подачи  $s = 0,11$  мм/об, длина контакта  $c = -0.01 \cdot \gamma + 0.75$  (мм);

Для подачи  $s = 0,23$  мм/об, длина контакта  $c = -0.01 \cdot \gamma + 1.28$  (мм);

Для подачи  $s = 0,34$  мм/об, длина контакта  $c = -0.011 \cdot \gamma + 1.55$  (мм);

Для подачи  $s = 0,52$  мм/об, длина контакта  $c = -0.011 \cdot \gamma + 1.905$  (мм).



По графикам рис. 3.3.4 были определены уравнения  $c = f(a)$  для  $\gamma = +7^\circ, +15^\circ, +25^\circ, +35^\circ$  с помощью программного обеспечения OriginLab:

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

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

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

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

### 3.4 Определение основных параметров эпюр контактных напряжений

На очень малой по размерам площадке контакта у режущей кромки действуют большие нормальные напряжения. В условиях высокой температуры резания и межмолекулярного взаимодействия прирезцового слоя стружки с передней поверхностью инструмента стружка перемещается уже не по передней



Рис. 3.4.1 Длина пластического контакта стружки  $C_1$

поверхности инструмента, а по заторможенному слою. Внешнее трение заменяется внутренним трением. Длина контакта стружки с передней поверхностью  $C$  состоит из двух участков:[12]

- 1) OF – участок пластического контакта длиной  $C_1$  (рис. 3.4.1);
- 2) FB –участок внешнего трения.

Эпюра касательных контактных напряжений имеет простой вид, поэтому можно рассчитать  $\tau_{const}$  по формуле. По этой эпюре и коэффициенту трения  $\mu$  (рис. 3.4.2) строится эпюра нормальных напряжений.

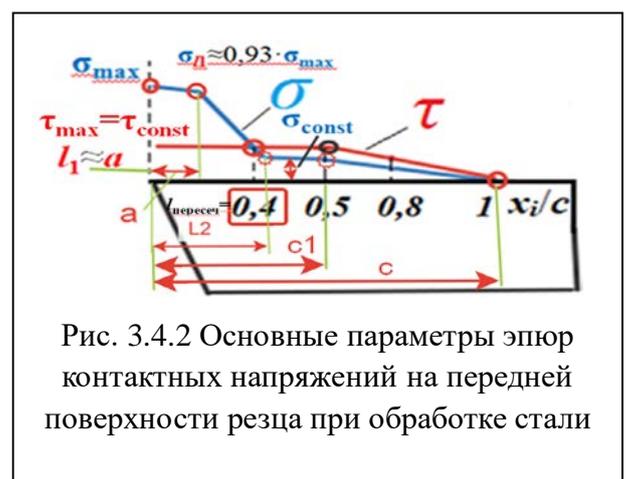


Рис. 3.4.2 Основные параметры эпюр контактных напряжений на передней поверхности резца при обработке стали

Из исследования зависимости коэффициента трения  $\mu$  от длины стружки  $c$ , получены выводы.

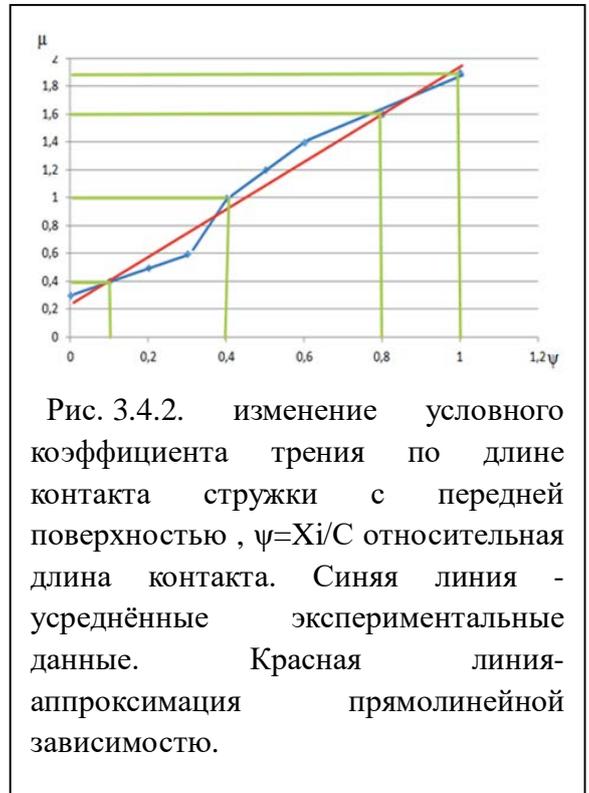
1) на первой половине (от режущей кромки) длины контакта стружки с передней поверхностью величина  $\tau$  постоянна, т.е. на участке пластического контакта стружки с передней поверхностью длиной  $c_1 \approx 0,5c$  (мм);

2) на второй части длины контакта стружки  $\tau$  практически прямолинейно уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности; [16]

3) При относительной длине контакта стружки  $\psi = x/c \approx 0,4$ , т.е. при  $x = 0,4 \times c$  будет пересечение графика  $\sigma$  с графиком  $\tau$ , т.к. в этой точке условный коэффициент трения  $\mu = 1$ , то есть там  $\tau = \sigma$ .

4) У эпюры нормальных контактных напряжений  $\sigma$  в области  $x \leq 0,5c$  имеется небольшой горизонтальный участок, т.е.  $\sigma = \text{const}$ , а при дальнейшем отдалении от режущей кромки ( $x > 0,5c$ ) у эпюры  $\sigma$  имеется участок с прямолинейным уменьшением  $\sigma$  до нуля в точке  $x = c$ .

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



### 3.5 Построение эпюр контактных напряжений

При построении эпюр контактных напряжений на передней поверхности необходимо знать физические составляющие силы резания, действующие на передней поверхности, и длину контакта стружки  $s$  (мм) с передней поверхностью инструмента.

Силы резания, полученных из экспериментов, для разных передних углов представленных в табл 3.1.

Табл. 3.1 – Силы резания , полученных из экспериментов  
при постоянной условной глубине резания  $t=1,99$  мм

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

Силы резания , рассчитанные по удельным силам резания , для разных передних углов представленных в табл 3.2.

Табл. 3.2. Силы резания, рассчитанные по удельным силам резания при глубине резания  $t = 2$  мм и подаче  $s = 0,52$  мм/об. Сталь 40Х-Т15К6,  $\varphi = 45^\circ$ .

Передний угол $\gamma$	Технологические силы		Физические составляющие силы	
	$P_{xy\text{cp}}$ , Н	$P_{z\text{cp}}$ , Н	$F$ , Н	$N$ , Н
$+7^\circ$	1140	2370	1425	2214
$0^\circ$	1465	2424	1465	2424
$-7^\circ$	1929	2512	1608	2728

Из экспериментов известно, что обычно длина контакта стружки с передней поверхностью резца  $c \approx 10 \cdot a$  (мм),

где  $a$  – толщина среза (мм);

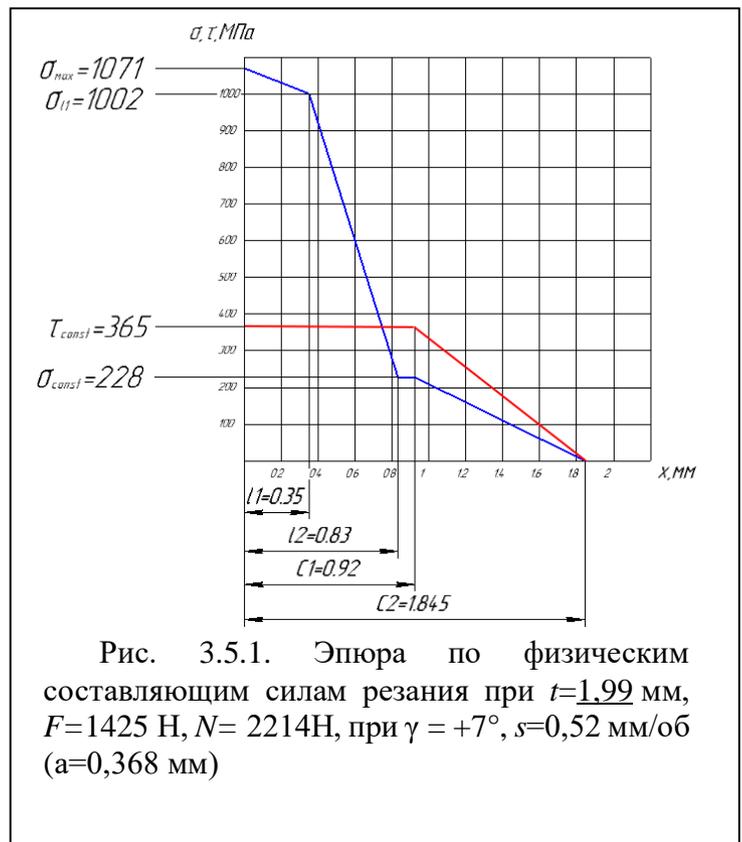
$$a = s \times \sin \varphi,$$

где  $s$  – подача (мм/об);  $\varphi$  – главный угол в плане ( $^\circ$ ).

Обычно длина пластического контакта стружки с передней поверхностью резца  $c_1 = l_1 \approx 0,5 c$  (мм).

На участке от  $l_2$  до  $C_1$  у эпюр нормальных напряжений  $\sigma$  имеется горизонтальный участок, т.е. нормальные напряжения  $\sigma$  не изменяются при отдалении от режущей кромки. На этом участке не действует закон Амонтона-Кулона ( $f = F/N = \text{const}$ ), т.к. касательные напряжения  $\tau$  (МПа) равны пределу прочности материала стружки (заготовки) на сдвиг при температуре на поверхности контакта  $t$  ( $^\circ$ , градусах Цельсия)  $\tau = \tau_{\text{max}}$  (МПа). Поэтому условный коэффициент трения  $\mu = \tau / \sigma \neq \text{const}$ , т.е.  $\mu \neq f = F/N$ . С увеличением температуры предел прочности материала стружки (заготовки) на сдвиг  $\tau_{\text{max}}$  уменьшается. Т.к. на участке от 0 до  $l_1$  температуры контактного слоя изменяется незначительно (мало изменяется), то эпюра касательных напряжений  $\tau$  имеет горизонтальный участок.

На участке от  $l_1$  до  $x_i = c$  у эпюр нормальных напряжений  $\sigma$  имеется пологий участок, т.е. нормальные напряжения  $\sigma$  постепенно уменьшаются до нуля при отдалении от режущей кромки. На этом участке имеется внешнее (обычное) трение, т.е.  $\tau/\sigma = \mu_{\text{внешн}} \approx f$ , где  $f$  – коэффициент трения скольжения. При внешнем (обычном) трении коэффициент трения не



зависит от нормальной нагрузки  $\sigma$  (Н), т.е.  $f = F/N = \text{const}$ , где  $F$  – сила трения (Н),  $N$  – нормальная (перпендикулярная к поверхности, по которой перемещается тело) сила трения (Н).

### 3.6 Исследование влияния подачи и переднего угла на НДС СМП

Для исследования влияния переднего угла  $\gamma^\circ$ , и подача  $s$  (мм/об) на НДС режущих пластин создаём 3D модели с разным передним углом ( $\gamma = 7^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ , ) и задним углом  $\alpha = 10^\circ$

С помощью программы ANSYS расчёт НДС для режущей пластины МКЭ с принятием приблизительно реальное распределение нагрузки представлен на рис. 3.6.1. Для создания 3D модели использовали программное обеспечение Solidworks 2018 (рис. 3.6.1).

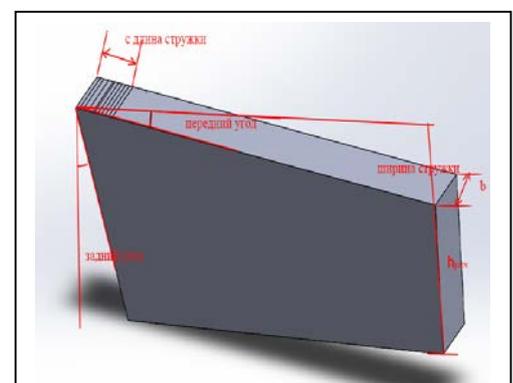


Рис. 3.6.1. Геометрические параметры режущих пластин

- Передний угол:  $\gamma = 7^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ .
- Главный задний угол:  $\alpha = 10^\circ$

Табл. 3.6.1 – Длина контакта стружки  $c$ , мм

Толщина среза $a$ , мм	$7^\circ$	$15^\circ$	$25^\circ$	$35^\circ$
0.05	0.46мм	0.36мм	0.39мм	0.18мм
0.078	0.66мм	0.6мм	0.6мм	0.37мм
0.163	1.2мм	1.05мм	1.124мм	0.86мм
0.24	1.52мм	1.5мм	1.466мм	1.2мм
0.368	1.81мм	1.8мм	1.775мм	1.49мм

- Ширина клина  $b = 2,82$  мм.
- Толщина расчётной зоны  $h_{расч}$  (толщина режущей пластины) будет изменяться от 10 до 20 мм.

При приложении контных напряжения, касательное напряжение параллельно по оси Y, нормальное напряжение перпендикулярно к плоскости XZ.

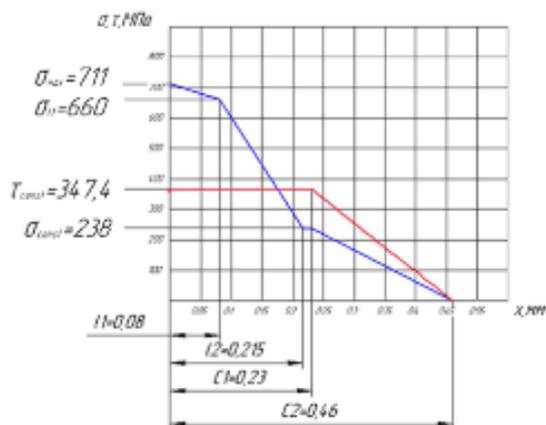


Рис.1. Эпюра по физическим составляющим силам резания при  $t = 1,99$  мм,  $F = 338$  Н,  $N = 405$  Н, при  $\gamma = +7^\circ$ ,  $s = 0,07$  мм/об;

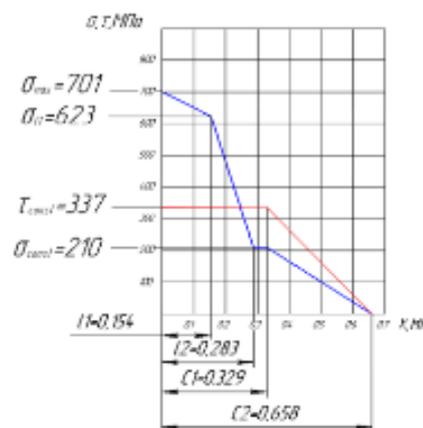


Рис.2. Эпюра по физическим составляющим силам резания при  $t = 1,99$  мм,  $F = 469$  Н,  $N = 566$  Н, при  $\gamma = +7^\circ$ ,  $s = 0,11$  мм/об;

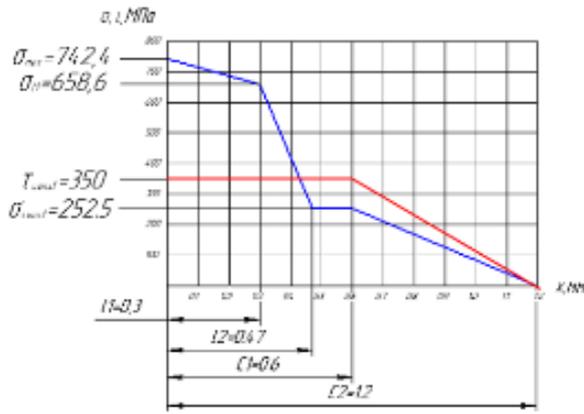


Рис.3. Эпюра по физическим составляющим силам резания при  $r=1.99$  мм,  $F=885$  Н,  $N=1117$  Н, при  $\gamma = +7^\circ$ ,  $s=0.23$  мм/об;

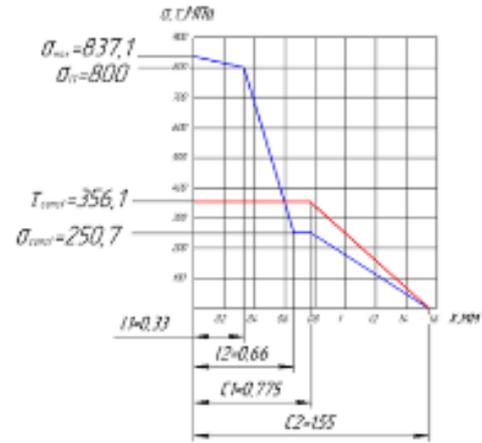


Рис.4. Эпюра по физическим составляющим силам резания при  $r=1.99$  мм,  $F=1165$  Н,  $N=1606$  Н, при  $\gamma = +7^\circ$ ,  $s=0.34$  мм/об;

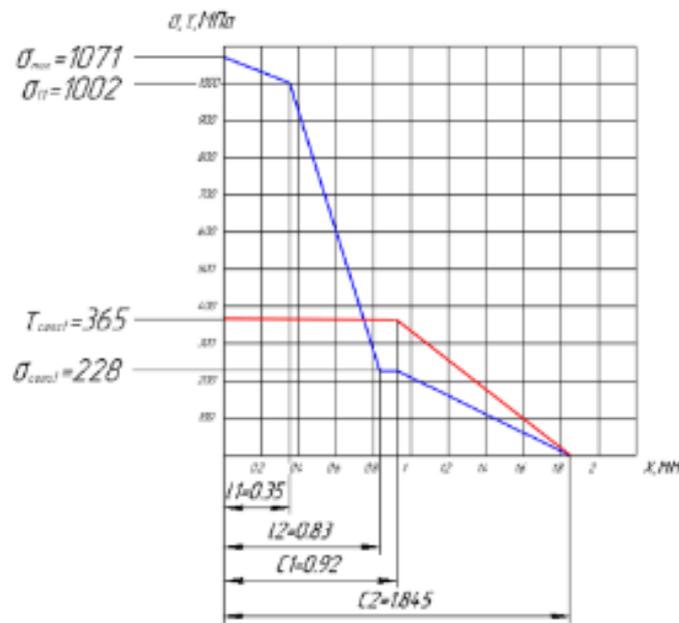


Рис.5. Эпюра по физическим составляющим силам резания при  $r=1.99$  мм,  $F=1425$  Н,  $N=2214$  Н, при  $\gamma = +7^\circ$ ,  $s=0.52$  мм/об;

