

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
Влияние геометрии концевых фрез на их напряжённо-деформированное состояние при резании стали

УДК 621.914.22.011:621.91:669.14:

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Ли Ян		

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин, старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение	Арляпов Алексей Юрьевич			

Томск – 2019 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

_____ Арляпов А.Ю.
«___» _____ 2019

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Ли Ян

Тема работы:

Влияние геометрии концевых фрез на их напряжённно-деформированное состояние при резании стали	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3658/с от 13.05.19

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2019
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать влияние геометрии концевых фрез на их напряжённно-деформированное состояние при резании стали. Рассчитать напряжённно-деформированное состояние режущих пластин для концевых фрез.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор и анализ научно-технической литературы. Формулирование цели и задач исследования влияния геометрии концевых фрез на их напряжённно-деформированное состояние при резании стали. Проведение экспериментов по измерению составляющих сил резании и определению распределения контактных напряжений.

	Исследование влияния подачи фрезы на температуру стружки в зоне контакте. Исследование влияния подачи фрезы на составляющие силы резания.
Перечень графического материала	Картины НДС режущих пластин. Моделирование процесса резания концевой фрезы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Романова С. В.
Раздел ВКР на иностранном языке	Ажель Ю. П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
The influence of the geometry of end mills on their stress-strain state when cutting steel	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.17
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Козлов В.Н.	к.т.н.		10.10.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Ли Ян		10.10.2017

Результаты освоения ООП «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении» (компетенции выпускников)

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Способность применять гуманитарные, естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий	ОПК-1, ОПК-5, УК-1 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения	ОПК-6, ОПК-8, УК-3 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.	ОПК-3, ОПК-11, ОПК-12, УК-1, УК-2, УК-3 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.	ОПК-7 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.	УК-4, УК-5 проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения, проводить обучающие семинары, лабораторные или практические занятия со студентами	ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-6, ОПК-9, ОПК-10 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.	ОПК-5, ОПК-6, УК-1 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.

Р8	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.	ОПК-11 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса. 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам. Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2014 г. N 31692. 40.001 Специалист по патентоведению. Зарегистрировано в Минюсте России 21 ноября 2013 г. N 30435. 28.002 Специалист по контролингу машиностроительных организаций. Зарегистрировано в Минюсте России 23 сентября 2015 г. N 38979. 28.008 Специалист по инжинирингу машиностроительного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2017 г. N 46069. 28.001 Специалист по проектированию технологических комплексов механосборочных производств. Зарегистрировано в Минюсте России 10 июля 2015 г. N 37972. 28.003 Специалист по автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 24 сентября 2015 г. N 38991. 40.013 Специалист по разработке технологий и программ для станков с числовым программным управлением. Зарегистрировано в Минюсте России 04 мая 2017 г. N 46603. 40.052 Специалист по проектированию технологической оснастки механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 10 мая 2017 г. N 46667. 40.083 Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов. Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2015 г. N 35787. 40.100 Специалист по инструментальному обеспечению механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 13 августа 2015 г. N 38513
----	--	---

РЕФЕРАТ

выпускной квалификационной работы

студента гр. 8ЛМ71 Ли Ян

Влияние геометрии концевых фрез на их напряжённо-деформированное состояние при резании стали

Выпускная квалификационная работа выполнена на ____ страниц, содержит: ____ рисунков, ____ таблиц, ____ источников, ____ листов приложений.

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

Объектом исследования является концевая фреза со сменными многогранными пластинами.

Цель работы – подтверждение квалификации «магистр техники и технологии» по направлению 15.04.01 "Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении". В процессе исследования проводились обзор и анализ научно-технической литературы по теме магистерской работы, формулирование цели и задач исследования. В работе представлены результаты исследования сменной многогранной пластины (СМП) для обработки стали, которая непосредственно будет использоваться в концевой фрезе. Приведены экспериментальные данные по стойкости и качеству обработанной поверхности, определены оптимальные режимы резания. В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент. В работе представлены результаты исследования составляющих силы резания, расчётов эпюр контактных напряжений. При проведении экспериментов использовался токарный станок 1К62, трехкомпонентный токарный динамометр Kistler, а также программа «ANSYS» для расчета НДС режущей пластины. Результаты работы позволят использовать оптимальные режимы резания для фрезерования стали и получать более точные изделия в машиностроении.

Степень внедрения: по результатам защиты работы на государственной аттестационной комиссии будет решено, следует ли рекомендовать разработки к внедрению на производстве.

Область применения: производство машиностроительной продукции.

Экономическая значимость работы достаточно высокая.

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

The report
of graduate qualification work
by student of gr. 8LM71 Li Yang
**Influence of the end mills geometry on their stress-strain state
in cutting steel**

Graduate qualification work consists from ____ p. and contains ____ fig., ____ tab., ____ sources, ____ sheets of supplement.

Key words: end mill, replacement multifaceted plate, machinability of steel, strength of cutting tool, wear, stress-strain state of the cutting tool.

The object of research is end mill with replacement multifaceted plates.

The purpose of the work is to confirm the qualification of "master of engineering and technology" of major 15.04.01 "Automation of technological processes and production in mechanical engineering". In the process of the study were carried out: review and analysis of scientific and technical literature on the subject of master's work, the formulation of the goals and objectives of the study. The qualification work presents the study of a replacement multifaceted plate for machining steel, which will be directly used in the end mill. Experimental data on the wear resistance properties are given, the optimal cutting conditions are determined. The work identified the necessary economic parameters, such as: processing capacity, processing costs, tool costs. In the graduate paper results of a research of components of the cutting force, calculation of contact stresses are presented. In the process of the research a 1K62 lathe and the three-component lathe dynamometer "Kistler" were used for experiments. The software "ANSYS" was used for calculating the stress-strain state in the cutting wedge. The data will allow to take into account the optimal cutting conditions for milling of steel, thereby obtaining more accurate products in mechanical engineering.

The degree of implementation: the results of the protection of the state certification commission will decide whether to recommend the development for implementation in the workplace.

Field of application: production of engineering products.

The economic importance of the work is quite high.

In the future, it is planned to participate in the organization of the production of prefabricated milling cutter with carbide inserts.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	10
1. Цели и задачи исследования	11
2. Литературный обзор	12
2.1. Исследование конструкции и технические особенности концевых фрез.....	12
2.2. Исследование сил резания при фрезеровании	18
2.3. Исследование контактных напряжений (нагрузок) и внутренних напряжений.....	20
2.4. Метод конечных элементов (МКЭ)	23
2.5. Влияние износа на точность обработки	24
2.6. Влияние угла наклона винтовой режущей кромки на стойкость фрез.....	26
3. Методика выполнения работы.....	29
3.1. Измерение составляющих сил резания при резании стали	29
3.2. 3D модель режущих пластин.....	33
3.3. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS	34
3.4. Измерение износа на рабочих поверхностях режущих пластин.....	39
3.5. Исследование состояния и сущности сил трения при окончательном точении...40	
3.6. Исследование НДС режущего клина резца при установившемся резании.....	45
3.7. Исследование НДС резца при врезании в стальную заготовку	47
3.8. Исследование НДС режущей пластины концевой фрезы	50
3.9. Моделирование и исследование процесса фрезерования с помощью программы Deform.....	61

3.10. Исследование тенденция составляющих сил резании фрезы при резании стали	64
3.11. Исследование влияния подачи на температуры стружки в зоне контакта	68
3.12. Исследование НДС режущей пластины фрезы при резании стали и алюминии	71
Раздел ВКР на иностранном языке	75
Раздел «Социальная ответственность»	90
Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	110
Список литературы	124

Введение

Фреза концевая является широко используемым в машиностроении металлорежущим инструментом, предназначенным для обработки уступов, пазов и плоскостей небольшой ширины на вертикально-фрезерных станках.

Напряжённо-деформированное состояние (НДС) сменных многогранных пластин (СМП) определяет прочность и надёжность режущих инструментов. Таким образом, исследование влияния геометрии концевых фрез на их НДС при резании стали является актуальным. Кроме этого, форма и геометрические параметры концевых фрез, а также режущих пластин, используемых для сборных фрез, влияют на их стойкость, качество обработанной поверхности и эффективность производства. Исследование влияния геометрии концевых фрез на их НДС при резании стали не только способствуют выбору оптимальных размеров концевых фрез с точки зрения их прочности, но позволит повысить точность обработки за счёт рациональной геометрии и увеличить их стойкость.

Программа Deform является специальной программой для моделирования процесса работы режущих инструментов. С помощью программы мы можем уменьшить себестоимость исследований за счёт моделирования процессов резания, спланировать факторы проведения экспериментов, ускорить проектирование режущих инструментов.

Программа ANSYS является основной программой для исследования НДС. С помощью программы ANSYS мы можем визуально и эффективно получить расчёт НДС режущей пластин.

В данном исследовании представлен общий процесс выполнения исследования НДС режущих пластин концевых фрез методом конечных элементов с использованием программного обеспечение ANSYS и программы Deform.

1. Цели и Задачи исследования

Цель работы: исследовать влияние геометрии концевых фрез на их напряжённно-деформированное состояние при резании стали методом конечных элементов, определить оптимальную геометрию режущих пластин концевых фрез для увеличения их надёжности при черновой обработке стали.

Задачи исследования:

1. Анализ литературы по исследованию концевых фрез на прочность и стойкость.
2. Освоить моделирование процесса работы концевых фрезы с помощью программы Deform.
3. Измерить составляющие силы резания при фрезеровании и определить распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях режущих пластин.
4. Исследовать напряженно-деформированное состояние режущих пластин концевых фрез при резании стали методом конечных элементов.
5. Исследовать влияние режимов резания на температуру стружки в зоне контакты.
6. Определить оптимальную геометрию концевых фрез для увеличения надёжности их работы при черновой обработке стали и труднообрабатываемых материалов.

2. Литературный обзор

2.1. Исследование конструкции и технические особенности концевых фрез

Конструкция концевых фрез

Режущая кромка – режущая кромка, представляющая собой прямую линию, проходящую под углом к оси фрезы.

Осевое биение – разница между минимальным и максимальным показаниями индикатора (микрометра), установленного по наружному диаметру фрезы на её режущей части, при её вращении.

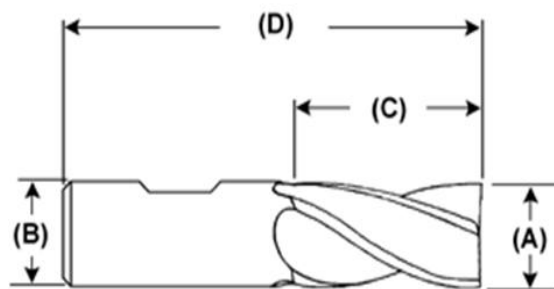


Рис.2.1.1.Конструкция концевых фрез А-диаметр фрезы ;
В-диаметр хвостовика ; С-длина режущей части ; D-общая длина.

Диаметр сердцевины – диаметр цилиндра (или конуса, для конусных фрез), образуемого касательными в точках наибольшей глубины стружкоотводящих канавок.

Подрезка – место входа канавной фрезы или шлифовальной головки при проточке канавок концевой фрезы во время её изготовления.

Режущая кромка (главная) – непосредственно режущая часть зуба, срезающая стружку. Представляет собой пересечение двух хорошо обработанных поверхностей под заданным углом, обычно, не превышающим 90 градусов (рис.2.1.3).

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

Угол в плане (иногда угол входа, угол атаки) – чем ближе этот угол к 90 градусам, тем выше ударная нагрузка на инструмент.

Радиус закругления в основании стружечной канавки — радиус там же, где измеряется диаметр сердцевины.

Стружечная канавка – канал-впадина в теле фрезы в промежутке между зубьями, обеспечивающий вывод стружки наружу. Число стружечных канавок напрямую соответствует числу зубьев, что, в свою очередь, определяет скорость подачи (см. на рис.2.1.2).

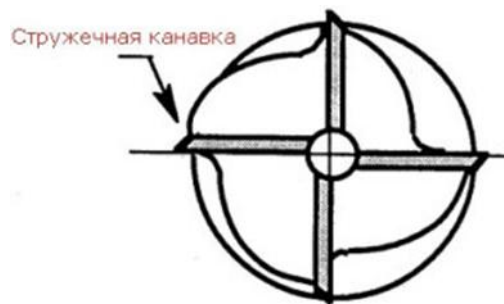


Рис. 2.1.2. Стружечная канавка концевых фрез

Длина стружечной канавки – длина канавки или проточки. Часто неверно используется в значении «длина режущей части».

Хвостовик – часть фрезы, служащая для зажима в патроне станка и передающая режущей части фрезы вращательное движение от шпинделя.

Зуб – выпуклость на теле концевой фрезы с режущей кромкой на ней.

Передняя поверхность – поверхность зуба фрезы, по которой перемещается стружка.

Технические особенности концевых фрез

Глубина резания – длина цилиндрической режущей части, предназначенной для резания (имеющей все необходимые элементы – стружечную канавку, режущую кромку, площадку, переднюю и заднюю поверхности).

Обратный конус – режущая часть фрезы выполнена в виде обратного конуса, когда диаметр рабочей части у хвостовика меньше её диаметра у кончика фрезы.

Обнижение, падение профиля – пустое пространство между фрезой и заготовкой, находящееся со стороны спинки зуба.

Угол обнижения (задний угол) – угол между задней поверхностью и линией, являющейся продолжением режущей кромки. (Рис.2.1.3)

● **Первичный задний угол** – (обычно 5-9 градусов) – угол между первичной задней поверхностью и вектором скорости резания.

● **Вторичный задний угол** – (обычно 14-17 градусов) – по отношению к продолжению задней поверхности.

● **Третичный задний угол** (опционально) – угол наклона третичной задней поверхности по отношению ко вторичной задней поверхности.

Радиус стружечной канавки – термин, используемый чтобы подчеркнуть вогнутость и кривизну канавки зуба. (Рис 2.1.3)



Рис . 2.1. 3. Задний угол концевой фрезы

Поднутрение – впадина в торцевой поверхности фрезы, образованная благодаря скосу его поверхностей внутрь. Степень вогнутости зависит от угла поднутрения торцевой режущей кромки.

Угол поднутрения торцевой режущей кромки – угол, образованный режущей кромкой и плоскостью, перпендикулярной оси фрезы. Целью

поднутрения является гарантированное получение плоской поверхности в результате обработки фрезой. (См. на рис. 2.1.4)

Подточка (перемычки) – вспомогательные прорезы в теле фрезы, облегчающие выход стружки. То же, что и «канавки» но не сбоку фрезы, а в торце (Рис 2.1.5).

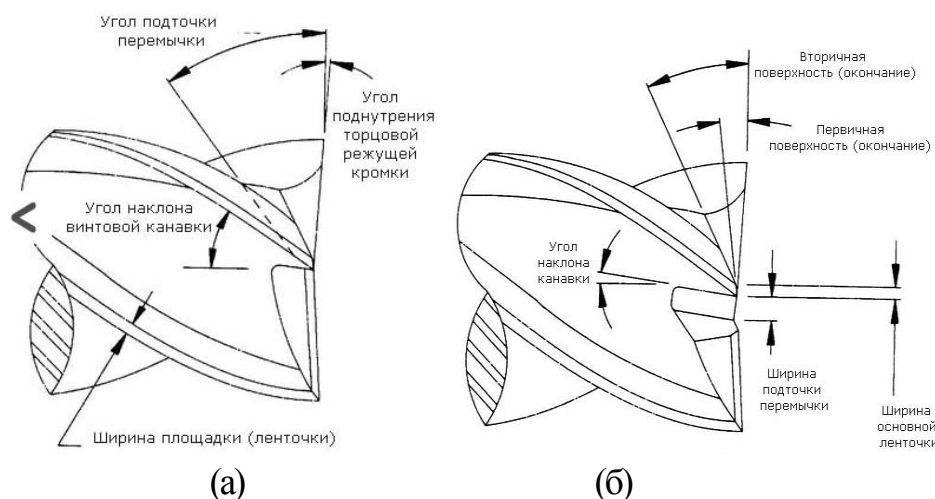


Рис .2.1.4. Конструкция концевых фрез

Винтовая заточка фрезы – режущая кромка или канавка равномерно выходящая вокруг цилиндрической поверхности фрезы в осевом направлении. Нормальное направление вращения спирали – правое.

Угол наклона винтовой канавки – угол, образованный линией, касательной к спирали, и осевой плоскостью (см. на рис. 2.1.4 -а).

Винтовой угол – в большинстве случаев означает то же самое, что и термин «угол наклона винтовой канавки». Означает отклонение передней поверхности зуба по отношению к плоскости, проходящей через ось фрезы.

Угол наклона канавки – угол, образованный плоскостью, проходящей через ось фрезы и линией, совпадающей или касающейся передней поверхности зуба (см. на рис. 2.1.4 -б).

Площадка (ленточка) – узкая плоскость непосредственно за режущей кромкой. На торцевой части – площадка, на цилиндрической — ленточка. (см. на рис. 2.1.4)

Радиальный передний угол – угол, образуемый радиусом, проведенным по нормали к оси фрезы и радиальной передней поверхностью зуба. (Рис 2.1.5)

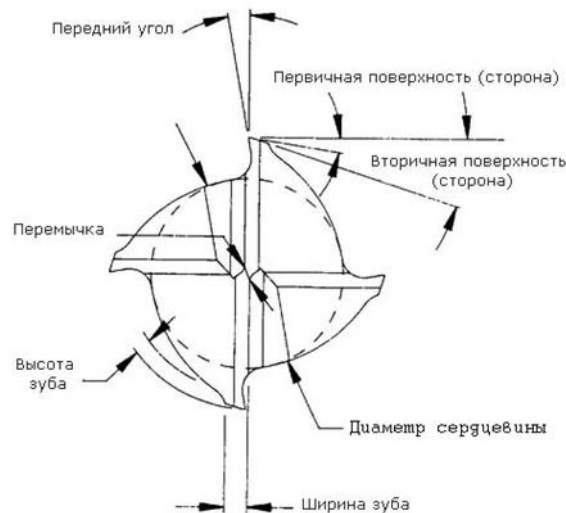


Рис .2.1.5. Конструкция концевых фрез

Отрицательный передний угол – у инструмента с таким углом первоначальный контакт заготовки и зуба инструмента происходит в точке, не находящейся на режущей кромке.

Положительный передний угол – у инструмента с таким углом первоначальный контакт заготовки и инструмента происходит по линии режущей кромки.

Эффективный угол – угол, наиболее сильно влияющий на образование стружки; представляющий собой перпендикуляр к режущей кромке.

Главный задний угол (осевой) – угол между линией, проходящей касательно или совпадающей с задней поверхностью зуба и плоскостью, перпендикулярной оси фрезы.

Осевая задняя поверхность – выборка (подточка) на тыловой части зуба, размер которой измеряется в осевом направлении, между плоскостью,

перпендикулярной оси инструмента, проходящей через режущую кромку и задней поверхностью (подточенной). Предотвращает трение задней поверхности о заготовку и тепловыделение.

Вогнутая задняя поверхность – поверхность, непосредственно за режущей кромкой имеет вогнутую форму. Изготавливается с помощью шлифовального круга, расположенного под углом 90 градусов к оси инструмента.

Выпуклая задняя поверхность – задняя поверхность имеет выпуклую форму (см. ссылку выше). Образуется путем применения I-образного шлифовального круга под углом к оси инструмента.

Подточка углов – необходима только для погружных фрез, а также при переточке инструмента при повреждении или износе углов режущей кромки.

Плоская задняя поверхность – задняя поверхность имеет плоскую форму, на производстве выполняется торцевой частью U-образного шлифовального круга.

Радиальная задняя поверхность – задняя поверхность зуба в радиальном направлении. Может быть измерена индикатором или микрометром в плоскости вращения инструмента по показаниям микрометра на различных углах поворота фрезы.

Тангенциальный главный передний угол – угол, образованный касательной к зубу с вогнутой передней поверхностью зуба, проходящей через режущую кромку, и радиусом, проведенным через ту же точку по плоскости, перпендикулярной оси инструмента.

2.2. Исследование сил резания при фрезеровании

Фреза концевая является широко используемым в машиностроении металлорежущим инструментом.

Фрезерование – удаление заданного на обработку припуска в виде стружки. Процесс образования стружки состоит из врезания острия зуба в обрабатываемую заготовку, смещения одних частиц металла относительно других, образования элементов стружки и отделения образовавшейся стружки от заготовки на поверхности резания.

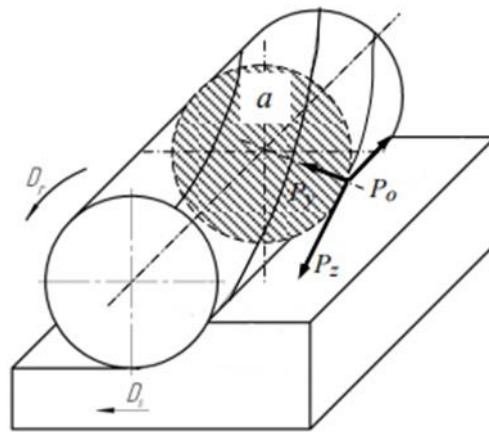


Рис.2.2.1 Силы резания на примере цилиндрического фрезерования фрезой с винтовым зубом.

Из рис 2.1.1 видно, что на винтовой зуб фрезы действуют сила резания P_z , радиальная сила P_y и осевая сила P_o .

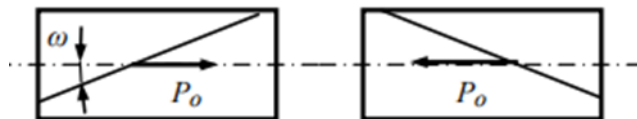


Рис.2.2.2 направления осевой силы.

Осевая сила P_o действует вдоль оси фрезы, направления ее действия зависит от направления спирали зуба.

В сечении a (см. на рис 2.2.1) равнодействующая R' сил резания P_z и радиальной сил P_y может быть разложена на горизонтальную P_x и вертикальную составляющие P_v .

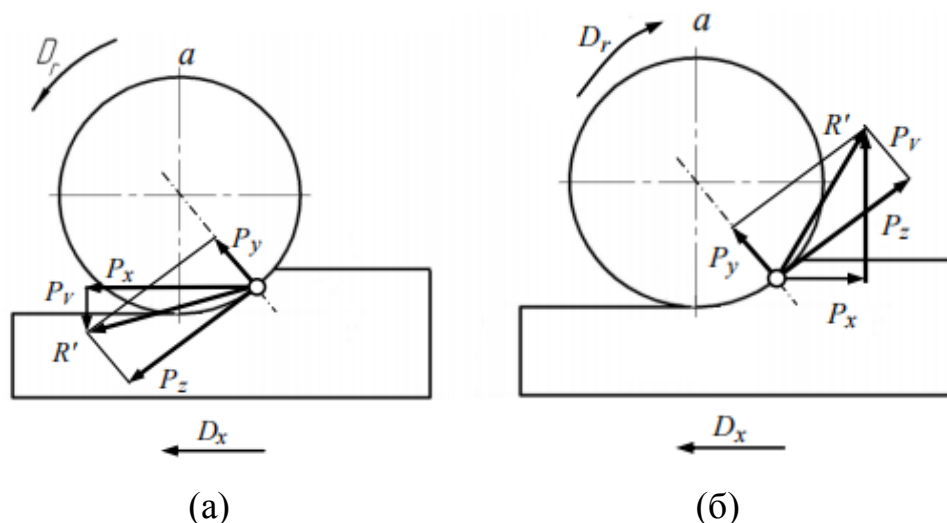


Рис.2.2.3. Действие сил на фрезу:
(а) – при встречном фрезеровании (против подачи) ; (б)-при попутном фрезеровании (по подаче)

При встречном фрезеровании сила P_v прижимает фрезу к заготовке, а сила P_z стремится оторвать заготовку от стола станка, а при попутном фрезеровании сила P_v отжимает фрезу от заготовки, а сила P_z стремится прижать заготовку к столу станка.

На рис.2.2.3 а показано, что при встречном фрезеровании D_r и D_x направлены навстречу друг другу при действии на фрезу сила P_v направлена вниз, а сила P_x (сила подачи) совпадает с направлением подачи.

При попутном фрезеровании направления D_r и D_s совпадают, направления действия сил P_v и P_x на фрезу меняются на противоположные.

Силу P_z рассчитывают по эмпирической формуле:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_{mp}, \text{ Н,}$$

где C_p – постоянная (коэффициент), зависящая от конструкционного и инструментального материалов; C_p принимают равным 101 для твердых сплавов или 68,2 – для быстрорежущей стали;

t – глубина резания, мм;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

B – ширина фрезерования, мм;

D – диаметр фрезы, мм;

n – число оборотов шпинделя, мм/об;

K_{mp} – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала.

2.3. Исследование контактных напряжений (нагрузок) и внутренних напряжений

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

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

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

Приложение силы резания на передней поверхности возможно в виде сосредоточенных нормальной N и касательной F физических составляющих сил. Виды приложения внешних напряжений различаются подразделяются:

- Приложение сосредоточенных составляющих силы резания (рис 2.3.1);
- Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок (рис 2.3.2);
- Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение (рис 2.3.3) .



Рис.2.3.1 Приложение сосредоточенных составляющих силы резания: а – точки приложения сосредоточенных сил; б-замена сил, приложенных в точке, на равномерно распределённые контактные нагрузки на небольшом участке в этой области (на рисунке указано распределение только нормальных нагрузок)

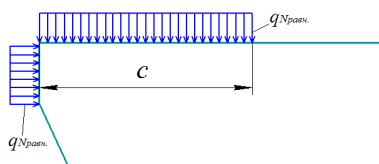


Рис. 2.3.2. Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок

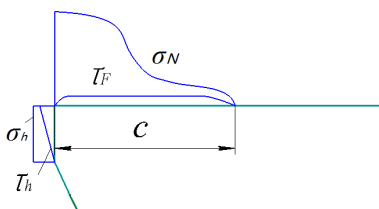


Рис. 2.3.3. Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение

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

Основанный на представлениях о кинетике деформирования и разрушения материалов, критерий прочности Писаренко-Лебедева обладает высокой достоверностью (выше 92%) и описывается выражением для эквивалентного напряжения

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

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

$\sigma_{\sigma}, \sigma_{-\sigma}$ - величины предельного сопротивления материала при одноосном растяжении и сжатии. Интенсивность напряжений в рассматриваемой точке

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

Внутренние напряжения рассчитываются МКЭ (методом конечных элементов) с помощью программы ANSYS. При разном виде приложения внешних напряжений при обработке титанового сплава BT3-1 (BT3-1 – BK8, $\gamma=0^\circ$, $v=1$ м/с, $s=0,41$ мм/об, $h_f=0,2$ мм.), можем отметить:

- 1) Характер распределения эквивалентных внутренних напряжений при внешнем равномерном распределении контактных нагрузок не сильно отличается от характера распределения при реальном распределении внешних нагрузок.
- 2) Наибольшее эквивалентное напряжение у режущей кромки, полученное при действии сосредоточенной нагрузки, в несколько раз больше, чем при действии реального распределения, что не соответствует действительности.

2.4. Метод конечных элементов (МКЭ)

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

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

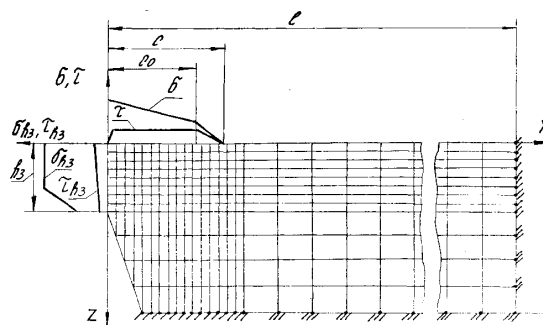


Рис. 2.4.1 Разбивка тела резца на конечные элементы с приложением внешних распределённых нагрузок

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

рис. 2.4.1.

