

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование прочности концевых фрез методом конечных элементов

УДК 621.914.22-027.45-047.37:517.962

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Го Инбинь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Козлов Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, старший преподаватель	Хаперская Алена Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин, профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностранных языков, старший преподаватель	Пичугова Инна Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение	Арляпов Алексей Юрьевич	К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа
Общекультурные компетенции	
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности

РЕФЕРАТ

выпускной квалификационной работы
студента гр. 8ЛМ61 Го Инбинь

Исследование прочности концевых фрез методом конечных элементов

Выпускная квалификационная работа выполнена на 170 с. пояснительной записки, содержит 67 рис., 38 табл., 56 источников, 21 листов прил.

Ключевые слова: концевая фреза, фреза с твёрдосплавной пластиной, фрезерование, силы резания, контактные напряжения, внутренние напряжения, напряжённо-деформированное состояние, НДС, прочность фрезы, врезание.

Объектом исследования является процесс фрезерования концевой фрезой.

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 прочности режущих пластин концевой фрезы, проведение экспериментов для измерений технологических и физических составляющих силы резания, исследование распределения контактных напряжений на передней и задней поверхностях острозаточенного и изношенного инструмента, анализ полученных эпюр, вывод эмпирические формул для расчёта эпюр контактных напряжений, исследование НДС режущей пластины фрезы, определение оптимальной геометрии режущей пластины при обработке разных материалов, SWOT-анализ исследований прочности концевых фрез, составление план-графика проведения НИОКР по теме диссертации, расчёт себестоимости и эффективности проведения исследований, анализ вредных факторов на производстве и решение вопросов безопасности работы, действия при чрезвычайных ситуациях и мероприятия по их предотвращению, анализ влияния производственных факторов на окружающую среду.

В результате исследования были выработаны рекомендации по проектированию фрез с оптимальной геометрией режущих пластин для обработке стали, определены оптимальные режимы резания, рассчитаны расходы на выполнение исследований, которые составили 139 981 руб., решены вопросы безопасности работы, разработаны мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: при изготовлении концевых фрез необходимо использовать корпус фрезы с механическим креплением СМП, позволяющий устанавливать твёрдосплавные режущие пластины с задним углом $5-7^\circ$ и передним углом γ в зависимости от предела прочности на растяжение обрабатываемого материала σ_b , рассчитываемым по формуле $\gamma = (1,07 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_b + 0,029)^{-1}$. С увеличением подачи уменьшается интенсивность износа твёрдосплавных режущих пластин по задней поверхности, являющийся лимитирующим при резании металлов. Наибольшая по прочности режущей пластины подача определяется с использованием предлагаемых в работе графиков.

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 фрез.

THE ABSTRACT
Diploma Thesis
The student gr. 8JIM61 Go Inbin
Research of an end mill strength by the method of finite elements

The Diploma Thesis is executed on 170 p. of the explanatory note, contains 67 fig., 38 tab., 56 sources, 21 sheets enc.

Keywords: end mill, a mill with cemented carbide insert, milling, forces of cutting, contact stresses, the internal stresses, stressed-deformed condition, SDC, strength of a mill, incision, plunge-cutting.

Object is the process of milling by an end mills.

The operation purpose - qualification affirming “The master of engineering and technique» in a major 15.04.01 “Automation of master schedules and manufactures in machine industry”.

In the course of probe were spent: the review and the assaying of the scientific and technical literature on a theme of master Diploma Thesis, a formulation of the purpose and research problems of strength of cutting inserts of an end mill, carry out experiments for measurements of technological and physical components of force cutting, research of distribution of contact stresses on a rake both flank surfaces of new and the worn out cutting tool, the assaying received epures, an output empirical formulas for calculation of contact stresses epures, probe of the SDC of a cutting plate of a mill, definition of optimum geometry of a cutting plate in machining of different materials, the SWOT-analysis of probes of strength of end mills, drawing up the plan-drawing of research and development on a thesis theme, calculation of the cost price and efficiency of research, the assaying of harmful factors on manufacture and the decision of safety issues of operation, operation at emergency situations and actions for their prevention, the assaying of influence of production factors on environment.