Рис. 3.6.2. Эпюры контактных напряжений при разных подачах  $s$  при  $\gamma = 7^\circ$

Табл. 3.6.2 – Составляющие силы резания при расчёте НДС резца с шириной  $b=2.82$  мм(сталь40X-T15K6),

При передний угол  $+7^\circ$  и толщине среза  $a=0,05$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ МПа	$\tau_i$ МПа
1	0-0.08	685.5	347.4
2	0.08-0.22	499	347.4
3	0.22-0.23	238	347.4

4	0.23-0.34	178.5	260.55
5	0.34-0.46	59.5	86.85

При передний угол  $+7^\circ$  и толщине среза  $a=0,078$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ МПа	$\tau_i$ МПа
1	0-0.15	662	337
2	0.15-0.28	416.5	337
3	0.28-0.33	210	337
4	0.33-0.5	157.5	252.7
5	0.5-0.66	52.5	84.25

При передний угол  $+7^\circ$  и толщине среза  $a=0,163$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ МПа	$\tau_i$ МПа
1	0-0.3	700.5	350
2	0.3-0.47	455.6	350
3	0.47-0.6	252.5	350
4	0.6-0.9	189.6	262.5
5	0.9-1.2	63.125	87.5

При передний угол  $+7^\circ$  и толщине среза  $a=0,24$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ МПа	$\tau_i$ МПа
1	0-0.16	827.8	356.1
2	0.16-0.31	809.3	356.1
3	0.31-0.47	662.5	356.1
4	0.47-0.62	387.5	356.1
5	0.62-0.74	250.7	356.1
6	0.74-0.89	225.63	320.89
7	0.89-1.04	175.49	249.27
8	1.04-1.19	125.35	178.05
9	1.19-1.34	75.21	106.83
10	1.34-1.52	25.07	35.61

Передний угол  $+7^\circ$  и толщине среза  $a=0,368$  мм

№ участка от режущей кромки	Длина участка $L_{ni}$ , мм	$\sigma_i$ МПа	$\tau_i$ МПа
1	0-0.17	855	413
2	0.17-0.35	825	413
3	0.35-0.59	672	413
4	0.59-0.83	396	413
5	0.83-0.91	258	413
6	0.91-1.09	232.2	371.7
7	1.09-1.27	180.6	289.1

8	1.27-1.45	127	206.5
9	1.45-1.63	77.4	123.9
10	1.63-1.845	25.8	41.3

Приложение контактных напряжений, имеющих приблизительно реальное распределение

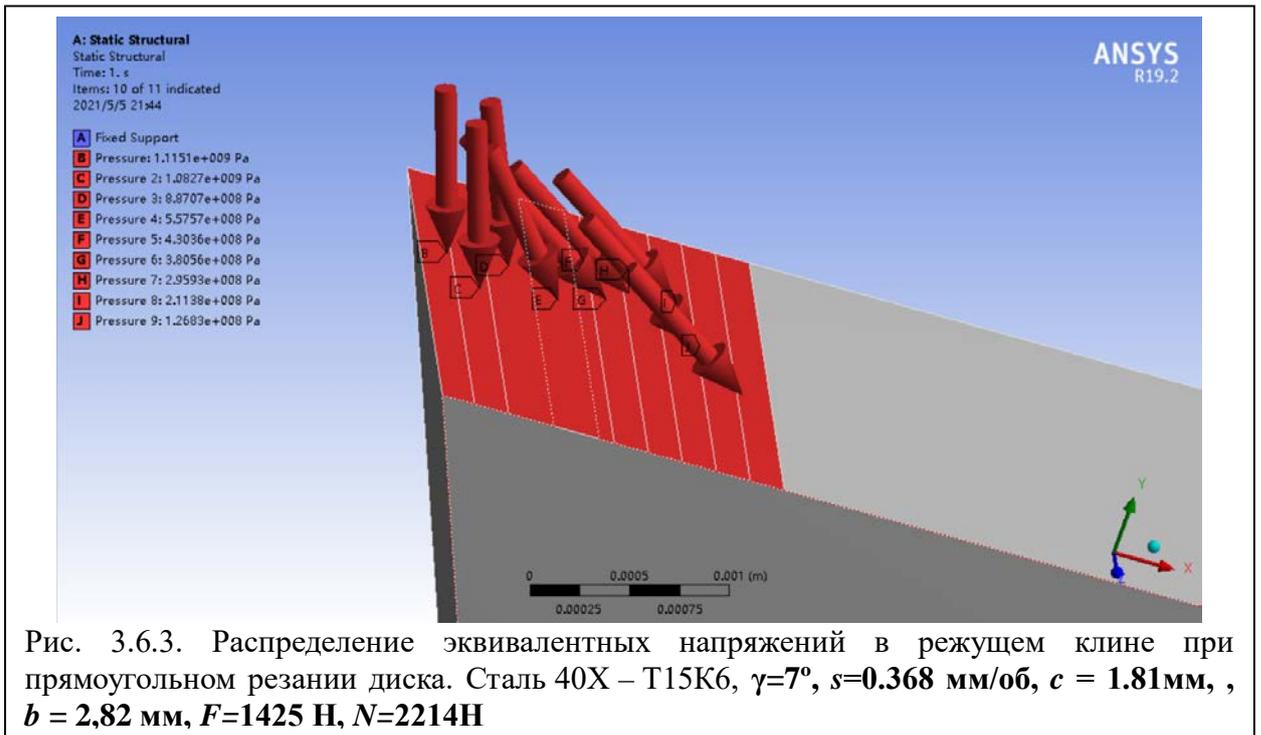
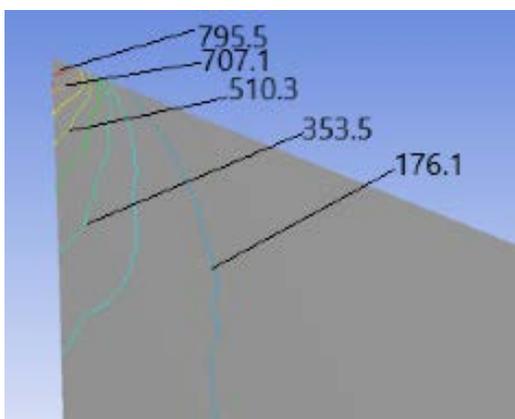
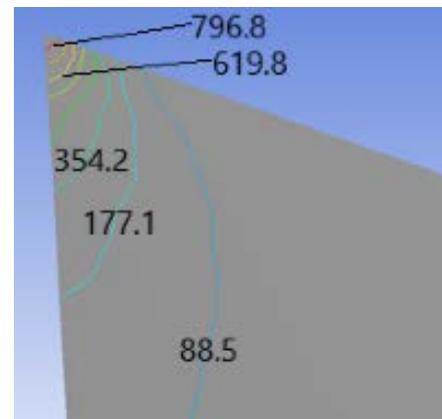


Рис. 3.6.3. Распределение эквивалентных напряжений в режущем клине при прямоугольном резании диска. Сталь 40X – Т15К6,  $\gamma=7^\circ$ ,  $s=0.368$  мм/об,  $c = 1.81$ мм,  $b = 2,82$  мм,  $F=1425$  Н,  $N=2214$ Н

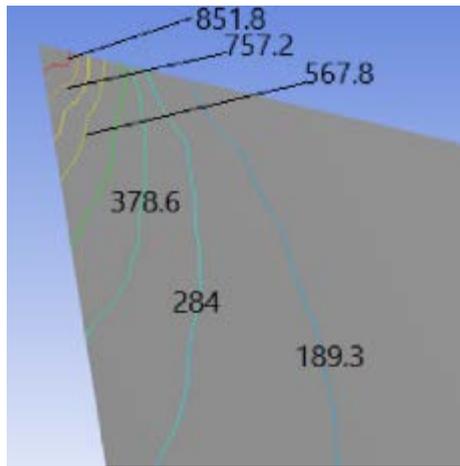
Результаты расчёта напряжений представлены на рис. 3.6.4.



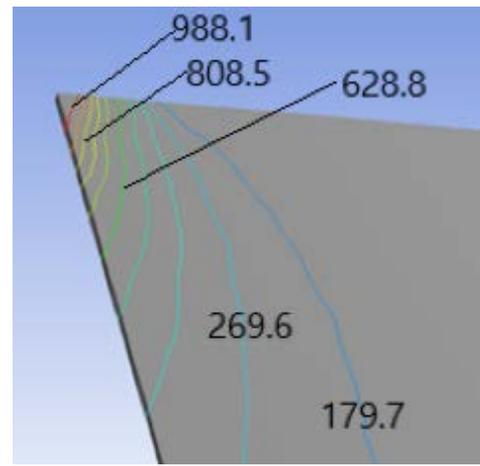
а)  $a=0,05$  мм/об



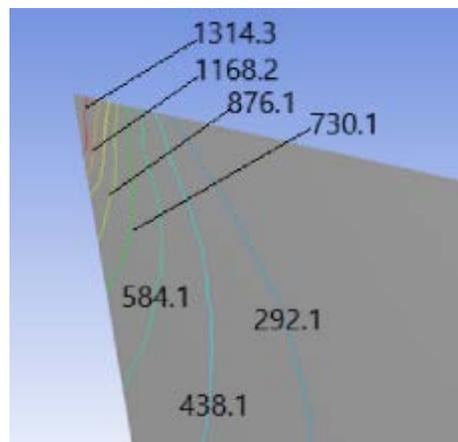
б)  $a=0,078$  мм/об



в)  $a=0,163$  мм/об



г)  $a=0,24$  мм/об

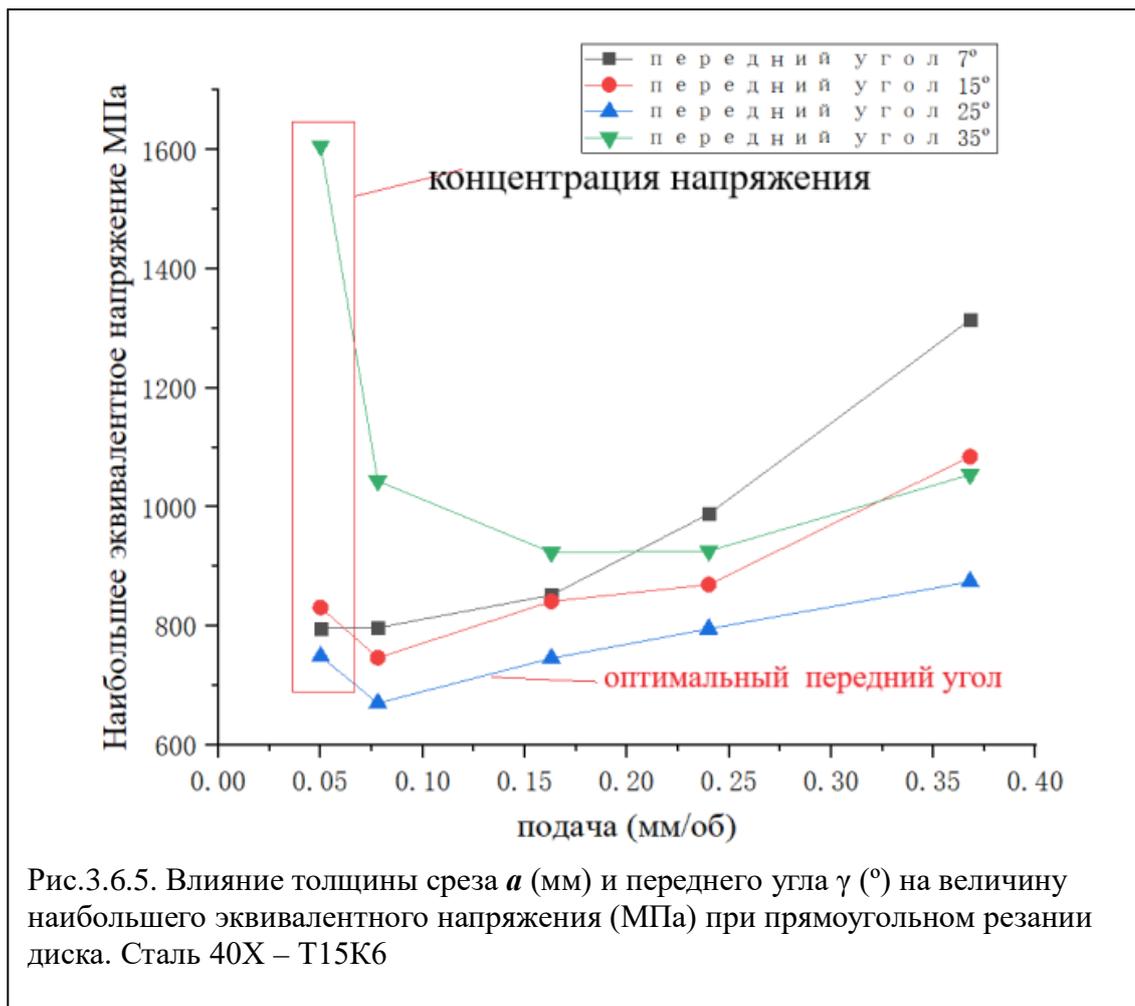


д)  $a=0,368$  мм/об

Рис. 3.6.4. Распределения эквивалентных напряжений в режущей кромке при нагружении нагрузок по их эпюру при разных толщинах среза а)  $a=0,05$  мм; б)  $a=0,078$  мм; в)  $a=0,163$  мм; г)  $a=0,24$  мм; д)  $a=0,368$  мм.

(Сталь 40Х-T15K6;  $\gamma=7^\circ$ ;  $t=2$  мм;  $v=120$  м/мин)

Влияние толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на величину наибольшего эквивалентного напряжения (МПа) представлено на рис. 3.6.5



Расчёты показывают, что при прямоугольном свободном резании диска с малой радиальной подачей  $s = 0,05$  мм/об, т.е. при толщине среза  $a = 0,05$  мм, в режущем клине возникают эквивалентные напряжения около 1600 МПа, а в диапазоне  $a = s = 0,15 - 0,25$  мм и передних углах  $\gamma = +7^{\circ} \dots +35^{\circ}$  эквивалентные напряжения около 800 МПа.

Видно, что с дальнейшим увеличением подачи эквивалентные напряжения в режущем клине у передней поверхности тоже увеличиваются.

По результатам исследования НДС режущей пластины получим вывод: При переднем угле  $\gamma = 25^{\circ}$  его наибольшее эквивалентное напряжение всегда меньше, чем при других передних углах..

В машиностроении изготавливаются режущие инструменты с упрочняющей фаской. Упрочняющая фаска на СМП очевидно уменьшает концентрацию напряжения, и уменьшает интенсивность выкрашивания его режущих кромок.

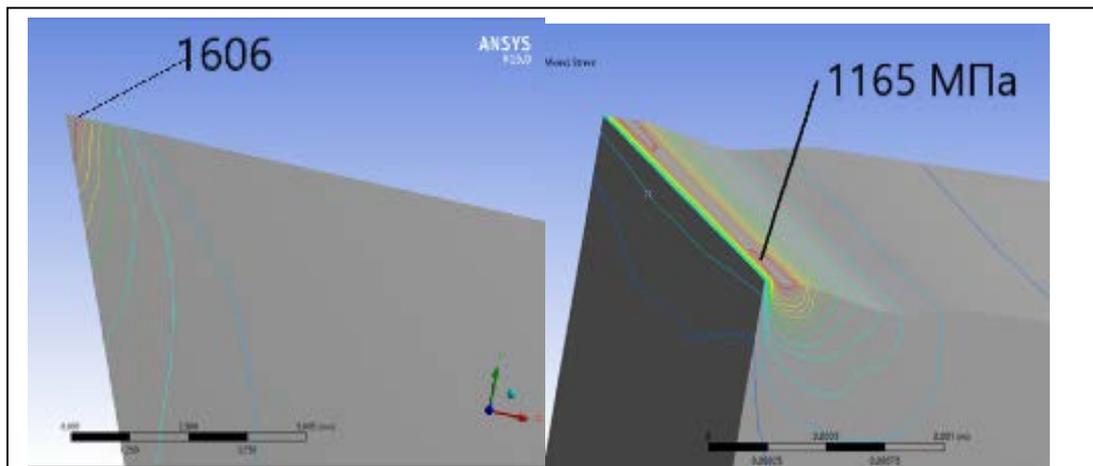


Рис. 3.6.4. Распределение эквивалентных напряжений в режущем клине (в СМП супрочняющей фаской) при прямоугольном резании диска. Сталь 40X – T15K6,  $\gamma=35^\circ$ ,  $s=0.05$  мм/об,  $c = 0.18$  мм,  $b = 2,82$  мм,  $F=294$  Н,  $N=226$  Н

Для определения степени влияния на НДС способа приложения внешних сил были выполнены расчёты НДС режущего клина при разных способах его нагружения силами резания (рис. 3.6.5 – 3.6.7).