Сейчас благодаря использованию программы ANSYS ,мы можем получить значение внутренних напряжений очевидно и точно методом конечных элементов(МКЭ). Образ распределения внутренних напряжений через программы ANSYS приведены на рис.2.3.2.

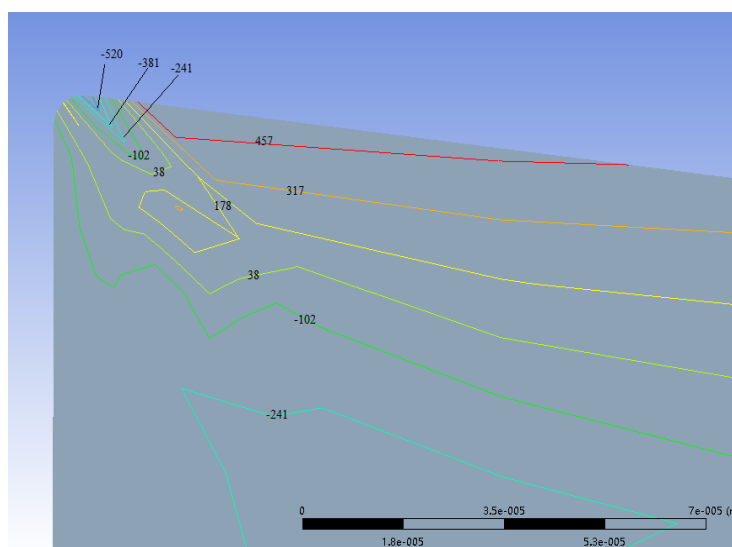


Рис. 2.4.2. Распределение нормального внутреннего напряжения.

2.5. Влияние износа на точность обработки

Лезвийная обработка заготовок сопровождается изнашиванием режущего инструмента. Износ инструмента может проявляться на следующих поверхностях режущего инструмента (рис. 2.5.1):

1) на передней поверхности с образованием лунки износа глубиной h_l и длиной c_d ;

2) на режущей кромке инструмента с образованием округления радиусом ρ ;

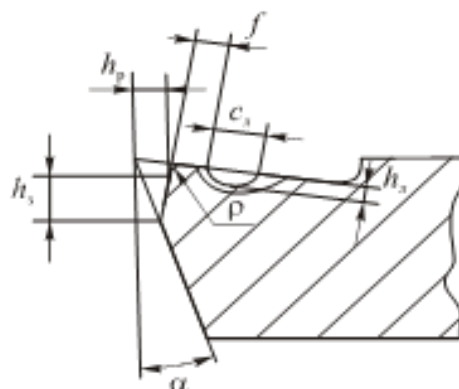


Рис. 2.5.1 Зоны износа режущего клина в главной секущей плоскости

3) на задней поверхности с образованием фаски износа шириной h_3 и с отрицательным задним углом на фаске износа α_h .

Чаще всего в качестве наиболее объективного критерия износа принимается предельно допустимая длина фаски износа по задней поверхности ($h_{3\max}$, или в англоязычной литературе $h_{f\max}$), тем более, что все остальные параметры вызваны увеличением h_3 .

По мере увеличения ширины износа h_3 увеличивается и температура резания, и сила на задней поверхности. Если прочность инструмента недостаточна, то происходит скол режущего клина. Длину износа h_3 в этот момент называют критической по прочности $h_{3\text{ крит.пр}}$ и стараются ни в коем случае не допускать.

Длина фаски износа по задней поверхности при вершине режущего инструмента h_{fv} не равна длине фаски износа по главной задней поверхности h_f . Обычно $h_{fv} > h_f$ в связи с большей температурой резания у вершины режущего инструмента, что вызвано ухудшением теплоотвода в этой области. Поэтому при проведении стойкостных испытаний необходимо измерять не только h_f , как это обычно делается, но и h_{fv} . Величина h_f влияет на составляющие силы резания в большей степени, чем h_{fv} из-за малой доли сил в этой области, особенно при большой глубине резания t ($t > 2$ мм).

При выполнении экспериментов мы получили следующие выводы:

- 1) При закреплении заготовки в центрах и длине заготовки более 200 мм уменьшение диаметра заготовки менее 30 мм приводит к существенной упругой деформации заготовки.

- 2) При закреплении цилиндрической заготовки в центрах изменением диаметра заготовки за счёт упругой деформации заготовки под действием сил резания можно пренебречь при диаметре заготовки более 50 мм и длине менее 200 мм.
- 3) Основной причиной увеличения погрешности обработки заготовки при её диаметре более 50 мм является размерный износ. Для уменьшения его влияния необходимо уменьшить задний угол при вершине до $\alpha = 7^\circ$, что увеличит также прочность режущей пластины.

2.6. Влияние угла наклона винтовой режущей кромки на стойкость фрез

Фрезы с напаянными винтовыми пластинами из твердого сплава и большим углом ω наклона винтовых зубьев к оси довольно сложны и дороги в изготовлении. Все большее распространение получают сборные концевые фрезы (рис 2.5.1) с неперетачиваемыми круглыми или четырехгранными пластинами, которые закрепляют винтами на зубьях стальной фрезы с определённым шагом. Пластины каждого последующего зуба смещают относительно пластин предыдущих зубьев, что обеспечивает съём всего припуска по ширине фрезерования.

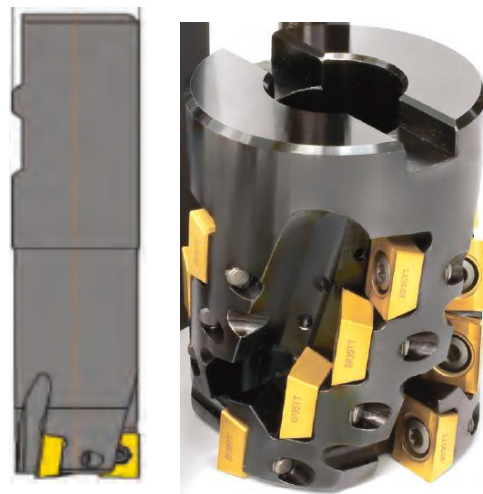


Рис. 2.5.1. Концевые фрезы с механическим креплением СМП

Фрезы такой конструкции могут иметь практически любой угол наклона винтового зуба, а их изготовления не связано с технологическими

трудностями. Установлено, что, увеличивая угол подъёма зубьев (винтовой канавки) ω можно существенно повысить точность и виброустойчивость процесса фрезерования. Однако при обработке углеродистых сталей с увеличением угла ω снижается стойкость фрезы (рис.2.5.2), а следовательно, и производительность обработки. Из рис.2.5.2 видно, что при фрезеровании жаропрочных сплавов, а также цветных металлов и сплавов цилиндрической фрезой с увеличением угла ω от 24° до 60° стойкость фрез повышается.

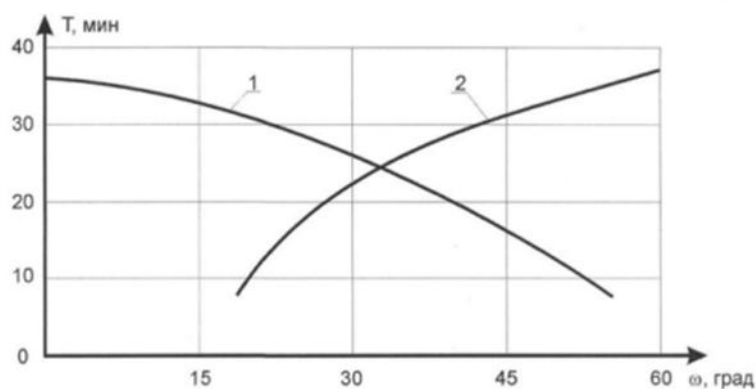


Рис 2.5.2 Зависимость периода стойкости T (мин) цилиндрических фрез от угла ω при обработке углеродистой стали (1) и жаропрочного сплава (2)

Оптимальные условия фрезерования цилиндрическими фрезами по стойкости обеспечиваются при:

$\omega_{\text{опт}} = 0 \div 5^\circ$ при обработке углеродистой стали,

$\omega_{\text{опт}} = 60 \div 65^\circ$ при обработке жаропрочных сплавов,

$\omega_{\text{опт}} = 65 \div 70^\circ$ при обработке цветных металлов и сплавов.

Таким образом, при обработке углеродистой стали максимальный период стойкости имеет прямозубая фреза. Однако точность обработки такой фрезой существенно снижается вследствие повышенной вибрации в процесс резания.

Положительное влияние угла наклона режущего лезвия (главной режущей кромки) λ на шероховатость обработанных поверхностей было прослежено при строгании, фрезеровании и точении [7, 13]. Однако, если при строгании и фрезеровании зависимость шероховатости от угла наклона главной режущей кромки λ имеет монотонно возрастающий характер, то при точении с пластиной $\lambda=0^\circ$ зависимость выглядит иначе, что можно объяснить уменьшением длины активного участка режущей кромки, связанной с поворотом пластины, до величины соизмеримой с величиной подачи на оборот. Поверхность при этом выглядит как резбовая.

При стойкостных испытаниях различных инструментов зависимость стойкости твердосплавного инструмента от угла наклона главной режущей кромки имеет неодинаковый характер (рис 2.5.3)

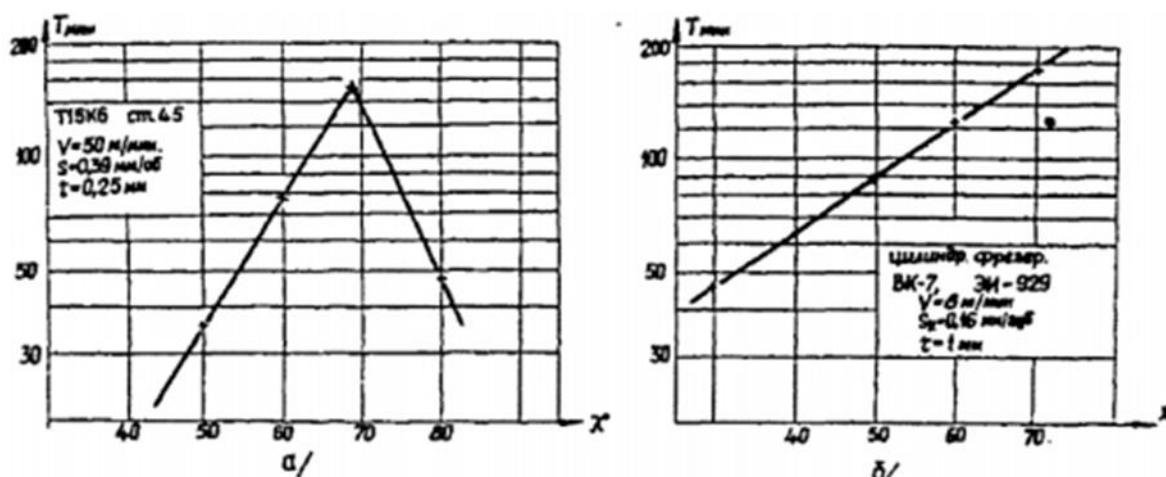


Рис 2.5.3 Влияние угла наклона главной режущей кромки λ ($^\circ$) на стойкость твердосплавного инструмента T (мин): а – точение; б – фрезерование [13]

Винтовые канавки у фрез применяются с целью уменьшения шероховатости (повышения чистоты) обработанной поверхности, обеспечения более спокойных условий резания и с целью создания определенного направления отвода стружки. При обработке широких

поверхностей цилиндрическими фрезами с винтовыми канавками для уравнивания осевых усилий составляется комплект фрез с разным направлением винтовых канавок [2 стр.172].

3. Методика выполнения работы

3.1. Измерение составляющих сил резания при резании стали

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



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



Рис. 3.1.2. Внешний вид динамометра Kistler модели 9257B

Динамометр Kistler модели 9257В имеет следующие преимущества: компактная конструкция, высокое разрешение, высокая жесткость и собственная частота, невосприимчивость к воздействию температуры, стойкость к коррозии, герметичность к проникновению СОЖ [3].

При резании стали на резец действует сила резания P (рис. 3.1.3). Сила резания имеет как величину, так и направление. С целью обеспечения измерения силы, мы раскладываем общую силу резания P на составляющие силы резания P_z , P_y , P_x (рис. 3.1.3).

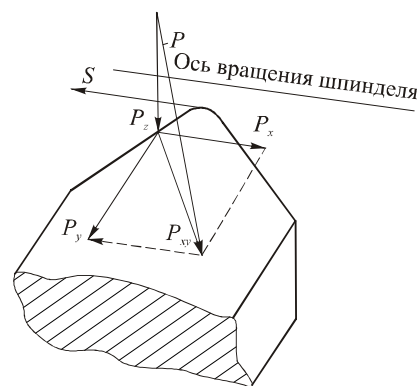


Рис. 3.1.3. Составляющие силы резания P

Пьезоэлектрический принцип идеально подходит для создания высокочувствительных многокомпонентных датчиков упругих деформаций при высокой жёсткости упругих измерительных элементов. Структура многокомпонентного датчика аналогична структуре однокомпонентного датчика, изображенной на рис. 3.1.4. Используется пара кварцевых колец для определения силы в направлении оси Z и две дополнительные пары для определения поперечных сил [3]. Многокомпонентные датчики силы, как правило, не используются отдельно, а устанавливаются совместно, в количестве от 3 до 4 штук, образуя измерительный комплекс.

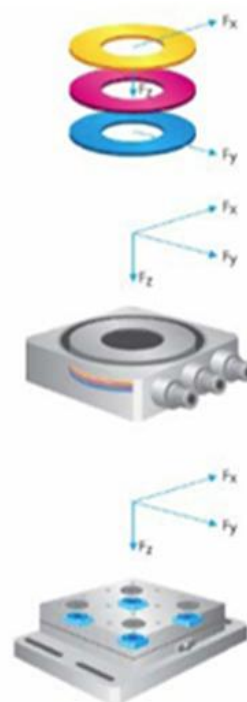


Рис. 3.1.4. Структура трёхкомпонентного датчика силы и его установка в динамометр

Измерение составляющих силы резания концевых фрез, действующих на зубы фрез, затруднено из-за поворота зуба фрезы относительно динамометра при фрезеровании. Поэтому было решено

моделировать начальный этап резания при концевом фрезеровании с углом в плане $\varphi=45^\circ$ продольным точением заготовки резцом, имеющим главный угол в плане $\varphi=45^\circ$, с продольной подачей s (f) (мм/об). Врезание выполнялось в заготовку, имеющую коническую поверхность, оставшуюся после отключения подачи в предыдущем эксперименте с углом в плане $\varphi=45^\circ$, что обеспечивало контакт резца сразу по всей длине режущей кромки в начальный момент её касания, как при встречном фрезеровании. Исследования выполнялись при обработке стали 40Х с пределом прочности на растяжение $\sigma_{\text{с}}=1000$ МПа и твёрдостью $HB\ 220$ с постоянной скоростью резания $v = 2$ м/с, обеспечивающей отсутствие нароста на передней поверхности, и различными подачами $f = 0,07-0,95$ мм/об и глубиной резания $t = 1 - 4$ мм. Радиус округления режущей кромки был равен минимально возможным при заточке на остро ($\rho \approx 0,003$ мм) [4].

Резец устанавливался в динамометре Kistler на токарном станке (рис. 3.1.5), чтобы измерить составляющие силы резания. Для измерения составляющих сил резания был использован резец с режущей пластиной Т15К6 с главным углом в плане $\varphi=45^\circ$, вспомогательным углом в плане $\varphi_1=45^\circ$, радиусом при вершине $r=0,1$ мм, главным передним углом $\gamma=+5^\circ$, главным задним углом $\alpha=12^\circ$, углом наклона главной режущей кромки $\lambda=0^\circ$. На задней поверхности затачивалась искусственная фаска с различной длиной h_f с постоянным задним углом $\alpha_h=0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности. Длина этой фаски при её первоначальной заточке составляла $h_f = 0,95$ мм.



Рис. 3.1.5. Установка резца в динамометр Kistler на токарном станке

Для анализа полученных при измерении сил резания использовалось программное обеспечение DynoWare (рис. 3.1.6), оно универсально и удобно в применении. При анализе сигнала DynoWare обеспечивает непрерывную визуализацию измеряемых кривых, а также имеет все необходимые математические и графические функции. Наряду с простой конфигурацией самых важных средств измерения, DynoWare поддерживает документирование измерительных процессов и хранение данных конфигураций и измерений.

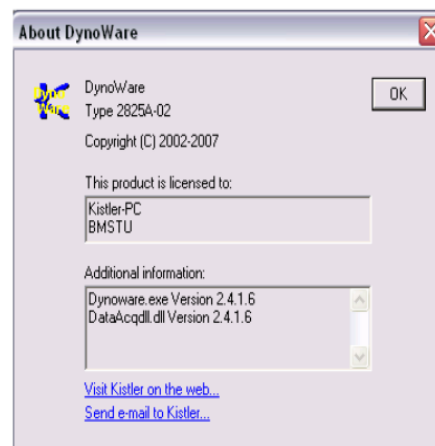


Рис. 3.1.6. Информация программного обеспечения DynoWare

После завершения подготовки мы можем выполнять эксперимент и получить результаты. После обработки данных с помощью DynoWare, мы получили график изменения составляющих сил резания в процессе резания (рис. 3.1.8).

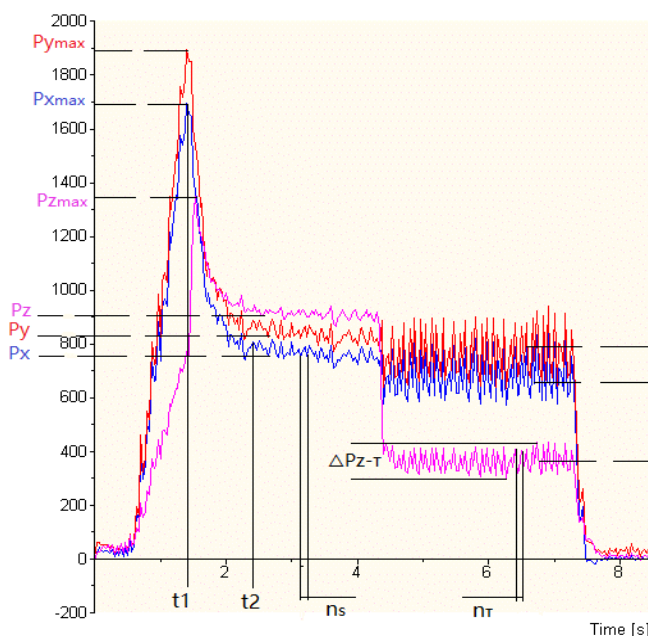


Рис. 3.1.8. Изменение составляющих силы резания при подаче $s = 0,07$ мм/об, фаске на задней поверхности $h_z = 0,775$ мм, скорости резания $v = 120$ м/мин, глубине резания $t = 1,775$ мм, 40X – T15K6. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки (с)

3.2. 3D модель режущих пластин

Для исследования НДС режущих пластин концевых фрез через программу ANSYS, необходимо создать 3D модель режущих пластин. Для создания 3D модели использовали программное обеспечение Solidworks 2017 (рис. 3.2.1). Влияние толщины режущих пластин исследовались Чжан Цзяюй и Хуан Чжэньдун [5], результаты показали, что при изменении толщины пластины от 3 до 5 мм при одних и тех же контактных нагрузках НДС режущего клина существенно изменяется. Поэтому важно использовать те размеры пластины, которые будут использоваться в производственных условиях. На рис. 3.2.2 приведены основные параметры режущей пластины для начального расчёта НДС:

- Передний угол: $\gamma=0^\circ$.
- Главный задний угол: $\alpha=10^\circ$.
- Длина искусственной фаской на задней поверхности, моделирующая износ по задней поверхности $h_3=0,2\text{мм}$.
- Задний угол на этой фаске: $\alpha_3=0^\circ$
- Длина клина $a=9\text{мм}$.
- Ширина клина $b=4\text{мм}$.
- Толщина расчётной зоны $h_{расч}$ (толщина режущей пластины) будет изменяться от 2 до 20 мм.

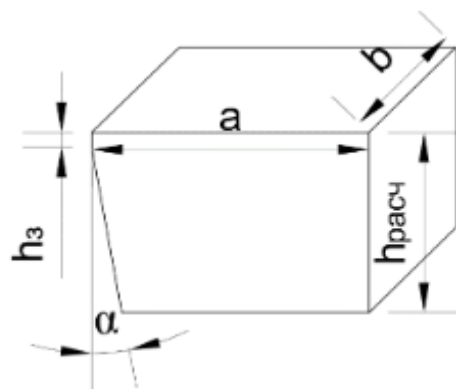


Рис. 3.2.2. Геометрические параметры режущих пластин в исследовании Хуан Ч.

В нашей работе необходимо было создать и исследовать серию моделей, которые имеют различные длины искусственной фаски износа на задней поверхности ($h_3= 0,13; 0,29; 0,54; 0,775; 0,95$ мм), т.к. в работе исследуется

влияние длины фаски износа на задней поверхности режущих пластин. Т.к. в работе исследуется и влияние подачи на напряженно-деформационное состояние режущих пластин концевых фрез. Изменение подачи приводит к изменению длины контакта стружки с передней поверхностью, поэтому имеются модели с соответствующей длиной контакта.

Для того чтобы удобно приложить внешние контактные нагрузки, надо разделить рабочие поверхности режущих пластин на последовательные равномерные части (теория представлена в части 2.3.).

Пример 3D моделей режущих пластин представлен в рис. 3.2.3.

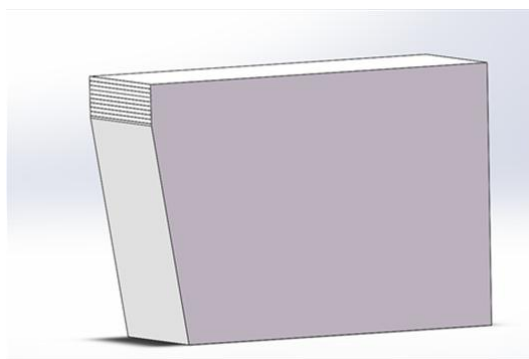


Рис. 3.2.3. Пример 3D модель режущей пластины с фаской по задней поверхности h_3

3.3. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS

Введение характеристик материала модели

Для точного расчёта НДС пластины вводим величины модуля Юнга, коэффициента Пуассона и остальные данные (рис. 3.3.2) о материале и геометрии пластины в интерфейсе программы как «Engineering data» (рис 3.3.1).

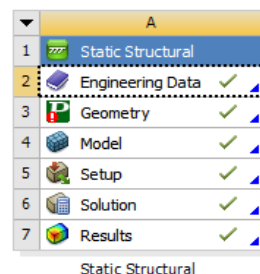


Рис 3.3.1. Интерфейс «Engineering data»

Properties of Outline Row 3: 40x		
	A	B
1	Property	Value
2	Material Field Variables	Table
3	Density	7850
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05
6	Isotropic Elastoty	
7	Derive from	Young's Modulus and Poisso...
8	Young's Modulus	2.15E+11
9	Poisson's Ratio	0.28
10	Bulk Modulus	1.6288E+11
11	Shear Modulus	8.3984E+10
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular
16	Strain-Life Parameters	
24	Tensile Yield Strength	2.9E+08
25	Compressive Yield Strength	2.9E+08
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08
27	Compressive Ultimate Strength	0

Рис. 3.3.2. Ввод физико-механических характеристик материала модели

Размеры конечных элементов

Режущий клин разбивается на прямоугольные и треугольные элементы в зависимости от геометрии режущего клина. Чем меньше размеры элементов, тем выше точность расчёта. Обычная схема разбивки, выбранная система координат и характер наложенных связей на опорные узлы приведены на рис. 3.3.4

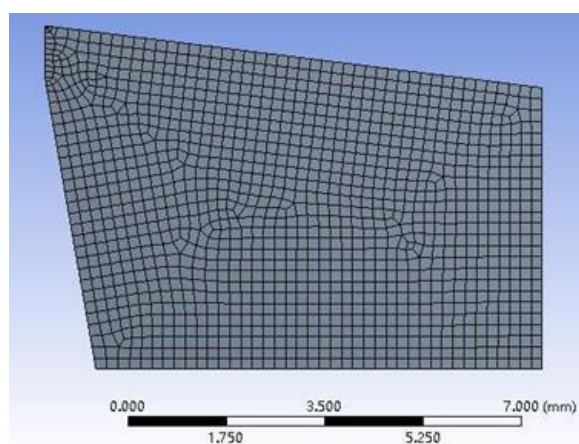


Рис. 3.3.4. Вид конечных элементов

Закрепление модели

Для наиболее точно моделирования процесса резания стали, мы задаём закрепление на двух поверхностях (рис. 3.3.5). В этом случае считается, что за указанными границами ни упругих, ни, тем более, пластических деформаций нет.

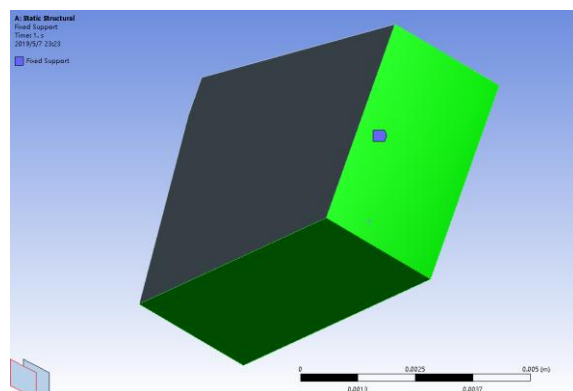


Рис. 3.3.5. Закрепление модели

Приложение внешних контактных нагрузок

Пример приложения внешних контактных нагрузок на задней поверхности приведен на рис. 3.3.6.

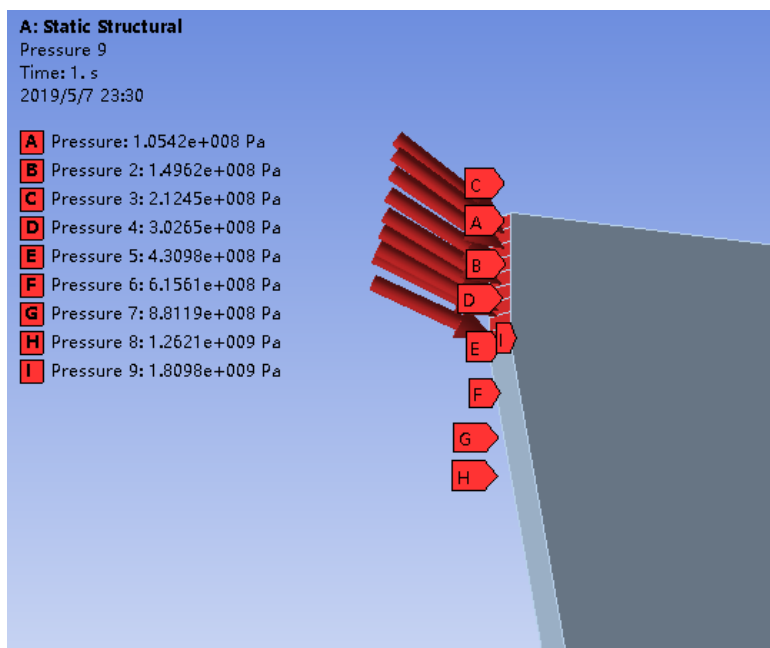


Рис. 3.3.6 приложение внешних контактных нагрузок на задней поверхности

Получение картины НДС режущей пластины

В нашей работе исследовались внутренние эквивалентные напряжения (Equivalent Stress), нормальные (Normal Stress) и касательные напряжения (Shear Stress) в режущем клине. Эквивалентные напряжения показывают интегрированное значение внутренних напряжений в режущей пластине, а нормальные и касательные напряжения показывают виды напряжения: сжимающее напряжение или растягивающее напряжение.