As a result of research recommendations about projection of mills with optimum geometry of cutting plates for steel machining have been worked out, optimum cutting modes are defined, expenditures on execution of research which have made 139 981 rbl. are calculated, operation safety issues are solved, actions for prevention of emergency situations are developed.

The basic constructive, technological and technique-operational parameters: for manufacturing of end mills it is necessary to use the body of a mill with the mechanical clamping of cutting inserts, allowing to fix cemented carbide cutting plates with a clearance angle $5-7^\circ$ and a rake γ depending on tensile strength of a worked material σ_B , calculated under the formula $\gamma = (1,07 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B + 0,029) - 1^\circ$. With feed rate increase intensity of wear of cemented carbide cutting plates on a flank surface, being limiting at cutting of metals is diminished. The greatest about strength of a cutting plate feed rate is defined with use of graphs offered in this Diploma Paper.

Introduction degree: by results of defence of Diploma Thesis on the state certifying commission it will be solved, whether it is necessary to recommend workings out to introduction on manufacture.

Field of application: manufacture of engineering production.

Economic significance of Diploma Thesis is high enough.

In the future is planed to participate in organizing of mills manufacturing.

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

 (Подпись) (Дата) Арляпов А.Ю.
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Го Инбинь

Тема работы:

Исследование прочности концевых фрез методом конечных элементов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.03.2018, приказ №1973/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование прочности концевой фрезы с твёрдосплавными сменными многогранными режущими пластинами методом конечных элементов. Получение расчётов напряжённно-деформированных состояний режущих пластин.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор и анализ научно-технической литературы. Формулирование цели и задач исследования прочности режущих пластин концевой фрезы и получения оптимальных передних углов пластин. Проведение серии экспериментальных для измерений составляющих сил резания. Исследование распределений контактных нагрузок. Исследование НДС в пластине фрезы и в режущей кромке пластины.

	Исследование оптимального переднего угла при обработке разных материалов..
Перечень графического материала	Расчёты НДС режущих пластин и режущих кромок пластин.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хаперская А.В.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
Раздел ВКР на иностранном языке	Пичугова И.Л.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Research of contact stresses distribution over surfaces of a cutter

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Го Инбинь		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1. Задачи исследования для выполнения литературного обзора	11
2. Литературный обзор	12
2.1. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях.....	12
2.2. Исследование сил резания при фрезеровании	13
2.3. Исследование процесса стружкообразования.....	18
2.4. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений.....	19
2.5. Влияние обрабатываемого материала на силы и температуру резания.	21
Методика выполнения работы	23
1. Измерение составляющих сил резания динамометром Kistler	24
2. Расчёт контактных напряжений на рабочих поверхностях режущих пластин с помощью программы MathCAD	28
3. Создание 3D модели режущих пластин.....	38
4. Расчёт НДС режущего клина методом конечных элементов с использованием программы ANSYS	40
5. Исследование влияния подачи и длины фаски износа на силы резания при врезании	45
6. Исследование распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности	53
7. Исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей пластины и оценивание её прочности	56
8. Исследование установившихся сил резания а процессе резания.....	62
9. Исследование НДС режущей пластины при резании	62
10. Исследование прочности концевой фрезы	70
11. Влияние виды нагружения на НДС пластины	81
12. Влияние обрабатываемого материала на НДС пластины	85
Раздел на иностранном языке	94
Раздел «Социальная ответственность»	115

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	172

Введение

Фреза концевая является широко используемым в машиностроении металлорежущим инструментом, предназначенным для обработки уступов, пазов и плоскостей небольшой ширины на вертикально-фрезерных станках. В настоящее время с популярностью станков с ЧПУ чаще применяются фрезы сменными многогранными пластинами (СМП). При этом исследование прочности режущих пластин концевых фрез является актуальным и важным. С другой стороны, форма и геометрические параметры режущих пластин сильно влияют на стойкость инструментов, качество обработки и эффективность производства. Поэтому теоретические исследования прочности и напряженно-деформированного состояния (НДС) пластины не только способствуют выбору оптимальных размеров режущих пластин, но и обеспечивают теоретическую основу для улучшения внутреннего напряженного состояния режущих пластин и увеличения их стойкости.