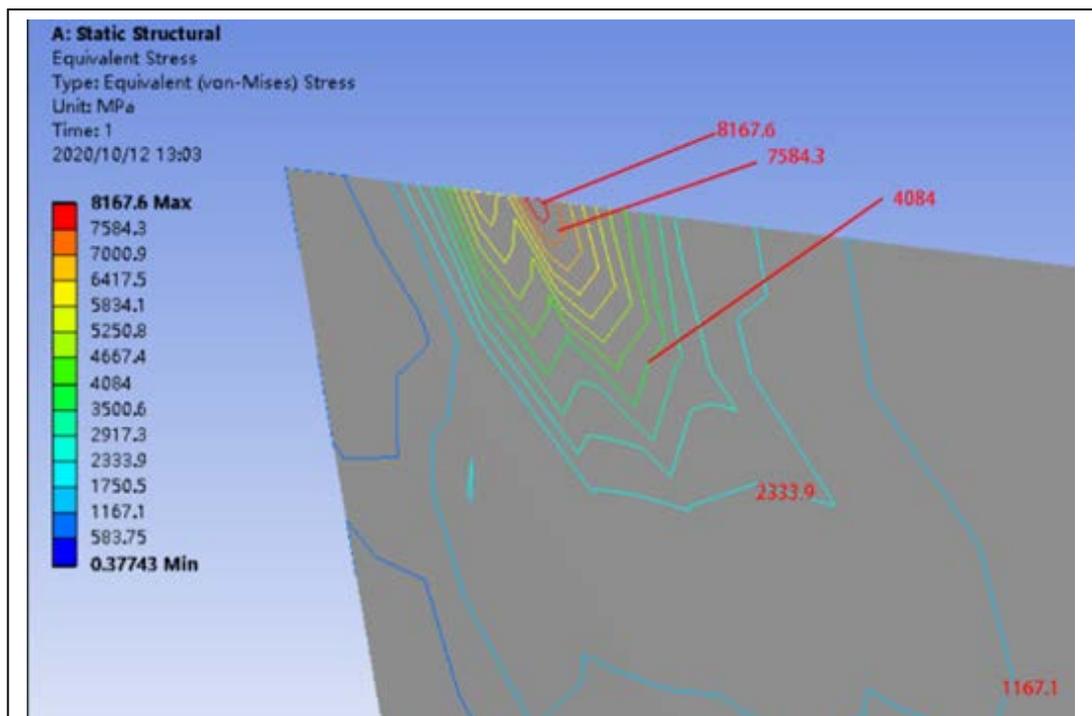


Рис.3.6.5. Распределение эквивалентных внутренних напряжений  $\sigma_{\text{эkv}}$ , МПа, в режущем клине при приложении удельных контактных нагрузок  $q_N$  и  $q_F$  на **небольшом участке** вместо сосредоточенных сил  $N$  и  $F$  при обработке диска из стали (прямоугольное свободное резание,  $b_{\text{диска}}=2,82$  мм,  $b_{\text{резца}}=2,9$  мм.) Сталь 40X - T15K6,  $\gamma=+7^\circ$ , подача  $s=0,24$  мм/об, толщина среза  $a=0,24$  мм.

При приложении **удельных** контактных нагрузок  $q_N$  и  $q_F$  на **небольшом** участке **вместо** **сосредоточенных** сил  $N$  и  $F$ , чтобы избежать эффекта концентрации напряжений в точке их приложения, эквивалентные напряжения в режущем клине в области приложения контактных нагрузок остаются нереально большими ( $\sigma_{\text{экв max}} \approx 8167,6$  МПа).

Эквивалентные напряжения на задней поверхности быстро уменьшается до 583,75МПа у задней поверхности. Выкрашивание будет появляться в зоне приложения сосредоточенных составляющих силы резания.

При приложении равномерно распределённых удельных контактных нагрузок распределение **эквивалентных** внутренних напряжений  $\sigma_{\text{экв}}$  становится ближе к реальному (рис. 3.6.6)

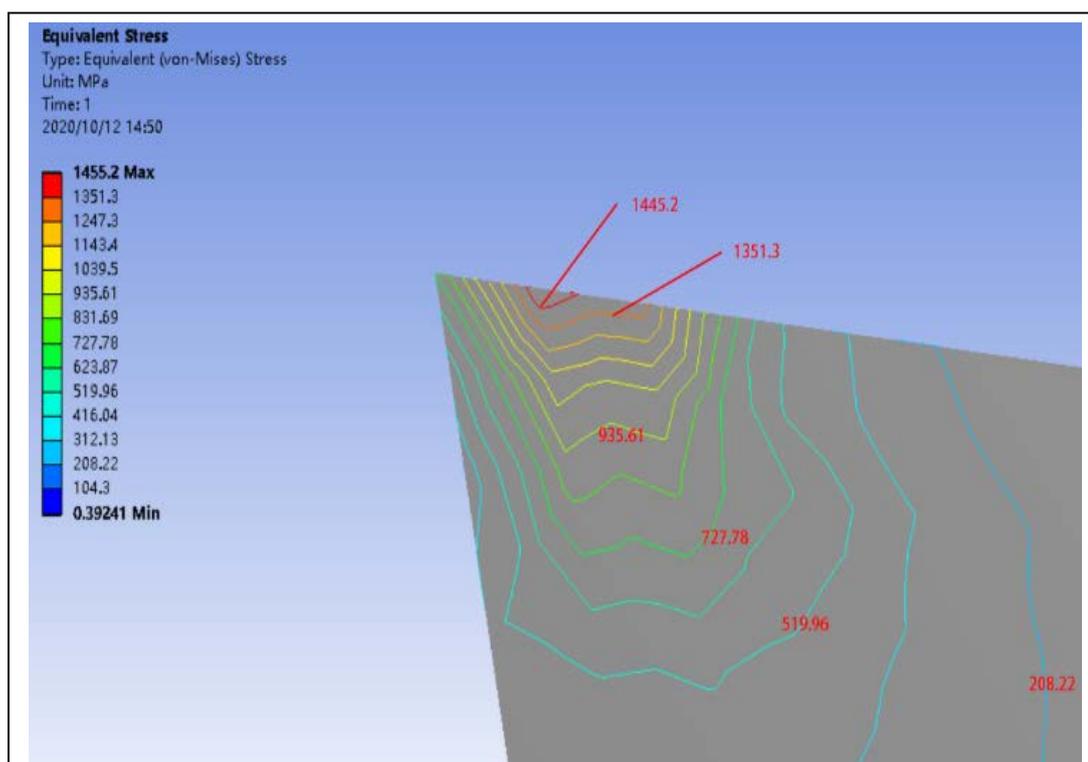


Рис.3.6.6 Распределение эквивалентных внутренних напряжений  $\sigma_{\text{экв}}$ , МПа, в режущем клине при приложении **равномерно распределённых** удельных контактных нагрузок  $q_N$  и  $q_F$  на участке контакта стружки с передней поверхностью при обработке стали 40Х-T15К6,  $\gamma=+7^\circ$ , подача  $s=0,24$  мм/об, толщина среза  $a=0,24$  мм..

Наибольшее эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{экв max}}$  находится на расстоянии 0,75 мм ( $l \approx 0,5c$ ) от вершины режущего клина ( $\sigma_{\text{экв max}} \approx 1445,2$  МПа).

Эквивалентное напряжение у вершины режущего клина значительно меньше  $\sigma_{\text{экв}} \approx 900-600$  МПа. Результаты расчёта эквивалентных напряжений при реальном распределении напряжений приближаются к случаю нагружения при реальном распределении.

При приложении контактных напряжений, имеющих приблизительно реальное распределение, т.е. по результатам наших исследований, распределение эквивалентных внутренних напряжений  $\sigma_{\text{экв}}$  представлено на рис. 3.6.6.

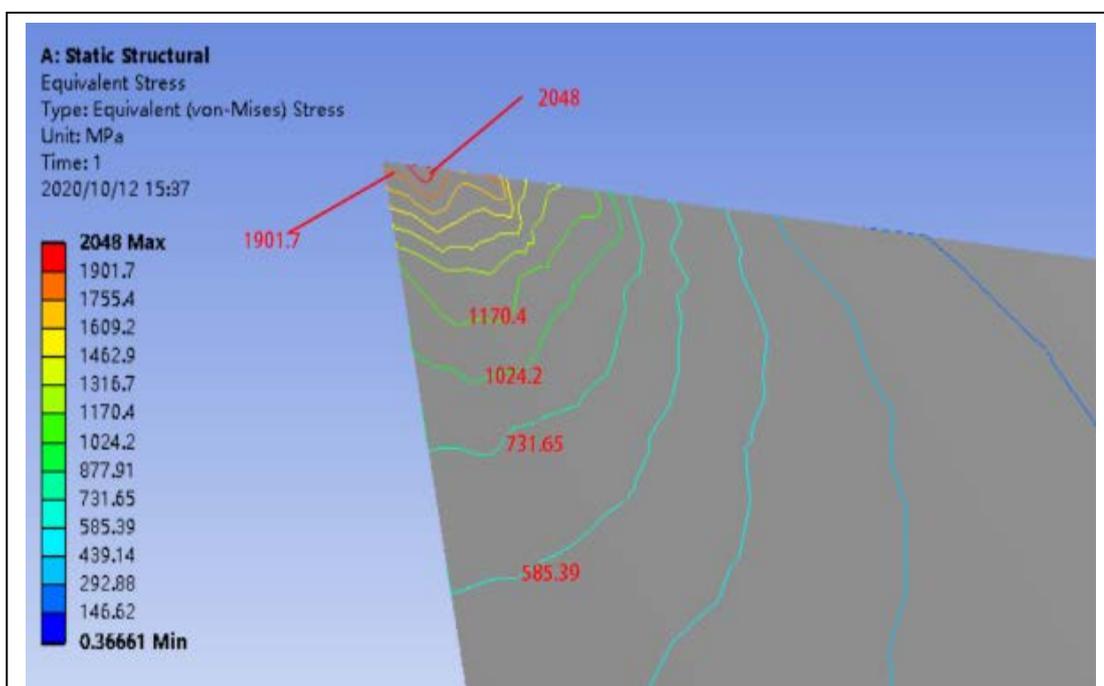


Рис.3.6.7. Распределение эквивалентных внутренних напряжений  $\sigma_{\text{экв}}$ , МПа, в режущем клине при приложении контактных напряжений, имеющих **реальное распределение**. Сталь 40Х-Т15К6, подача  $s=0,24$  мм/об, толщина среза  $a=0,24$  мм.

В области режущей кромки имеются напряжения сжатия. Наибольшее эквивалентное напряжение находится около вершины режущего клина ( $\sigma_{\text{экв max}} \approx 2048$  МПа). у самой вершины  $\sigma_{\text{экв}} \approx 1900$  МПа. Такой характер распределения напряжений и их величина говорит о том, что в месте

наибольших напряжений есть вероятность развития лунки износа, т.к. предел прочности на сжатие твёрдого сплава Т15К6  $\sigma_{-в} = 4\ 000$  МПа.

При отдалении от вершины режущего клина эквивалентное напряжение существенно уменьшается.

На расстоянии 4-х длин контакта от режущей кромки начинается область с растягивающими напряжениями.

### 3.7 Построение эпюр контактных напряжений на фаски задней поверхности

Результаты исследования влияния длины фаски износа по задней поверхности  $h_z$  на силы резания **при врезании** представлены в табл. 3.7.1 и 3.7.2. При врезании, т.е. до появления стружки, контакт резца с заготовкой происходит практически только по фаске задней поверхности, т.е. сил  $P_{xy}$  врезания =  $P_{xy\ max}$  равна нормальной силе на фаске  $N_h$ , а сила  $P_z$  врезания =  $P_z\ max$  равна касательной силе на фаске  $F_h$ .

Табл. 3.7.1 – Наибольшая величина силы  $P_{xy}$  (Н) при врезании резца в заготовку при ширине среза  $b=2,82$  мм (сталь40Х-Т15К6)

Длина фаски $h_z$ , мм	Нормальные силы резания при врезании $P_{xy\ max}$ , Н при				
	$s=0,07$ мм/об	$s=0,11$ мм/об	$s=0,23$ мм/об	$s=0,34$ мм/об	$s=0,52$ мм/об
0,13	305	415	760	900	1030
0,29	395	445	765	930	1060
0,54	1040	1065	965	1125	1225
0,775	2545	2350	2400	2235	2160
0,95	2660	2540	2430	3430	3060

Результаты исследования влияния длины фаски износа по задней поверхности  $h_z$  на касательные силы резания **при врезании** представлены в табл. 3.7.2.

Табл. 3.7.2 – Наибольшая величина силы  $P_z$  (Н) при врезании резца в заготовку при ширине среза  $b=2,82$  мм (сталь40Х-Т15К6)

Подача $s$ , мм/об	Нормальные силы резания при врезании $P_{z \max}$ , Н при				
	$h_3=0,13$ мм	$h_3=0,29$ мм	$h_3=0,54$ мм	$h_3=0,775$ мм	$h_3=0,95$ мм
0,07	480	540	790	1350	1500
0,11	655	670	980	1470	1660
0,23	1040	1240	1590	1820	2100
0,34	1240	1380	1730	2060	2340
0,52	1905	2000	2390	2700	3000

В процессе расчета видно что нормальные удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности для  $i$ -ого интервала  $q_{Nhi}$  (Н/мм<sup>2</sup>, или МПа) рассчитывались как отношение приращение нормальной силы на интервале фаски задней поверхности  $\Delta N_{hi}$  (Н) к приращению площади этого интервала  $\Delta S_{hi}$  (мм<sup>2</sup>):

$$q_{Nhi} = \sigma_h = \frac{\Delta N_{hi}}{\Delta S_{hi}} = \frac{N_{h bi} - N_{h ai}}{(h_{bi} - h_{ai}) \cdot b}, \text{ (Н/мм}^2\text{)}$$

где  $a_i$  и  $b_i$  – левое и правое значение интервала  $[a_i; b_i]$  (мм);  $b$  – ширина режущей пластины (мм).

Расчёт касательные удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности для  $i$ -ого интервала таким же методом:

$$q_{Nhi} = \tau_h = \frac{\Delta N_{hi}}{\Delta S_{hi}} = \frac{N_{h bi} - N_{h ai}}{h_{bi} - h_{ai}} \times \frac{1}{b} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times \frac{1}{b} \text{ (Н/мм}^2\text{)}$$

Таким образом, мы можем построить графики распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности при абсциссе –  $x_{hi} = (a_i + b_i)/2$ , (мм); ординате –  $\sigma_h, \tau_h$ , (МПа)

Результаты исследований влияние длины фаски  $h_3$  (мм) и толщины среза  $a$  (мм) на силы резания при врезании  $P_{xy \text{ вр}} = P_{xy \text{ max}} = N_h$  и  $P_{z \text{ вр}} = P_{z \text{ max}} = F_h$  представлены на рис. 3.7.1.

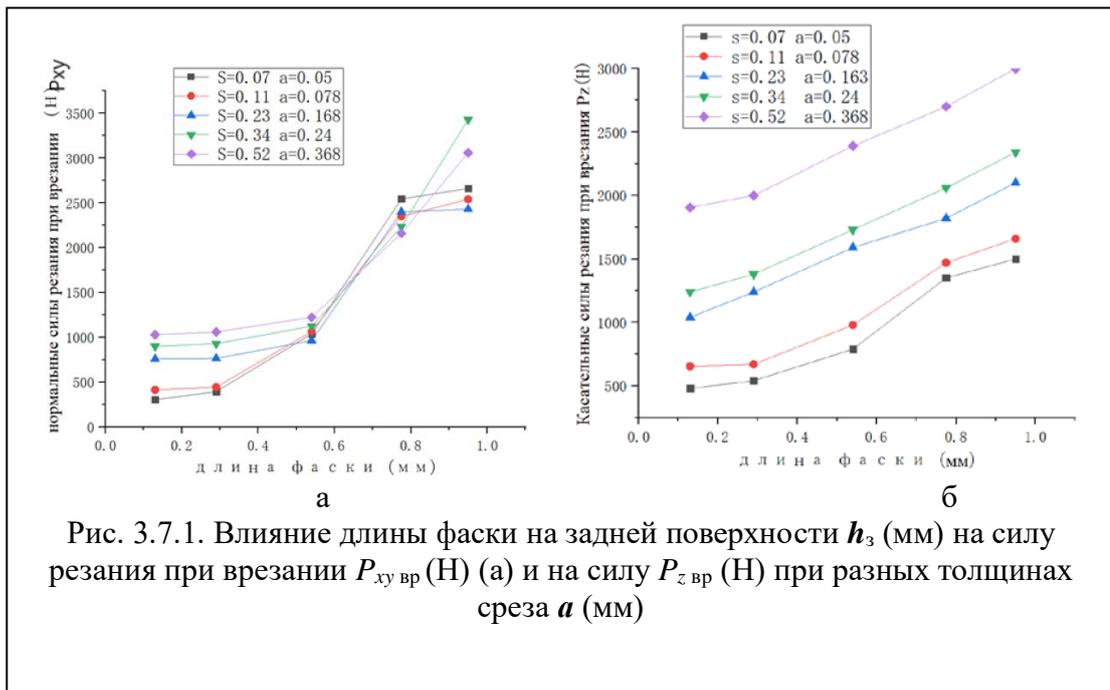


Рис. 3.7.1. Влияние длины фаски на задней поверхности  $h_3$  (мм) на силу резания при врезании  $P_{xy\text{вр}}$  (Н) (а) и на силу  $P_{z\text{вр}}$  (Н) при разных толщинах среза  $a$  (мм)

Результаты исследований влияния длины фаски  $h_3$  (мм) и толщины среза  $a$  (мм) на удельную силу резания  $q_{P_{xy\text{вр}}}$  и  $q_{P_{z\text{вр}}}$  (Н/мм) при косоугольном резании с  $\varphi = 45^\circ$  и подаче  $s = 0,52$  мм/об ( $a = 0,368$  мм) представлены на рис. 3.7.2.