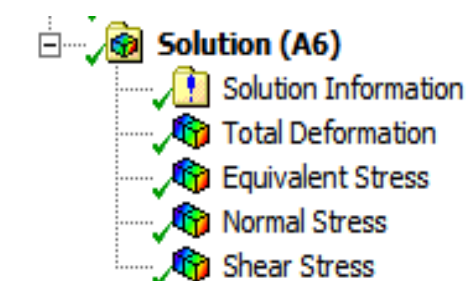
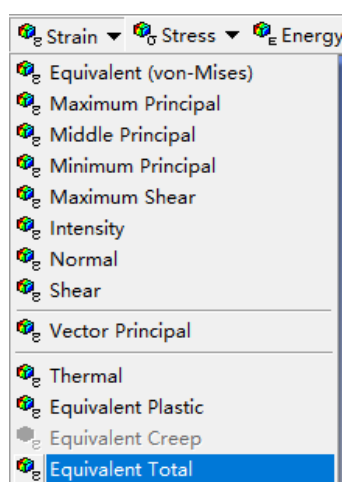


Рис. 3.3.7. Установление требуемых расчётов: деформации модели (мм); эквивалентных, нормальных и касательных напряжений (МПа)

На рис. 3.3.8 представлены примеры распределения деформации, внутренних напряжений, эквивалентных напряжений, внутренних нормальных напряжений и внутренних касательных напряжений в режущей пластине при подаче $s = 0,07$ мм/об, длине фаски $h_3 = 0,95$ мм.

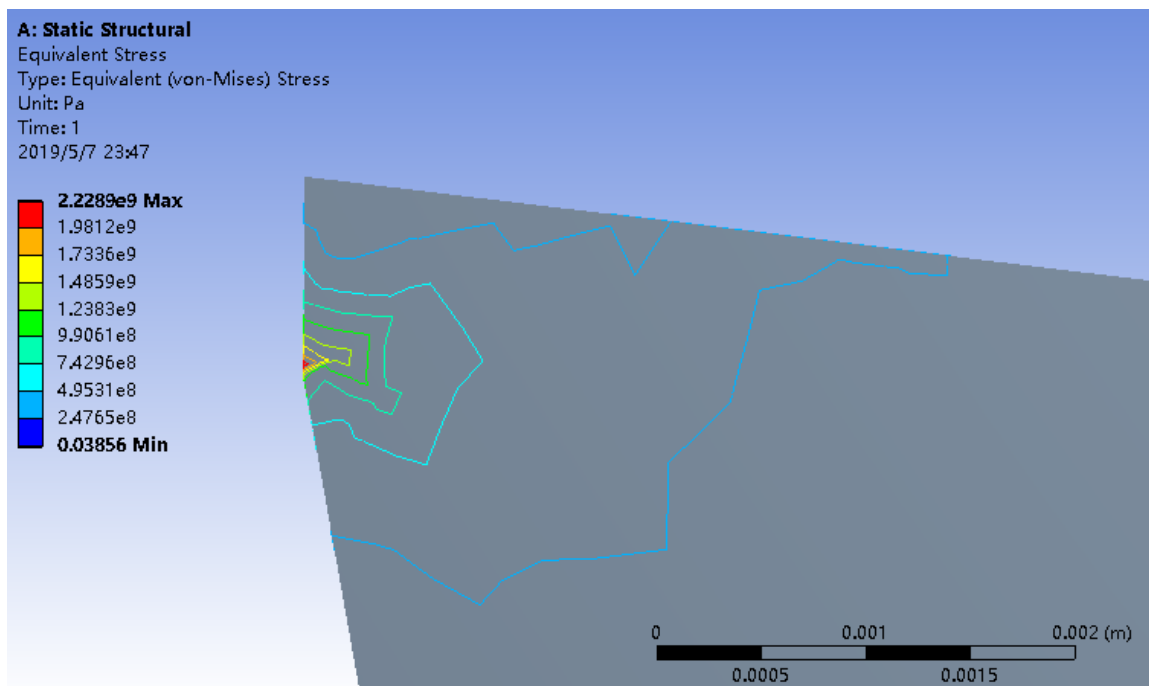


Рис. 3.3.8. Распределение эквивалентных напряжений в режущем клине, МПа.
 Сталь 40Х - Т15К6; $\gamma=+7^\circ$; $h_3=0,95\text{мм}$; $s=0,07\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$

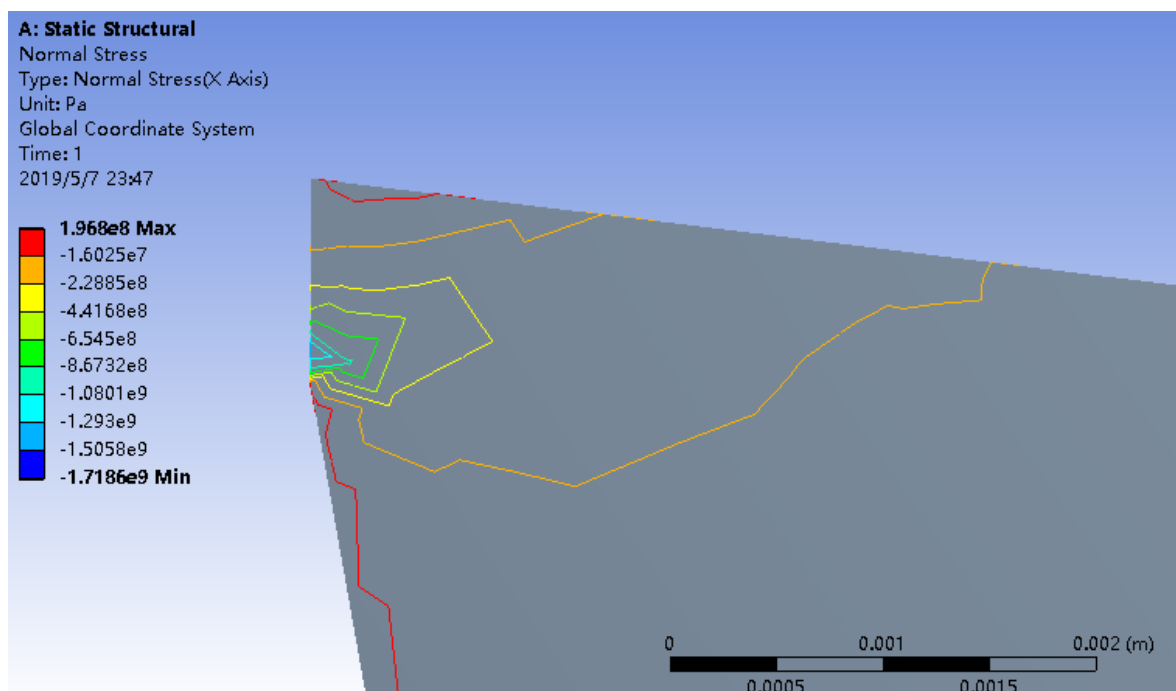


Рис. 3.3.9. Распределение нормального напряжения в режущем клине, МПа.
 Сталь 40Х - Т15К6; $\gamma=+7^\circ$; $h_3=0,95\text{мм}$; $s=0,07\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$

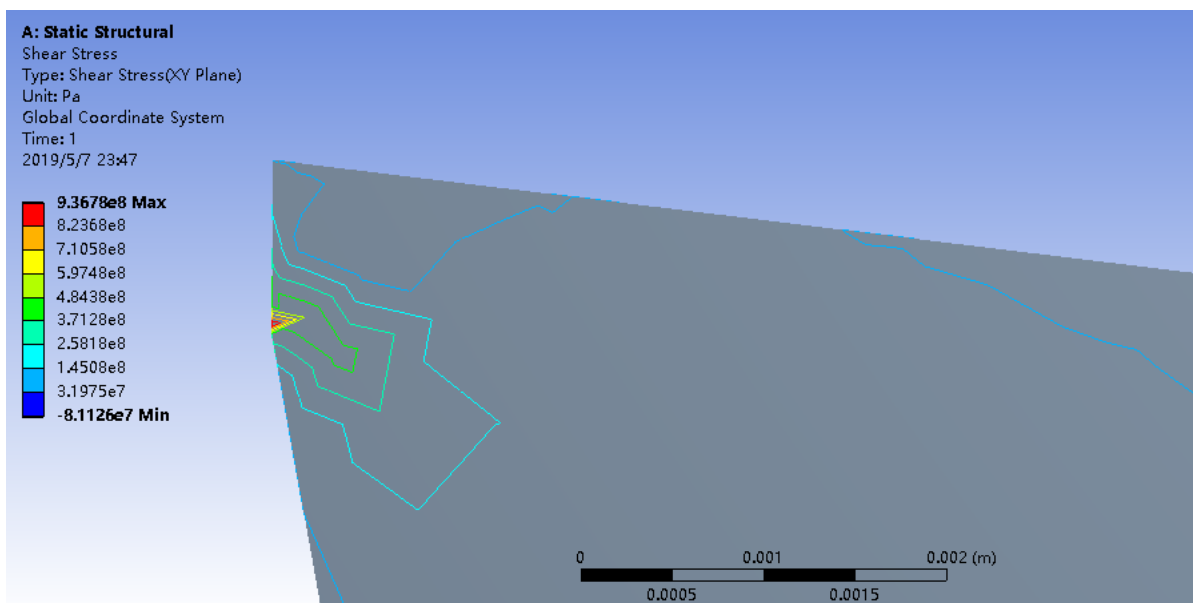


Рис. 3.3.9. Распределение касательного напряжения в режущем клине, МПа.
 Сталь 40X - T15K6; $\gamma=+7^\circ$; $h_3=0,95\text{мм}$; $s=0,07\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/м}$

3.4. Измерение износа на рабочих поверхностях режущих пластин

При резании стали происходит износ режущей пластины. Для исследования её износа пластина исследовалась на большом

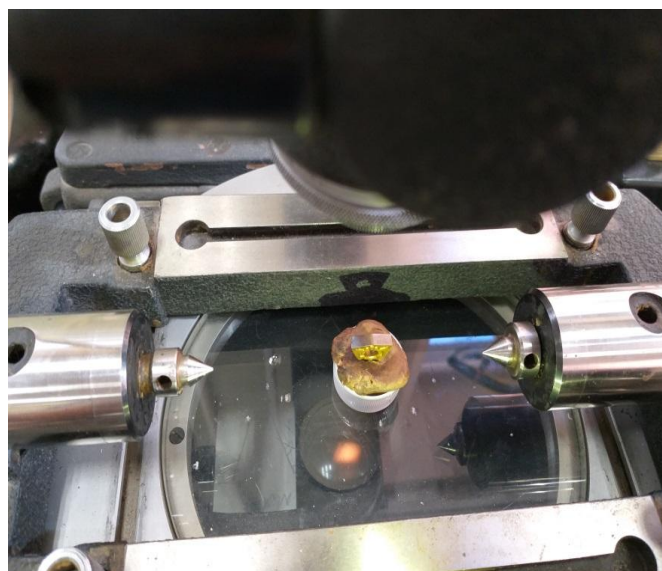


Рис. 3.4.1. Изучение износа режущей пластины на
 большом микроскопе инструментальном (БМИ)

инструментальном микроскопе (рис. 3.4.1).

3.5. Исследование состояния и сущности силах трения после окончания резания

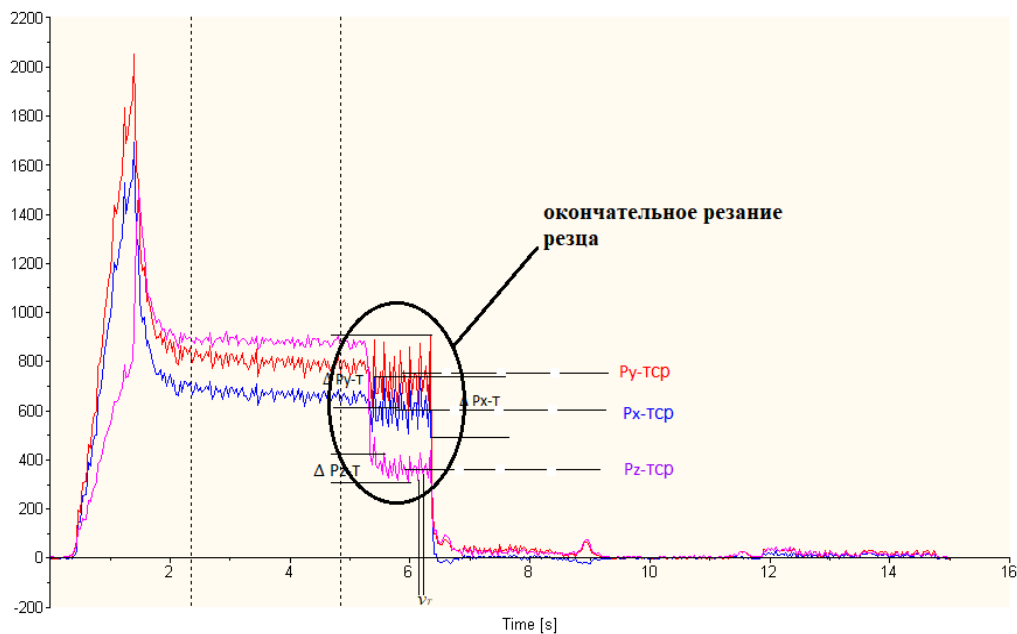


Рис. 3.5.1. Составляющие силы резания при подаче $s = 0,07$ мм/об, длине фаски износа на задней поверхности $h_z=0,95$ мм, скорости вращения $n = 630$ об/мин, глубине резания $t = 2$ мм, 40Х – Т15К6. Ордината – составляющие силы резания, абсцисса – время обработки.

P_x -т ср, P_y -т ср, P_z -т ср - средние значения составляющих силы при трении;
 ΔP_x -т, ΔP_y -т, ΔP_z -т – амплитуда составляющих сил P_x , P_y , P_z при трении

В работе исследовались составляющие силы после окончания точения с разными подачами ($s=0,07 \dots 0,52$ мм/об) и фасками износа на задней поверхности ($h_z=0,13 \dots 0,95$ мм). На рис. 3.5.1 представлен пример графика изменения составляющих силы резания после окончания резания, когда механическая продольная подача отключалась, но резец не отводился от заготовки (на графике время $t \geq 5$ секунд). При этом осуществлялось трение фаски задней поверхности по поверхности резания, т.е. по конической поверхности заготовки.

Силы, возникающие во время трения фаски задней поверхности с поверхностью резания, были значительны (рис. 3.5.1, правая сторона графиков). Наибольшее значение имеет радиальная составляющая силы

при трении P_{yt} , которая всего на 10-15% меньше по сравнению с установившемся резанием. Наименьшая величина у тангенциальной составляющей силы резания P_{zt} , но и она составляет 50% от установившегося резания.

Полученные результаты говорят о том, что в процессе образования стружки контакт с поверхностью фаски на задней поверхности существенно уменьшается, что ещё раз подтверждает наличие прогиба поверхности резания под действием радиальной составляющей силы на передней поверхности инструмента [9].

Графики влияния длины фаски на задней поверхности на составляющие средние силы при трении ($P_{x-тср}$, $P_{y-тср}$, $P_{z-тср}$) и амплитуду этих сил ($\Delta P_{x-т}$, $\Delta P_{y-т}$, $\Delta P_{z-т}$) при постоянной подаче $s=0,07$ мм/об после окончания резания приведены на рис. 3.5.2.

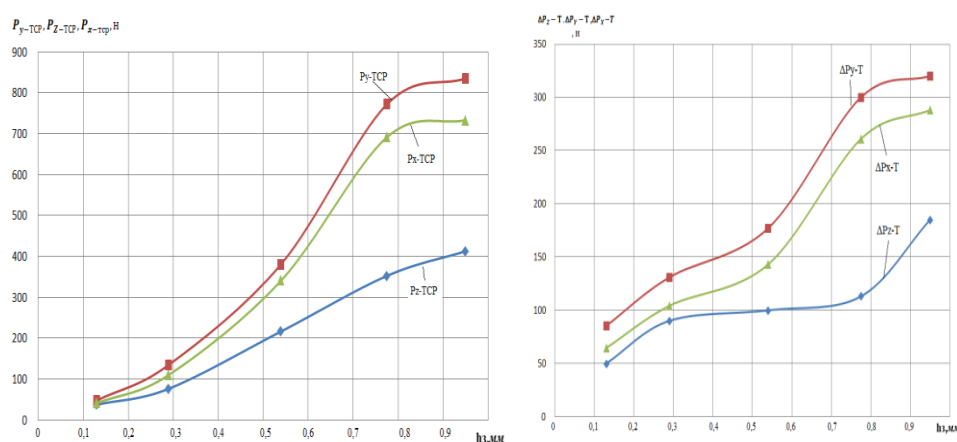


Рис. 3.5.2. Влияние длины фаски износа h_3 (мм) на задней поверхности на составляющие средние силы при трении по конической поверхности заготовки ($P_{x-тср}$, $P_{y-тср}$, $P_{z-тср}$) и амплитуда составляющих этих сил ($\Delta P_{x-т}$, $\Delta P_{y-т}$, $\Delta P_{z-т}$) при постоянной подаче $s=0,07$ мм/об.

Из рис. 3.5.2 видно, что увеличение длины фаски на задней поверхности h_3 приводит к существенному увеличению составляющих сил при трении и амплитуды составляющих этих сил при постоянной подаче.

Это косвенно говорит о том, что под действием радиальной составляющей силы резания происходит упругая деформация заготовки, которая восстанавливается после окончания резания.

Толщины слоя металла не хватает для образования стружки, поэтому весь этот слой во время трения вдавливается под режущую кромку инструмента. Неизменность составляющих сил трения говорит о том, что уменьшения диаметров конической поверхности заготовки не происходит даже при большом времени трения, т.е. металл не соскабливается с конической поверхности заготовки, оставшейся после резания.

Длина фаски износа на задней поверхности значительно меньше влияет на составляющие средние силы при трении $P_{z-тс\ p}$ (силы трения на конической части заготовки) по сравнению с составляющими средними силами при трении $P_{x-т\ ср}$ и $P_{y-т\ ср}$, т.е. составляющими силы, действующей в горизонтальной плоскости (в основной плоскости). Это говорит о небольшом коэффициенте трения μ , сопоставимым с коэффициентом внешнего трения $f = 0,42$ при трении твёрдого сплава по стали в воздушной среде [17]. Например, при $h_3 = 0,7$ мм и $s = 0,07$ мм/об:

$$\mu = P_{z-тс\ p} / P_{xy-тс\ p} = \frac{P_{z-м.ср}}{\sqrt{P_{x-м.ср}^2 + P_{y-м.ср}^2}} = \frac{300}{\sqrt{600^2 + 650^2}} = 0,34.$$

Амплитуда составляющих сил резания $\Delta P_{x-т}$ и $\Delta P_{y-т}$ увеличиваются более интенсивно по сравнению с амплитудой тангенциальной силы трения $\Delta P_{z-т}$, что связано, на наш взгляд, со сравнительно небольшим коэффициентом трения μ .

Графики влияния подачи на составляющие средние силы при трении после резания ($P_{x-тср}$, $P_{y-тср}$, $P_{z-тср}$) и амплитуду составляющих этих сил ($\Delta P_{x-т}$, $\Delta P_{y-т}$, $\Delta P_{z-т}$) при постоянной длине фаски износа на задней поверхностях приведены на рис. 3.5.3.

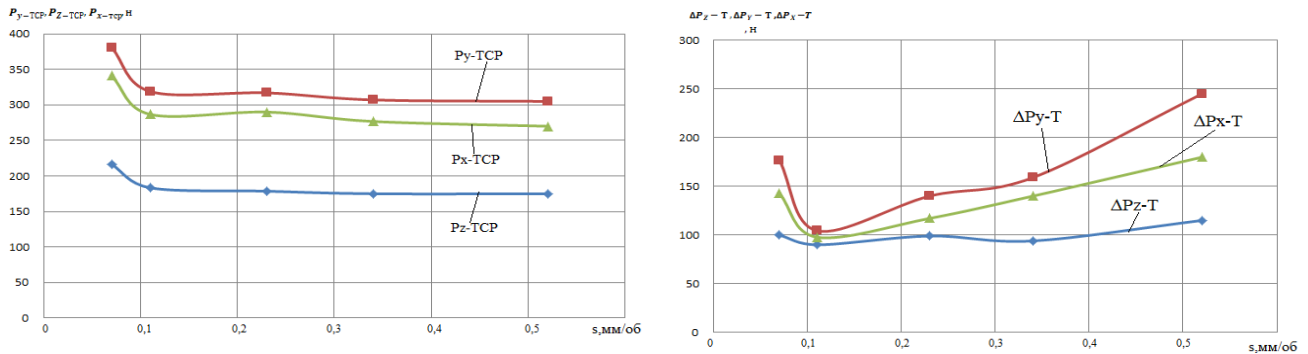


Рис 3.5.3. Влияние подачи на составляющие средние силы при трении ($P_{x-тср}$, $P_{y-тср}$, $P_{z-тср}$) и амплитуду составляющих сил при трении ($\Delta P_{x-т}$, $\Delta P_{y-т}$, $\Delta P_{z-т}$) при постоянной длине фаски износа на задней поверхности $h_3 = 0,13\text{mm}$.

В работе были выполнены исследования частота изменения сил при трении резца после прекращения резания. Влияние длин фаски износа на частоту изменения сил при трении резца приведены на рис. 3.5.4.

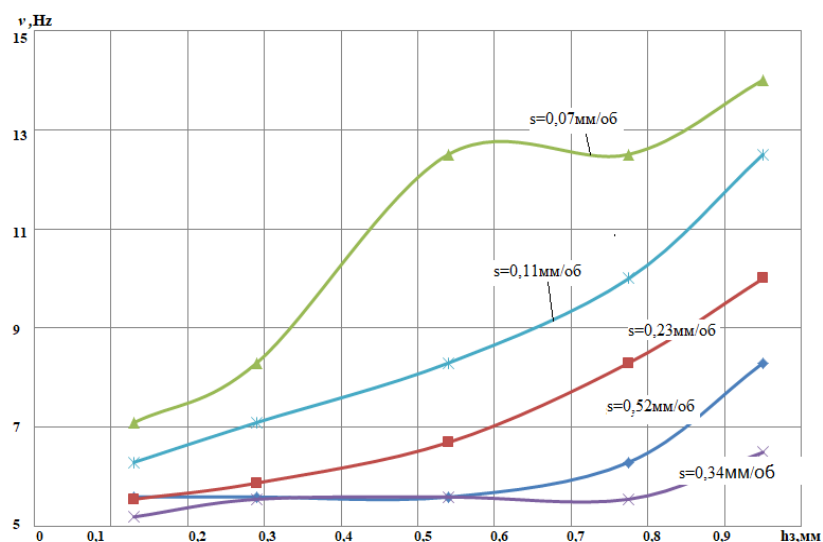


Рис. 3.5.4 Влияние длины фаски износа h_3 на задней поверхностях на частоту трении резца при постоянной подаче

Из рис. 3.5.4 видно, что увеличение длины фаски износа на задней поверхности приводит к увеличению частота изменения сил при трении резца при постоянной подаче. По сравнению с остальными подачами, при подаче $s = 0,34$ мм/об длина фаски незначительно влияет на частоту изменения сил при трении резца. Аналогично и при подаче $s = 0,52$ мм/об в диапазоне $h_3 = 0,1 - 0,6$ мм.

Влияния подач на частоту изменения сил при трении резца приведены на рис. 3.5.5.

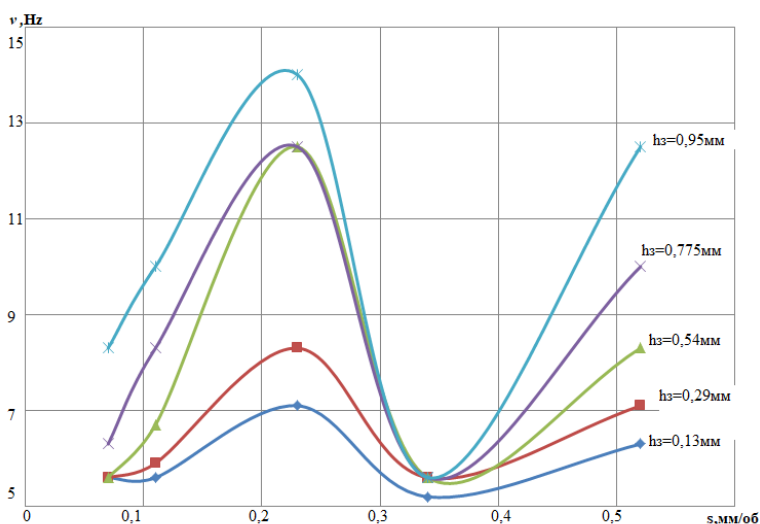


Рис. 3.5.5. Влияние подачи s (мм/об) и длины фаски износа на задней поверхности h_3 (мм) на частоту колебаний при трении резца

Рис. 3.5.5 показано, что при подаче $s \leq 0,23$ мм/об или $s \geq 0,34$ мм/об увеличение подачи приводит к увеличению частоты колебаний при трении резца. При подаче $0,23 \text{ мм/об} \leq s \leq 0,34 \text{ мм/об}$ происходит уменьшение частот при трении резца. Причина этого пока не выяснена, но связано, видимо, с отсутствием явления резонанса.

3.6. Исследование НДС режущего клина резца при установившемся резании

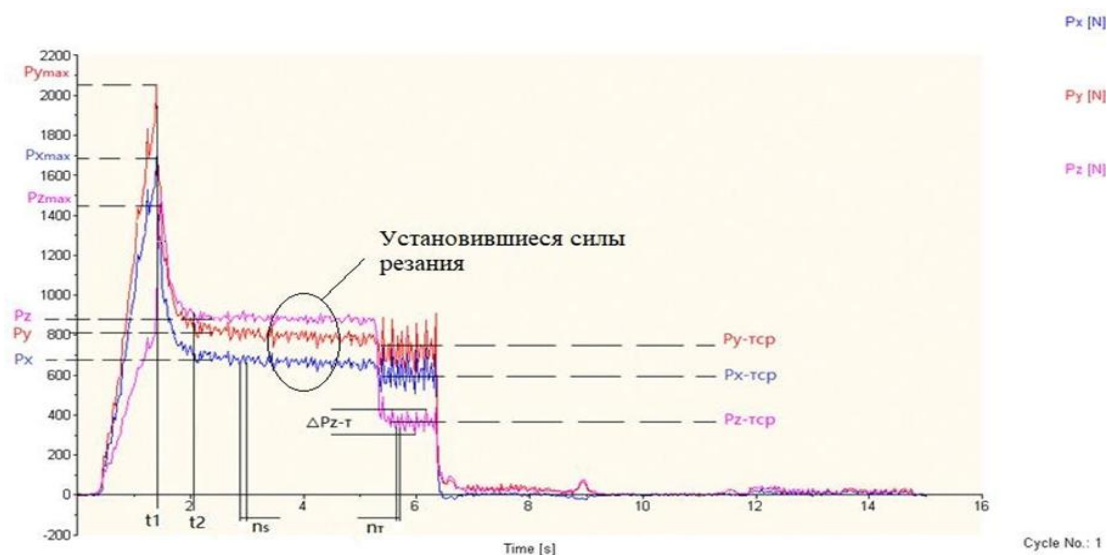


Рис. 3.6.1. Установившиеся силы резания при подаче $s = 0,07$ мм/об, скорости резания $v = 120$ м/мин, глубине резания $t = 1,775$ мм, 40X – T15K6. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки (с)

В работе исследовались процессы при установившемся резании режущими пластинами из твёрдого сплава T15K6 с разными подачами ($s=0,07...0,52$ мм/об) и фасками на задней поверхности ($h_3=0,13 \dots 0,95$ мм). Расчёт напряжений в режущем клине резца был выполнен методом конечных элементов с использованием программы ANSYS.