Программное обеспечение ANSYS является одним из основных программ для исследования НДС. Она сочетает теоретические основы современной математики и механики с методами конечных элементов (МКЭ) и методами компьютерной графики. С помощью программы ANSYS мы можем визуально и эффективно получить расчёт НДС режущей пластин.

В данном исследовании представлена общая методика исследования прочности режущих пластин концевых пластин методом конечных элементов с использованием программного обеспечения ANSYS 17.0.

1. Задачи исследования для выполнения литературного обзора

Цель работы: исследовать прочность концевых фрез при черновой обработке титанового сплава методом конечных элементов, определить оптимальные размеры и геометрию режущих пластин, конструкцию сборных и напайных концевых фрез для увеличения надёжности их работы при черновой обработке труднообрабатываемых материалов.

Задачи исследования:

1. Определить (измерить и рассчитать) составляющие силы резания и распределение внешних (контактных) напряжений на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности режущей пластины.
2. Определить распределение внутренних напряжений в режущих пластинах концевой фрезы при различных степенях износа и геометрии режущих пластин.
3. Исследовать влияния подачи, износа и геометрии на распределения внутренних напряжений в режущих пластинах.
4. Исследовать напряженно-деформированное состояние режущих пластин при обработке титанового сплава методом конечных элементов.
5. Определить оптимальные размеры и геометрию режущих пластин, конструкцию сборных и напайных концевых фрез для увеличения надёжности их работы при черновой обработке труднообрабатываемых материалов.

2. Литературный обзор

2.1. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях

Силы резания являются важными параметрами процесса резания. От их величины зависит мощность, необходимая для осуществления резания. Они оказывают влияние на износ инструмента и вибрации, а значит, и на качество обработанной поверхности. Силы резания являются исходными данными при расчетах на прочность и жесткость режущих инструментов, элементов оснастки, узлов деталей металлорежущих станков.[2]

Силы, действующие на переднюю поверхность резца, зависят от свойств обрабатываемого материала, размеров срезаемого слоя и других условий стружкообразования.

Силы, действующие на заднюю поверхность резца, в основном, зависят от свойств обрабатываемого материала, размеров заднего угла, размеров площади контакта и коэффициента трения на задней поверхности.

Для удобства анализа и измерения общую силу резания P раскладывают в трех направлениях: тангенциальном (F_z), радиальном (F_y) и в направлении, противоположном направлению подачи (F_x).

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

Радиальная сила F_y (P_y) стремится оттолкнуть резец от обрабатываемой детали, а ее реакция – изогнуть обрабатываемую деталь.

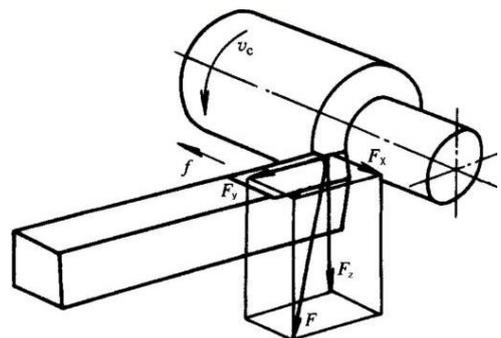


Рис. 2.1. Схема сил, действующих на переднюю поверхность резца при резании

Эта сила способствует возникновению вибраций в горизонтальной плоскости. Она оказывает наибольшее влияние на точность и геометрическую форму обрабатываемой детали.

Осевую силу или силу подачи F_x (P_x) так же, как и силы трения, должен преодолеть механизм подачи при своем перемещении по направляющим станка.