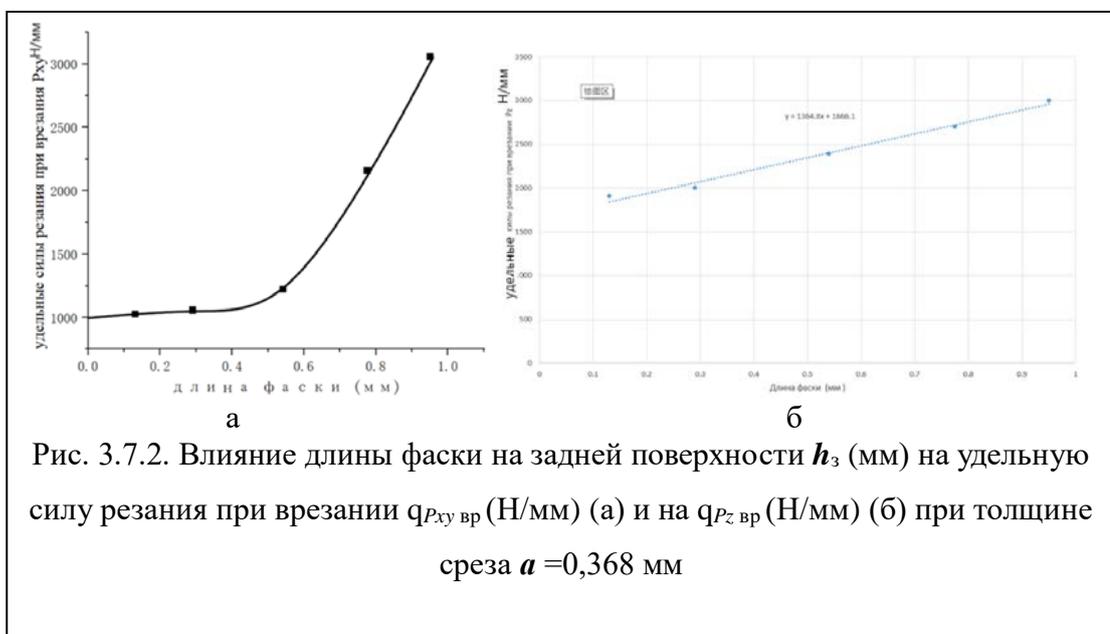


Рис. 3.7.2. Влияние длины фаски на задней поверхности  $h_3$  (мм) на удельную силу резания при врезании  $q_{P_{xy\text{вр}}}$  (Н/мм) (а) и на  $q_{P_{z\text{вр}}}$  (Н/мм) (б) при толщине среза  $a = 0,368$  мм

По графикам Рис.3.7.2.а были определены уравнения  $q_{P_{xy\text{вр}}} = f(h_3)$  для  $a = 0,368$  мм/об с помощью программного обеспечения OriginLab:

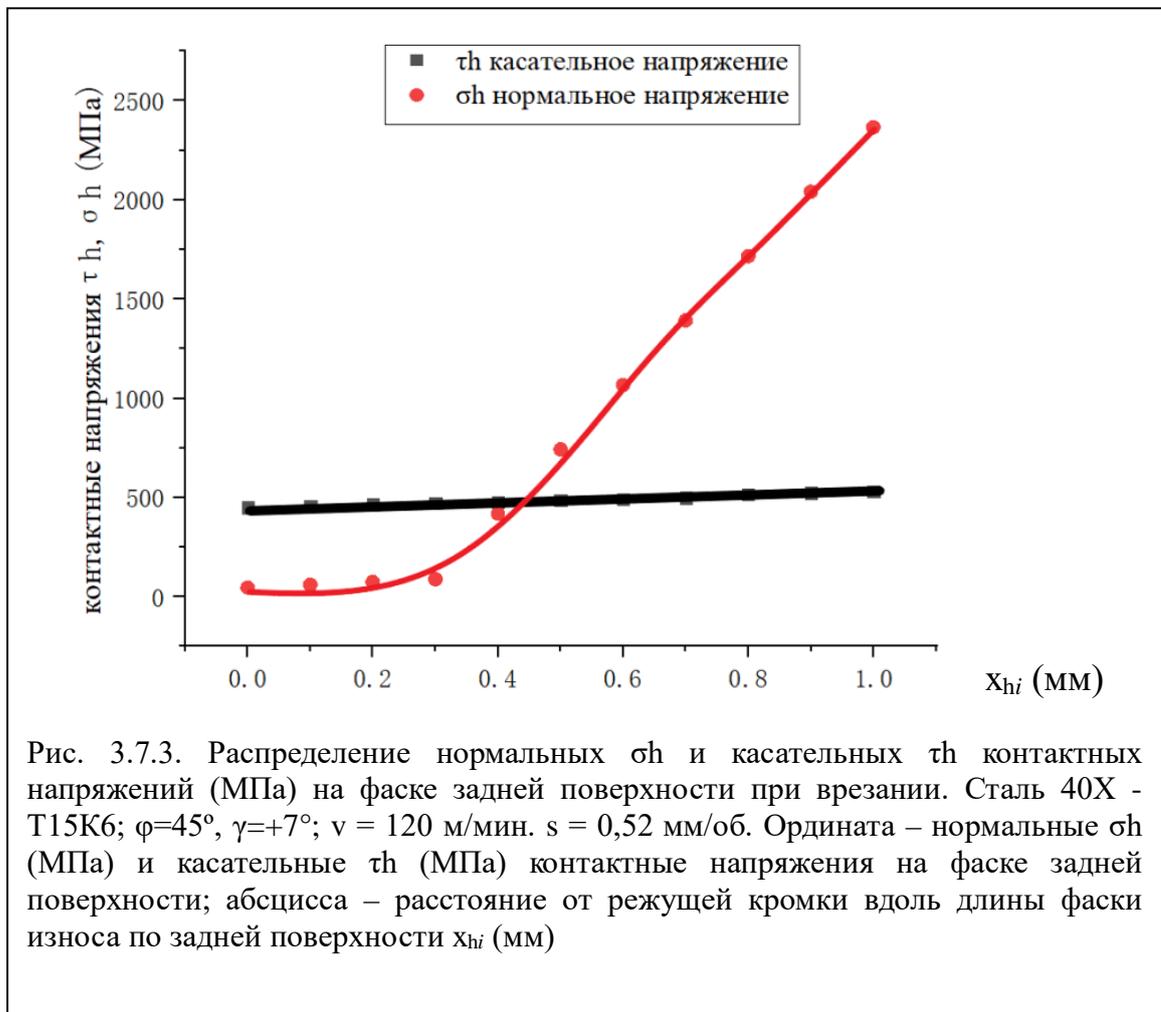
$$q_{P_{xy\text{вр}}} = 4552,6h_3^2 - 2479,2h_3 + 1312,3 \quad [\text{Н/мм}] \quad (0,3 \text{ мм} < h_3 < 0,95 \text{ мм})$$

$$qP_{xy} \text{ вр} = 187,5 h_3 + 1005,625 \quad (0 < h_3 \leq 0,3)$$

По графикам 3.7.2 б были определены уравнения  $qP_{z \text{ вр}} = f(h_3)$  для  $a = 0,368 \text{ мм/об}$  с помощью программного обеспечения OriginLab:

$$qP_{z \text{ вр}} = 1364.8 h_3 + 1666,1 \text{ [Н/мм]}$$

Графики распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности при врезании при подаче  $S=0,52 \text{ мм/об}$  ( $a=0.368 \text{ мм/об}$ ).



### 3.8 Исследование влияния длины фаски износа по задней поверхности и переднего угла на НДС СМП

Для исследования НДС СМП через программу ANSYS, необходимо создать 3D модель режущих пластин. Для создания 3D модели использовали программное обеспечение Solidworks 2018 (Рис.3.8.1.)



Рис. 3.8.1. 3D модель квадратной СМП и треугольной СМП

- Главный угол в плане  $45^\circ, 90^\circ$ .
- Передний угол:  $\gamma = -7^\circ, 0^\circ, 7^\circ$ .
- Главный задний угол:  $\alpha = 7^\circ, 0^\circ, -7^\circ$ .
- Длина стружки  $c$ , мм при подача  $s = 0,52$  мм/об,  $a = 0,368$  мм/об;  
 $c = 1,98 \text{ мм } 1,91 \text{ мм } 1,845 \text{ мм}$
- Ширина стружки  $b = 2,82 \text{ мм}$

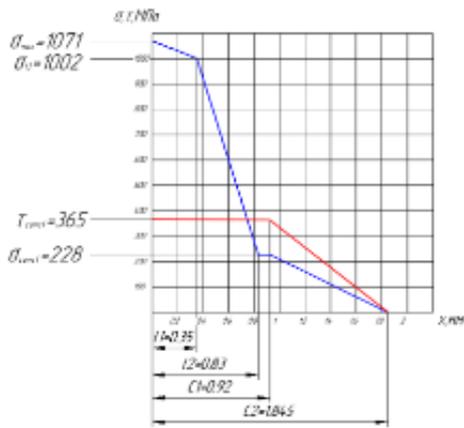


Рис.6. Эшора по физическим составляющим силам резания при  $b=1,99$  мм,  $F=1425$  Н,  $N=2214$  Н, при  $\gamma = +7^\circ$ ,  $s=0,52$  мм/об,  $a=0,368$ .

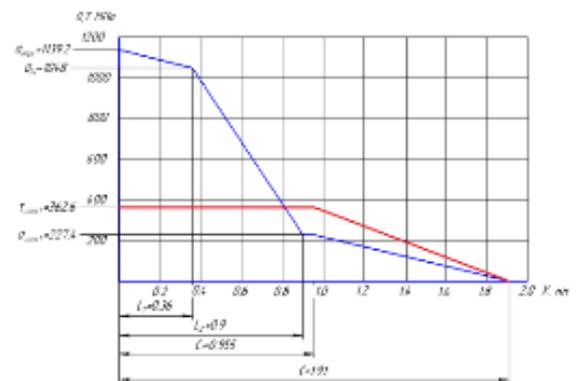


Рис.5. Эшора по физическим составляющим силам резания при  $b=1,99$  мм,  $F=1465$  Н,  $N=2424$  Н, при  $\gamma = 0^\circ$ ,  $s=0,52$  мм/об,  $a=0,368$ .

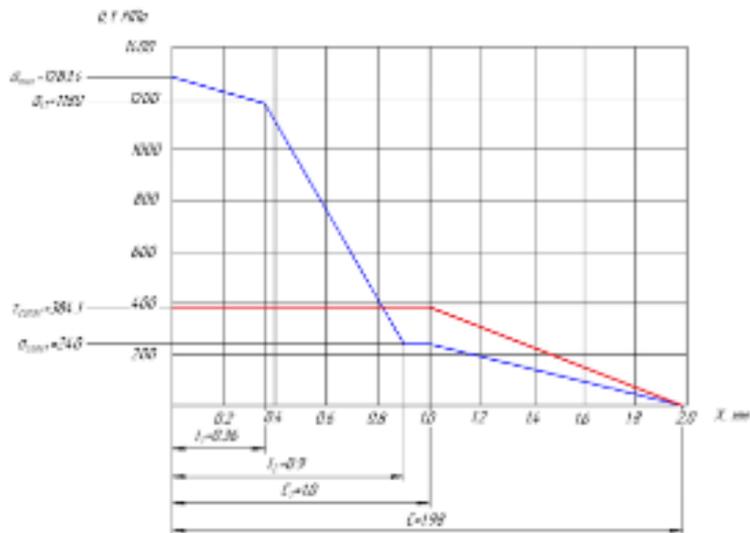


Рис.5. Эпюра по физическим составляющим силам резания при  $t=1,99$  мм,  $F=1608,6$  Н,  $N=2728,4$ Н, при  $\gamma = -7^\circ$ ,  $s=0,52$  мм/об,  $a=0,368$

Рис. 3.8.2. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности СМП

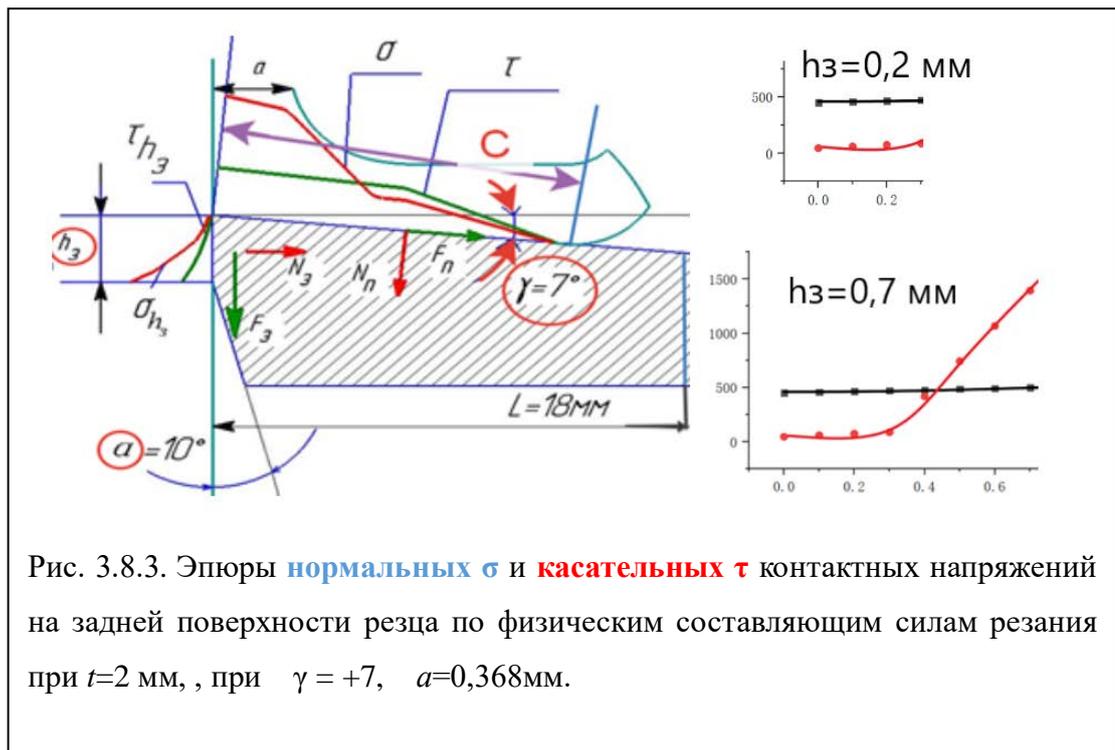


Рис. 3.8.3. Эпюры нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на задней поверхности резца по физическим составляющим силам резания при  $t=2$  мм, , при  $\gamma = +7$ ,  $a=0,368$ мм.

Исследование НДС любого твёрдого тела, в том числе и сменных многогранных пластин (СМП), заключается в расчёте распределения эквивалентных, нормальных и касательных напряжений, а также деформаций. Эквивалентные напряжения показывают интегрированные значения внутренних напряжений в режущей пластине, а нормальные напряжения

показывают зоны и вид напряжения: сжимающее или растягивающее напряжение.

На рис. 3.8.4 представлено распределение эквивалентных напряжений в квадратных СМП при большой подаче  $s = 0,52$  мм/об ( $a = 0,368$  мм при  $\varphi = 45^\circ$ ), разной длине фаски износа по задней поверхности  $h_3$  и переднем угле  $\gamma$ .

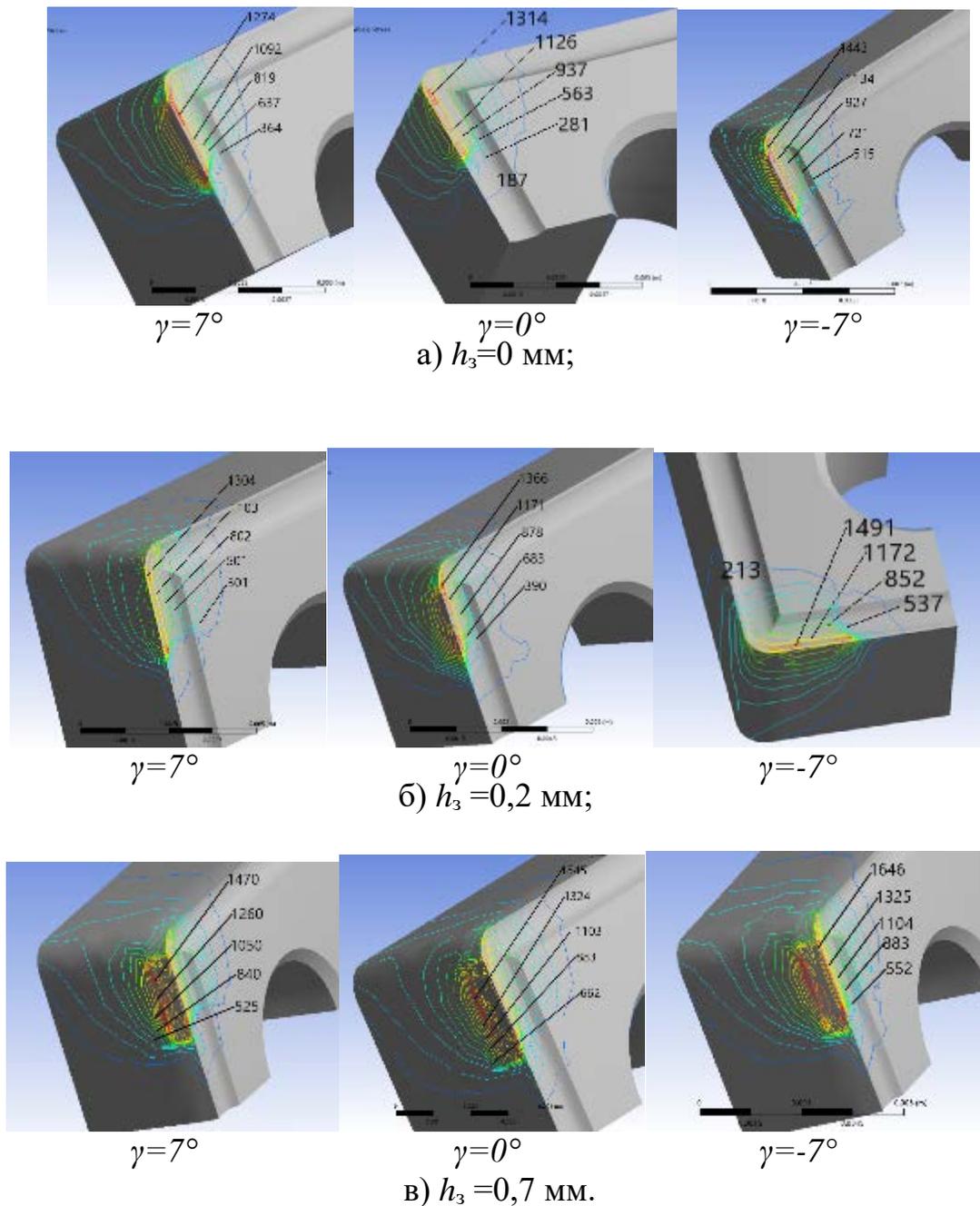


Рис. 3.8.4. Распределения эквивалентных напряжений в треугольной СМП при нагружении нагрузок по их эпюруа)  $h_3 = 0$  мм; б)  $h_3 = 0,2$  мм; в)  $h_3 = 0,7$  мм. Сталь 40Х-Т15К6;  $t = 2$  мм;  $v = 120$  м/мин,  $\lambda = 0^\circ$

Эквивалентные напряжения в 3-гранных СМП при  $s = 0,368$  мм/об ( $a = 0,368$  мм при  $\varphi = 90^\circ$ ) представлены на рис. 3.8.5.