Картины распределения нормальных, касательных и эквивалентных напряжений в режущем клине с разными подачами и фасками износа на задней поверхности в данной работе не представлены из-за ограничения её объёма. После анализа результатов расчёта НДС, были получены зависимости внутренних напряжений от фаски износа на задней поверхности при постоянной подачей (рис. 3.6.2 и 3.6.3).

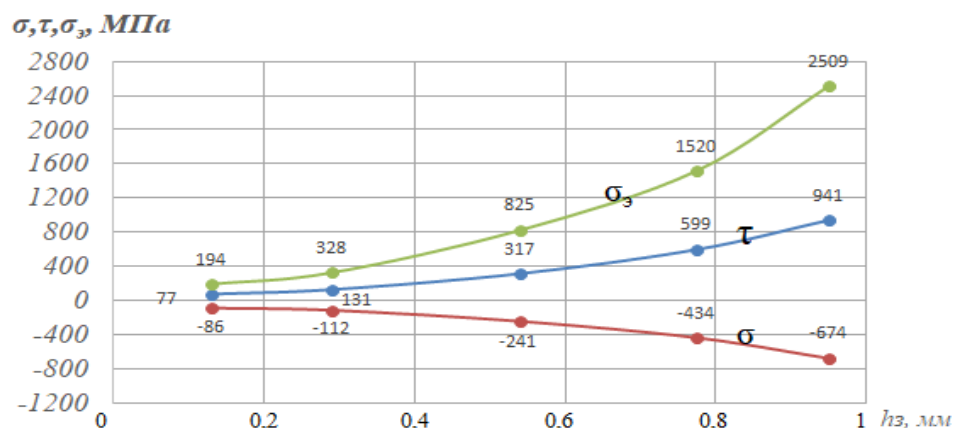


Рис. 3.6.2 Зависимости внутренних напряжений (МПа) от длины фаски износа на задней поверхности h_z (мм) при подаче $s = 0,11$ мм/об. Сталь 40Х- Т15К6, $t = 2$ мм; $v = 120$ м/мин); σ - наибольшее нормальное напряжение; τ - наибольшее касательное напряжение; $\sigma_{\text{э}}$ - наибольшее эквивалентное напряжение

При увеличении длины фаски на задней поверхности наиболее интенсивно увеличиваются эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{эКВ}}$ (рис. 3.6.2). Нормальные и эквивалентные напряжения увеличиваются более интенсивно по сравнению с касательными напряжениями. При длине фаски на задней поверхности более 0,9 мм и при небольшой подаче $s = 0,11$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения в 2 раза меньше предела прочности твёрдого сплава на сжатие, но интенсивно увеличиваются при увеличении фаски на задней поверхности.

Увеличение подачи вызывает увеличение напряжений, но при небольшой длине фаски на задней поверхности $h_z = 0,13$ мм наибольшее эквивалентное напряжение в несколько раз меньше предела прочности твёрдого сплава на сжатие (рис. 3.6.3).

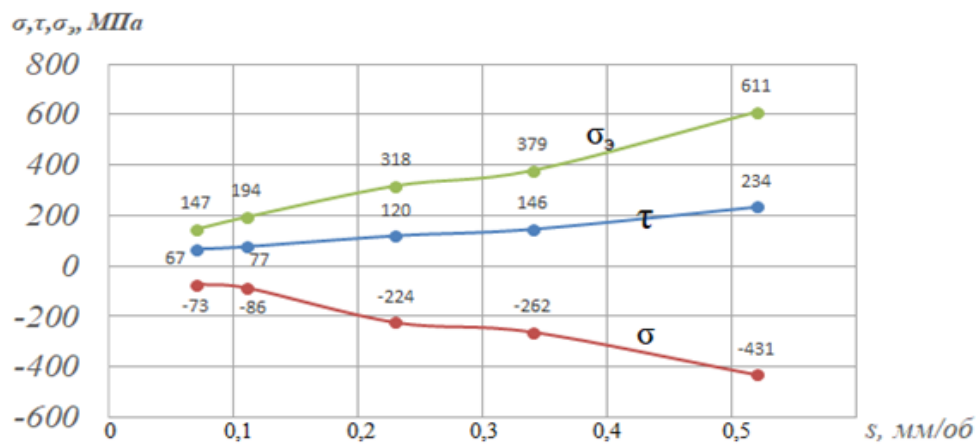


Рис. 3.6.3 Зависимость внутренних напряжений (МПа) от подачи s (мм/об). Сталь 40Х - Т15К6; $v = 120$ м/мин; $t = 1,8$ мм; $\rho = 3$ мкм; $h_3 = 0,13$ мм. σ - наибольшее нормальное напряжение; τ - наибольшее касательное напряжение; σ_3 - наибольшее эквивалентное напряжение

3.7. Исследование НДС резца при врезании в стальную заготовку

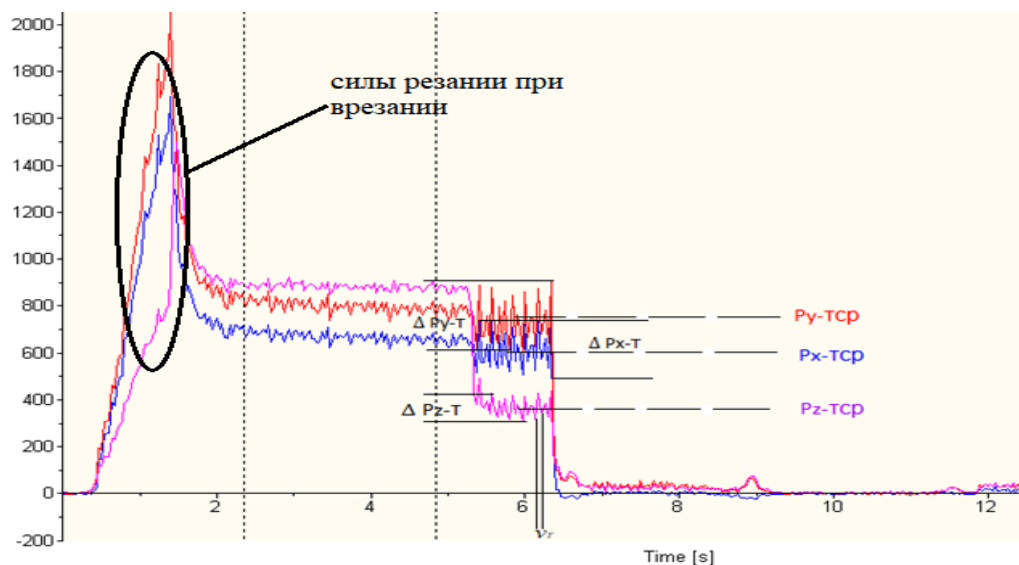


Рис. 3.7.1. Составляющие силы резания P_x , P_y , P_z (Н) при подаче $s = 0,07$ мм/об, длине фаски износа на задней поверхности $h_3=0,95$ мм, скорости резания $v = 120$ м/мин, скорости вращения $n = 630$ об/мин, глубине резания $t = 2$ мм, 40Х – Т15К6. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки (с)

При встречном фрезеровании в начальный момент контакта с заготовкой зуб фрезы начинает резание с нулевой толщиной среза. Образование стружки при этом не происходит, а подминаемый под режущую кромку металл оказывает большое радиальное давление на зуб фрезы, при этом происходит кратковременное увеличение всех составляющих силы резания в 1,5-2,2 раза по сравнению с установившемся резании в зависимости от подачи [5].

Измерение физических составляющих силы резания, действующих на зуб концевой или торцовой фрезы, затруднено из-за вращения фрезы и поворота составляющих P_z и P_y силы резания относительно оси вращения фрезы. Поэтому врезание зуба торцовой фрезы с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ было смоделировано врезанием главной режущей кромки токарного резца в коническую часть заготовки, оставшуюся от предыдущего резания резцом с $\varphi = 45^\circ$, что обеспечивало контакт резца сразу по всей длине режущей кромки в начальный момент её касания.

На главной задней поверхности режущей пластины затачивалась фаска различной длиной h_z (мм), измеряемой перпендикулярно главной режущей кромке, с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности [5]. Радиус округления режущей кромки $\rho = 0,003$ мм соответствовал естественной заточке по фаске задней поверхности [6].

Приложение внешних нагрузок при врезании выполнялось на основе наших экспериментов [5] с учётом других исследований [6, 7]. Расчёт напряжений в режущем клине резца методом конечных элементов с использованием программы ANSYS18 показал, что при большой подаче и длине фаски задней поверхности наибольшие эквивалентные напряжения ($\sigma_{\text{экв}} = 3605$ МПа) (рис. 3.7.2 в) приближаются к предельно допустимым, что приводит к увеличению вероятности выкашивания режущей кромки.

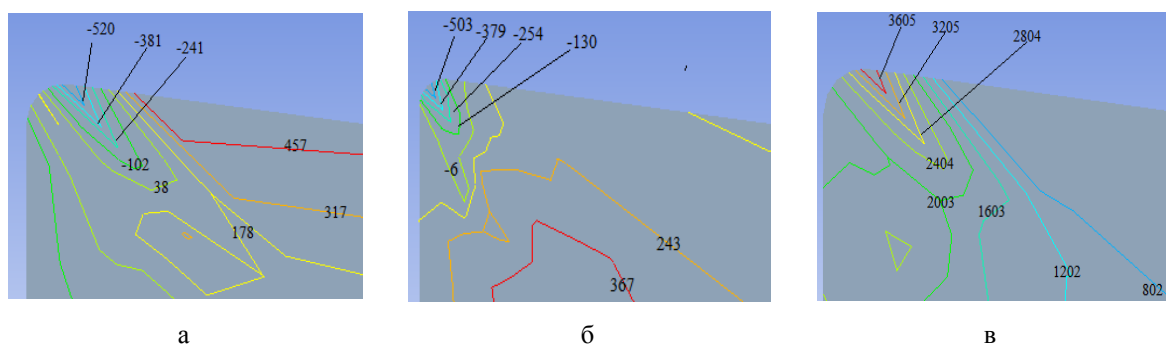


Рис. 3.7.2. Распределение нормального σ_y (а), касательного τ_{xy} (б) и эквивалентного σ_3 (в) напряжений в режущем клине резца **при врезании** в стальную заготовку. Сталь 40Х - Т15К6; $\gamma = 7^\circ$, $v = 2$ м/с; $s = 0,52$ мм/об; $t = 1,8$ мм; $\rho = 5$ мкм; $h_3 = 0,54$ мм

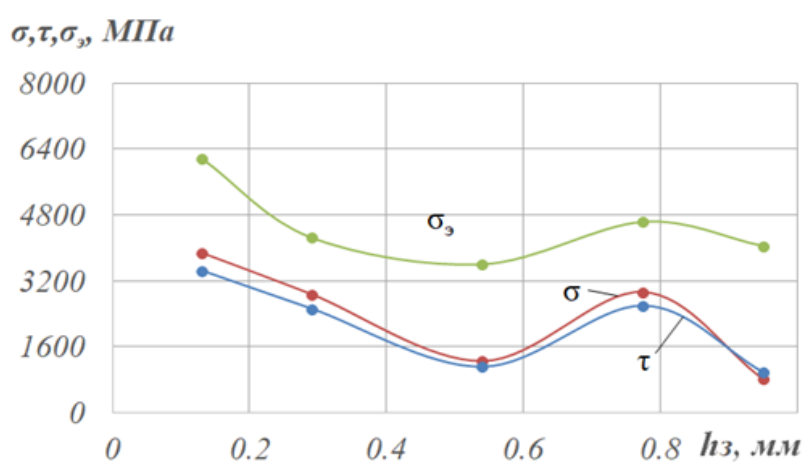


Рис. 3.7.3. Зависимость внутренних напряжений (МПа) от фаски на задней поверхности h_3 (мм) **при врезании** при постоянной подаче $s = 0,52$ мм/об. Сталь 40Х - Т15К6; $t = 2$ мм; $v = 2$ м/с. σ - нормальное напряжение; τ - касательное напряжение; σ_3 - эквивалентное напряжение

Из рис. 3.7.3 видно, что при постоянной подаче $s = 0,52$ мм/об увеличение длины фаски износа на задней поверхности h_3 приводит в разных диапазонах h_3 к уменьшению внутренних напряжений.

Увеличение подачи приводит к увеличению внутренних напряжений при постоянной фаске на задней поверхности $h_3 = 0,54$ мм, но более значительно она влияет на эквивалентные внутренние напряжения (рис. 3.7.4).

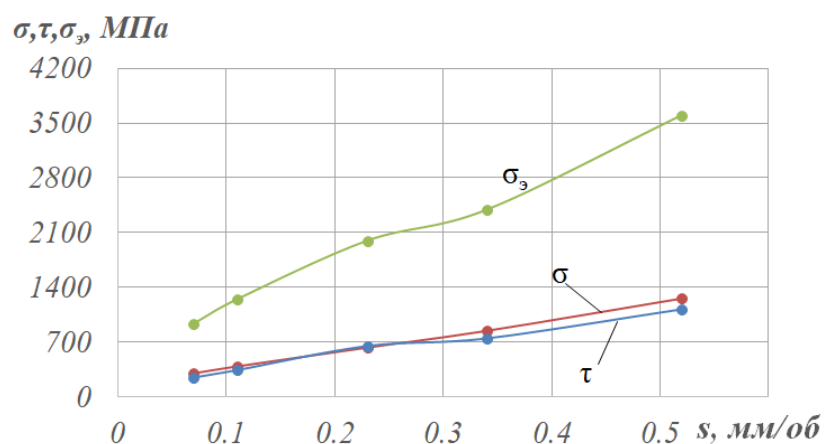


Рис. 3.7.4. Зависимость внутренних напряжений (МПа) от подачи s (мм/об) при постоянной длине фаски на задней поверхности $h_3 = 0,54$ мм. Сталь 40Х - Т15К6; $t = 2$ мм; $v = 2$ м/с. σ - нормальное напряжение; τ - касательное напряжение; σ_x - эквивалентное напряжение.

3.8. Исследование НДС режущей пластины концевой фрезы

Для исследования НДС режущей пластины концевой фрезы методом конечных элементов, нам нужно выполнять:

- 1) Определить максимально допустимую по прочности режущей пластины подачу на зуб s_z , мм/зуб;
- 2) Определить составляющие силы резания при фрезеровании;
- 3) Определить участки режущей пластины фрезы, на которые действуют контактные напряжения и их величину;
- 4) Создать 3D модель режущей пластины;
- 5) Исследовать влияние геометрии режущей пластины на её НДС с помощью программного обеспечения ANSYS.

3.8.1. Определение максимальной подачи на зуб s_z

При фрезеровании толщина среза a_i (мм) изменяется при вращении фрезы и зависит от подачи на зуб s_z (мм/зуб) и угла поворота фрезы при контакте с заготовкой. Толщина среза рассчитывается по формуле:

$$a_i = s_z \cdot \sin \psi$$

где a_i – толщина среза, мм; ψ – угол поворота фрезы. Он измеряется или рассчитывается как центральный угол, образованный радиусами, проведенными из центра фрезы к точкам входа и текущим положением её исследуемого зуба.

Наиболее часто при черновом фрезеровании применяется встречное фрезерование, при котором в начальный момент контакта зуба фрезы с поверхностью заготовки, оставшейся от резания предыдущим зубом, толщина среза равна нулю и при вращении фрезы толщина среза увеличивается.

НДС режущей пластины необходимо анализировать в двух крайних положениях зуба фрезы:

- 1) в начальный момент резания, когда сила резания сначала быстро увеличивается, а потом быстро уменьшается после начала схода стружки. Наши эксперименты показали, что при врезании составляющие силы резания увеличиваются в 2-3 раза по сравнению с установившемся резанием;
- 2) на конечной стадии резания, когда зуб фрезы начинает выходить из контакта с заготовкой, и толщина среза максимальна.

С помощью программы MathCAD получили для экспериментальных данных приближенное уравнение:

$$\sigma_{\text{эк max}} = 20130 \cdot a_i, \text{ МПа},$$

где 20130 – удельное напряжение $q_{\sigma_{\text{эк}}}$ (МПа/мм) при фрезеровании с фиксированной шириной резания $B = 10$ мм.

Таким образом, если мы знаем предельную допустимую прочность материала пластины (Т15К6) $\sigma_{\text{доп}}$, то можем определить наибольшую толщину среза $a_{\text{наиб}}$ по формуле:

$$a_{\text{наиб}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{20130}, \text{ мм}$$

При встречном фрезерованием, наибольшая толщина среза определяется по формуле:

$$a_{\text{наиб}} = s_z \times 2 \sqrt{\frac{t}{D}}, \text{ мм}$$

где t – глубина резания, мм;

D – диаметр фрезы, мм.

Таб. 3.8.1. Исходные данные для фрезерования
в нашем исследовании

Материал режущей пластины	Т15К6
Предел прочности на сжатие, МПа	4200
Обрабатываемый материал	40Х
Число зубьев фрезы z	2
Диаметр фрезы D , мм	30
Глубина резания t , мм	12
Ширина резания B , мм	15
Скорость резания v , м/мин	120

Максимальная подача на зуб $s_{z \max}$ рассчитывается:

$$s_{z \max} = \frac{a_{\text{наиб}}}{2\sqrt{t/D}} = \frac{4200}{20130 \times 2\sqrt{0,4}} = 0,15 \text{ мм/зуб}$$

3.8.2. Определение составляющих сил резания при фрезеровании

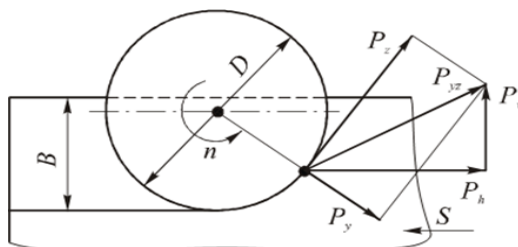


Рис. 3.8.2.1. составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой

Режимы резания фрезерования:

Подача: для расчёта НДС режущей пластины фрезы применяем подачу на зуб $s_z=0,15$ мм/зуб.

Скорость резания: окружная скорость фрезы , $v=120$ м/мин.

Частота вращения фрезы:

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * D} = \frac{1000 * 120}{\pi * 30} = 1273 \text{ об/мин}$$

В соответствие с режимом станка применяем $n=1200$ об/мин

Силы резания:

Окружная составляющая сила резания P_z , Н:

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^x * s^y * B^u * z}{D^q * n^w} \times K_{Mp}$$

Где z -количество зубьев фрезы; n -частота вращения фрезы, об/мин.
Значения C_p и других показателей степени приведены в табл. 41 [40]

Табл. 3.8.2. Составляющие формулы для расчёта силы резания P_z

Фреза	Материал режущей части	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	u	q	w
	Твёрдый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
Концевая	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0

$$P_z = \frac{10 * 12,5 * 12^{0,85} * 0,15^{0,75} * 15^{1,0} * 2}{30^{0,73} * 1273^{-0,13}} \times 0,92 = 1454 \text{ Н}$$

Сила подачи (горизонтальные сила) P_h , вертикальная сила P_y и осевая сила P_x рассчитываются из соотношения с главной составляющей P_z по табл. 42 [40].

Фрезерование	P_h/P_z	P_v/P_z	P_y/P_z	P_x/P_z
<i>Фрезы цилиндрические, дисковые, концевые*¹, угловые и фасонные</i>				
Встречное (против подачи)	1,1 - 1,2	0 - 0,25	0,4 - 0,6	$(0,2 - 0,4) \cdot \operatorname{tg} \omega$
Попутное (в направлении подачи)	0,8 - 0,9	0,7 - 0,9	0,4 - 0,6	$(0,2 - 0,4) \cdot \operatorname{tg} \omega$
<i>Фрезы торцовые и концевые*²</i>				
Симметричное	0,3 - 0,4	0,85 - 0,95	0,3 - 0,4	0,5 - 0,55
Несимметричное встречное	0,6 - 0,8	0,6 - 0,7	0,3 - 0,4	0,5 - 0,55
Несимметричное попутное	0,2 - 0,3	0,9 - 1,0	0,3 - 0,4	0,5 - 0,55

Горизонтальная сила: $P_h = P_z \cdot 1,2 = 4590 \cdot 1,2 = 5508 \text{ Н}$

Вертикальная сила: $P_v = P_z \cdot 0,25 = 4590 \cdot 0,25 = 1148 \text{ Н}$

Радиальная сила: $P_y = P_z \cdot 0,6 = 2754 \text{ Н}$

(совпадает с экспериментальными данными $P_y = 2700 \text{ Н}$.)

Осевая сила: $P_x = P_z \cdot 0,4 \cdot \operatorname{tg} \omega = 4590 \cdot 0,4 \cdot 0,4 = 700 \text{ Н}$

3.8.3. Создание 3D модели режущей пластины

Для исследования неизношенной режущей пластины концевых фрез методом конечных элементов с помощью программы ANSYS, надо создать 3D модель режущих пластин. 3D модель режущих пластин приведена на рис. 3.8.3.1 ($\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 15^\circ$).

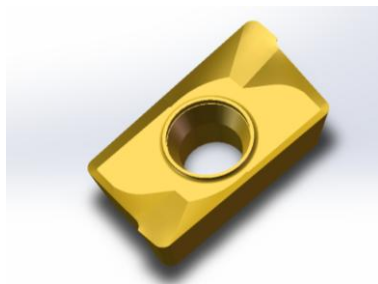


Рис. 3.8.3.1. 3D модель режущей пластины фрезы

3.8.4. Приложение составляющих сил резания на участки пластины

Перед приложением сил на рабочие участки, нам нужно поставить участки на поверхность пластины (рис 3.8.4.3) , потом закреплять пластину с помощью программы ANSYS (рис 3.8.4.1).

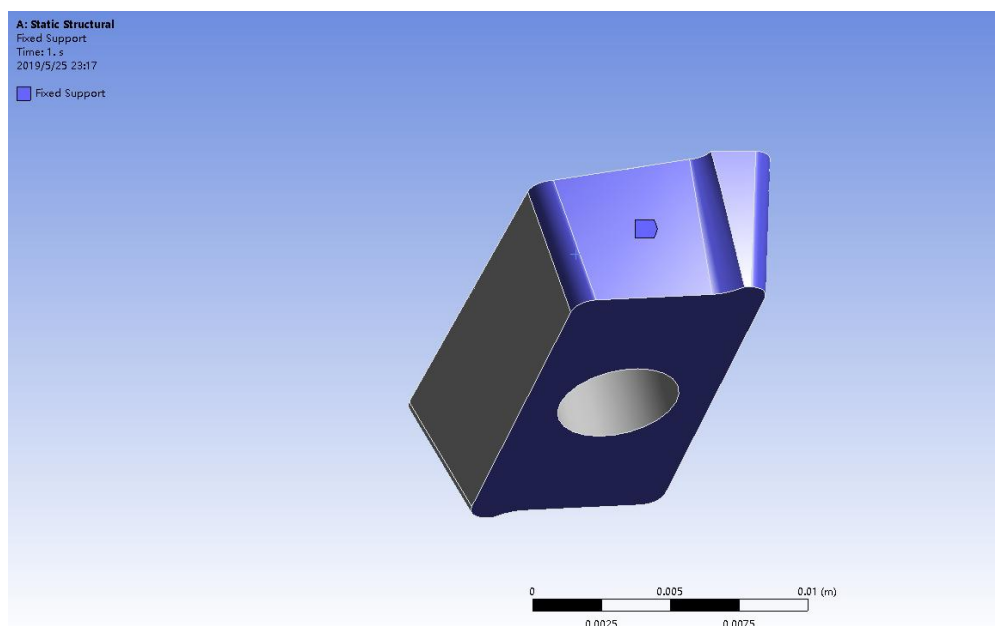


Рис .3.8.4.1. Закрепление режущей пластины

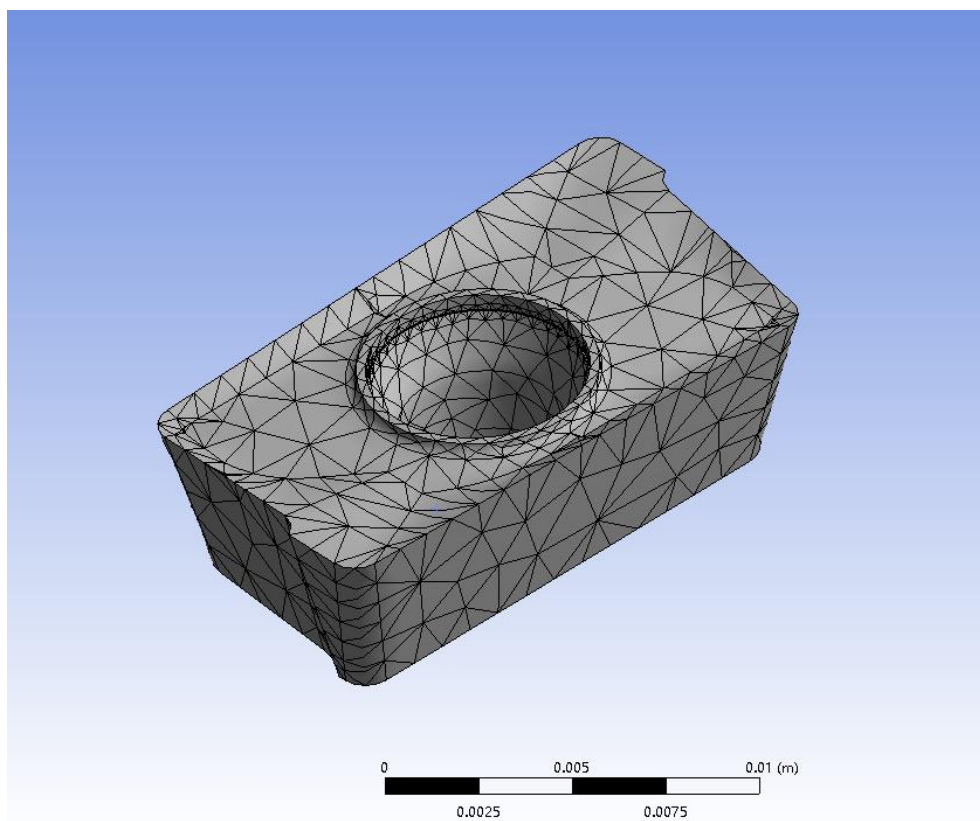


Рис. 3.8.4.2. Размеры и вид конечных элементов

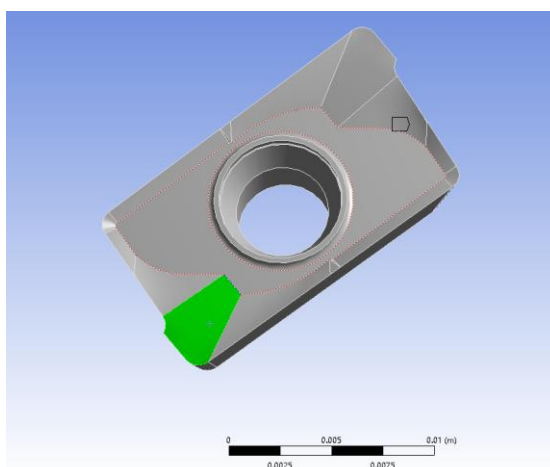


Рис 3.8.3. Выделение рабочего участка на передней поверхности

Приложения нагрузок на участки режущей пластины фрезы приведены на рис 3.8.4.1.