Суммарная сила F , действующая на резец, рассчитывается по формуле:

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

Численное значение составляющих силы резания может быть измерено с помощью токарного трёхкомпонентного динамометра.

2.2. Исследование сил резания при фрезеровании

При фрезеровании каждый зуб фрезы преодолевает сопротивление резанию со стороны материала заготовки и силы трения, действующие на поверхностях зубьев фрезы. Обычно в контакте с заготовкой находится не один зуб, и поэтому фреза преодолевает некоторую суммарную силу резания, складывающуюся из сил, действующих на эти зубья. **Схема действия сил резания** при фрезеровании зависит от принятого способа фрезерования и типа фрезы.

При обработке цилиндрическими фрезами (режущие кромки расположены на цилиндрической поверхности) рассматривается два способа обработки (Рис. 2.2.1.) в зависимости от направления движения подачи заготовки:

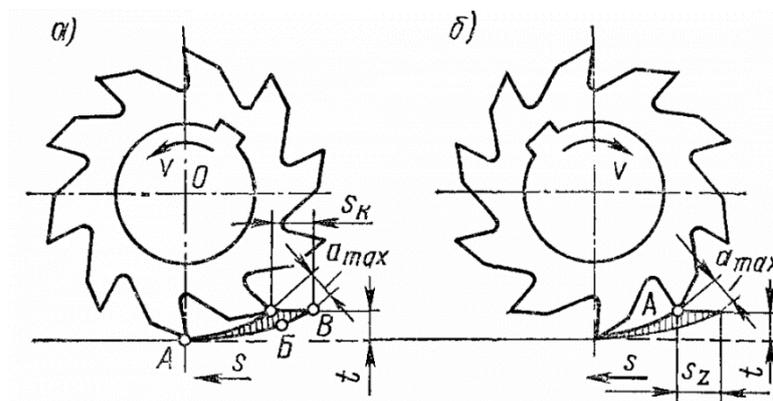


Рис.2.2.1. Схемы фрезерования: а – против подачи (встречное); б – по подаче (попутное)

- встречное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в процессе резания, противоположно направлению движения подачи;

- попутное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в процессе резания, совпадает с направлением движения подачи.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума; при этом зубья фрезы, действуя на заготовку, стремятся «оторвать» ее от стола станка или приспособления, в котором она закреплена. Преимуществом встречного фрезерования перед попутным является работа зубьев фрезы из-под корки. Режущие лезвия в момент входа в зону хрупкого металла повышенной твердости (корки) прекращают контакт своей задней поверхностью с заготовкой в точке Б (рис.2.2.1, а), так как происходит скол стружки.

При попутном фрезеровании зуб врезается в материал в точке А (рис.2.2.1, б), начиная работать при максимальной толщине срезаемого слоя и наибольшей нагрузке, что исключает начальное проскальзывание зуба. При попутном фрезеровании получается поверхность с меньшей шероховатостью и более высокой точностью, так как зубьями фрезы во время обработки заготовка прижимается к столу станка, что уменьшает

вибрацию.

Схемы действия сил при попутном и встречном фрезеровании различаются (рис.2.2.2); на них показаны силы резания, действующие на заготовку (реакции сил, действующих на зуб). На каждый зуб фрезы,