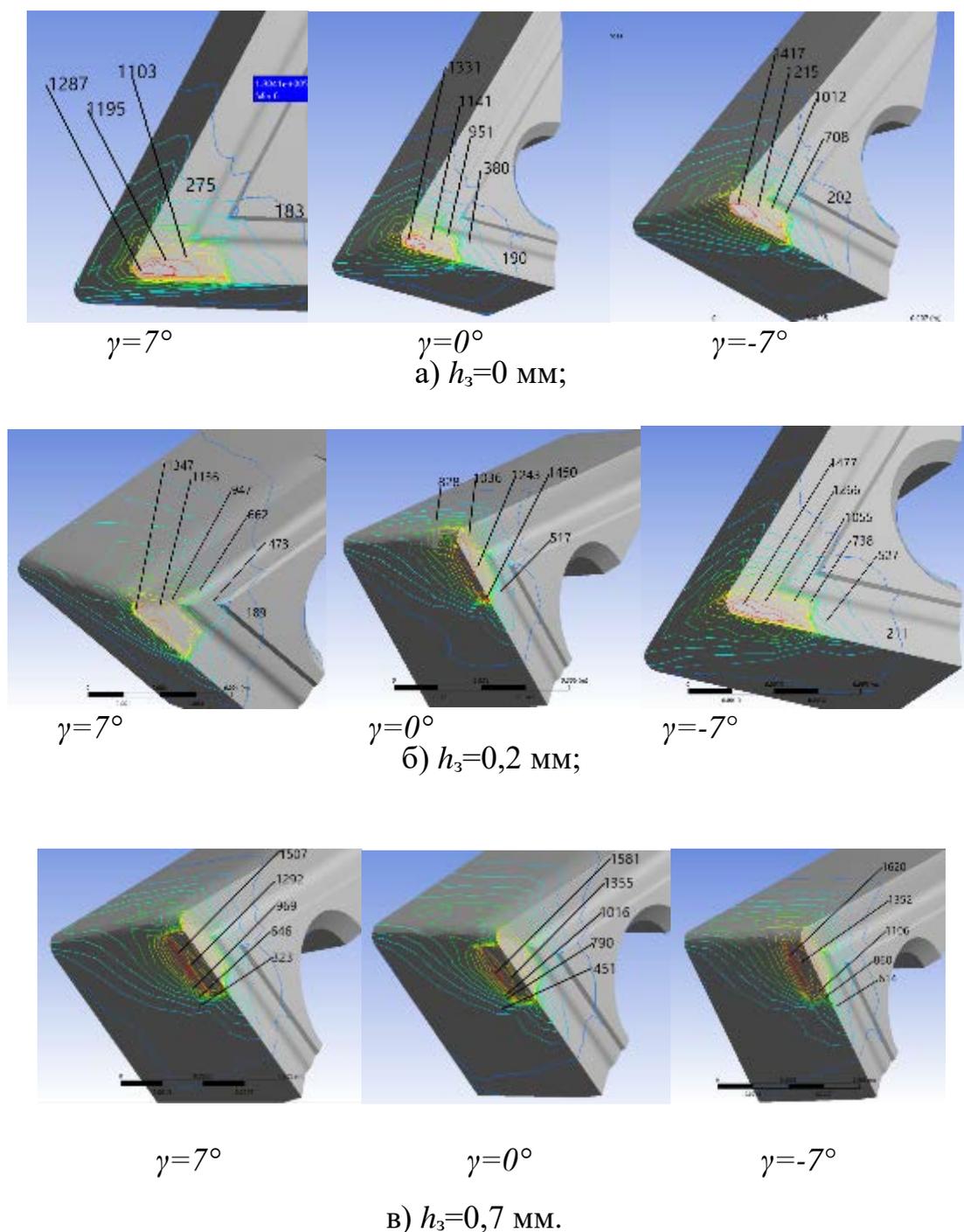
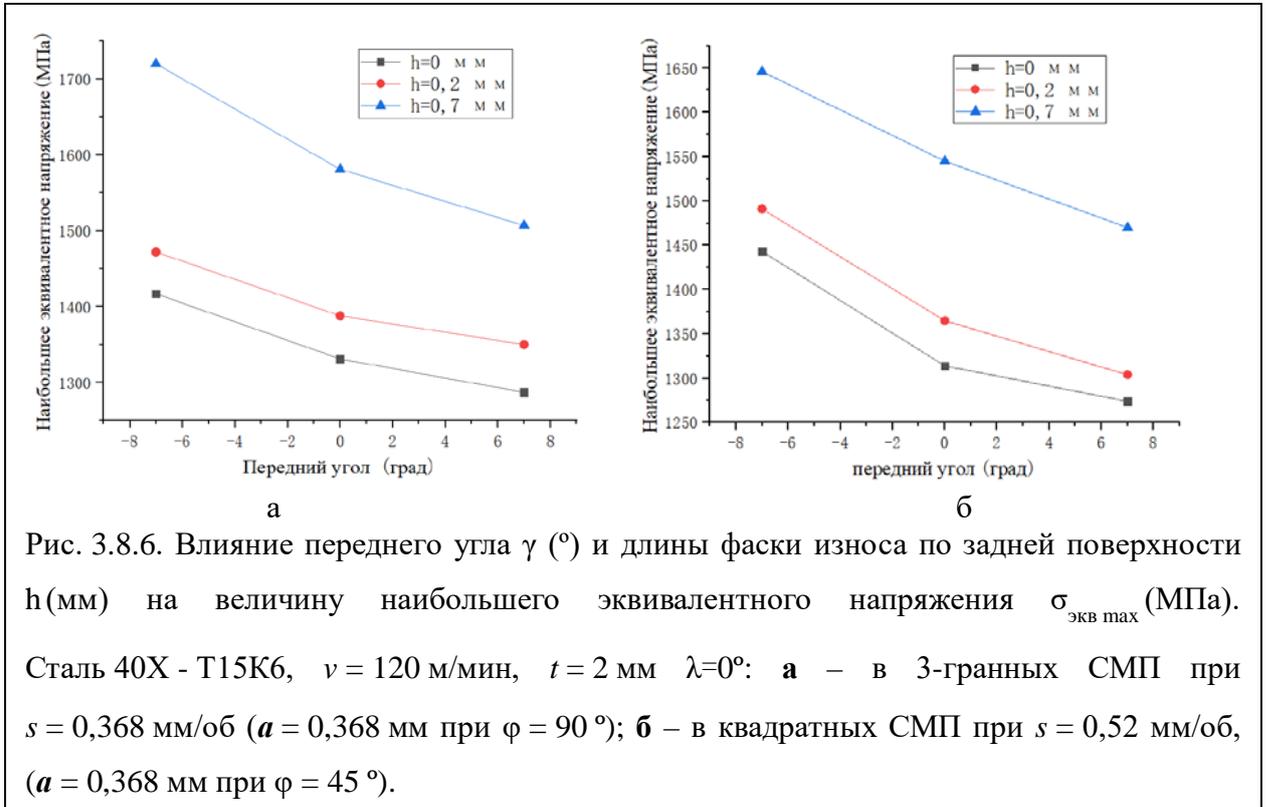


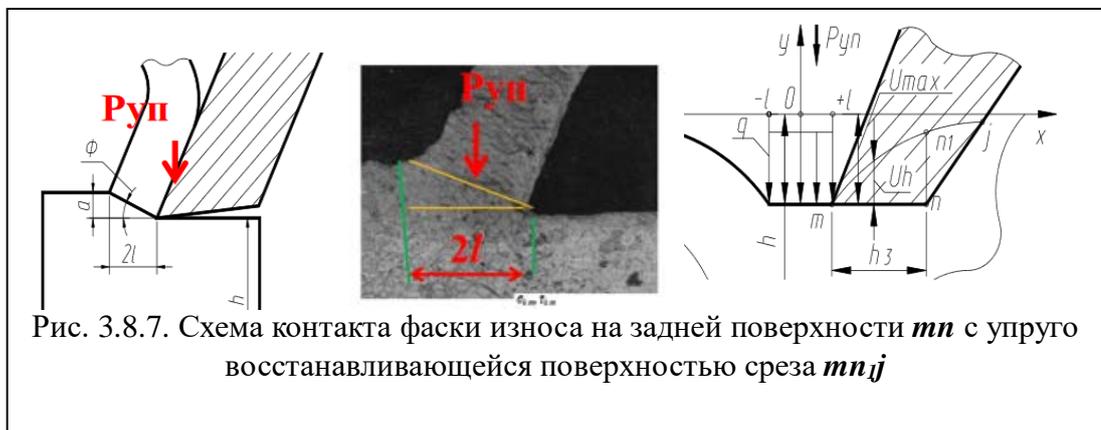
Рис. 3.8.5. Распределения эквивалентных напряжений в квадратной СМП при нагружении нагрузок по их эпюруа)  $h_3=0$  мм; б)  $h_3=0,2$  мм; в)  $h_3=0,7$  мм. Сталь 40Х-Т15К6;  $t=2$  мм;  $v=120$  м/мин,  $\lambda=0^\circ$ .

При  $h_3 > 0,5$  мм наибольшее эквивалентное напряжение в СМП возникает на

задней поверхности. Графики влияния переднего угла  $\gamma$  и длины фаски износа по задней поверхности (рис. 3.8.6) показывают, что наиболее существенно на величину наибольшего эквивалентного напряжения влияет длина фаски износа по задней поверхности более 0,3 мм и передний угол менее  $0^\circ$ .



В процессе резания режущий клин взаимодействует своей задней поверхностью с поверхностью резания на очень малой площадке контакта. Это объясняется упругим восстановлением-подъемом обработанной поверхности после прохождения резца. (рис. 3.8.7).



Движущаяся перед клином зона стружкообразования сопровождается волной упругой деформации, что приводит к опусканию границы полуплоскости на величину  $U_{max}$ . Восстанавливающаяся позади режущей кромки поверхность  $mnj$  взаимодействует с плоскостью фаски  $mn$ , длиной  $h_z$ , деформируясь до положения  $mnj$  и вызывая дополнительное давление на фаску износа задней поверхности при удалении от режущей кромки.

Прогиб поверхности среза  $mnj$  и вызывает радиальная сила  $P_{уп}$ , действующая со стороны передней поверхности на участок  $2l$ .  $2l = a \cdot \text{ctg} \Phi$ . [14] где  $\Phi$  – угол наклона условной плоскости сдвига при образовании элемента стружки. При образовании сливной стружки эта сила достаточно стабильна, поэтому прогиб происходит всегда во время резания. Поэтому на большем расстоянии от режущей кромки начинается увеличение контактных напряжений. Чем больше подача, тем больше участок  $2l$ , тем больше длина волны прогиба.

### 3.9 Исследование влияние угла наклона главной режущей кромки на НДС СМП.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  также, как и передний угол, оказывает влияние на процесс деформирования материала заготовки через изменение направления схода стружки по передней поверхности инструмента и изменение силы резания.

Угол  $\lambda$  принято считать положительным, когда наиболее

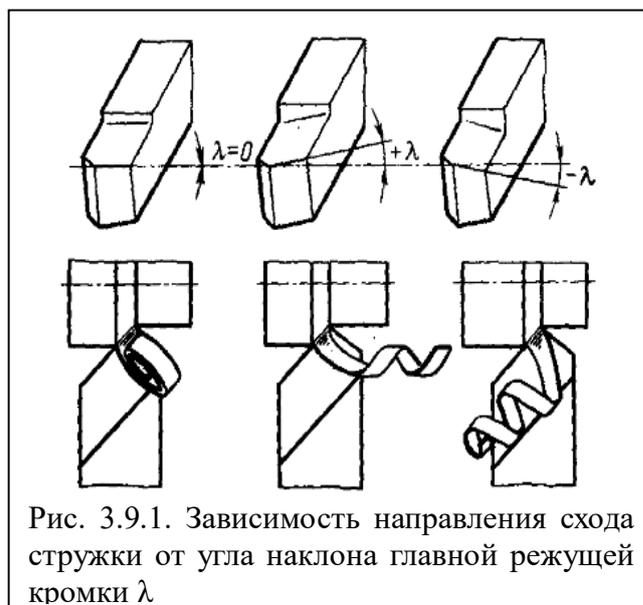
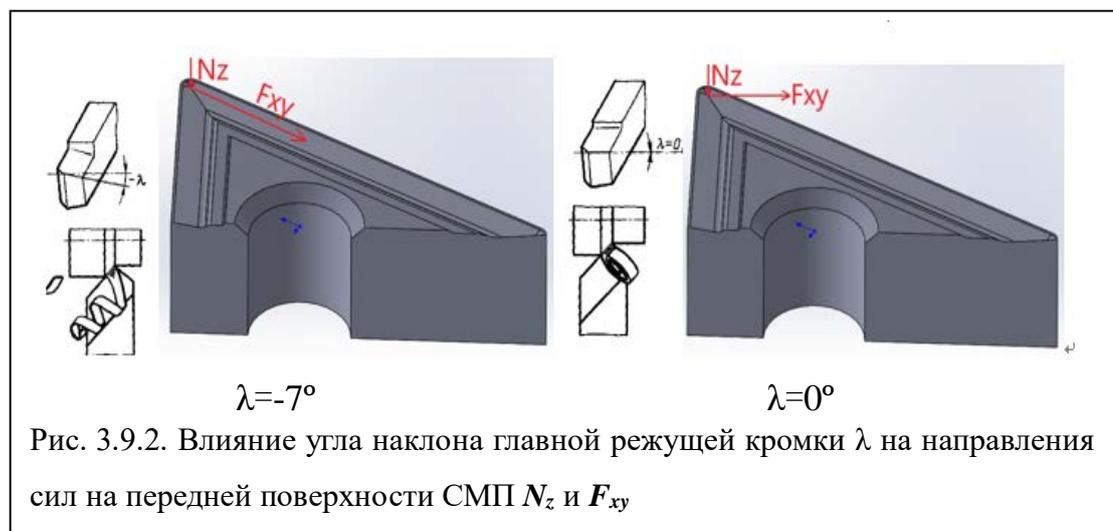


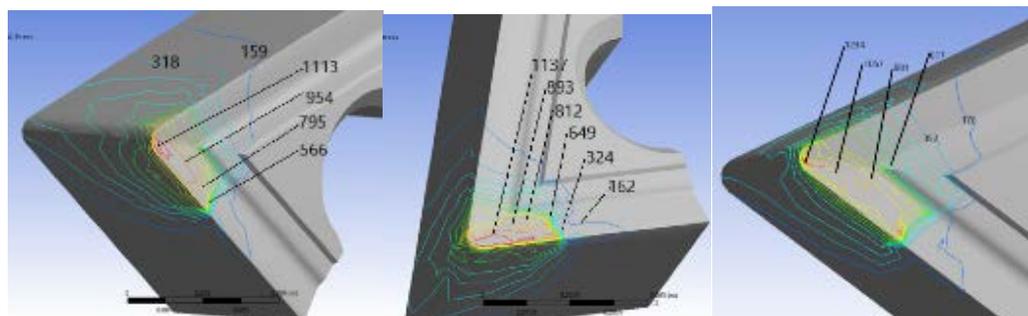
Рис. 3.9.1. Зависимость направления схода стружки от угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$

уязвимая для разрушения вершина резца занимает наинизшее положение по сравнению с другими точками главной режущей кромки.

На чистовых операциях применяют отрицательные значения угла  $\lambda$ , так как в этом случае нагрузка на режущий клин относительно невелика, а стружка отводится в направлении от обработанной поверхности. В этом случае вершина резца по сравнению с другими точками главной режущей кромки занимает наивысшее положение. Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то угол  $\lambda=0^\circ$  - СМП с этим углом применяются наиболее часто.



Распределение эквивалентных напряжений в 3-гранных СМП при  $s = 0,368$  мм/об ( $a = 0,368$  мм при  $\varphi = 90^\circ$ ) и  $\lambda = -7^\circ$  представлено на рис. 3.9.3.