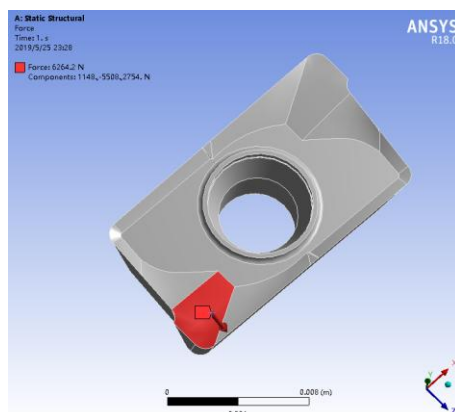
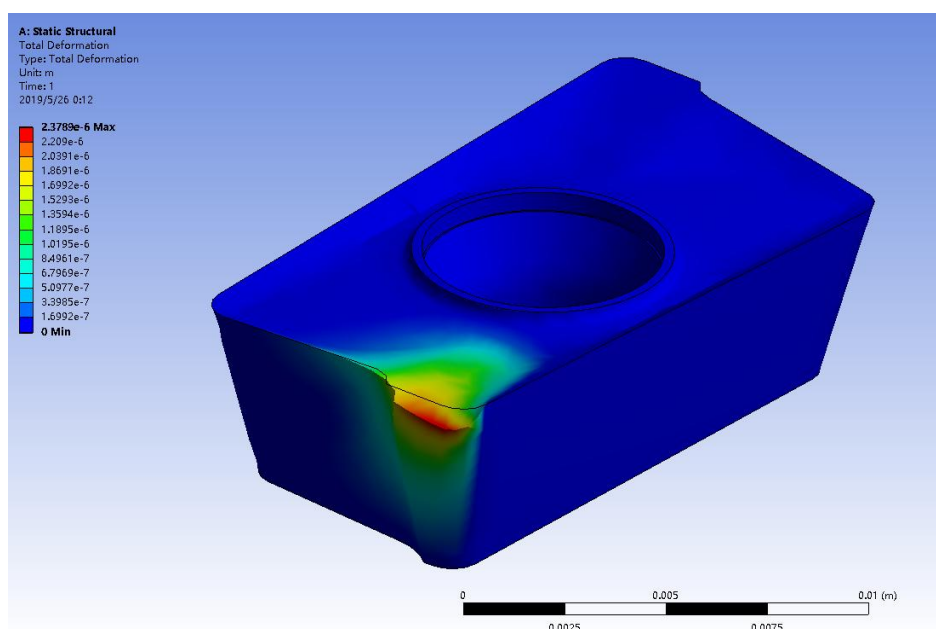


Рис 3.8.4.1. Приложения составляющих сил резания на участки пластины

3.8.5. Влияние переднего угла на НДС режущей пластины фрезы

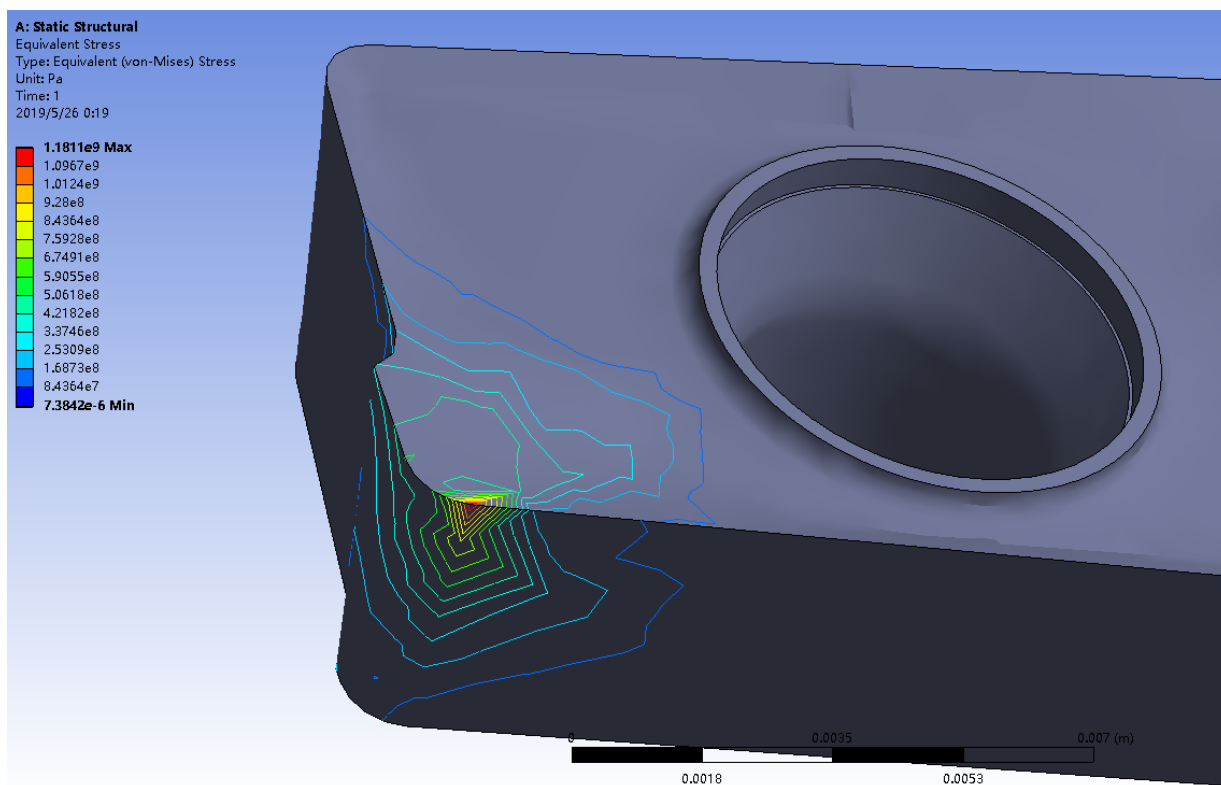
Чтобы исследовать влияние переднего угла γ на НДС режущей пластины фрезы создали серию моделей с разными передними углом ($\gamma = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$) и задним углом $\alpha = 15^\circ$. Модель режущей пластины с $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$ приведён на рис. 3.8.3.1.

Схемы НДС режущей пластины фрезы с $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$ приведены на рис 3.8.5.1.

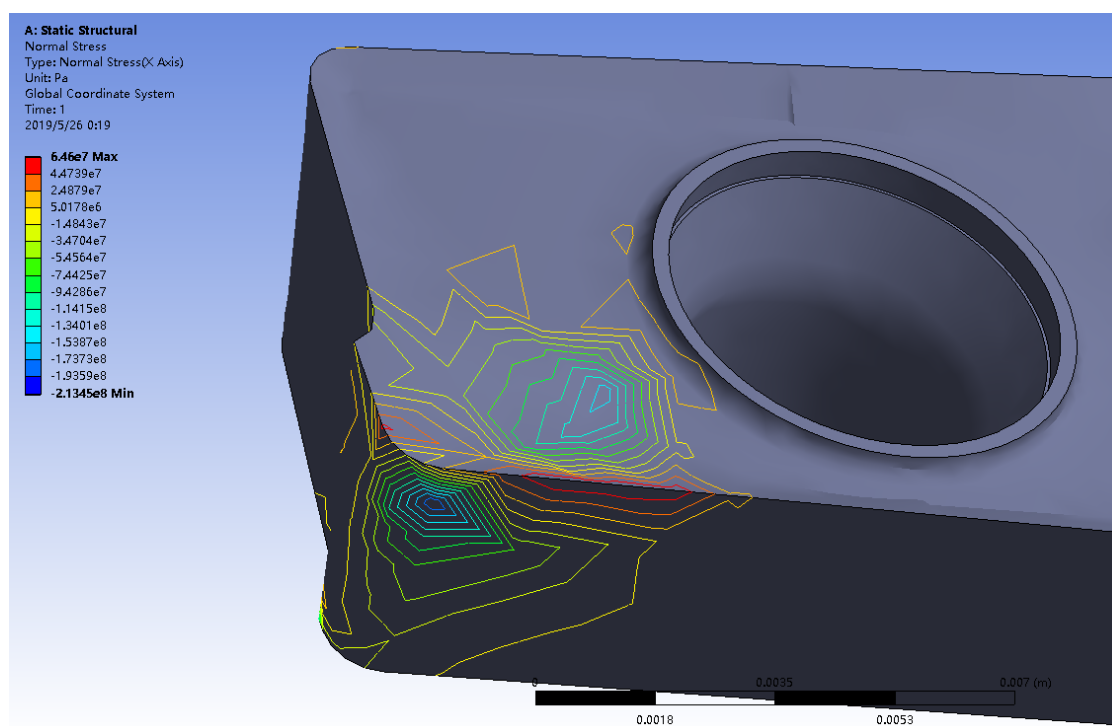


а) Деформация режущей пластины с углом $\gamma = 10^\circ$

Рис. 3.8.5.1. НДС режущей пластины фрезы с углом $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$
(Сталь 40Х - Т15К6, $s_z = 0,15$ мм/зуб, $t = 12$ мм; $v = 120$ м/мин)

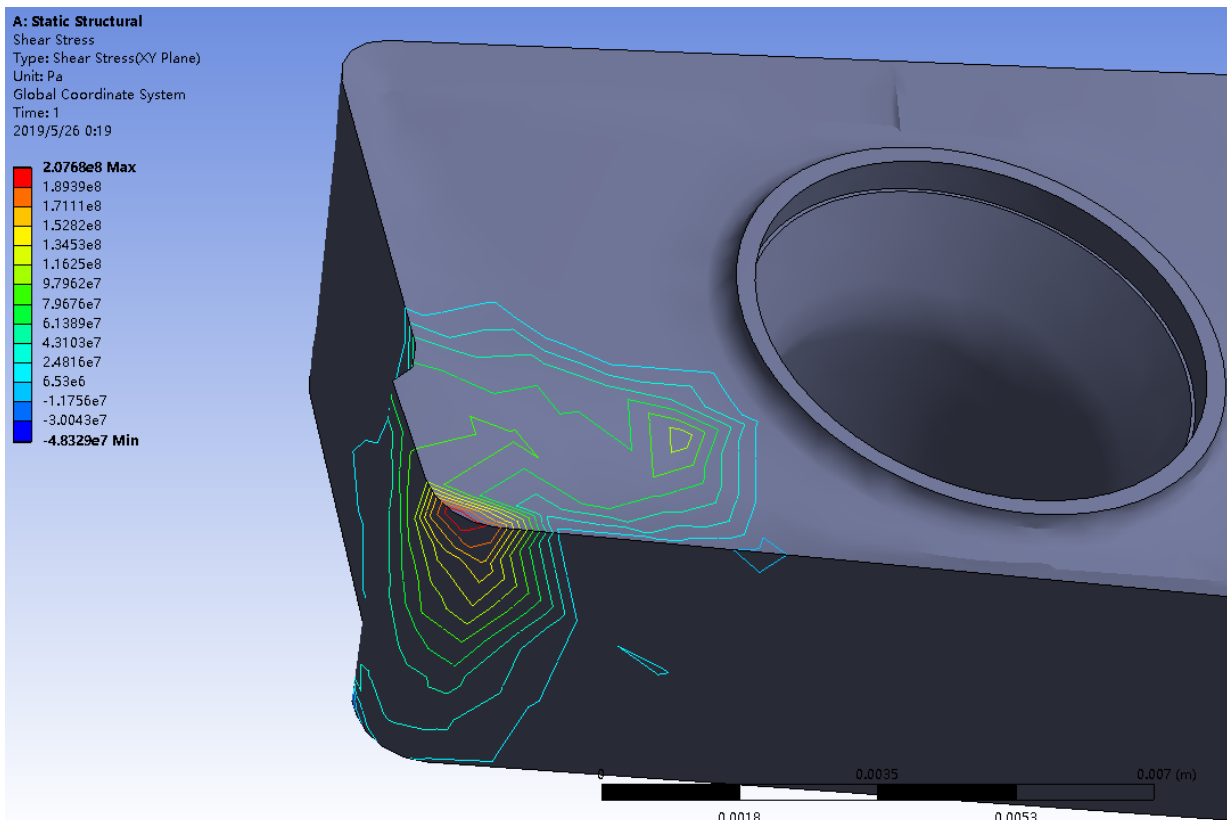


б) Эквивалентные напряжения режущей пластины фрезы



в) нормальные напряжения режущей пластины фрезы

Рис. 3.8.5.1 (продолжение). НДС режущей пластины фрезы с углом $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$
 (Сталь 40X - T15K6, $s_z = 0,15 \text{ мм/зуб}$, $t = 12 \text{ мм}$; $v = 120 \text{ м/мин}$)



г) касательные напряжения режущей пластины фрезы

Рис. 3.8.5.1 (продолжение). НДС режущей пластины фрезы с углом $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 15^\circ$
 (Сталь 40X - T15K6, $s_z = 0,15 \text{ мм/зуб}$, $t = 12 \text{ мм}$; $v = 120 \text{ м/мин}$)

Чтобы более ясно наблюдать влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения и максимальные эквивалентные напряжения в режущей кромке пластины построим для них графики (рис. 3.8.5.2).

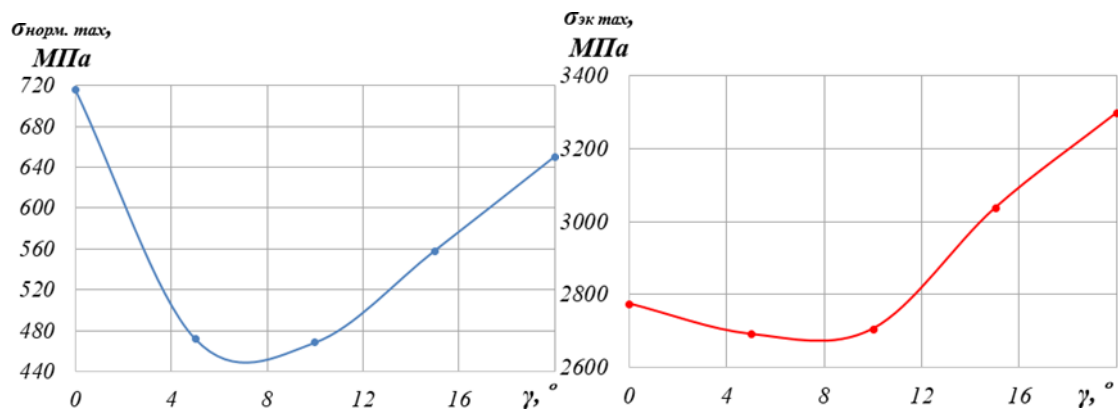


Рис. 3.8.5.2. Влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения (а) и максимальные эквивалентные напряжения (б) в режущей кромке пластины. Сталь 40X – T15K6, $s_z = 0,15 \text{ мм/зуб}$; $t = 12 \text{ мм}$; $v = 120 \text{ м/мин}$.

Из графиков рис. 3.8.5.2 видно, что при увеличении переднего угла γ до $+6^\circ$ максимальные нормальные напряжения в режущей кромке пластины уменьшаются, а затем при увеличении переднего угла γ больше $+7^\circ$ они возрастают. Эквивалентные напряжения в 4-6 раз больше нормальных, что связано с учётом внутренних напряжений по всем осям.

Такое влияние переднего угла связано с тем, что при малом переднем угле с увеличением переднего угла уменьшаются деформация срезаемого слоя, длина контакта стружки и улучшаются условия схода стружки, при этом уменьшаются силы резания, теплоты при резания и силы трения между передним поверхностью и стружки. При большом переднем угле уменьшается прочность режущей кромки, ухудшается теплоотвод в тело пластины, и это ведет к увеличению эквивалентных напряжений в режущей клине пластины, увеличению вероятности выкашивания режущей кромки.

Таким образом, при обработке стали 40Х для увеличения надёжности работы СМП и обеспечения наибольшего запаса прочности пластины фрезы принимаем передний угол $\gamma = +5^\circ \dots +10^\circ$ в зависимости от режимов резания. А для обработки труднообрабатываемых материалов рекомендуем принимать передний угол $\gamma < 4^\circ$ в зависимости от обрабатываемого материала.

3.9. Моделирование и исследование процесса фрезерования с помощью программы Deform

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

Моделирование с помощью программы Deform процесса фрезерования приведено на рис 3.9.1.

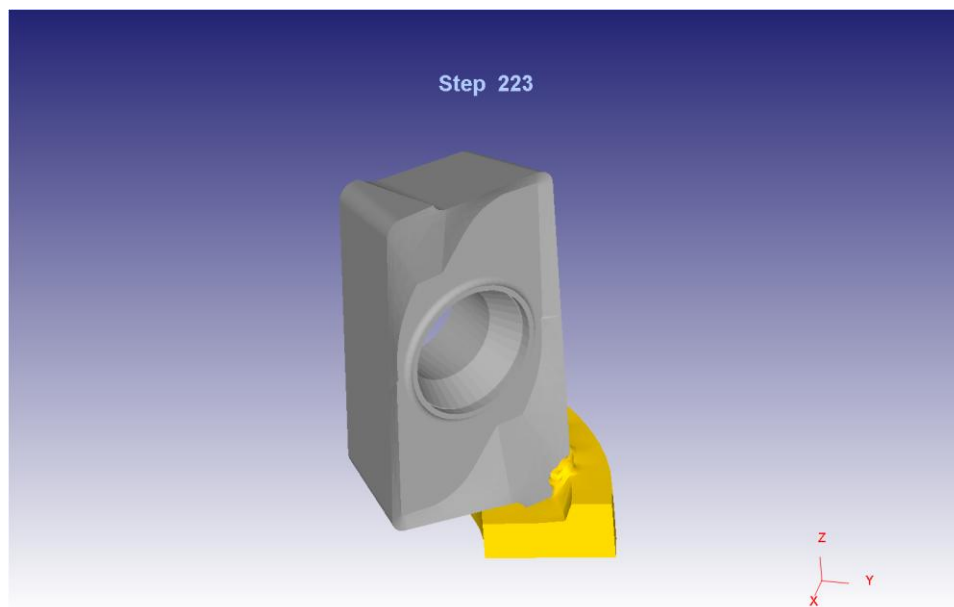


Рис. 3.9.1. Моделирование процесса фрезерования с помощью программы Deform

Исследование внутренних напряжений с помощью программы Deform приведено на рис.3.9.2. Благодаря использованию программы Deform, можем визуально смотреть распределение напряжений при обработке стали.

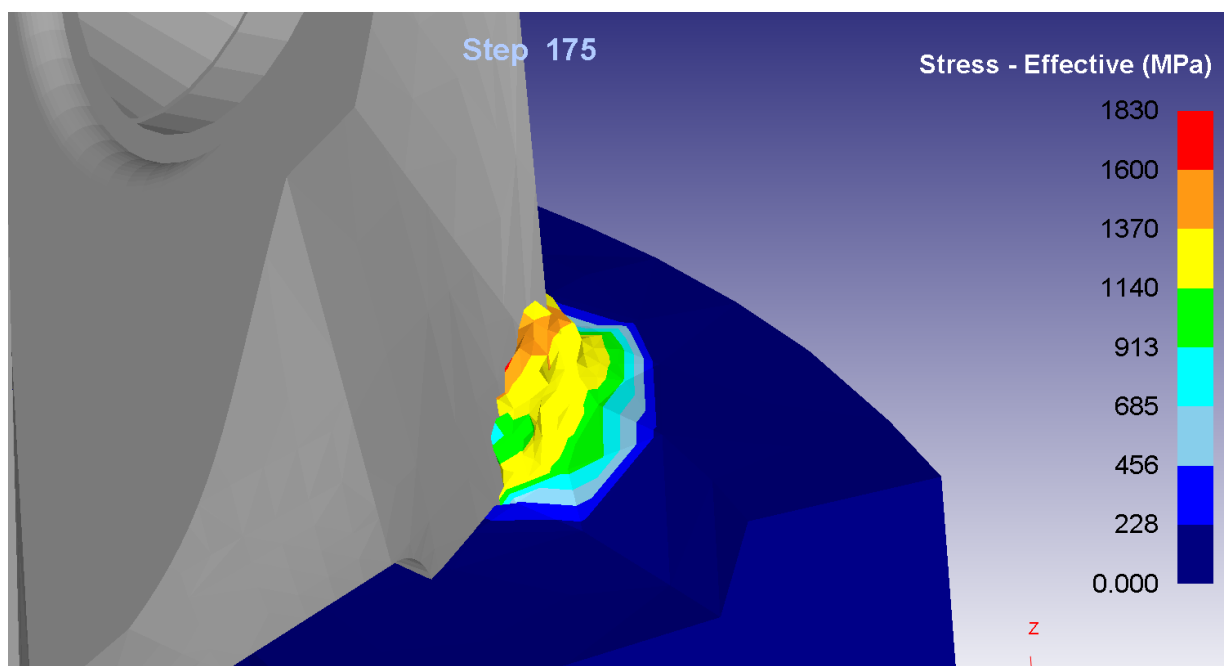


Рис. 3.9.2. Исследование напряжений при фрезеровании с помощью Deform

Кроме этого, с помощью программы Deform мы еще можем исследовать температуру зоны контакта (рис 3.9.3) и направление разлета стружки (рис. 3.9.4) и т.п.

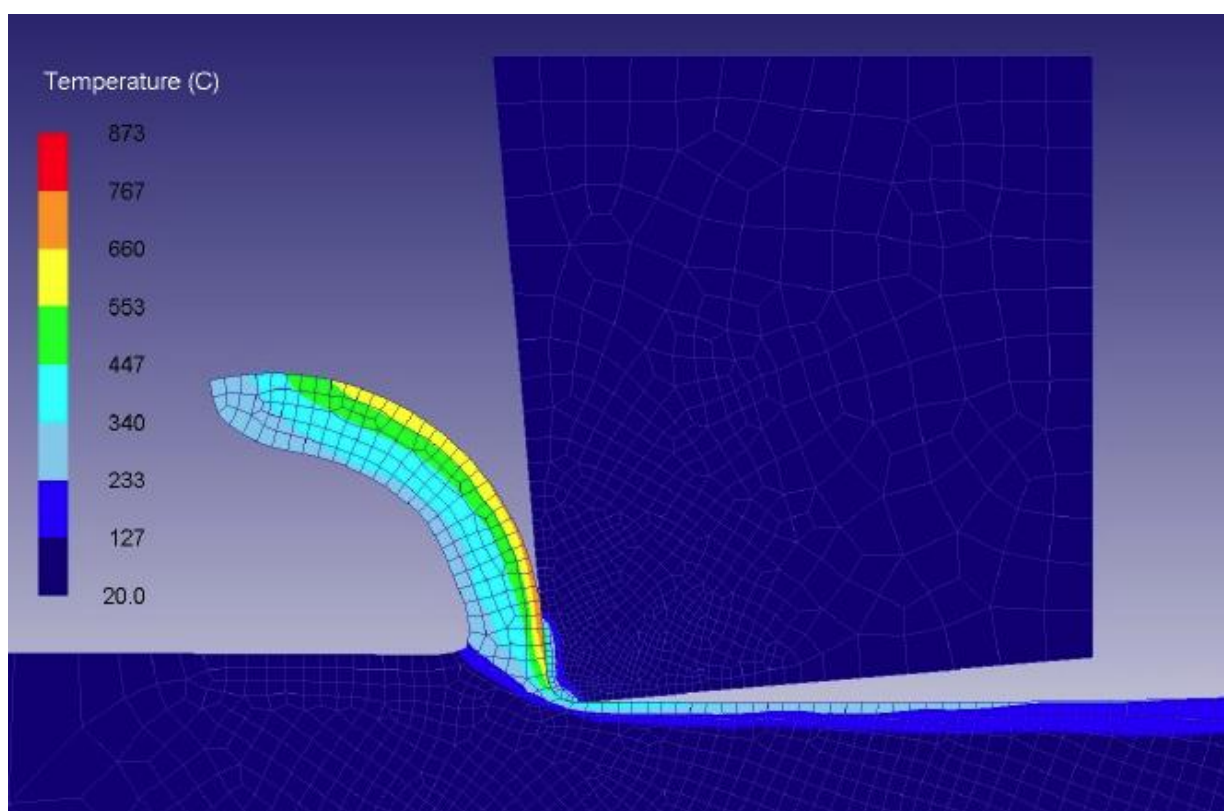


Рис 3.9.3. Температура зоны контакта режущих инструментов с обрабатываемыми металлами с помощью Deform

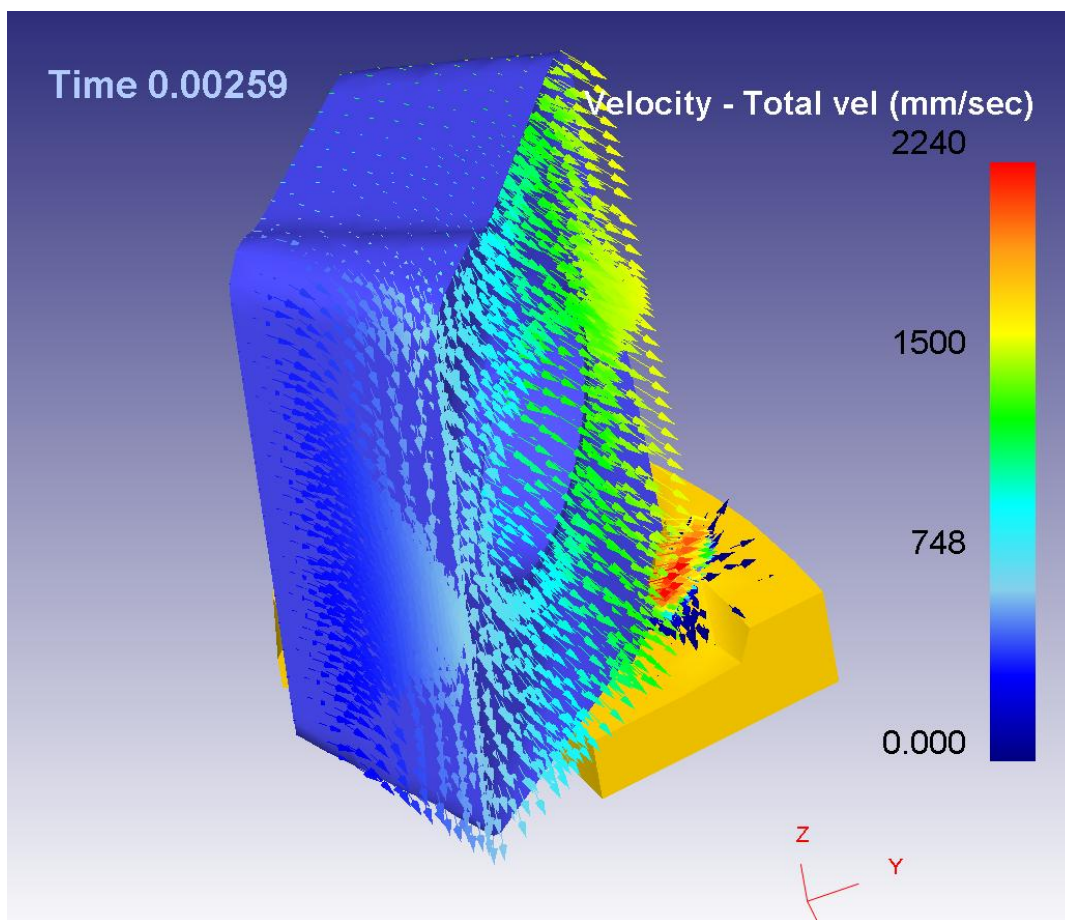


Рис. 3.9.4. Исследование направления разлета стружки при фрезеровании

После расчета программы Deform, можем получить графики изменения температуры, составляющих сил резания, напряжении и т.п.