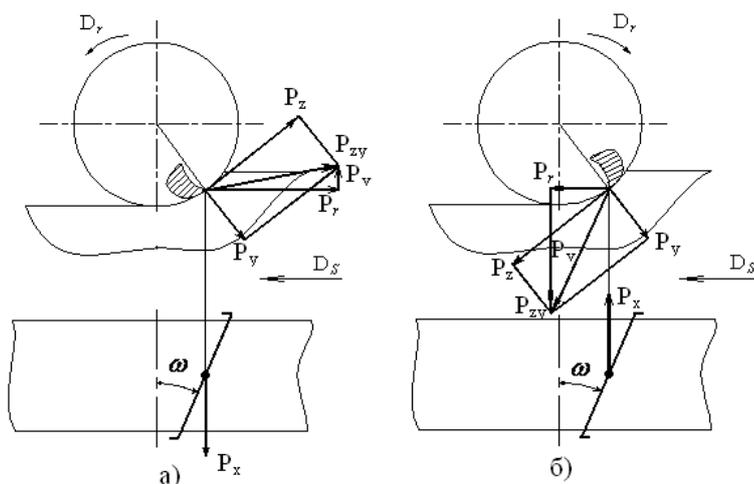


Рис. 2.2.2. Схемы действия сил при встречном(а) и попутном(б) фрезеровании

находящийся в пределах угла контакта, действует своя сила сопротивления срезаемого слоя. Каждую из этих сил можно разложить на составляющие, действующие тангенциально (по касательной) к зубьям фрезы и по радиусам фрезы.

Суммарная окружная, или касательная составляющая сила P_z и радиальная составляющая сила P_r имеют равнодействующую P_{zy} , которую можно разложить на две силы — горизонтальную составляющую силу P_r и вертикальную составляющую силу P_v . Касательная составляющая сила P_z имеет наиболее важное значение, так как производит основную работу резания. По значению силы P_z определяют мощность электродвигателя привода станка и рассчитывают на прочность валы, зубчатые колеса и другие звенья привода станка. Эмпирическая формула для определения силы P_z :

$$P_z = \frac{10C_p t^x S^y B^u z}{D^q n^w} K_p$$

где C_p - коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и другие условия;

K_p - общий поправочный коэффициент, представляющий собой

произведение коэффициентов, отражающих состояние отдельных параметров, влияющих на величину силы резания,

$$K_P = K_{\mu p} \cdot K_{vp} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\phi v} \cdot$$

Значение отдельных составляющих силы резания можно определить, зная P_z .

- При встречном фрезеровании цилиндрическими, дисковыми, фасонными и работающими периферией концевыми фрезами:
 $P_r \approx (1,0 \div 1,2) P_z$; $P_v = (0,2 \div 0,3) P_z$; $P_y \approx (0,35 \div 0,4) P_z$
- При попутном фрезеровании:
 $P_r \approx (0,8 \div 0,9) P_z$; $P_v \approx (0,75 \div 0,8) P_z$; $P_y \approx (0,35 \div 0,4) P_z$.
- При фрезеровании торцевыми фрезами и работающими торцом концевыми фрезами:
 $P_r \approx (0,4 \div 0,5) P_z$; $P_v \approx (0,85 \div 0,95) P_z$; $P_y \approx (0,5 \div 0,55) P_z$.

2.2.1. Влияние основных элементов резания на силы резания при фрезеровании

Элементами резания при фрезеровании являются ширина фрезерования, глубина фрезерования, скорость резания и подача.

Ширина (B) и глубина (t) фрезерования - Шириной фрезерования называют ширину обрабатываемой поверхности в миллиметрах. Глубиной резания при фрезеровании называют толщину (в миллиметрах) слоя металла, снимаемого с поверхности заготовки фрезой за один проход.

Скорость резания (v) - Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы. В процессе фрезерования фреза вращается с определенным числом оборотов, которое устанавливается при настройке станка; однако для характеристики вращения фрезы принимают не число ее оборотов, а так называемую скорость резания. Скоростью резания при фрезеровании называют путь, который проходят в одну минуту наиболее отдаленные от оси точки режущей кромки зуба фрезы. Формула скорости резания при фрезеровании:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин.}$$

Подача - При фрезеровании различают: 1) подачу в одну минуту — перемещение стола в миллиметрах за 1 мин.; обозначается S и выражается в мм/мин; 2) подачу на один оборот фрезы — перемещение стола в миллиметрах за полный оборот фрезы; обозначается S_0 и выражается в мм/об; 3) подачу на один зуб фрезы — перемещение стола в миллиметрах за время, когда фреза повернется на часть оборота, соответствующую расстоянию от одного зуба до другого (на один шаг); обозначается $S_{зуб}$ и выражается в мм/зуб. Часто подачу на один зуб фрезы обозначают S_z . Связи между ними:

$$S_0 = S_z \cdot z \text{ мм/об}; S = S_0 \cdot n \text{ мм/мин}; S_z = \frac{S_0}{z} = \frac{S}{n \cdot z} \text{ мм/зуб.}$$

Скорость резания, подача, глубина и ширина резания не могут выбираться произвольно фрезеровщиком по собственному усмотрению, так как это может вызвать преждевременное затупление фрезы, перегрузку и даже поломку отдельных узлов станка, нечистую поверхность обработки и т. д.