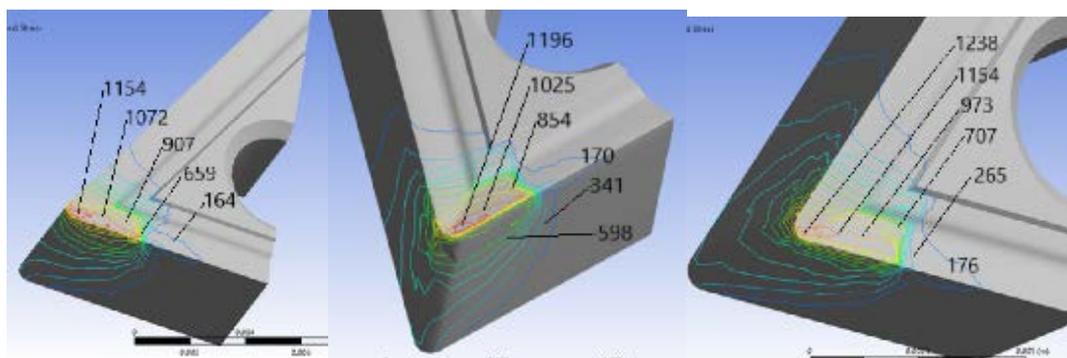


$h=0$  мм

$h=0,2$  мм

$h=0,7$  мм

а)  $h_3=0$  мм;

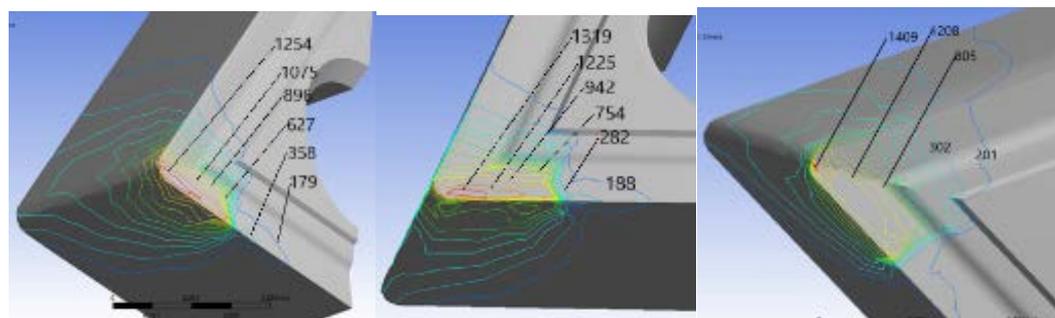


$h=0$  мм

$h=0,2$  мм

$h=0,7$  мм

б)  $h_3=0,2$  мм;



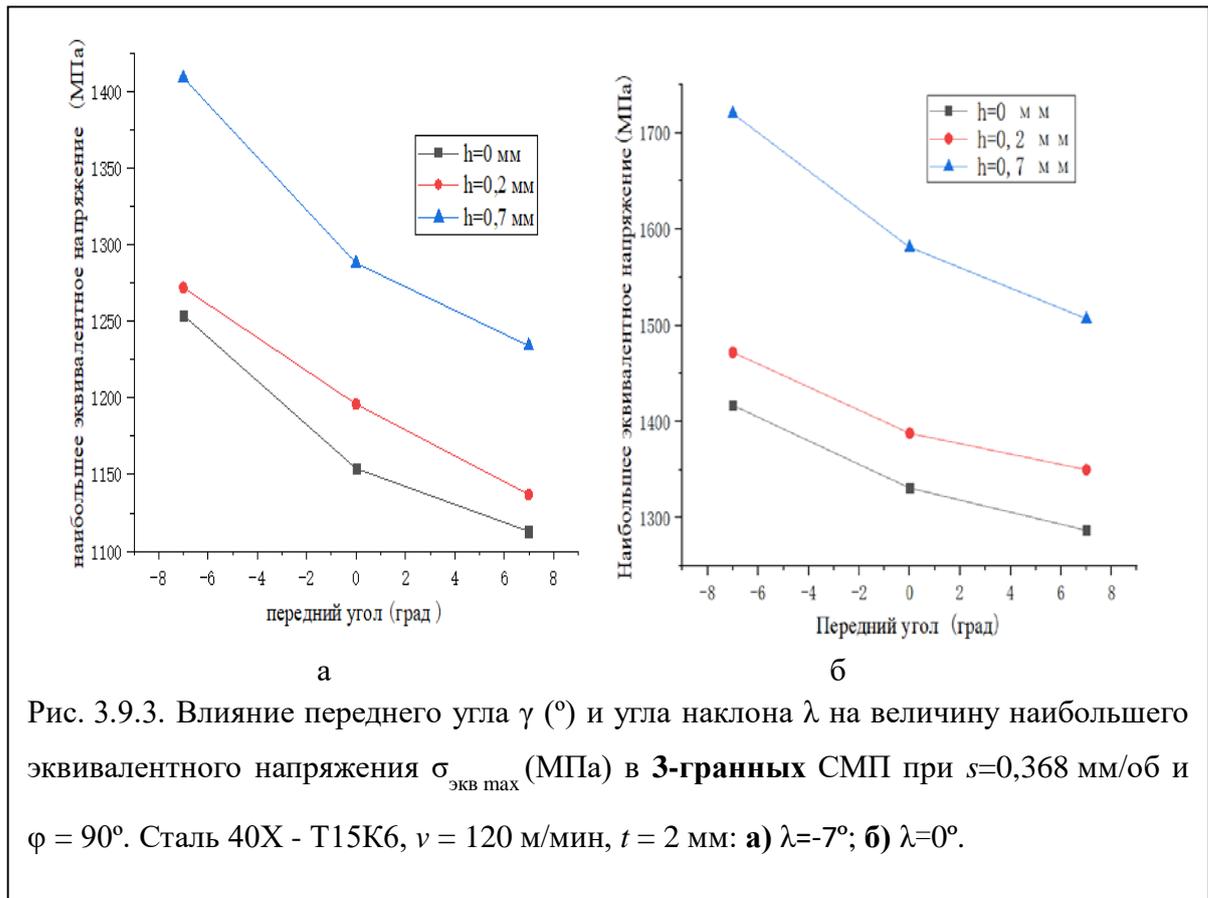
$h=0$  мм

$h=0,2$  мм

$h=0,7$  мм

в)  $h_3=0,7$  мм.

Рис. 3.9.2. Распределения эквивалентных напряжений в треугольной СМП при нагружении нагрузок по их эпюрам при  $\lambda = -7^\circ$ . а)  $\gamma = 7^\circ$ ; б)  $\gamma = 0^\circ$ ; в)  $\gamma = -7^\circ$ ; (Сталь 40Х-Т15К6;  $h = 0$  мм, 0,2 мм, 0,7 мм;  $t = 2$  мм;  $v = 120$  м/мин)



При угле наклона  $\lambda=-7^{\circ}$  изменяется направление схода стружки и вектора результирующей силы резания, наибольшее эквивалентное напряжение в 3-гранных СМП ниже чем при  $\lambda=0$ . Это не противоречит известной практике применять положительный угол лямда при точении с ударами, т.к. -здесь рассмотрен случай установившегося резания. При  $\lambda$  отличным от нуля увеличивается сила и температура резания, что вызывает увеличение интенсивности износа. Только при ударе положительный угол  $\lambda$  спасает вершину резца или СМП от выкрашивания.

### Вывод:

1. В основе построения эпюр контактных напряжений на передней поверхности лежит определение физических составляющих  $N$  и  $F$  силы резания, длины контакта стружки с инструментом  $s$ , стабильность характера

эпюры касательных контактных напряжений и изменение коэффициента трения на передней поверхности.

2. После построения эпюр обязательно должна быть выполнена проверка равенства физических составляющих силы резания, рассчитанных по эпюрам, с физическими составляющими силы резания, измеренными при резании.

3. Только приложение на передней поверхности резца контактных напряжений, имеющих реальное распределение, даёт достоверные результаты расчёта эквивалентных напряжений в режущем клине.

4. Увеличение по абсолютному значению переднего угла с  $+7$  до  $-30^\circ$  приводит к существенному росту удельных сил резания при больших толщинах среза (более  $0,16$  мм), особенно  $q_{Pxy}$ . Более существенное увеличение удельных сил резания наблюдается при переднем угле менее  $0^\circ$ .

5. Упрочняющая фаска уменьшает наибольшее эквивалентное напряжение почти в полтора раза и поэтому уменьшает вероятность выкрашивания режущей кромки.

6. При угле  $\lambda$  отличным от нуля увеличивается сила и температура резания, что вызывает увеличение интенсивности износа. ТОЛЬКО при ударе положительный угол лямда спасает вершину резца или СМП от выкрашивания.

7. Был выявлен оптимальный передний угол  $+25$  градусов.

8. При толщине среза менее  $0,07$  мм у режущей кромки происходит увеличение напряжения из-за уменьшения длины контакта стружки. Это приводит к увеличению нормальных **контактных** напряжений, поэтому наибольшее эквивалентное напряжение у режущей кромки существенно увеличивается.

9. При увеличении толщины среза более  $0,07$  мм происходит увеличение напряжений, особенно интенсивно при длине фаски износа по задней поверхности более  $0,5$  мм.

## Раздел ВКР на иностранном языке

### Calculating the distribution of normal and shear contact stresses in cutting steel

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ци Мэнсюй		25.05.21

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Козлов В.Н.	к.т.н.,		25.05.21

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Айкина Т.Ю.	к.ф.н		25.05.21

## INTRODUCTION

The emphasis in machine manufacturing is on improving the performance of cutting tools. At present, most cutting tools are equipped with indexable inserts, because they are quickly replaced when worn out. Therefore, it is urgent and important to study their strength.

The stability of an indexable insert depends on its durability in proper cutting. Durability depends on wear strength and brittle fracture. In order to evaluate the probability of cutting edge breakage and determine the reasonable geometry and machining mode, it is necessary to calculate the stress-strain state of indexable inserts.

Research objective:

- 1 Determine the length of the chip contact with the rake surface of the cutting tool at different side-rake angles and cutting modes and the empirical formulas for its calculation.

- 2 Measure the technological components of the cutting force and calculate its physical components.

- 3 Plot the contact stress equres when processing steel at different side-rake angles and cutting modes;

- 4 Determine empirical formulas for calculating the main parameters of contact stress plots at different side-rake angles and cutting modes;

- 5 Calculate the stress-strain state of the cutting tool at different side-rake angles;

- 6 Determine the rational geometric parameters of the indexable inserts and the maximum permissible feed and depth of cut for the selected geometry of the indexable inserts.

Scientific innovation:

- 1 Equres of contact stresses during steel processing at negative side-rake angles and various feedings have been constructed;

- 2 Empirical formulas for calculating the main parameters of contact stress equres at different side-rake angles and cutting modes have been determined.

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

### 1) Investigation of the distribution of contact stresses on the rake surface of the tool

The method of “section tool” is used for research of contact stresses distribution. It is very labour-consuming and demands the use of rigid special four-component dynamometer. Chipping and breakage of cutting plates often occur in cutting difficult-to-machine materials, which causes the repetition of all series of experiments.

$$q_{P_Z} = q_N = \frac{P_{Z_{Ai}} - P_{Z_{A(i-1)}}}{(X_{i-1} - X_i) B_i} \quad q_{P_Z} = q_N = \frac{P_{Z_{Ai}} - P_{Z_{A(i-1)}}}{(X_{i-1} - X_i) B_i}$$

In a more reliable method, a very wide cutting tool (120 mm wide) is used, which consists of two parts – plate A and plate B (Fig. 1) [3]. The gap between the plates should not be more than 0.02 mm. This gap is positioned so that the distance from the cutting edge to the gap  $x_i$  varies discretely from 0.2 mm to a value slightly greater than the length of the chip contact with the rake surface of the cutting tool after 0.1-0.2 mm.

When measuring the contact loads on the rake surface of the cutting tool with a rectangular free cutting of the disk of the processed material, the forces acting on the plate A and on the plate B of the

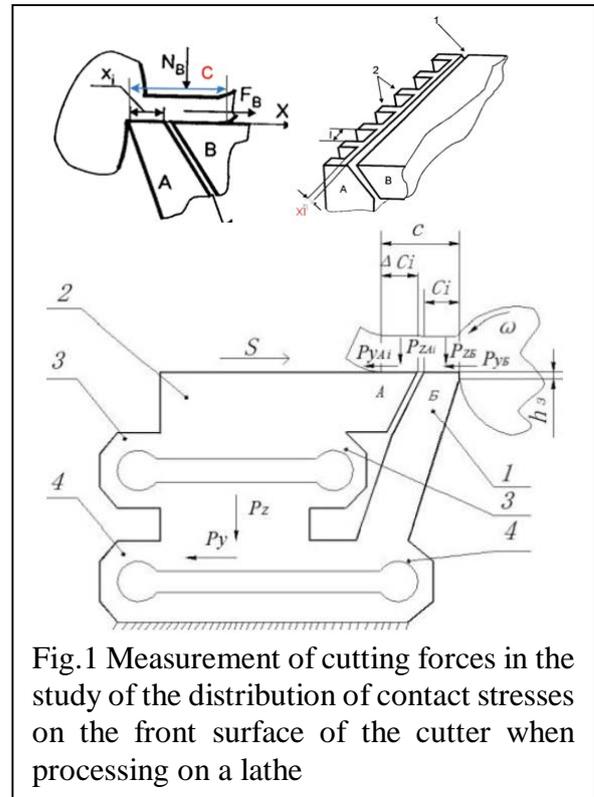


Fig.1 Measurement of cutting forces in the study of the distribution of contact stresses on the front surface of the cutter when processing on a lathe

split cutter are measured.

By sequentially reducing the length of the section of the plate B, and thereby increasing the length of the chip contact with the plate A, with the same length of the chip contact with the rake surface c, we calculate the contact loads as the ratio of the force increment on the plate A to the increment of the contact area on its surface.

Specific normal and tangent forces on the rake surface are

$$q_{PZ} = q_N = \frac{P_{Z_{Ai}} - P_{Z_{A(i-1)}}}{(X_{i-1} - X_i) B_i} \quad q_{PZ} = q_N = \frac{P_{Z_{Ai}} - P_{Z_{A(i-1)}}}{(X_{i-1} - X_i) B_i}$$

The polarization-optical method allows us to determine the nature of the stress distribution, the change in the coefficient of friction along the front surface of the cutter (Fig.2), but its use is possible only when processing soft materials (for example, lead, cadmium, etc.) at low cutting speeds. In this method, the cutting tool is made of an optically active material, for example,

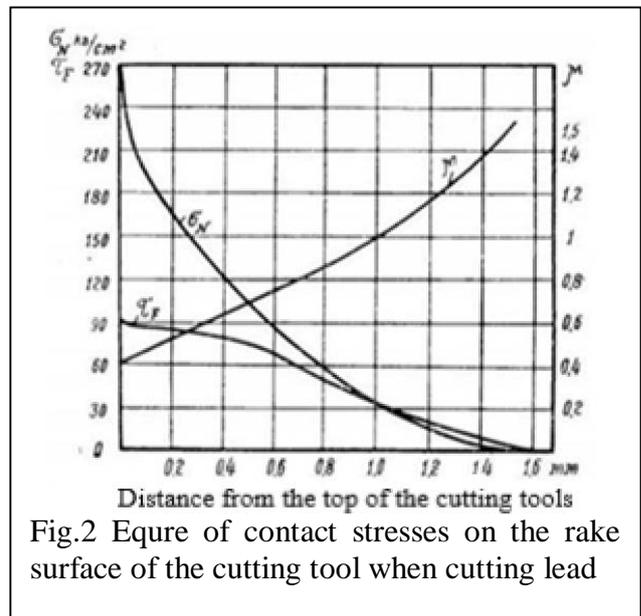
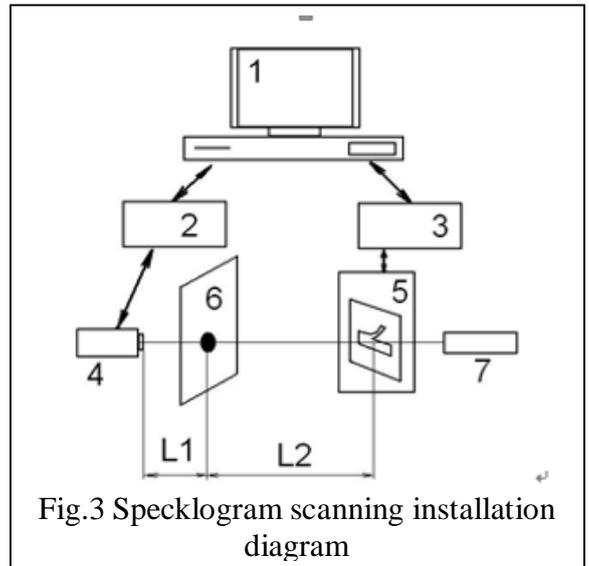


Fig.2 Equire of contact stresses on the rake surface of the cutting tool when cutting lead

Plexiglass, which changes its optical properties when the internal voltage changes.

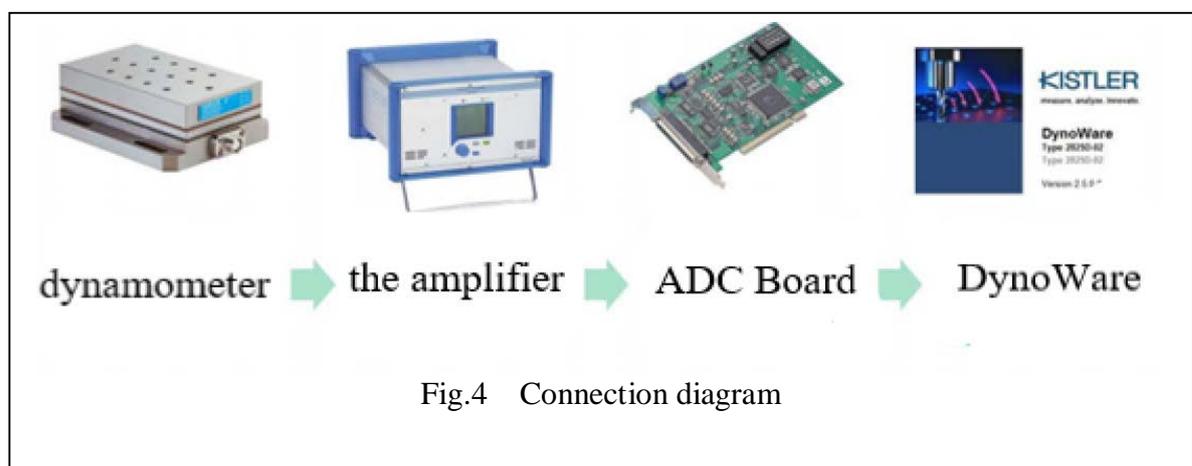
The method of laser interferometry is that a polarized monochromatic laser beam is directed to the side surface of the workpiece and the tool. Monochromatic light is used to prevent the light from splitting into a spectrum, which reduces the clarity of the band patterns. The light reflected from the cutting tool and the workpiece enters the screen, where the interference of the light waves of the base



and the radiation reflected from the side surface of the cutting tool occurs due to the microscopic increase in the width of the cutting tool under the action of the cutting force. With this method, it is difficult to separate the normal and tangent contact stresses, as well as those acting on the front and rear surfaces.

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

When constructing the contact stress equres on the rake surface, it is necessary to know the physical components of the cutting force acting on the rake surface and the length of contact of the chip  $c$  (mm) with the rake surface of the cutting tool.



The force acting on the dynamometer leads to the occurrence of electrical signals in the piezoelectric sensors. An 8-channel amplifier converter is used to

amplify and convert the signal. The DynoWare software is used for data collection and analysis. The results are displayed on the computer screen and recorded in the computer memory.

The forces that arise during the cutting process are one of the most important factors that must be taken into account when designing a cutting tool.