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

1) в области расчета внутренних напряжений, программа ANSYS имеет выше точность расчета. Поэтому рекомендуем использовать программу ANSYS при расчете внутренних напряжений режущих инструментов.

2) расчет НДС инструментов с помощью ANSYS является статическим, но программа Deform можем моделировать динамический процесс работы режущих инструментов. Для исследования режущих

инструментов при обработке рекомендуем использовать программу Deform.

3) для ускорения исследования работы режущих инструментов и экономить себестоимость исследования, рекомендуем более использовать моделирующие программы.

3.10. Исследование тенденция составляющих сил резания при фрезеровании стали

С помощью программы Deform, можем исследовать тенденция измерения составляющих сил резании фрезы при резании стали, пример результаты приведен на рис. 3.10.1.

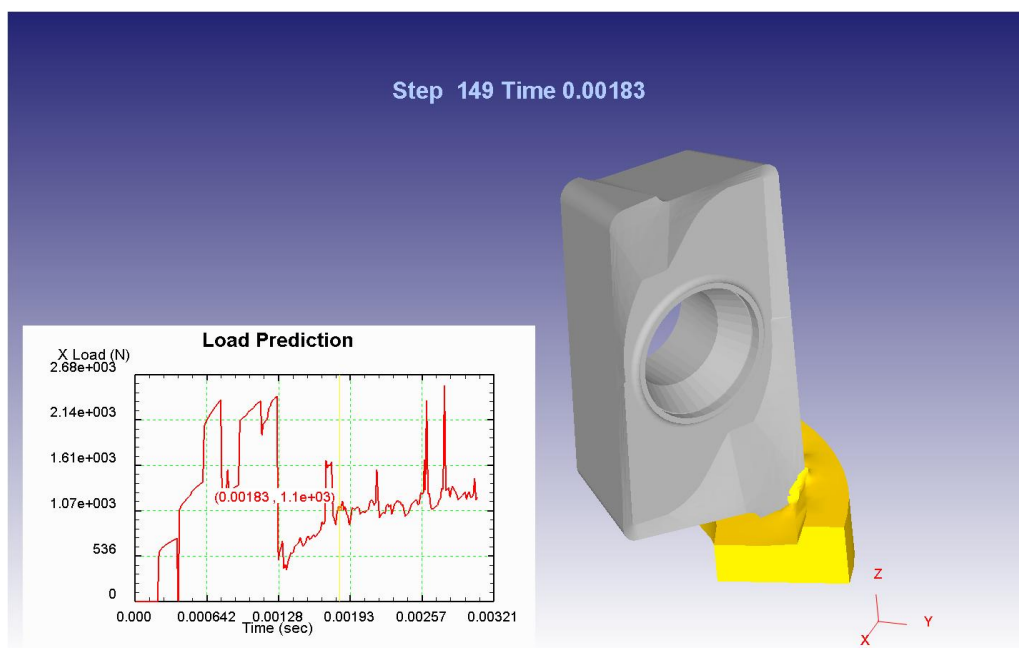


Рис. 3.10.1. Пример результаты составляющих сил резания, получаемый с использованием программы Deform

В работе были исследованы влияние подачи ($S_{об}=0,1-0,3$ мм/об) на составляющие силы резания фрезы, результаты приведены на рис. 3.10.2.

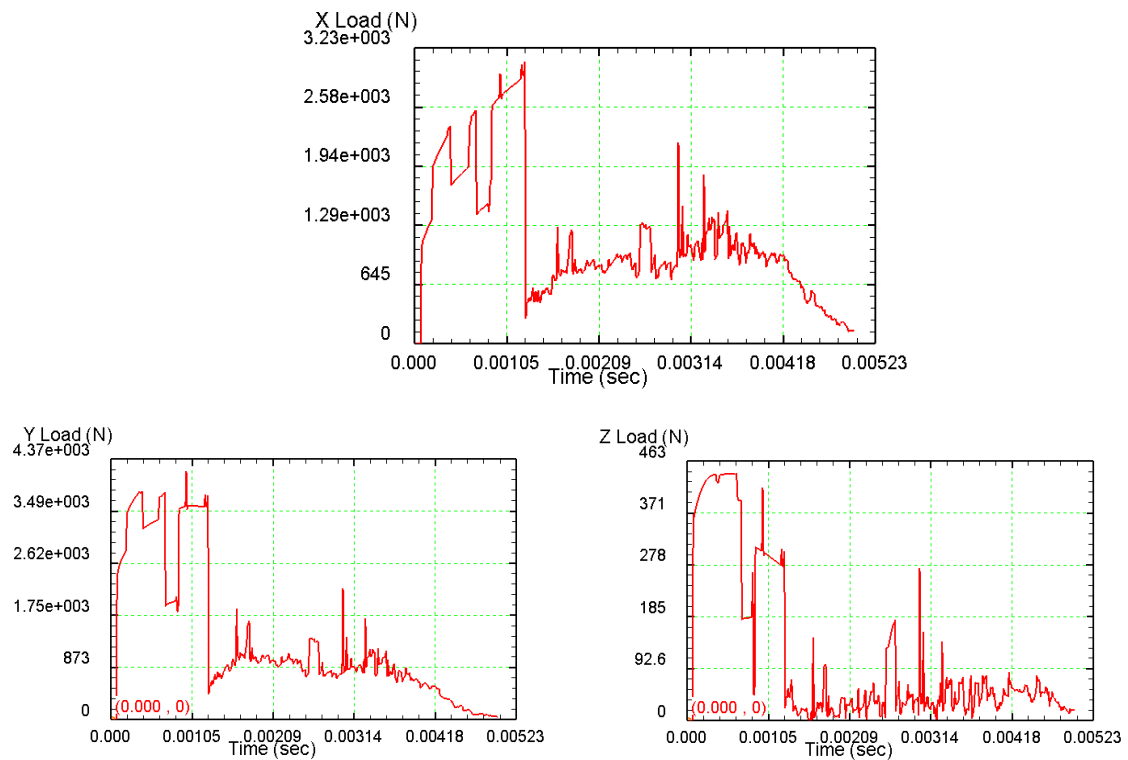


Рис. 3.10.1. Составляющие силы резания фрезы при подаче T15K6-40X;
 $S_{об}=0,3$ мм/об; скорость резания $V=120$ м/об; глубина резания $t=1$ мм.

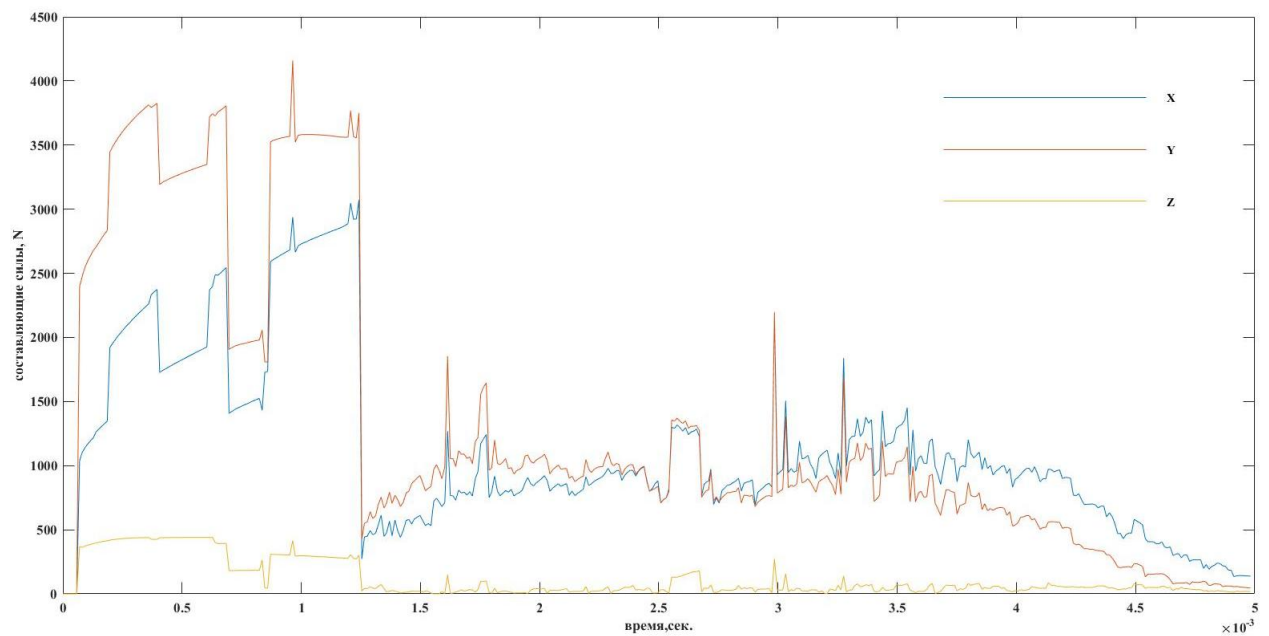
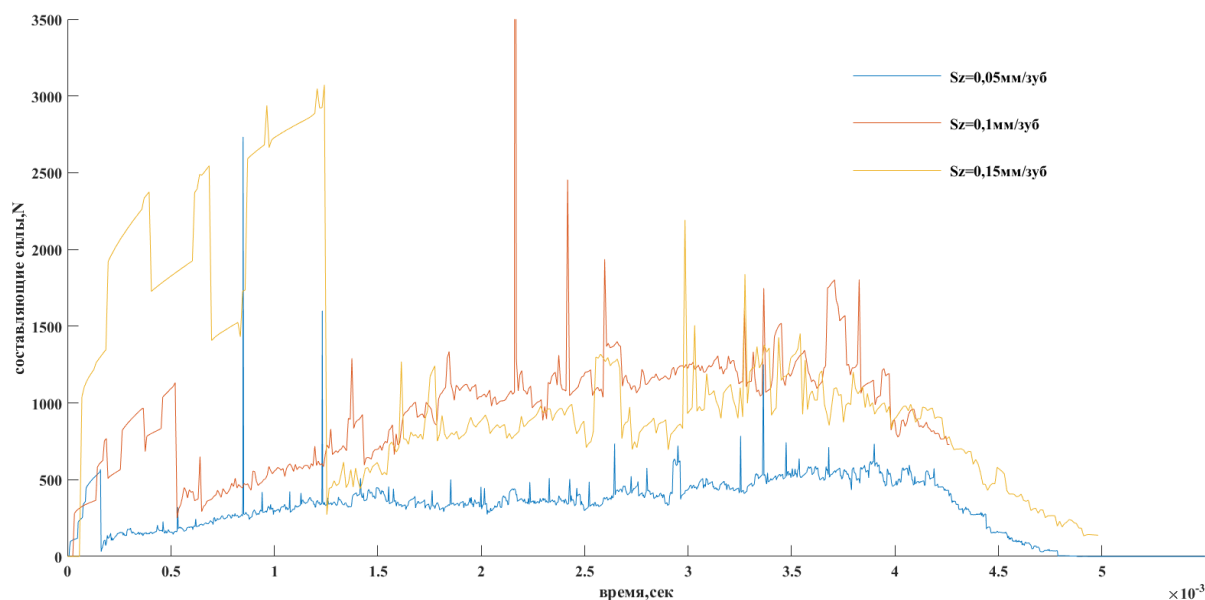
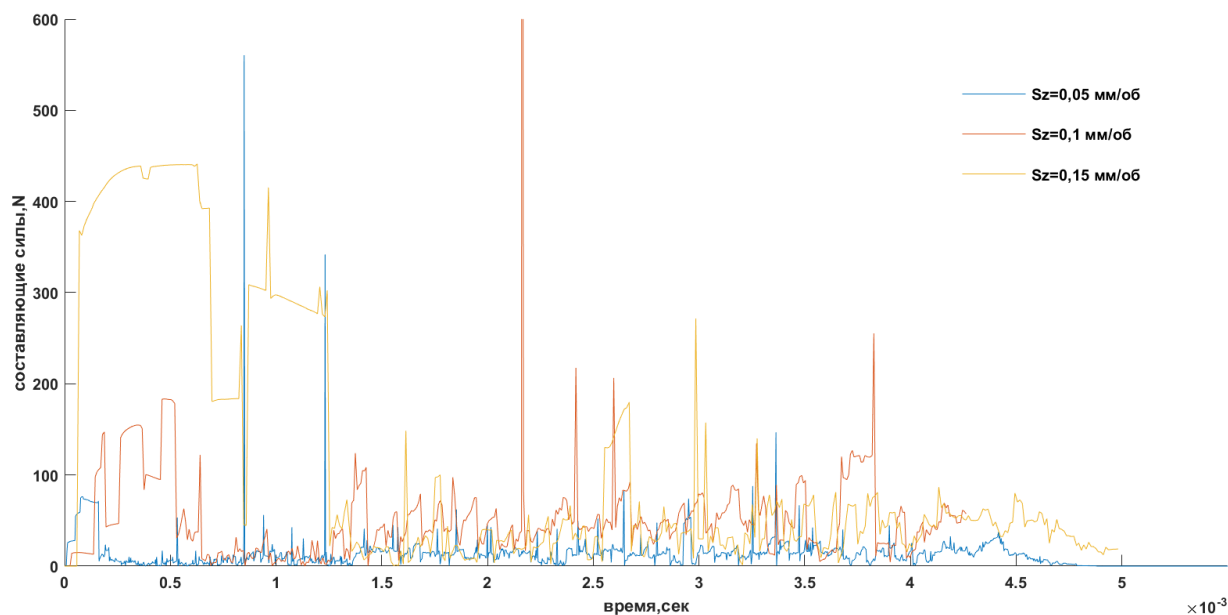


Рис 3.10.2. Изменение составляющих сил резания при встречном фрезеровании
 (T15K6-40X; $S_{об}=0,3$ мм/об; скорость резания $V=120$ м/об; глубина резания $t=1$ мм.)

Через обработку программы Matlab, мы можем визуально и удобно получить влияние подачи на составляющие силы резания фрезы (рис. 3.10.3) и измерение составляющих сил резания фрезы (рис. 3.10.2).

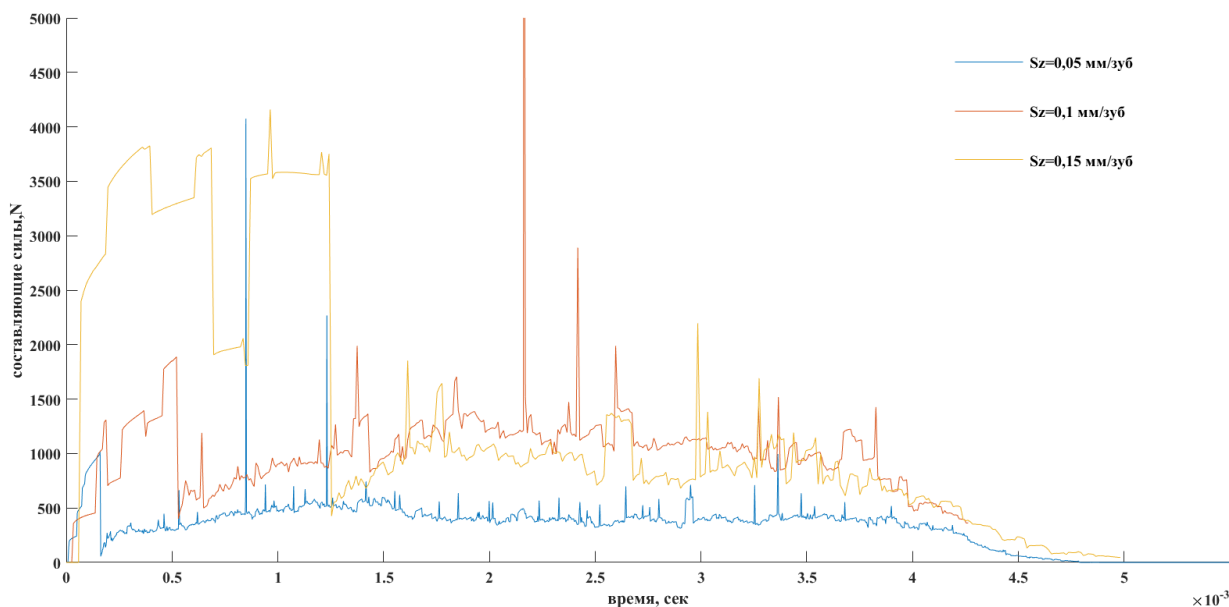


а) влияние подачи на составляющие силы резания фрезы (ось X)



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

Рис. 3.10.3. Влияние подачи на составляющие силы резания фрезы



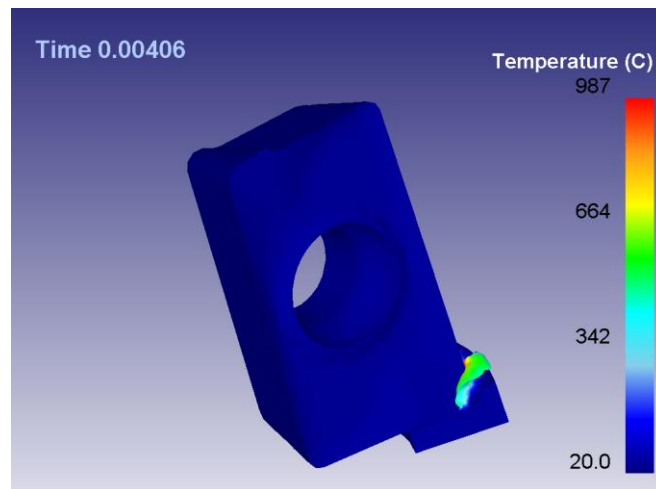
г) влияние подачи на составляющие силы резания фрезы (ось Y)

Рис. 3.10.3 (продолжение). Влияние подачи на составляющие силы резания фрезы

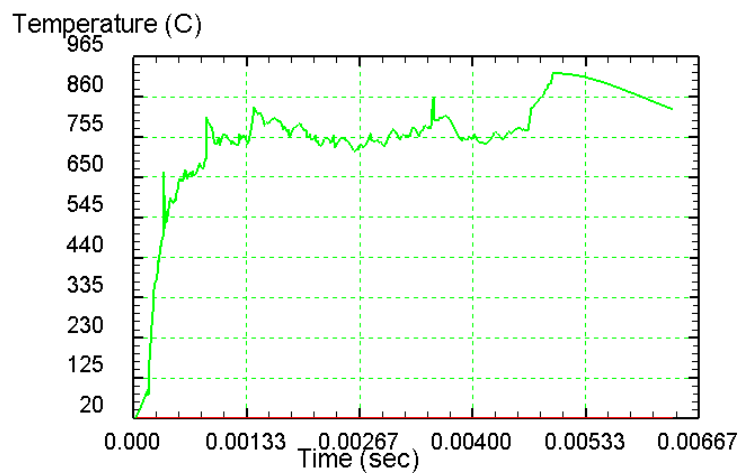
Из предыдущих графиков получили следующие выводы:

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

3.11. Исследование влияния подачи на температуру стружки в зоне контакта

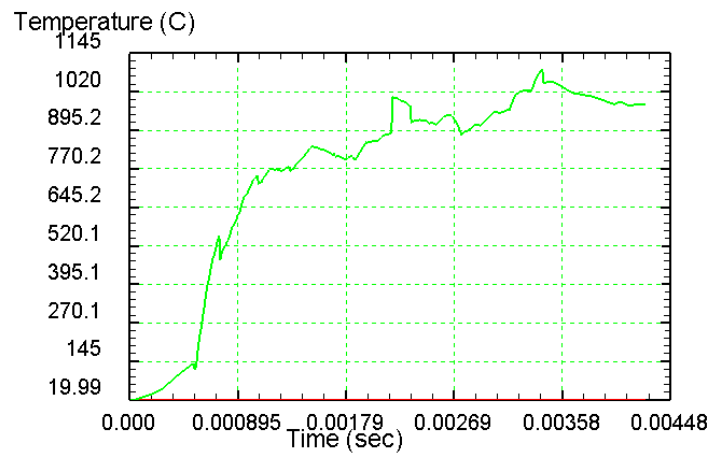


В работе было исследование влияния подачи на температуры стружки в зоне контакта. Мы вводим режим резания при фрезеровании в программу Deform, и получили результаты (рис 3.11.1).

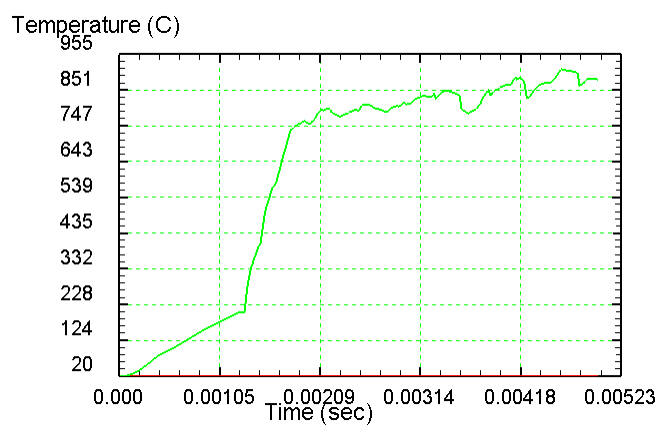


а) температуры зоны обработки при подаче $S_{06}=0,1$ мм/об

Рис. 3.11.1. Температура стружки в зоне контакту с различными подачами



б) температуры зоны обработки при подаче $S_{06} = 0.2 \text{ mm/ob}$



в) температуры зоны обработки при подаче $S_{06} = 0.3 \text{ mm/ob}$

Рис. 3.11.1 (продолжение). Температура стружки в зоне контакту с различными подачами

После анализа результаты с помощью программы MATLAB получили зависимость температуры стружки в зоне обработки от подачи (рис.3.11.2).

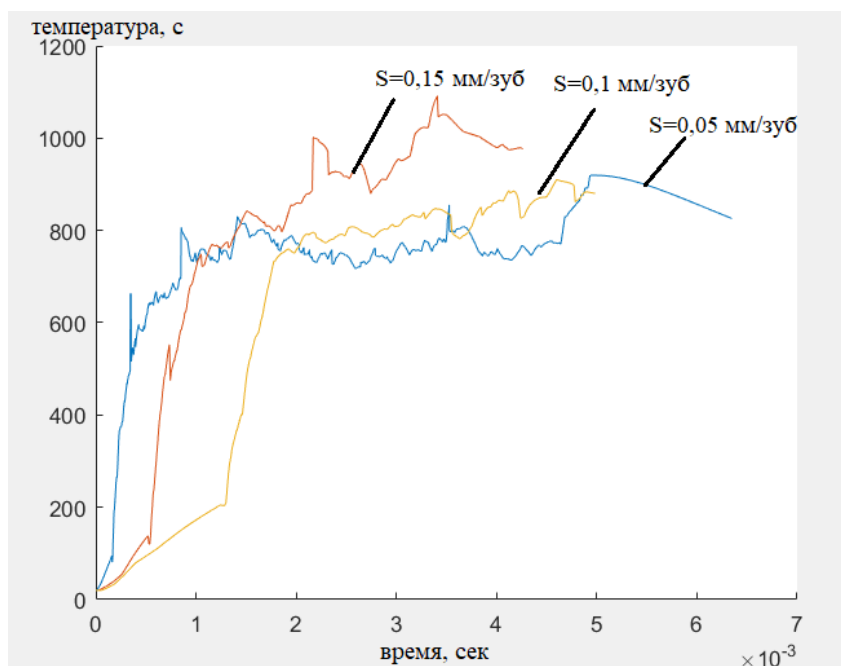


Рис 3.11.2. Зависимость температуры стружки в зоне контакту обработки от подачи

Из рис. 3.11.2 видно, что при врезании температура стружки в зоне контакте интенсивно увеличивается, и потом мало изменяется.

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

3.12. Исследование НДС режущей пластины фрезы при резании стали и алюминии

В нашей работе еще были исследования НДС режущей пластины при резании алюминии. После расчёта НДС пластины при резании алюминии и стали, мы сравнили их результаты.

Исходные данные:

При обработке алюминия

Материал режущей пластины: ТТ20К9 (WC= 71 %; TiC = 8 %; TaC= 12 % прочность (предел) на изгиб 1500 МПа, на сжатия 3000 МПа, на растяжения 650 МПа).

Режим фрезерования: подача на зуб $s_z = 0,2$ мм/зуб, глубина резания (ширина уступа) $t=3$ мм, скорость резания $v = 500$ м/мин.

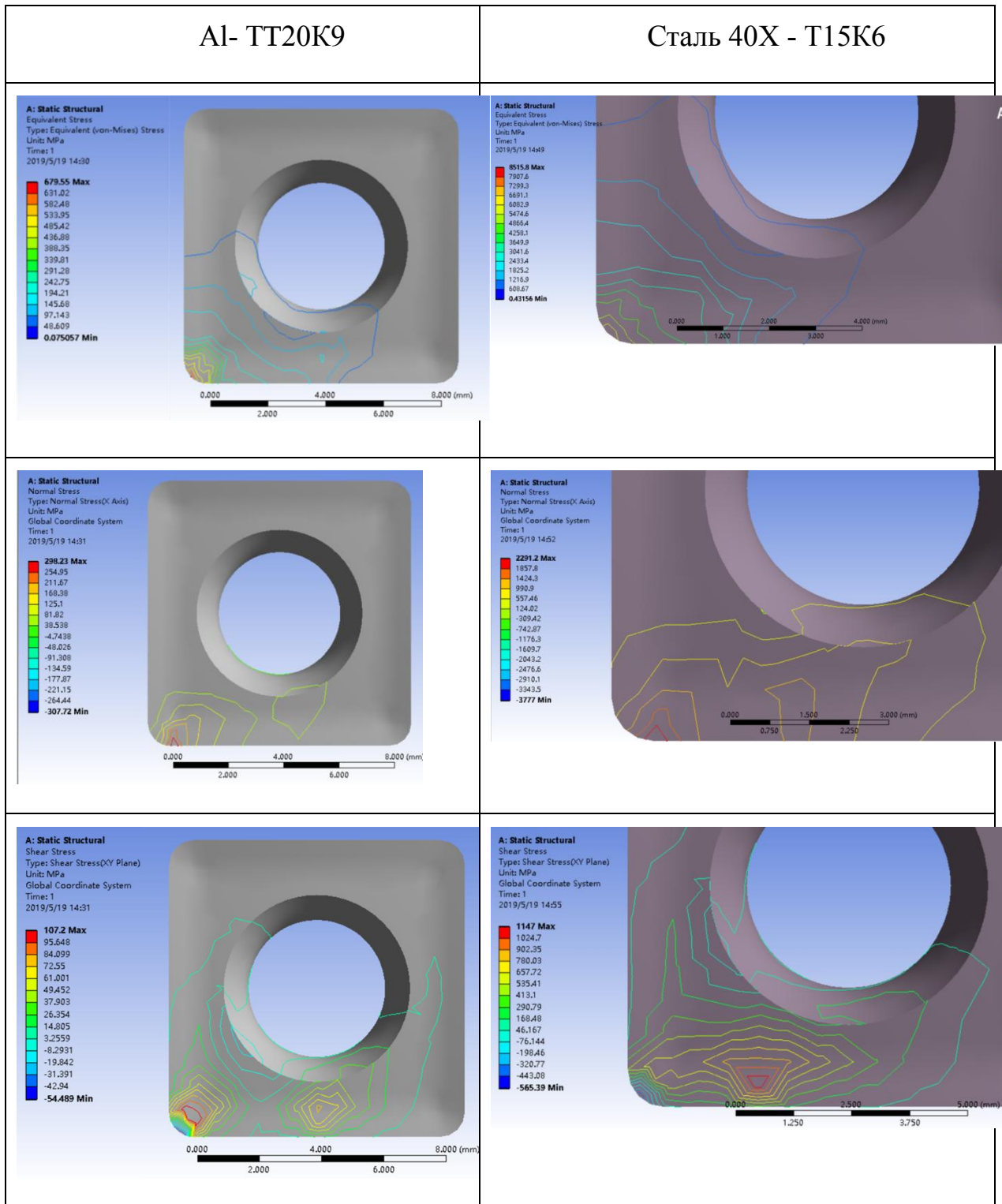
При обработке стали

Материал режущей пластины: Т15К6(WC= 79 %; TiC= 15 % предел прочности на изгиб 1200 МПа, предел прочности на сжатие 4200 МПа, предел прочности на растяжение 750 МПа.