Все перечисленные выше элементы резания находятся в тесной зависимости друг от друга. Например, с увеличением скорости резания необходимо уменьшать подачу на зуб и снижать глубину резания, фрезерование с большой шириной резания требует уменьшения скорости резания и подачи, фрезерование с большой глубиной резания (черновую обработку) производят с меньшей скоростью резания, чем чистовую обработку, и т. д.

Кроме того, назначение скорости резания зависит от материала фрезы и материала заготовки. Фреза из быстрорежущей стали, как уже знаем, допускает большие скорости резания, чем из углеродистой стали; в свою очередь скорость резания для твердосплавной фрезы может быть в 4—5 раз выше, чем для быстрорежущей. Легкие сплавы можно фрезеровать со значительно большей скоростью резания, чем чугун. Чем тверже (крепче) стальная заготовка, тем меньше должна быть скорость резания.

2.3. Исследование процесса стружкообразования

Металл, срезанный с заготовки режущим инструментом, называется стружкой. Процесс резания (стружкообразование) является одним из сложных физических процессов, при котором возникают и упругие и пластические деформации; этот процесс сопровождается большим трением, тепловыделением, наростообразованием, завиванием и усадкой стружки, повышением твердости деформируемых слоев металла и износом режущего инструмента.

Процесс стружкообразования представляет собой процесс упругопластического деформирования (сжатия) срезаемого слоя.

В зависимости от условий обработки срезанный слой (стружка) может быть различных видов [9]:

При обтекании клина материалом образуется сплошная стружка без разрывов и больших трещин, то в этом случае она называется **сливной стружкой** (рис. 2.3. а). Такой тип стружки чаще всего образуется при резании вязких, пластичных материалов.

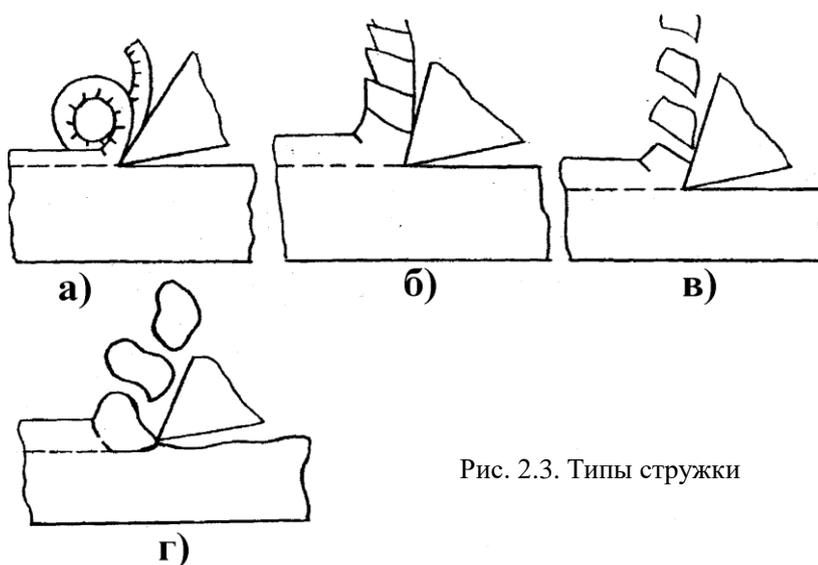


Рис. 2.3. Типы стружки

При резании пластичных материалов имеет место интенсивное трещинообразование, происходит полное разделение стружки на элементы, имеющие определенную правильную форму и последовательность образования, такой тип стружки называется **элементной стружкой**(рис. 2.3 б).