In the experimental study, the workpiece is turned and the technological components  $P_z$ ,  $P_x$ , and  $P_y$  of the cutting force (H) are measured using a dynamometer.

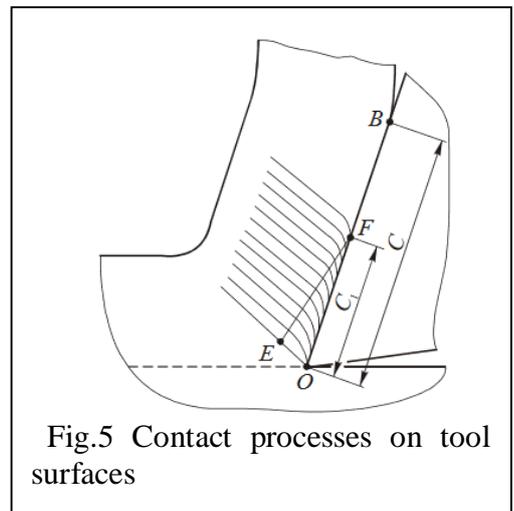
The components  $P_x$  and  $P_y$  add up to give an intermediate resultant  $P_{xy}$  lying in the main plane.

$$\overline{R}_{xy} = \overline{P}_x + \overline{P}_y \quad P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

## 2) Determination of the main parameters of contact stress eatures

At a very small contact area at the cutting edge, large normal stresses are applied. Under conditions of high cutting temperature and intermolecular interaction of the cutting chip layer with the front surface of the tool, the chips no longer move along the front surface of the tool, but along the inhibited layer. External friction is replaced by internal friction. The length of the chip contact with the front surface C consists of two sections:

- 1) OF – plastic contact section with length  $C_1$
- 2) FB-the area of external friction.



Conclusions are obtained from the research of the dependence of the coefficient of friction  $\mu$  on the length of chip c.

1) At the first half (from the cutting edge) of the length of chip contact with the rake surface, the value  $\tau$  is constant, i.e. at the section of plastic contact of the chip with the rake surface with a length of  $c_1 \approx 0.5 C(\text{mm})$ ;

2) At the second part of the chip contact length,  $\tau$  decreases almost rectilinearly to zero at the point of chip separation from the front surface;

3) At the relative length of the chip contact  $\psi = x_i/s \approx 0.4$ , i.e. at  $x = 0.4 \times C$ , there will be an intersection of the graph  $\sigma$  with the graph  $\tau$ , since at this point the conditional coefficient of friction  $\mu = 1$ ,  $\tau = \sigma$ .

4) The eque of normal contact stresses  $\sigma$  in the region  $x \leq 0.5 s$  has a small horizontal section, i.e.  $\sigma = \text{const}$ , and at a further distance from the cutting edge ( $x > 0.5 C$ ), the eque  $\sigma$  has a section with a rectilinear decrease of  $\sigma$  to zero at the point  $x = C$ .

5) At the end of the chip contact with the rake surface of the cutting tool at the point  $\psi \approx 0.8$  (i.e. at  $x \approx 0.8 C$ ), there should be  $\sigma_i \approx \tau_i / 1.6$

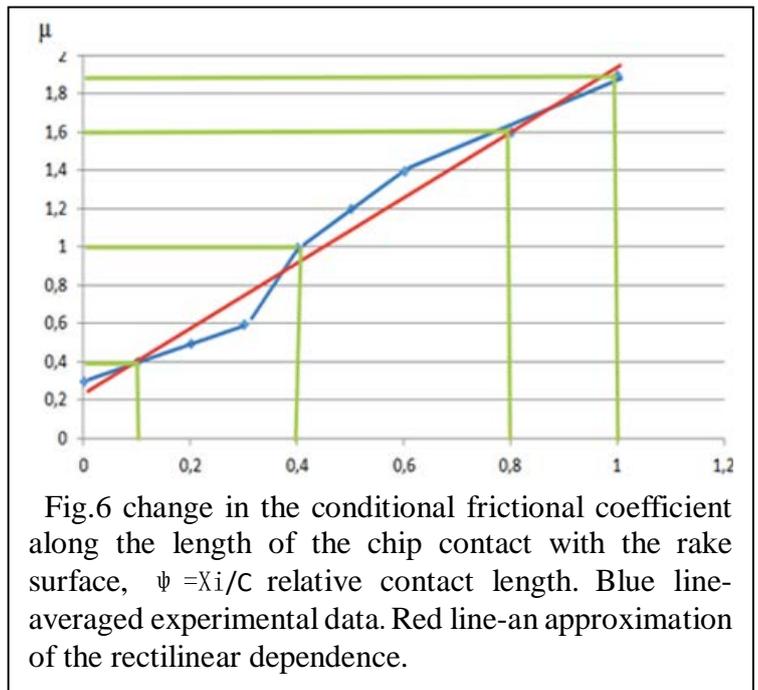
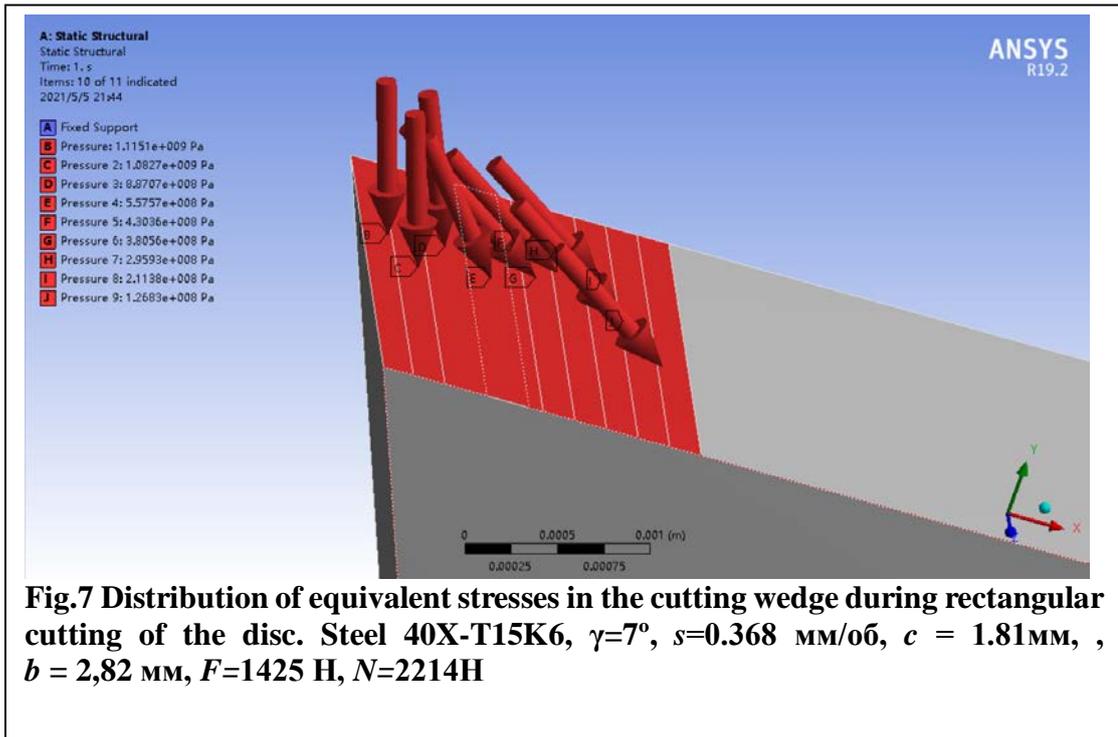
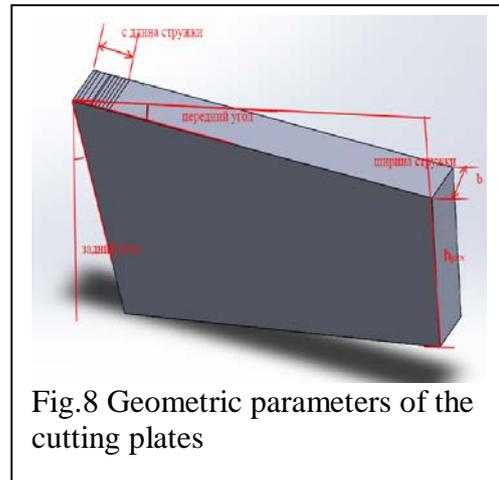


Fig.6 change in the conditional frictional coefficient along the length of the chip contact with the rake surface,  $\psi = x_i/C$  relative contact length. Blue line-averaged experimental data. Red line-an approximation of the rectilinear dependence.



### 3) Investigation of the influence of the feed and side-rake angle on the stress-strain state of indexable inserts.

To study the stress-strain state of cutting plates using the ANSYS program, you need to create a 3D model of the cutting plates. To create the 3D model, we used the Solidworks 2018 software (Figure 8).



\*side-rake angle:  $\gamma=7^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ .

•side-relief angle:  $\alpha=10^\circ$

\* Wedge width  $b=2.82$  mm.

\* The thickness of the calculated area of the  $h_{pacy}$ (the thickness of the cutting plate) will vary from 10 to 20 mm.

## Application of contact voltages with approximately real distribution

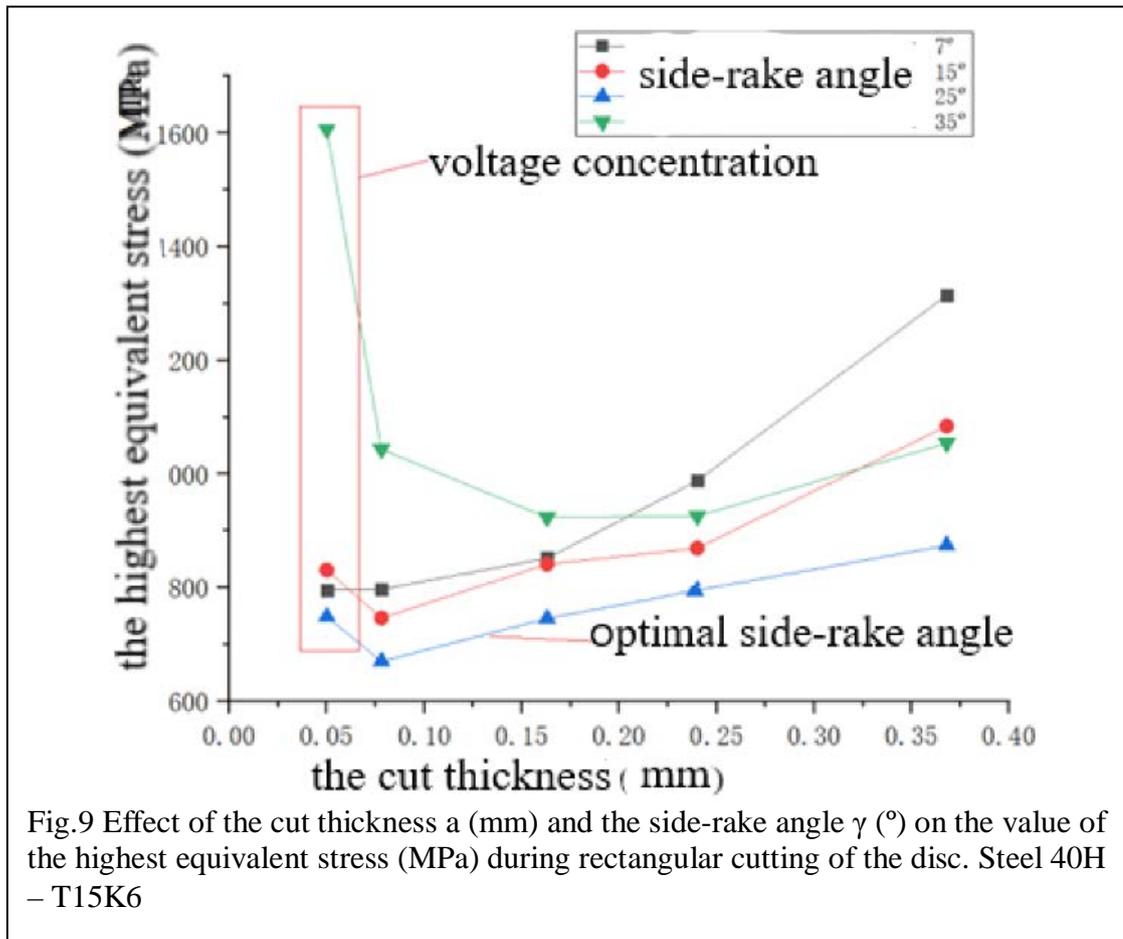


Fig.9 Effect of the cut thickness  $a$  (mm) and the side-rake angle  $\gamma$  ( $^{\circ}$ ) on the value of the highest equivalent stress (MPa) during rectangular cutting of the disc. Steel 40H – T15K6

### Conclusion

1. The construction of contact stress plots on the rake surface is based on the determination of the physical components  $N$  and  $F$  of the cutting force, the length of the chip contact with the cutting tool  $c$ , the stability of the character of the tangential contact stress plot, and the change in the coefficient of friction on the rake surface.
2. After plotting the plots, the equality of the physical components of the cutting force calculated from the plots with the physical components of the cutting force measured during cutting must be checked.
3. Only the application of contact stresses on the rake surface of the cutter that have a real distribution gives reliable results for calculating the equivalent stresses in the cutting wedge.
4. An increase in the absolute value of the side-rake angle from  $+7$  to  $-30^{\circ}$  leads to a significant increase in the specific cutting forces at large cut thicknesses (more

than 0.16 mm), especially  $q_{Pxy}$ . A more significant increase in the specific cutting forces is observed at a side-rake angle of less than  $0^\circ$ .

5. The reinforcing chamfer reduces the greatest equivalent stress by almost one and a half times and therefore reduces the chance of chipping the cutting edge.

6. When the angle of the principal cutting edge inclination  $\lambda$  is different from zero, the cutting force and temperature increase, which causes an increase in the wear rate. ONLY on impact, the positive angle of the  $\lambda$  saves the tip of the cutting tool from chipping.

7. The optimal side-rake angle of +25 degrees was identified.

8. At low feed rates, stress concentration occurs in the area near the cutting edge due to a decrease in the chip contact length. This leads to an increase in the normal contact stresses, so the highest equivalent stress at the cutting edge increases significantly.

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

Студенту:

<b>Группа</b> 4АМ91	<b>ФИО</b> Ци Мэнсюй
------------------------	-------------------------

<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение Школа</b>	Материаловедение
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление /специальность</b>	15.03.01 Машиностроение

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

**Перечень графического материала**

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	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 доцент		08.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ91	Ци Мэнсюй		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 исследование повышения надёжности работы сменных многогранных пластин (СМП), построить эпюры контактных напряжений при обработке стали, определить оптимальные размеры и геометрию режущих пластин.

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

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.**

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие работы о процессе резания :

- 1) Построить эпюры контактных напряжений при обработке стали

2) Рассчитать НДС режущего инструмента при разных передних углах и режимах резания;

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		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	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Надёжность	0,14	5	5	3	0,7	0,7	0,42
3. Простота установления	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
4. Специальное оборудование (динамометра)	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Стабильность соединения с державкой	0,12	4	3	5	0,48	0,36	0,6
6. Эффективность работы	0,1	5	5	4	0,55	0,55	0,44
7. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена на расходы	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
3. Финансирование научного исследования	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>46</b>	<b>43</b>	<b>36</b>	<b>4,66</b>	<b>4,33</b>	<b>3,65</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальность исследования второго конкурента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3$$

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

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие разных СМП для проведения испытания.
С2. Более точные экспериментальные результаты с использующим новым оборудованием.	Сл2. Долгое время подготовки к моделированию при проведении научного исследования.
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С4. Перспективный способ для обработки данных.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ	У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
В2. Появление потенциального спроса на новые геометрии СМП.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Повышение точности.	У3. Развитая конкуренция технологий производства.
В4. Уменьшение стоимости конкурентных разработок.	У4. Возникновение новых технологических производств.
В5. Привлечение других информационных технологий для решения вопросов машиностроения.	У5. Текущие компьютерные программы ANSYS возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4,3–4,6:

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

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	-	+	-
	B2	-	-	+	+	-
	B3	-	+	+	-	-
	B4	+	-	-	-	+
	B5	-	-	+	+	-

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
	B1	-	+	+	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

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

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	-	+	-	-
	У3	-	-	-	-	+
	У4	+	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	+

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

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	-
	У3	-	+	-	-	-
	У4	+	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4,7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа.