Режим фрезерования: подача на зуб $s_z = 0,2$ мм/зуб; глубина фрезерования $t=2$ мм; скорость резания $v= 120$ м/мин

Результаты расчёта НДС режущей пластины при резании стали и алюминии приедены на таблице 3.8.6.1.

Таблица 3.8.6.1. НДС фрезы при врезании



После расчета внутренних напряжений пластины при резании стали и алюминии мы получили распределение нормальных напряжений, касательных и эквивалентных напряжений. Сравнения этих результатов показало, что внутренние напряжения в режущей пластины при резании стали больше приблизительно в 10 раз, чем при резании алюминии.

Выводы

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

при повороте зуба фрезы.

8. Увеличение подачи на зуб фрезы приводит к увеличению составляющих сил резания фрезы при врезании
9. При врезании составляющие силы резания фрезы при подаче $s_z=0,15$ мм/зуб почти в 2 раза больше, чем при подаче $s_z=0,1$ мм/зуб и в 4 раза больше чем при подаче $s_z=0,05$ мм/зуб.

Раздел ВКР на иностранном языке

The influence of the geometry of end mills on their stress-strain state when cutting steel

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Ли Ян		

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

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

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.			

INTRODUCTION

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

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

The program ANSYS 18.0 is the main program for the study. It combines the theoretical foundations of modern mathematics and mechanics with the methods of finite elements and the methods of computer graphics. With the help of the program ANSYS 18, we can visually and effectively obtain the calculation of the SSS of the cutting plates.

This study presents the general process of performing a study of stress-strain states of end mills using the ANSYS 18.0 software.

1. Materials and methods

Research of force dependences was executed in turning a workpiece made from a steel 40X (5140 in accordance to ASTM-SAE) with hardness HB 200 ... 210 and ultimate tensile stress $\sigma_B=1000$ MPa by a cutter at through passage with a cutting plate made from cemented carbide T15K6 with the principal edge angle in the plan $\varphi=45^\circ$, the end cutting-edge angle (the auxiliary edge angle in the plan) $\varphi_1=45^\circ$, the nose radius $r=0,1$ mm (fig. 1), the side-rake angle $\gamma=+7^\circ$, the side-relief angle (the principal clearance angle) $\alpha=12^\circ$, the angle of the principal cutting edge inclination $\lambda=0^\circ$.

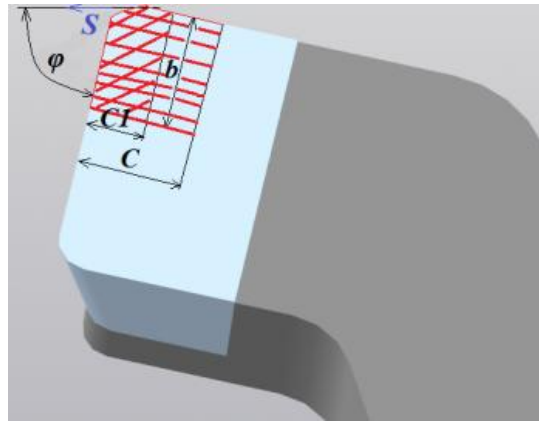


Fig. 1. Measurement of total contact length c and length of plastic contact c_1 of a chip with a rake surface of a cutter

After experiments with different feed rate s (mm/r) and depth of cutting t (mm), the cutter was taken off from the machine tool and was sharpened on a flank surface with the same side-relief angle $\alpha=12^\circ$ until the length of the chamfer on the flank surface did not accept necessary value. In our research we used chamfers: $h_f=0.95, 0.775, 0.54, 0.29, 0.13$ mm and $h_f=0$ mm, i.e. a bar blade. After each resharpening, cutting with different feed rate and depth of cut was executed. Resharpening only on the principal flank surface allowed to leave an invariable angle on the chamfer $\alpha_h=0^\circ$.

Throughout the cutting, the tangential P_z , radial P_y and axial P_x

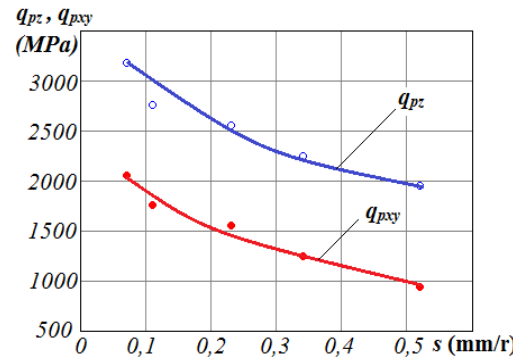
technological component forces of cutting were measured by use of Kistler' dynamometer and thermo-EDS Θ (μA), allowing to estimate mean cutting temperature. The use of thermal imager allowed to define temperature on different areas of a cutting tool and workpiece in $^{\circ}\text{C}$. At this research, a total contact length c and a length of plastic contact c_1 of a chip with a rake surface of a cutter were defined (Fig. 1). Chip thickness ratio $K_a = a_1/a$ was calculated, where a_1 – is chip thickness (mm), and a – uncut chip thickness: $a = s \cdot \sin \varphi$ (mm).

Graphs of the change of technological components P_z , P_y and P_x of cutting force at change of chamfer length h_f at the same cutting speed v (m/s), feed rate s and depth of cut t were used for research of contact stresses distribution on the flank-land.

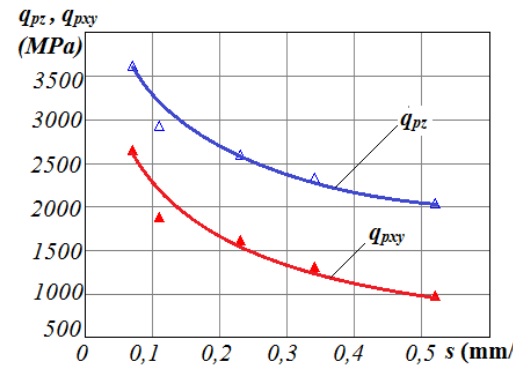
In cutting steel 40X, the length of the chip contact with the rake surface of the cutter c , by results of our experiments, was $c \approx (9 \dots 10,6) \cdot a$, where a - is uncut chip thickness (mm); $a = s \cdot \sin \varphi$.

After resharpening of a cutting plate on a flank surface and the subsequent mounting of a cutter, and also because of features of the cutting process, it is

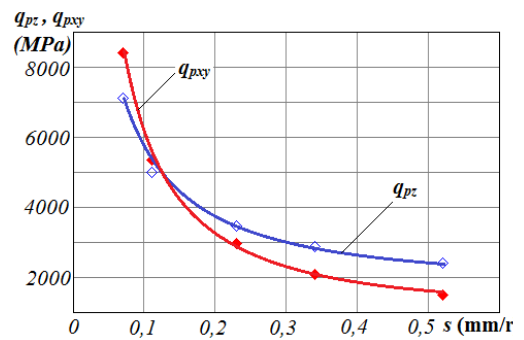
difficult to adjust precisely the required depth of cut t_{adjust} , therefore always



a) $h_f = 0.13$ mm



b) $h_f = 0.29$ mm



c) $h_f = 0.95$ mm

Fig. 2. Influence of feed rate s (mm/r) on specific cutting forces in steel 40X machining at a different length of flank-land h_f . Steel 40X - T15K6; $t = 2$ mm; $v = 2$ m/s, a rounding of the cutting edge $\rho \approx 5$ microns (μm).

there is a difference of the real (actual) depth of cut t_{actual} on a number of tenth of millimeter in different series of experiments. For elimination of a variance in the depth of cut t and, accordingly in cutting forces, after each cutting the real (actual) depth of cutting t_{actual} (mm) as a half of difference of diameters of workpiece before and after turning was calculated. This actual depth of cut was used for calculation of actual specific force of cutting, for example, for tangential component P_z : $q_{P_z \text{ actual}} = P_{z \text{ actual}} / (s \cdot t_{\text{actual}})$ (МПа). Then we calculated the more precisely defined force $P_{z \text{ pr}}$ for adjusted (required) depth of cut t_{adjust} : $P_{z \text{ pr}} = q_{P_z \text{ actual}} \cdot t_{\text{adjust}} \cdot s$ (N). These precisely determined forces $P_{z \text{ pr}}$, $P_{x \text{ pr}}$ and $P_{y \text{ pr}}$ were used for construction of graphs of cutting force dependence from the feed rate s , the depth of cut t and the length of a chamfer on a flank surface h_f .

2. The study of specific cutting forces

For research of influence of feed rate s on a specific tangential component of cutting force $q_{P_z \text{ actual}}$ (МПа) corresponding graphs (fig. 2) have been constructed.

In our research the precisely determined resultant force of cutting force components, acting in horizontal plain XOY, P_{xy} was calculated also: $P_{xy \text{ pr}} = \sqrt{(P_{x \text{ pr}}^2 + P_{y \text{ pr}}^2)}$. Using this the specific cutting force $q_{P_{xy}} = P_{xy \text{ pr}} / (s \cdot t_{\text{adjust}})$ (MPa) was calculated, and then graphs of its dependences on feed rate s have been constructed (fig. 2).

In the fig. 2 it is visible that increasing feed rate s cause reducing the specific cutting forces q_{P_z} and $q_{P_{xy}}$, and increasing of the flank-land length h_f cause reducing of these specific cutting forces more intensively.

By results of graphs of cutting force components P_z and P_{xy} , forces $P_{z \text{ r}}$, $P_{xy \text{ r}}$, acting on the rake surface of the cutter, have been chosen by the method of extrapolation on a zero chamfer of a flank surface ($h_f \rightarrow 0$ mm), and on them the normal N and the tangential (shear) F forces on the rake surface have been

calculated with the account of the principal angle on the plan φ and the principal rake angle γ .

3. The study of contact stresses distribution on a rake surface

These forces were used to create epures of normal σ and tangent τ stresses on the rake surface of the cutting tool (fig. 3) based on the law of contact stresses distribution, received by us [2] and other scientists [3, 4, 5, 6]. When constructing the drawing, the condition to be met is as follows :

$$N = \int_0^c \sigma_{xi} \cdot dx \quad (\text{N}) \quad \text{и} \quad F = \int_0^c \tau_{xi} \cdot dx \quad (\text{N}),$$

where σ_{xi} – is normal contact stress at a considered point i from a cutting edge on a front surface of a cutting tool (МПа); τ_{xi} – tangent (shear) contact stress at a considered point i from a cutting edge on a rake surface of a cutting tool (МПа); c – is length of contact of a chip with a rake surface of a cutting tool (mm).

By results of our experiments it has been acknowledged that the greatest normal contact stress on the rake surface $\sigma_{\max} \approx 1900 \dots 2300$ MPa, depending on feed s , that is approximately in 2 times more than ultimate tensile strength of a steel 40X. The parameters (Fig. 3) of contact stress on the rake surface of the cutter (Fig. 4) have been calculated by the obtained diagram.

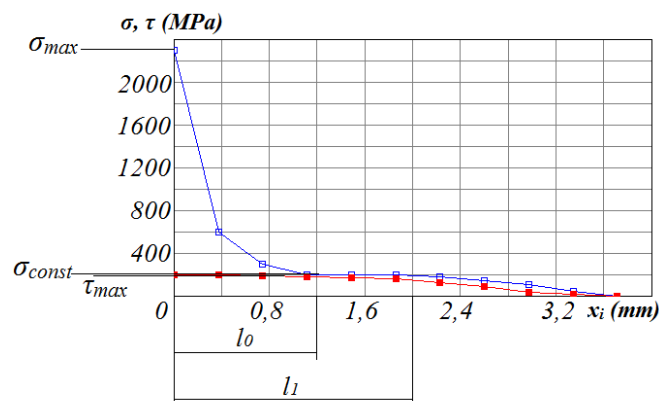


Fig. 3. Parametres of contact stresses epures on the rake surface of the cuttter

On Fig. 5, 6, 7 experimental points are presented and graphs after their calculation by program MathCAD to rectilinear dependence are constructed.

Tangent (shear)

contact stress on a front surface in steel 40X machining on the area with length $l_1=c_1$ does not vary at moving far from the cutting edge, which confirms plastic character of the chip contact with the rake surface. It has magnitude

$\tau_{\max} \approx 200$ MPa that is

equal to shear strength of this steel at temperature nearby 700 °C that corresponds to knowledge about the processes occurring on a rake surface [3, 4, 5, 6].

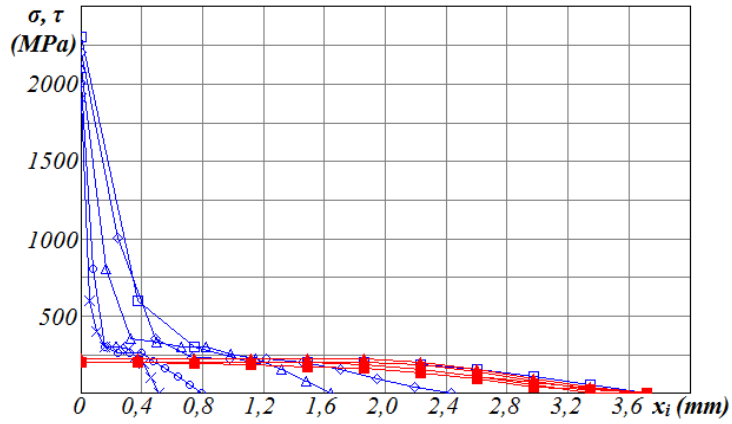


Figure 4. Distribution of normal σ ($\times$, $\circ$, Δ , $\diamond$, $\square$) and shear τ ($+$, $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacklozenge$, $\blacksquare$) contact stresses (MPa) on a rake surface of a cutter in steel 40X machining. $\gamma = 5^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $v = 2$ m/s, $t = 2$ mm. $\square$, $\blacksquare$ – $s = 0.52$ mm/r; $\diamond$, $\blacklozenge$ – $s = 0.34$ mm/r; Δ , $\blacktriangle$ – $s = 0.23$ mm/r; $\circ$, $\bullet$ – $s = 0.11$ mm/r; $\times$, $+$ – $s = 0.07$ mm/r.

Abscissa – is distance from a cutting edge along a rake surface x_i (mm)

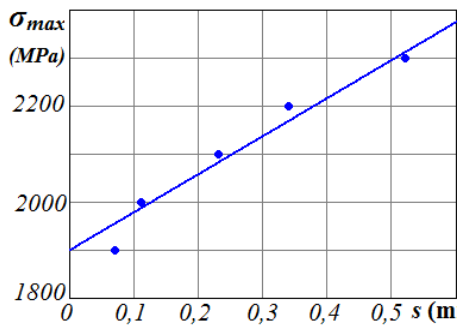


Fig. 5. Feed rate s (mm/r) influence on magnitude of the greatest normal contact stress at a cutting edge in steel 40X machining. $\sigma_{\max} = 792 \cdot s + 1900$ (MPa)

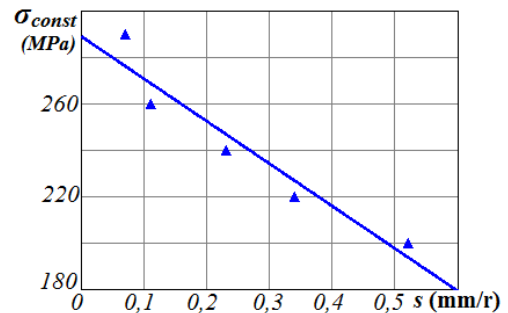


Fig. 6. Feed rate s (mm/r) influence on magnitude of the normal contact stress on the horizontal area of diagram in steel 40X machining. $\sigma_{\text{const}} = 792 \cdot s + 1900$ (MPa)

In our opinion, equations experimentally determined for a steel 40X are possible to use also for other brands of steels when the continuous chip is forming. A major factor which influence on contact stresses is ultimate tensile strength UTS (σ_{UTS}) (MPa). Considering that in our experiments the steel with $\sigma_{\text{UTS}}=1000$ (MPa) was being machined, we offer for calculation of epures' parametres on the rake surface of the cutting tool (see Fig. 3) to use following equations:

$$c \approx 10 \cdot a \text{ (mm)}; \quad l_1 \approx 0,55 \cdot c \text{ (mm)};$$

$$\sigma_{\text{max}} = 792 \cdot s + 1,9 \cdot \sigma_{\text{UTS}} \text{ (MPa)};$$

$$\sigma_{\text{const}} = -183 \cdot s + 0,289 \cdot \sigma_{\text{UTS}} \text{ (MPa)}; \quad \tau_{\text{ma}} \approx 0,2 \cdot \sigma_{\text{UTS}} \text{ (MPa)};$$

$$l_0 = 2,358 \cdot s - 5,1 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{\text{UTS}} \text{ (mm)}; \quad l_1 = 3,903 \cdot s - 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{\text{UTS}} \text{ (mm)}.$$

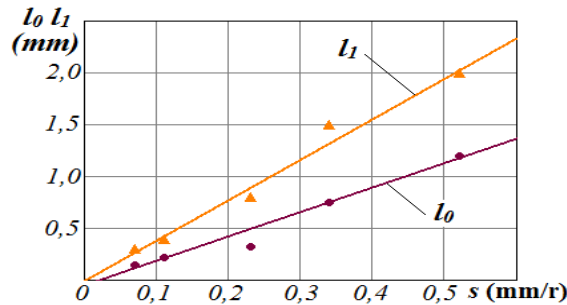


Fig. 7. Feed s (mm/r) influence on distance from the cutting edge to the start of a horizontal area of normal contact stress epure on a epure' horizontal area (σ_{const}) l_0 (mm) and its termination l_1 (mm) in steel 40X machining $l_0 = 2,358 \cdot s - 0,051$ (mm); $l_1 = 3,903 \cdot s - 0,011$ (mm)

4. The study of contact stresses distribution on a chamfer of a flank surface

Graphs of flank-land length h_f influence on cutting force components were used for construction of contact stresses epures on the flank-land. We believed that change of chamfer length slightly influences the forces acting on the rake surface [1], and that epures do not depend on flank-land length h_f at $\alpha_h=0^\circ$ [1, 2].

Normal specific contact load on the chamfer q_{Nh} (MPa) (or normal contact stress on the chamfer σ_h (MPa) when $\Delta h_f \rightarrow 0$ mm) was calculated as a ratio of an increment of normal force on a flank-land ΔN_h (N) to an increment of the area of the flank-land $q_{Nh} = \Delta N_h / (\Delta h_f b)$, where Δh_f – is an increment of length of the flank-land (mm), b - width of contact of a chamfer of a cutting tool with a workpiece surface (mm). The shear specific contact load on the chamfer q_{Fh} (MPa) (shear contact stress on the chamfer τ_h (MPa) when $\Delta h_f \rightarrow 0$ mm) was calculated as a ratio of an increment of shear (tangential) force on the flank-land ΔF_h (N) to an increment of the area of the flank-land $q_{Fh} = \Delta F_h / (\Delta h_f b)$ [2].

Distribution of contact stresses on the a flank surface chamfer in steel 40X machining are presented in Fig. 7. At a cutting edge contact stresses are almost equal to zero, and at moving far from the cutting edge they are essentially increased on an exhibitor. It is connected with a sag of cutting surface under the influence of a radial component cutting force on the rake surface P_{yr} in machining of the materials forming a discontinuous chip [1]. With increasing feed rate s the radial force on the rake surface P_{yr} is increased, but the length of projection of a conditional shear plain on a transient surface $2l = a \cdot \text{ctg} \Phi$ (mm) (where Φ is shear angle ($^\circ$) is also increased [1]. Specific normal load

$q=P_{yr}/(2l \cdot b)$ (MPa) is thus diminished, and the wave length of the sag is increased. This in appearance, a paradoxical hypothesis proves to be true by results of our experiments i.e., with increase of feed rate s contact stresses at a cutting edge are diminished.(compare graphs for feed $s=0.11$ (mm/r) and for feed $s=0.34$ (mm/r))

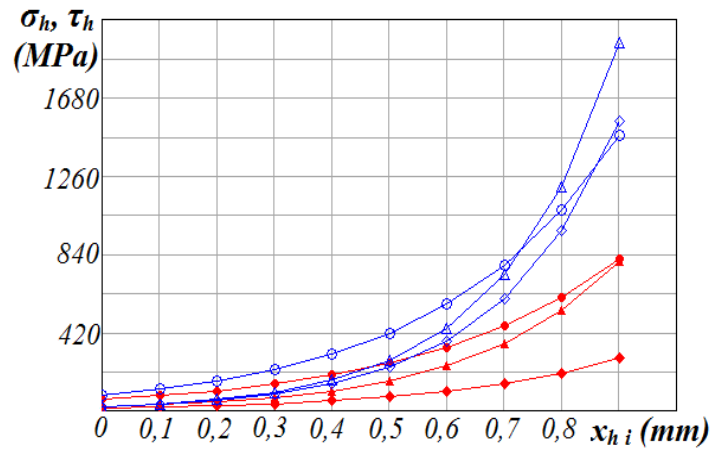


Fig. 8. Distribution of normal σ_h ($\diamond$, Δ , $\circ$) and shear τ_h ($\blacklozenge$, $\blacktriangle$, $\bullet$) contact stresses (MPa) on a flank-land of a cutter in steel 40X machining. $\gamma = 5^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $v=2$ m/s, $t=2$ mm. $\diamond$, $\blacklozenge$ - $s=0.34$ mm/r; Δ , $\blacktriangle$ - $s=0.23$ mm/r; $\circ$, $\bullet$ - $s=0.11$ mm/r.

Abscissa – is distance from a cutting edge along a flank surface chamfer x_{hi} (mm)

For approximate calculation of contact stresses on a flank-land it is possible to take their mean (average) values and on their base to construct sedate dependency graphs (Fig. 8). For normal contact stresses homogenization practically will not affect on accuracy of calculations, and for shear stresses there is essential enough variance between graphics for feed $s=0.11$ and 0.23 (mm/r) in comparison with the graph for feed $s=0.34$ (mm/r). For calculations on strength it is desirable to consider the average value from graphs $\sigma_{hi}=f(x_{hi})$ and $\tau_{hi}=f(x_{hi})$ for feed $s=0.23$ mm/r.

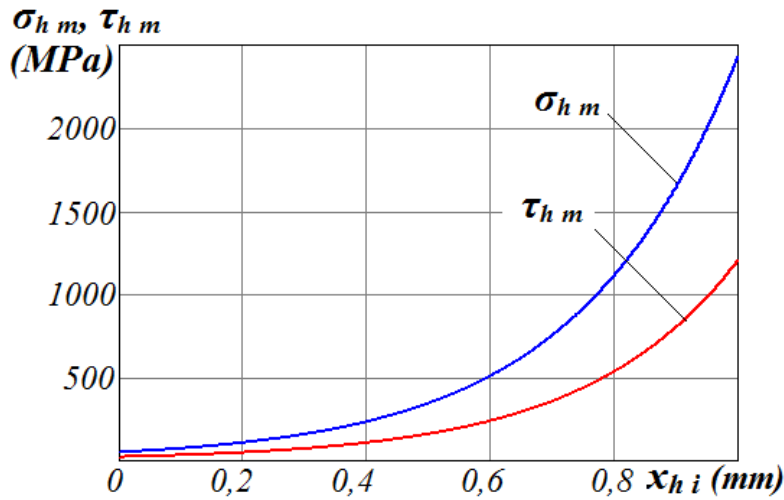


Fig. 8. Distribution of medium normal σ_{hm} and shear τ_{hm} contact stresses (MPa) on the chamfer of the flank surface of the cutting tool in steel 40X machining. $\gamma = 5^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $v = 2$ m/s, $t = 2$ mm. $\sigma_{hm} = 49,353 \cdot 49,205^{x_{hi}}$; $\tau_{hm} = 21,242 \cdot 56,656^{x_{hi}}$, where x_{hi} – is distance from the cutting edge to a considered point on the flank-land (mm).

The equations of the mentioned graphs:

$$\sigma_{hm} = 49,353 \cdot 49,205^{x_{hi}} \text{ (MPa); } \tau_{hm} = 21,242 \cdot 56,656^{x_{hi}} \text{ (MPa),}$$

where x_{hi} – is distance from the cutting edge to a considered point on the flank-land (mm).

Conclusions

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

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

3. In machining steel 40X we accept that length of contact of a chip with a rake surface $c=9 \dots 10 \cdot a$, where a – is uncut chip thickness (mm);
4. In machining steel 40X the greatest normal contact stress on a rake surface $\sigma_{\max} \approx 1900-2300$ (MPa) depends on feed rate;
5. In machining steel 40X a normal σ_h and a shear τ_h contact stresses on a flank surface chamfer near the cutting edge is approximately equal to zero that is connected with a sag of a transient surface under the influence of a radial component cutting force on the rake surface P_{yr} in machining of the materials forming a discontinuous chip.
6. In machining steel 40X a normal σ_h and a shear τ_h contact stresses on a flank surface chamfer are increased when moving far from a cutting edge that is connected with recovery of a transient surface. It explains a tool failure at wear on a flank surface more than 1.3 mm ($h_f > 1.3$ mm).
7. Under our formulas, output on the basis of experimental data, it is possible to calculate component forces of cutting and contact stresses on a rake surface and on a flank-land of a cutter in turning steel 40X.

Acknowledgments

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

References

- [1] Kozlov V., Zhang J., Cui J., Bogolyubova M. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. v. 743, pp. 252-257. (<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.743.252>).
- [2] Kozlov V.N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear // Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012,

v. 2, pp. 147-151.

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

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

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Ли Ян

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР: Влияние геометрии концевых фрез на их НДС при резании.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объект исследования: концевые фрезы</i> <i>Рабочая зона находится в 16-ом уч. корпусе .</i> <i>Оборудование: станок, компьютер, динамометр.</i> <i>Область применения: машиностроение.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности -Специальные правовые нормы трудового законодательства. -Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) 2) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. 3) ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. 4) ГОСТ 22269-76. Система «человек -машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. 5) ГОСТ 22613-77. Система «человек -машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования. 6) ГОСТ 22614-77. Система «человек- машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования. 7) ГОСТ 22902-78. Система «человек- машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования. 8) ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. 9) СанПиН 2.2.2/4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
2.Производственная безопасность 2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой 2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой	Вредные факторы: 1. превышение уровня шума; 2. недостаточная освещенность рабочей зоны? 3. повышенный уровень вибрации Опасные факторы: 1. разлет стружки при резании стали 2. повышенная температура поверхностей оборудования 3. Опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	Утилизация бытовых отходов, стружки.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС Стихийные бедствия, воды, терроризм, войны, пожар. Наиболее типичная ЧС: Пожар.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Ли Ян		

Раздел «Социальная ответственность»

Введение

Большую часть экспериментов проводилось в 16А корпусе ТПУ, в аудитории № 101(а), а также для создания 3D модели был использован ПК.