При резании пластичных материалов образуются стружки, не имеющие четко выраженных признаков сливных или стружек скалывания. При их образовании не происходит полного разделения на элементы и трещины заканчивают свое развитие в толще деформированного материала, не выходя на его наружную поверхность. Такие стружки называют **ступенчатыми**(рис. 2.3 в).

При резании хрупких материалов (чугуна, бронзы, керамических материалов и др.) происходит вырывание отдельных частиц поверхностного слоя заготовки режущей частью инструмента, Такой тип стружек носит название **стружек надлома**(рис. 2.3 г).

2.4. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений

Для расчёта внутренних напряжений в режущем клине необходимо приложить внешние нагрузки в виде контактных нагрузок (напряжений) от действия составляющих силы резания. Приложение силы резания на передней поверхности возможно в виде сосредоточенных нормальной N и касательной F физических составляющих сил. По виду приложения внешние нагрузки могут быть:

- Сосредоточенными силами на передней и задней поверхностях (рис. 2.7.1, а)

- Равномерно распределёнными удельными контактными нагрузками на передней и задней поверхностях (рис. 2.7.2);

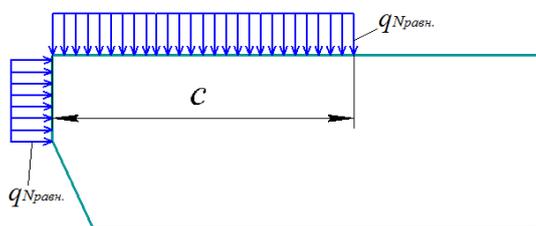


Рис. 2.7.2. Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок

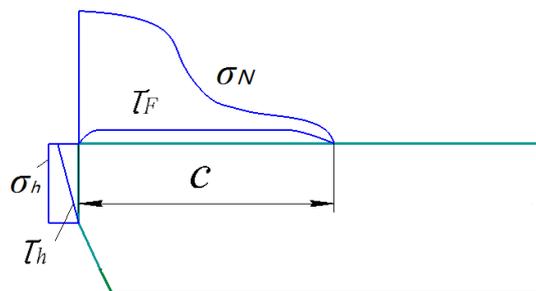


Рис. 2.7.3. Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение

- Контактными напряжениями, имеющими реальное распределение (рис. 2.7.3).

Расчёт внутренних напряжений в режущем клине выполнялся методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного обеспечения ANSYS 12 для условия свободного прямоугольного течения диска из титанового сплава ВТ3-1 с радиальной подачей. При расчётах толщина режущей пластины принималась $h=6$ мм, длина $l = 9$ мм, ширина контакта стружки с передней поверхностью принималась равной ширине диска $b = b_d = 4$ мм, ширина режущей пластины принималась немного больше ширине диска, т.е. $b_p = 4,2$ мм, при симметричном расположении диска относительно режущей пластины. Материал режущей пластины в расчётах –твёрдый сплав ВК8. По результатам расчёта 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) Наибольшие эквивалентные внутренние напряжения, полученные под действием реального распределения внешних контактных напряжений, больше на 25,7 %, чем наибольшие эквивалентные напряжения, полученные под действием равномерно распределённой контактной нагрузки.

- 3) Наибольшее эквивалентное напряжение у режущей кромки, полученное при действии сосредоточенной нагрузки, в несколько раз больше, чем при действии реального распределения, что не соответствует действительности.
- 4) При расчёте внутренних напряжений для моделирования внешних нагрузок можно использовать равномерное распределение удельных контактных нагрузок с увеличенным на 25 % наибольшим эквивалентным напряжением у режущей кромки. По сравнению с приложением реального распределения напряжённо-деформированное состояние режущего клина изменяется незначительно. Это позволяет уменьшить трудоёмкость получения исходных данных по распределению контактных нагрузок, и в то же время обеспечить достаточную точность.
- 5) Погрешности, допущенные при исследовании распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях инструмента методом разрезного резца, незначительно влияют на распределение внутренних напряжений в режущем клине.