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>
--	--	---

	<p>С1. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>С2. Более точные экспериментальные результаты.</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Перспективный способ для обработки данных.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Сл1. Отсутствие разных СМП для проведения испытания.</p> <p>Сл2. Долгое время подготовки к моделированию при проведении научного исследования.</p> <p>Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл5. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS..</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые геометрии СМП.</p> <p>В3. Повышение точности .</p> <p>В4. Уменьшение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В5. Привлечение других информационных технологий для решения вопросов машиностроения.</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В1С2. Более точные экспериментальные результаты с использующим новым оборудованием.</p> <p>В2В3С3С4. Свежая информация и перспективный способ изучения соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие технологии машиностроения и внедрению технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В5С3С4. Более свежая информация и перспективный способ изучения в данной сфере соответствуют привлечение других информационных технологий для решения вопросов машиностроения.</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В1Сл3Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности с использованием оборудования ИНШПТ ТПУ.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более</p>	<p><b>Угрозы развития</b></p> <p>У1С4. Несмотря на отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях, наши исследования обладают высокой перспективностью в данной сфере.</p> <p>У2С2С3. Более точные результаты исследования по сравнению с другими</p>	<p><b>Уязвимости:</b></p> <p>У2Сл4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок угрожает полученным результатам исследования за счёт их погрешности и неопределенности в некоторых случаях.</p> <p>У4Сл1Возникновение новых технологических</p>

<p>ранний их выход на рынок. У3. Развитая конкуренция технологий производства. У4. Возникновение новых технологических производств. У5. Текущие компьютерные программы ANSYS возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке.</p>	<p>технологиями и более свежие результаты по сравнению с зарубежными аналогами. У5С5. Квалифицированный персонал даёт возможность преодолеть проблемы с возможным отсутствием правила использования программы ANSYS.</p>	<p>производств, например технология 3D печати может заменить традиционную технологию.</p>
---	--	---

В результате SWOT-анализа показано, что высокие точные напряженно-деформированное состояние (НДС) СМП получены методом конечных элементов с помощью программы ANSYS. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение тема диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические исследования	3	Изучение литературы по токарной обработке	Инженер
	4	Метод разрезного резца	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Создать 3D моделей СМП, Измерить длины контакта стружки, Расчёт эпюр контактных напряжений и их параметров на передней поверхности.	Инженер
	6	Исследование НДС СМП с помощью программы ANSYS	Инженер, Научный руководитель
	7	Проведение компьютерного эксперимента.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных.	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов.	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4,2)$$

Где:

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

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

$t_{maxi}$  – 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k \quad (4,4)$$

Где:

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

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

$k$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{праз}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48 \quad (4,5)$$

Где:

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 4.9:

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{Pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\text{mini}}$ , чел-дни		$t_{\text{maxi}}$ , чел-дни		$t_{\text{ожи}}$ , 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 тема диссертации, утверждение плана-графика.	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Календарное планирование выполнения диссертации.	1	2	2	3	1,4	2,4	2,4	3
3. Изучение литературы по токарной обработке.	-	40	-	50	-	44	44	65
4. Метод разрезного резца.	-	50	-	60	-	54	54	80
5. Создать 3D моделей СМП, Измерить длины контакта стружки, Расчёт эпюр контактных напряжений и их параметров на передней поверхности.	-	10	-	15	-	12	12	18
6. Исследование НДС СМП с помощью программы ANSYS	30	50	40	60	34	54	54	63
7. Проведение компьютерного эксперимента.	-	5	-	8	-	6,2	6,2	9
8. Обработка полученных данных.	-	8	-	12	-	9,6	9,6	14
9. Оценка правильности полученных результатов.	5	8	6	10	5,4	8,8	8,8	10
10. Составление пояснительной записки.	-	20	-	40	-	28	28	41
<b>Итого:</b>	37	193	50	258	42,2	219	220.4	305

**Примечание:**

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта.

№	Виды работ	Исп	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность работ													
				январь - март			апрель - июнь			Июль - сентябрь			Октябрь - декабрь			январь	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Исп 1	2	■													
2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Исп 1 Исп 2	3	■													
3	Изучение литературы по токарной обработке.	Исп 2	65	■	■	■											
4	Метод разрезного реза.	Исп 2	80			■	■	■									
5	Создать 3D моделей СМП, Измерить длины контакта стружки, Расчёт эпюр контактных напряжений и их параметров на передней поверхности	Исп 2	18						■								
6	Исследование НДС СМП с помощью программы ANSYS	Исп 1 Исп 2	63						■	■	■	■	■				
7	Проведение компьютерного эксперимента.	Исп 2	9														
8	Обработка полученных данных.	Исп 2	14										■				
9	Оценка правильности полученных результатов.	Исп 1 Исп 2	10										■	■			
10	Составление пояснительной записки.	Исп 2	41												■	■	■

**Примечание:**

- – Исп. 1 (научный руководитель);
- – Исп. 2 (инженер);

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования.

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

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

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.

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

Таблица 4.11 – Материальные затраты.

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	5	1 700
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Офисные бумаги А4 (в форме малой коротки)	490	1	490
Итого:			5680

#### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и

эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4,6)$$

Где:  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t \quad (4,7)$$

Где:

$I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $t$  – 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	6	150	150
<b>Итого</b>		150 тыс. руб.			

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 6 года (по формуле 4.6):

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{6} = 0.17$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 4.7):

$$A = \frac{H_A I}{12} \times 10 = \frac{0,17 \times 150000}{12} \times 10 = 21250 \text{ руб}$$

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p \quad (4,8)$$

Где:

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней. (по таблице 4.9 для инженера:  $T_{p2} = 219$  дней, для руководителя:  $T_{p1} = 42,2$  дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} \quad (4,9)$$

Где:

$Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дней (в данном случае  $F_{\text{д}} = 247$  дней);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 118 раб. дней,  $M = 8,1$  месяц, 6-дневная рабочая неделя);

Должностной оклад работника за месяц определяется по формуле 4.10:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} \quad (4,10)$$

Где:

$Z_{\text{мс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя  $Z_{\text{мс1}} = 28600$  руб, а для инженера  $Z_{\text{мс2}} = 11280$  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. Томск);

По формуле 4.10 определяется должностной оклад руководителя за месяц:

$$\begin{aligned} Z_{\text{м1}} &= Z_{\text{мс1}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 28600 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 \\ &= 55770 \text{ руб} \end{aligned}$$

По формуле 4,10 определяется должностной оклад инженера за месяц:

$$\begin{aligned} Z_{\text{м2}} &= Z_{\text{мс2}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 11280 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 \\ &= 21996 \text{ руб} \end{aligned}$$

Среднедневная заработная плата у руководителя рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{55770 \times 8,1}{247} = 1828,89 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата у инженера рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{21996 \times 8,1}{247} = 721,33 \text{ руб}$$

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле 4,8:

$$Z_{\text{осн1}} = Z_{\text{дн1}} \times T_{\text{р1}} = 1828,89 \times 42,2 = 77179,2 \text{ руб}$$

Основная заработная плата инженера рассчитывается по формуле 4,8:

$$Z_{\text{осн2}} = Z_{\text{дн2}} \times T_{\text{р2}} = 721,33 \times 219 = 157971,3 \text{ руб}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$Z_{\text{осн обще}} = Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{осн2}} = 77179,2 + 157971,3 = 235150,5 \text{ руб}$$

Перечисленные информации представляются в таблице 4,14:

Таблица 4.14 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}$ , руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб	$T_{\text{р}}$ , дн	$Z_{\text{осн}}$ , руб
Руководитель	28600	0,3	0,2	1,3	55770	1828,89	42,2	77179,2
Инженер	11280	0,3	0,2	1,3	21996	721,33	219	157971,3
Итого:								235150,5

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле 4.11:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} \quad (4,11)$$

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:

$$З_{\text{доп1}} = K_{\text{доп}} \times З_{\text{осн1}} = 0,15 \times 77179,2 = 11576,8 \text{ руб}$$

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для инженера:

$$З_{\text{доп2}} = K_{\text{доп}} \times З_{\text{осн2}} = 0,15 \times 157971,3 = 23695,7 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$З_{\text{доп обще}} = З_{\text{доп1}} + З_{\text{доп2}} = 11576,9 + 23695,7 = 35272,6 \text{ руб}$$

#### **4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды**

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле 4.12:

$$З_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн1}} + З_{\text{доп1}}) \quad (4,12)$$

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:

$$З_{\text{внеб1}} = K_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн1}} + З_{\text{доп1}}) = 0,3 \times (77179,2 + 11576,8) = 26626,8 \text{ руб}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 4.12:

$$\begin{aligned} З_{\text{внеб2}} &= K_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн2}} + З_{\text{доп2}}) = 0,3 \times (157971,3 + 23695,7) \\ &= 54500,1 \text{ руб} \end{aligned}$$

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

$$З_{\text{внеб обще}} = З_{\text{внеб1}} + З_{\text{внеб2}} = 26626,8 + 54500,1 = 81126,9 \text{ руб}$$

### 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 т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5)k_{\text{нр}} \quad (4,13)$$

Где:

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

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (5680 + 21250 + 235150,5 + 35272,6 + 81126,9) \times 0,16 \\ &= 378480,1 \times 0,16 = 60556,9 \text{ руб} \end{aligned}$$

### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.15:

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям.

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
5680	21250	235150,5	35272,6	81126,9	378480,1	60556,9	439036,8

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Исследование прочности сменных многогранных пластин методом конечных элементов» 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	5680	9438,45	4800
2	Затраты на специальное оборудование	27083	3075	26712
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	235150,5	971582,82	296770,26
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35272,6	145737,42	44515,54
5	Отчисления во внебюджетные фонды	81126,9	291474,84	92031,08
6	Накладные расходы	60556,8	85674,86	74052,62
Бюджет затрат НИР		439036,8	1506983,39	538881,50

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.

**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). Моделирование напряженно-деформированного состояния толстостенных втулок после обработки дорнованием;
- 2). Влияние размеров фасок на наплывы металла на торцах цилиндров, обрабатываемых дорнованием;

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 4.14:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4,14)$$

Где:

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 439036,8$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 538881,5$$

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 1506983$$

$$\Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.1}} = 1506983$$

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{439036}{1506983} = 0,29$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1506983}{1506983} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{538881}{1506983} = 0,35$$

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

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

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

<b>Объекты исследования</b> <b>Критерии</b>	<b>Весовой коэффициент параметра</b>	<b>Текущий проект</b>	<b>Исп.2</b>	<b>Исп.3</b>
1. Безопасность при использовании установки	0,3	5	5	4
2. Стабильность работы	0,15	4	5	3
3. Технические характеристики	0.2	5	4	4
4. Механические свойства	0,2	5	4	5
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	4
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>4,85</b>	<b>4,45</b>	<b>4.05</b>

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для текущего проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0.3 \times 5 + 0.15 \times 4 + 0.2 \times 5 + 0.2 \times 5 + 0.15 \times 5 = 4.85$$

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0.3 \times 5 + 0.15 \times 5 + 0.2 \times 4 + 0.2 \times 4 + 0.15 \times 4 = 4.45$$

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0.3 \times 4 + 0.15 \times 3 + 0.2 \times 4 + 0.2 \times 5 + 0.15 \times 4 = 4.05$$

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

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

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_{\text{р}}^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (4,15)$$

Где:

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

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

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

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_{\text{р}}^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}}} = \frac{4,85}{0,33} = 14,7$$

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

$$I_{\text{эф.исп.1}} = \frac{I_{\text{р}}^{\text{исп.1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,45}{1} = 4,45$$

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

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_{\text{р}}^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4,05}{0,35} = 11,6$$

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

Таблица 4.18 – Сравнительные эффективности разработок.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,29	1	0,35
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,45	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	14,7	4,45	11,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,30	0,78

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

#### **Выводы по разделу:**

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

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общие количества дней для выполнения работ составляет 261 дней. Общие количества дней, в течение которых работал инженер, составляет 219 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 42 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет 439036,8 рублей. (требуемый затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

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

1) Значение интегрального финансового показателя текущего проекта составляет 0,29, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;

2) Значение интегрального показателя ресурсной эффективности текущего проекта составляет 4,85, по сравнению с 4,45 (первого конкурента) и 4,05 (второго конкурента);

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 14,7, по сравнению с 4,45 (первого конкурента) и 11,6 (второго конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это

показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Ци Мэнсуй

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

<b>Исследование прочности сменных многогранных пластин 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	Характеристика объекта исследования: Расчёт на прочность сменных многогранных пластин методом конечных элементов. Лаборатория находится в 16-ом уч. корпусе и в общежитии ТПУ. Основные оборудования: компьютер, станок, динамометр
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>	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Анализ показателей микроклимата 2. Анализ показателей шума 3. Анализ освещенности рабочей зоны 4. Анализ значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	1. Защита селитебной зоны 2. Анализ воздействия объекта на атмосферу ; 3. Анализ воздействия объекта на гидросферу; 4. Анализ воздействия объекта на литосферу ; 5. Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	1. Перечень возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия;

	2.Выбор наиболее типичной ЧС; 3.Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин ШБИП, старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			22.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ци Мэнсюй		22.02.21

## 1. 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.

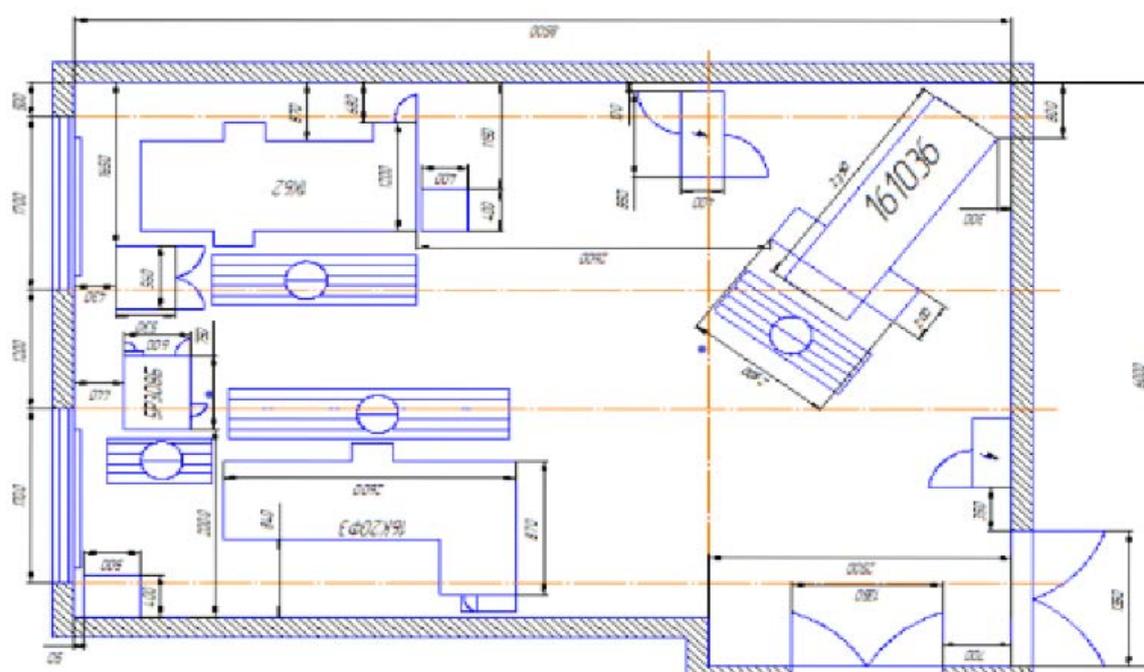


Рис.1.1 Рабочее место (Аудитория101А в 16А корпусе ТПУ)

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.

## 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	Готовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
2. Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Классификация.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
5. Повышенное значение Напряжения в Электрической цепи, Замыкание которой	+	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

может произойти через тело человека.				ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся 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 противозумные 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 изготавливают 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:***

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

#### ***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.



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.

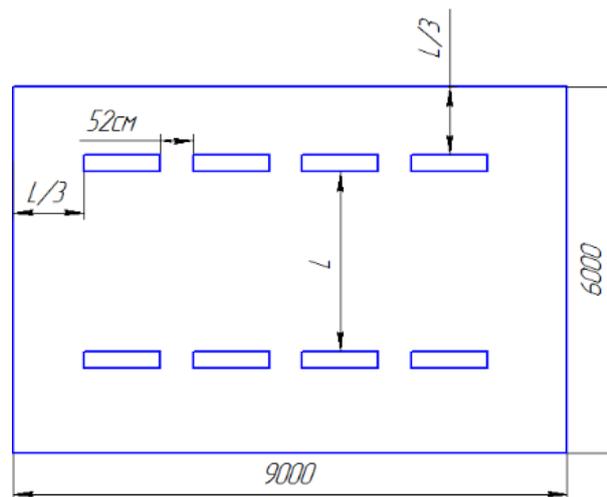


Рис.2.2 План размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле :

$$i = \frac{S}{h \times (A + B)} = \frac{6 \times 9}{2.7 \times (6 + 9)} = \frac{54}{40.5} = 1.3$$

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:

$$\hat{O} = \frac{E_i \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

$E_i$  – нормируемая минимальноосвещённость 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  $E_{ср.} / E_{min.}$ . 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:

$$\Phi = \frac{300 \times 54 \times 1,5 \times 1,1}{16 \times 0,54} = 3094 \text{ Лм}$$

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 и 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 и либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:  $P = \omega \cdot S = 40 \cdot 54 = 2160 \text{ Вт}$ .

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:***

По электрической опасности помещение относится к категории без повышенной опасности.

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

### *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 зажигания 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 позволяет мгновенно обесточить помещение.

## **3 Анализ экологической безопасности.**

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

### **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 образуются многожелезных стружек, мы соберем 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 поражении и других ЧС из 1-го этажа корпуса 16а.

## 5 Заключение

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

же способы уменьшения их воздействия.

Предоставлены сведения об опасных веществах, обращающихся на эксперименте.

Были даны краткие сведения о масштабах и последствиях возможных аварий и мерах безопасности.

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

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М. : Машиностроение, 2014, 520 с.
2. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с.
3. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
4. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148с.
5. Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 352-356.
6. 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
7. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014, № 2, с. 100–113.
8. Каталог инструментов. Твёрдосплавный инструмент российского производства. АО «Кировоградский завод твёрдых сплавов» 2019, открытый доступ [www.kzts.ru](http://www.kzts.ru).
9. Зубарев Ю.М., Современные инструментальные материалы: учебник/ 2-е изд., испр. и доп. —СПб.:Издательство «Лань», 2014, 304с
10. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М.: Машгиз, 1962. 152 с.

11. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
12. 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] .
13. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.
14. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца // Вопросы оптимального резания металлов. – Уфа, Изд-во УФАИ, 1976. – С. 76-78.
15. Чжан, Ц.. Влияние вида износостойкого покрытия на стойкость режущего инструмента [Электронный ресурс] / Ц. Чжан, В. Н. Козлов, Ш. Лю // Современные проблемы машиностроения сборник научных трудов XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Ю. Арляпова [и др.] . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 160-163] . — Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.
16. V. N. Kozlov, Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear, *Proc. 7th Int. Forum on Strategic Technology* (2012) 2 147-151.
17. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
18. 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] .
19. Трибология резания / В. Н. Латышев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО "Ивановский гос. ун-т". - Иваново : Ивановский гос. ун-т, 2009-. - 24 с.
20. Kozlov V. N., Zhang J., Zhang J., Guo Y., Sabavath S. K. Research of Contact Stresses Distribution on Plunge-Cutting into a Steel Workpiece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
21. Vichev S., Kirov V., Hristov D. Strength calculation of cutting tools/ S. Vichev, V. Kirov, D. Hristov.// International Journal of Machine Tools and Manufacture Volume 34, Issue 1, January 1994. pp. 13-18.
22. Calculation of Contact Stresses during Titanium Alloy Cutting / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials Scientific Journal: . — 2018 . — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017) . — [364-370].