В данном разделе будут рассматриваться вопросы, связанные с правилами эксплуатации помещения, техникой безопасности и охранной труда в лаборатории, как при возникновении опасной ситуации, так и при ЧС. А также будет проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на человека, что позволит определить средства индивидуальной и коллективной защиты, и решить вопросы обеспечения безопасности в целом, как для помещения, так и для организации в целом.

Мы исследовали влияния геометрии концевых фрез на их НДС (напряженно-деформационные) состояния при резании. В исследовании, мы установили резец на токарном станке, и измеряли силы резания, износа и деформации режущих пластин при резании стали. После эксперимента, мы построили 3D модель объекта в компьютерной программе, и исследовали прочность пластины с различными факторами. Наши исследования применяются в области производства режущих инструментов и машиностроении.

4.1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Организационные и правовые мероприятия обеспечения безопасности

В данном разделе будут рассматриваться рабочее место оператора токарного станка.

Рабочее помещение должно оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Прежде рабочее место оператора станка должно обеспечиваться необходимым количеством заготовок, инструмента и приспособлений для бесперебойной работы в течение смены. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы, с одной стороны, она гарантировала оптимальные условия труда, а с другой - была бы экономически целесообразной.

Площадь на одно рабочее место с компьютером и другими приборами для взрослых пользователей должна составлять не менее 6 м², а объем не менее -20 м³.

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Расположение рабочих мест за мониторами и другими приборами для взрослых пользователей в подвальных помещениях не допускается.

Для внутренней отделки интерьера помещений должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка — 0,7-0,8; для стен — 0,5-0,6; для пола — 0,3-0,5.

Поверхность пола в рабочем помещении должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами. Полы и стены помещений, в которых производится сварка, должны быть изготовлены из несгораемого материала. В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи. Взрывоопасные и легковоспламеняющиеся материалы должны находиться на расстоянии не менее 5 м от места сварки; их необходимо закрывать огнестойкими материалами (асбест и т. д.).

На работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия средства индивидуальной защиты в соответствии с типовыми нормами, утвержденными в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Для предупреждения заболеваний, связанных с работой на станке необходима рациональная организация труда и отдыха, которая нормируется в соответствии с санитарными правилами.

К средствам индивидуальной защиты относятся специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты (изолирующие костюмы, средства защиты органов дыхания, средства защиты рук, средства защиты головы, средства защиты лица, средства защиты органа слуха, средства защиты глаз, предохранительные приспособления[8].

4.1.2. Особенности законодательного регулирования проектных решений

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно–правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Согласно [18] в условиях непрерывного производства нет возможности использовать режим рабочего времени по пяти– или шестидневной рабочей неделе. По этой причине применяются графики сменности, обеспечивающие непрерывное обслуживание производственного процесса, работу персонала сменами постоянной продолжительности, регулярные выходные дни для каждой бригады, постоянный состав бригад и переход из одной смены в другую после дня отдыха по графику. На объекте применяется четырех-бригадный график сменности. При этом ежесуточно работают три бригады, каждая в своей смене, а одна бригада отдыхает. При составлении графиков сменности учитывается положение ст. 110 ТК [18] о предоставлении работникам еженедельного непрерывного отдыха продолжительностью не менее 42 часов.

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно–правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

К таким органам относятся:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)).

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

4.2. Производственная безопасность

Таблица 1.

Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб	Изгото	Эксплу	
1.превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002
2.недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.2.542-96
3.повышенный уровень вибраций		+		ГОСТ 12.1.012-90
4.превышение температуры поверхности объекта при работе		+	+	ГОСТ 12.3.003-91
5.Разлет стружки при		+		ГОСТ 12.3.002-2014

работе на станке				ССБТ.
------------------	--	--	--	-------

4.2.1. Анализ вредных факторов производственной среды

Превышение уровня шума

Источником шума нашего исследования является токарный станок 1К62.

Нормальным уровнем шума при работе в помещении считается 60 дБА. Под воздействием шума, превышающего 85-90 дБА, снижается слуховая чувствительность. Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха.

Для снижения шума можно использовать следующие методы:

1. уменьшение шума в станке- Применение вязкой смазки;
2. установка в помещении звукопоглощающих экранов;
3. Применение шумозаглушающего кожуха;
4. Ликвидация погрешностей в зацеплении шестерен;

При выполнении работы оператор токарного станка использует наушник с шумоподавлением.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Важную роль при создании благоприятных условий труда, для работающих с ПЭВМ, играет правильная организация световой среды (обеспечение оптимальной концентрации естественного и искусственного света).

Согласно СанПиН 2.2.2.542-96 при работе за персональным компьютером и документацией допускается комбинирование освещения, т.е. помимо общеравномерного освещения установка светильников местного освещения. Местное освещение должно располагаться ниже или на уровне линии зрения работника так, чтобы не создавать бликов на поверхности экрана. Освещение должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечить оптимальные соотношения яркости рабочих и окружающих поверхностей. Освещенность в зоне документов должна быть в диапазоне 300-500 лк, а при работе исключительно с экраном 200 лк. Искусственное освещение располагается так, чтобы обеспечить хорошую видимость на мониторе компьютера. Блёскость уменьшается за счет правильно подобранных осветительных устройств и расположения рабочих мест по отношению к источникам искусственного и естественного освещения. Потолок так же является отражательной поверхностью, поэтому его яркость не должна превышать 200 кд/м^2 . Источником света при искусственном освещении являются люминесцентные лампы типа ЛБ нейтрально-белого или "теплого" белого цвета с индексом цветопередачи не менее 70. Естественное освещение в помещениях, оборудованных ПЭВМ, должно осуществляться через окна, ориентированные на север и северо-восток, обеспечивая коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1.5 % на остальной

территории. Также одним из нормируемых показателей является коэффициент пульсации (K_p), он не должен превышать 5 % [9], что обеспечивается применением газоразрядных ламп в светильниках общего и местного освещения с высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА) для любых типов светильников. Если ВЧ ПРА отсутствуют, применяют лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети

Повышенный уровень вибрации

Источником вибрации в нашем исследовании является токарный станок 1К62.

При изучении действия вибрации на организм человека нужно учитывать, что колебательные процессы присущи живому организму прежде всего потому, что они в нем постоянно протекают. Внутренние органы можно рассматривать как колебательные системы с упругими связями. Их собственные частоты лежат в диапазоне 3–6 Гц. При воздействии на человека внешних колебаний таких частот происходит возникновение резонансных явлений во внутренних органах, способных вызвать травмы, разрыв артерий, летальный исход. Собственные частоты колебаний тела в положении лежа составляют 3–6 Гц, стоя — 5–12 Гц, грудной клетки — 5–8 Гц. Воздействие на человека вибраций таких частот угнетает центральную нервную систему, вызывая чувство тревоги и страха. Источниками вибрации могут являться: станки, гидравлические прессы, заточное оборудование,

электрокары. В таблице 1 приведены нормы вибрации для производственных помещений. [5]

Таблица 2.

Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности

труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

В таблице 2 представлено влияние вибраций на организм человека в целом.

Таблица 3.

Влияние вибрации на организм человека

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Результат воздействия
До 0,015	Различная	Не влияет на организм
0,016-0,050	40-50	Нервное возбуждение с депрессией
0,051-0,100	40-50	Изменение в центральной нервной системе, сердце и органах слуха
0,101-0,300	50-150	Возможное заболевание
0,101-0,300	150-250	Вызывает виброболезнь

В последнее время принято различать три формы вибрационной болезни: периферическую — возникающую от воздействия вибрации на руки (спазмы периферических сосудов, приступы побеления пальцев рук на холоде, ослабление подвижности и боль в руках в покое и ночное время, потеря чувствительности пальцев, гипертрофия мышц); церебральную — от

преимущественного воздействия вибрации на весь организм человека (общемозговые сосудистые нарушения и поражение головного мозга); смешанную — при совместном воздействии общей и локальной вибрации.

Вредность вибрации усугубляется одновременным воздействием на работающих пониженной температуры воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, охлаждения рук рабочего при работе с ручными машинами, запыленности воздуха, неудобной позы и др.

- низкочастотные вибрации (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1-4 Гц для общих вибраций, 8-16 Гц - для локальных вибраций);

- среднечастотные вибрации (8-16 Гц - для общих вибраций, 31,5-63 Гц - для локальных вибраций);

- высокочастотные вибрации (31,5-63 Гц - для общих вибраций, 125-1000 Гц - для локальных вибраций).

Для снижения вибрации можно использовать следующие методы:

1. использование средств индивидуальной защиты- защитная обувь, стельки и подметки;

2. уменьшение интенсивности вибрации в источнике — использование точнее и надежнее закрепление деталей на станке.

4.2.2 Анализ выявленных опасных факторов

Основными *опасным фактором* являются:

- Повышенная температура поверхности оборудования, материалов.
- Разлет стружки при работе на станке.

Повышенная температура поверхности материалов

При резании металлов затрачивается работа на пластические и упругие деформации в срезаемом слое и в слое, прилегающем к обработанной поверхности и поверхности резания, а также на преодоление трения по передней и задней поверхностям резца.

Повышенные температуры могут вызвать ожоги различных степеней в зависимости от температуры поверхности

Образующееся тепло поглощается стружкой — 50—86%, резцом—10—40%, обрабатываемой деталью — 3—9% и около 1% тепла рассеивается в окружающей среде излучением.

Высокая температура в зоне резания оказывает непосредственное влияние на износостойкость инструмента, состояние обрабатываемого материала, качество обработанной поверхности детали и производительность процесса резания.

Для снижения температуры применяются методы :

1. Применение смазочно-охлаждающей жидкости;
2. Снижение скорости резания;

Для безопасной работы используют специальные защитные рабочие одежды.

Разлет стружки при работе на станке

Источникам разлета стружки при работе на станке являются высокая температура зоны резания. Высокая температура изменяет структуры стружки, и появится разлет стружки. Разлет горячей стружки может привести к множественным ожогам, так же стружка может привести к поломке оборудования и тем или иным образом повлиять на безопасность человека.

Методы борьбы с разлетом стружки:

1. Использование специальных одежд;
2. установление защитного экрана;
3. применение смазочно-охлаждающей жидкости.

4.3. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды на предприятии характеризуется комплексом принятых мер, которые направлены на предупреждение отрицательного воздействия человеческой деятельности предприятия на окружающую природу, что обеспечивает благоприятные и безопасные условия человеческой жизнедеятельности. Учитывая стремительное развитие научно-технического прогресса, перед человечеством встала сложная задача – охрана важнейших составляющих окружающей среды (земля, вода, воздух), подверженных сильнейшему загрязнению техногенными отходами и выбросами, что приводит к окислению почвы и воды, разрушению озонового слоя земли и климатическим изменениям. Промышленная политика всего мира привела к таким необратимым и существенным изменениям в окружающей среде, что этот вопрос (охрана окружающей среды на предприятии) стал общемировой проблемой и принудил государственные аппараты разработать долгосрочную экологическую политику по созданию внутригосударственного контроля за ПДВ.

Как правило, в качестве промышленных отходов выступают: бумага, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов. Сжигание этих отходов уменьшает их объём на 90%, но в результате сжигания происходит выделение вредных газов и дымов, что загрязняет атмосферу.

В ходе работы, под стол станка был поставлен специальные железные ящики, используемые для собирания стружки. Мы продаваем собирающуюся стружку специальным компаниям.

Большинство исследования произошла в компьютерной программе, исследование почти не влияет на окружающую среду.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина, проектно-конструкторские недоработки, сложность технологий, недостаточная квалификация персонала,. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации, - это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны. Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются взрыв или пожар на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов.

На основании рекомендаций [4] определяем категорию помещения по

пожароопасности по ППБ – 03. В данном случае помещение относится к категории Г - производства, связанного с процессом обработки негорючих веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, который сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени.

Причиной возгорания в 1-ом этаже корпуса 16А, ТПУ могут быть следующие факторы:

- 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;

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются следующие задачи:

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

Пожаром называют неконтролируемое горение во времени и пространстве, наносящее материальный ущерб и создающее угрозу жизни и здоровью людей.

Предотвращение пожара достигается исключением образования горючей среды и источников зажигания, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

Для профилактики возникновения пожаров необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

Организационные мероприятия:

- противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В кабинете имеется порошковый огнетушитель типа ОП–5 и находится пожарный щит, установлен рубильник, обесточивающий всю аудиторию, на двери аудитории приведен план эвакуации в случае пожара;
- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования [4].

- обеспечение свободного подхода к оборудованию. В рассматриваемом тех. бюро места размещены так, что расстояние между рабочими местами с видеотерминалами составляет более 4,07 м, расстояния между боковыми поверхностями порядка 1 м, что соответствует нормам, а поэтому дополнительных мер защиты не требуется;

Технические мероприятия:

Так же необходимо предусмотреть наличие эвакуационных выходов для персонала. Число эвакуационных выходов из здания с каждого этажа должно быть не менее двух. Ширину эвакуационного выхода (двери) устанавливают в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, но не менее 0.8 м. Высота прохода на эвакуационных путях должна быть не менее 2 м. План эвакуации приведен на рис. 4.1

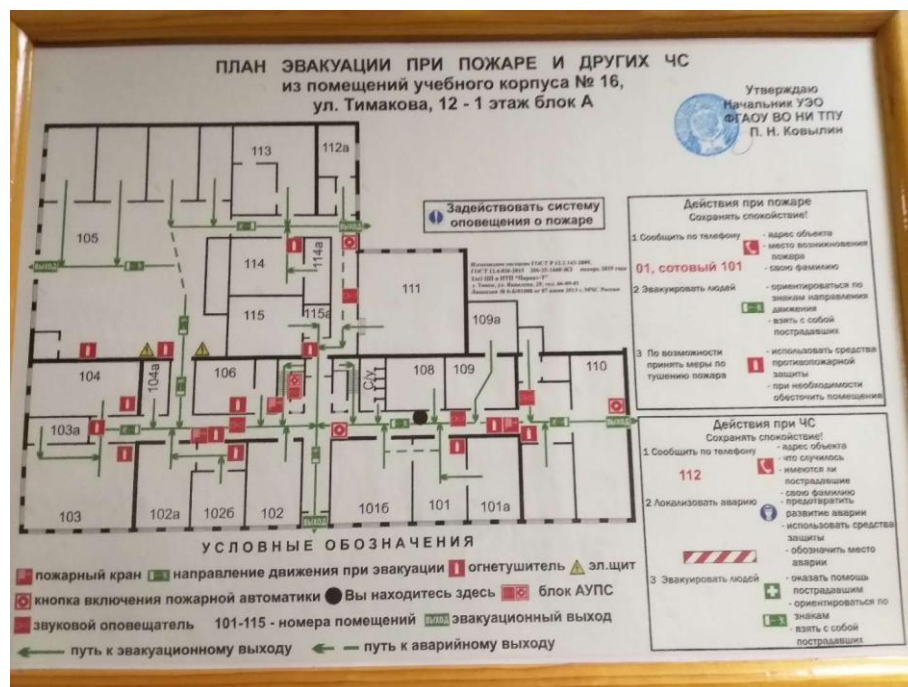


Рис.4.1 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из 1-го этажа учебного корпуса 16а.

Заключение по разделу

Основная цель социальной безопасности как науки - защита человека в техно сфере от негативных воздействий антропогенного и естественного происхождения и достижение комфортных условий работы.

Современная жизнь, в любой сфере - естественный, от которой зависят другие-производственная, наиболее насыщена опасными факторами, бытовая, психическая, социальная отмечается насыщенностью опасными факторами, явлениями. Знание их природы, специфики воздействия на человека, на все живое и неживое, может снизить вредность их действия, обеспечить здоровую длительную жизнь.

Воздействие вредных факторов на человека сопровождается ухудшением здоровья, возникновением профессиональных заболеваний, а иногда и сокращением жизни. Воздействие вредных факторов чаще всего связано с профессиональной деятельностью людей, поэтому все способы обеспечения комфортности и жизнедеятельности людей (вентиляция, отопление, освещение и др.) в первую очередь относятся к обеспечению их на рабочем месте.

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Ли Ян

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

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

1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- | | |
|---|---|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | <i>Оценка конкурентоспособности проекта</i> |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | <i>Расчет полной себестоимости проекта</i> |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | <i>Оценка экономической эффективности проекта</i> |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *График проведения и бюджет НИ*
3. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
------------------	------------	-------------------------------	----------------	-------------

Доцент	Конотпский Владимир Юрьевич	к.э.н.		
--------	--------------------------------	--------	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Ли Ян		

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составлен полный перечень проводимых работ по исследованию влияния геометрии концевых фрез на их напряженно-деформационные состояния при резании стали, определены исполнители и рациональная продолжительность.

Перечень работ и продолжительность их выполнения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Выбор темы исследования	НР, И	НР – 100% И – 30%
Обсуждение актуальности исследования	НР, И	НР – 100% И – 40%
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%

Формирование плана исследования	НР, И	НР – 100% И – 30%
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Планирование экспериментов	НР, И	НР – 100% И – 40%
Подготовка к экспериментам	НР, И	НР – 10% И – 100%
Проведение предварительных экспериментов	НР, И	НР – 100% И – 100%
Измерение силы резание	НР, И	НР – 40% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Создание 3D модель режущей пластины	И	И – 100%
Расчёт НДС режущей пластины с помощью ANSYS	И	И – 100%
Исследование НДС режущей пластины	И	И – 100%
Вывод по проведенной работе	НР, И	НР – 60% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Продолжительность этапов работ

Определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5},$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5}$$

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

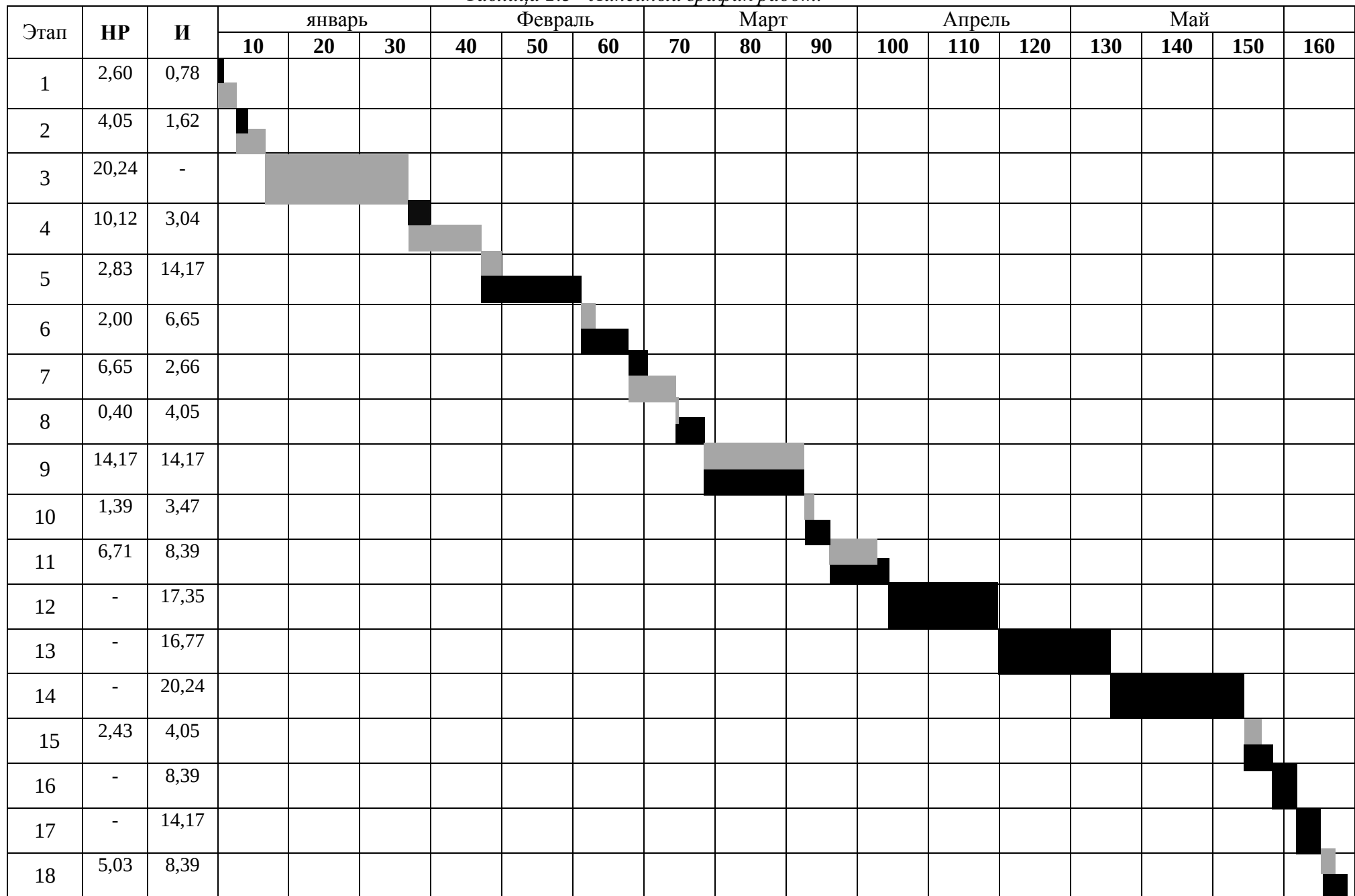
Таблица 2

Трудозатраты на выполнение проекта

Номер	Этап	Испол нител и	Продолжительность работ, дни			Труд-сть работ по исполнителям чел.-дн.			
			t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{рд}		Т _{кд}	
						НР	И	НР	И
1	Выбор темы исследования	НР, И	1	3	1,80	2,16	0,65	2,60	0,78
2	Обсуждение актуальности исследования	НР, И	2	4	2,80	3,36	1,34	4,05	1,62
3	Постановка целей и задач	НР	10	20	14,00	16,80	-	20,24	-
4	Формирование плана исследования	НР, И	5	10	7,00	8,40	2,52	10,12	3,04
5	Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	7	14	9,80	2,35	11,76	2,83	14,17
6	Обсуждение литературы	НР, И	3	7	4,60	1,66	5,52	2,00	6,65
7	Планирование экспериментов	НР, И	3	7	4,60	5,52	2,21	6,65	2,66
8	Подготовка к экспериментам	НР, И	2	4	2,80	0,34	3,36	0,40	4,05
9	Проведение предварительных экспериментов	НР, И	7	14	9,80	11,76	11,76	14,17	14,17
10	Измерение силы резание	НР, И	2	3	2,40	1,15	2,88	1,39	3,47
11	Анализ полученных данных	НР, И	5	7	5,80	5,57	6,96	6,71	8,39
12	Создание 3D модель режущей пластины	И	10	15	12,00	-	14,40	-	17,35
13	Расчёт НДС режущей пластины с помощью ANSYS	И	10	14	11,60	-	13,92	-	16,77
14	Исследование НДС режущей пластины	И	10	20	14,00	-	16,80	-	20,24
15	Вывод по проведенной работе	НР, И	2	4	2,80	2,02	3,36	2,43	4,5
16	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	2	3	2,4	-	2,88	-	3,47
17	Оформление графического	И	2	3	2,4	-	2,88	-	3,47

	материала								
18	Подведение итогов	НР, И	2	3	2,4	1,73	2,88	2,08	3,47
	Итого:					62,81	106,08	75,68	127,83

Таблица 2.3 Линейный график работ.



НР - ■ И - ■

Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от

поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %. Результаты по данной статье заносятся в табл. 3.4.

Таблица 3.4-Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Лицензия программой	2000	1 экз.	2000
Бумага для принтера формата А4	250	2уп.	500
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Оплетка расчетно-пояснительной записки	300	1 шт.	300
Итого:			4043

Допустим, что ТЗР составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 4043 \cdot 1,05 = 4245,15. \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}.$$

Таблица 2.5- Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,09	63	1,699	143653,29
И	15 470	616,75	107	1,62	106907,45
Итого:					250560,73

Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3.$$

$$C_{\text{соц}} = 250560,73 \cdot 0,3 = 75168,22 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}},$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{ЦЭ} = 5,748 \text{ руб./кВт}\cdot\text{час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 3.6 для инженера/оператора станка ($T_{рд}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часам.

$$t_{об} = T_{рд} \cdot K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рд}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования. Для станка с ЧПУ во время проведения экспериментов примем $K_t = 0,8$; для микроскопа $K_t = 0,3$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} \cdot K_c,$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Таблица 3.6

Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты на электроэнергию $C_{эл. об.}$, руб.
Персональный компьютер	849*0,6	0,3	878,04
Струйный принтер	30	0,1	17,24
Итого:			895,28

Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{\text{ам}} = \frac{H_A \cdot C_{\text{об}} \cdot t_{\text{рф}} \cdot n}{F_{\text{д}}},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{об}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$C_{\text{об}} = 50000$ руб;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени .Например, для ПК в 2019 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $C_{\text{ам}} = 298 = 298 \cdot 8 = 2384$ часа;

$t_{\text{рф}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе создания программного продукта, $t_{\text{рф}} = 849$ часа;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования. $n = 1$

Итак , затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{\text{ам}} = \frac{0,4 \times 50000 \times 1 \times 849}{2384} = 7122,48 \text{ руб.}$$

Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;

- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – **100** руб./день.

Данные расходы в работе не предусмотрены.

Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нр}}) \cdot 0,1$$

Для данной работы это:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= (4245,15 + 250560,73 + 75168,22 + 895,28 + 7122,48) \cdot 0,1 \\ &= 33799,19 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	4245,15
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	250560,73
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	75168,22
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об}}$	895,28
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	7122,48

Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	-
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	33799,19
Итого:		371791,05

Таким образом, затраты на исследование составили $C = 371791,05$ руб.

Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 - 20% от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет **29743,28 руб.** (5%) от расходов на разработку проекта.

Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это:

$$\text{НДС} = (371791,05 + 29743,28) \cdot 0,2 = 13386,87 \text{ руб.}$$

Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 371791,05 + 55768,66 + 13386,87 = 440946,58 \text{руб.}$$

Оценка экономической эффективности проекта

Результат данной работы носит исключительно исследовательский характер, поскольку данный результат не доведен до степени готовности к конкретному технологическому применению и требует уточнению и дополнительных затрат на последующих стадиях проектирования. В связи с этим оценка его экономической эффективности на данном этапе некорректна.

Список литературы

1. Энциклопедия по машиностроению XXL
2. Борисов Ю.С. Справочник механика машиностроительного завода «Технология ремонта» Том 2 Изд.2
3. 77-48211/492011, 10 октябрь 2012 г, УДК621.914 , Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков , Утенков В. М., Быков П. А.
4. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с.
5. Козлов В.Н., Чжан Ц., Го И., Сабават С.К. Исследование контактных нагрузок при врезании // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Н. Яковлева. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — с. 315-316.
6. Kirsanov S. V., Babaev A. S. Study of Accuracy and Surface Roughness of Holes in Comparative Testing of Small Diameters Gun Drills // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 66. – I. 1. – P. 1-5.
7. 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.
8. Бутенко В.А. Исследование контактных нагрузок на передней поверхности инструмента в процессе врезания // Исследования процесса резания и режущих инструментов. Межвузовский

научно-технический сборник. – Томск, Изд-во ТПИ, 1984. – С. 48-61.

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

10. 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.

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

12. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.

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

14. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.

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

16. 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.

17. Кузнецов В.П., Макаров А.В., Псахье С.Г. и др. Трибологические аспекты наноструктурирующего выглаживания конструкционных сталей / В.П. Кузнецов, А.В. Макаров, С.Г. Псахье, Р.А. Саврай, И.Ю. Малыгина, Н.А. Давыдова. / *Физическая мезомеханика*. Томск, - 2014, вып. 17, Т. 3 с. 14-30.