2.5. Влияние обрабатываемого материала на силы и температуру резания

При увеличении прочности материала увеличивается и сила резания. Большое влияние оказывает и усадка стружки. Усадка стружки по толщине рассчитывается по формуле $K_a = a_1/a$, где a_1 – толщина стружки, a – толщина среза ($a = s \cdot \sin\varphi$). При обработке пластичных материалов,

образующих сливную стружку, $K_a = 5-8$, при обработке хрупких материалов, образующих элементную стружку, $K_a = 1,1-1,5$. Увеличение усадки стружки приводит к увеличению зоны стружкообразования, и это, в свою очередь, вызывает увеличение силы резания.

Большое влияние оказывает и температура резания – с её увеличением уменьшается прочность, но если при этом увеличивается пластичность, то усадка будет увеличиваться, что вызовет увеличение силы резания. С увеличением теплопроводности материала рост температуры при увеличении скорости резания будет не столь значительным. Титановые сплавы имеют малый коэффициент теплопроводности λ , поэтому при резании происходит более сильное увеличение температуры в зоне стружкообразования, по сравнению с обработкой конструкционной стали.

Большое влияние на силы резания оказывают силы трения стружки и обрабатываемого материала соответственно о переднюю и заднюю поверхности инструмента. Нагрев металла может существенно изменить его свойства по сравнению с теми, которые были получены при обычных статических испытаниях. Поэтому нет точной и однозначной зависимости между силой резания и прочностью обрабатываемого материала, а также его твердостью и другими механическими характеристиками.

В целом силы резания растут при увеличении твердости, пластичности и вязкости обрабатываемого материала.

При обработке хрупких металлов, например чугуна, когда работа пластической деформации весьма мала и удельные силы резания незначительны, температура резания заметно ниже, чем при обработке стали. Давление чугунной стружки сосредотачивается непосредственно на режущей кромке или вблизи нее, но это весьма неблагоприятное обстоятельство влияет на выкрашивание и абразивно-механический износ режущей кромки, по сравнению со сравнительно небольшой температурой резания.

Методика выполнения работы

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.

Благодаря развитию компьютерных технологий дало возможность использовать автоматические конечноэлементные САПР. Одним из самых универсальных программных обеспечений является ANSYS (универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов).

Для того чтобы исследовать прочность инструментов необходимо рассчитать распределения внутренних напряжений режущих пластин инструментов. Данная задача решена следующими шагами с использованием программы ANSYS:

1. Измерение составляющих сил резания;
2. Расчёт эпюр контактных напряжений на рабочих поверхностях режущих пластин;
3. Создание 3-D модель режущей пластины;
4. Приложение внешних контактных нагрузок на передней и задней поверхности данной пластины;
5. Расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего

клина методом конечных элементов с использованием программы ANSYS.

1. Измерение составляющих сил резания динамометром Kistler

На силы резания влияют многие факторы и силы не постоянны в процессе резания, поэтому мы не можем рассчитать реальные силы резания по формуле. Для того чтобы измерить реальные силы резания и получить их изображения, меняющиеся со временем, используем измерительную систему (рис. 1.1.) с трехкомпонентным динамометром Kistler 9257В (рис. 1.2.).



Рис. 1.1. схема подключения измерительной системы



Рис. 1.2. Внешний вид динамометра модели 9257В

При измерении сил резания при точении вектор силы резания, действующей на инструмент, динамометр непосредственно раскладывает на три ортогональные составляющие, изображенные на рис. 1.3.

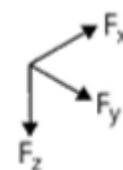


Рис. 1.3. Направление измерения составляющих сил резания

Исследование физических составляющих силы резания, действующих на зуб фрезы, для его расчёта на прочность затруднено из-за поворота зуба фрезы относительно динамометра при фрезеровании. Поэтому было решено моделировать начальный момент 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 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 $\sigma_b=1000$ МПа и твёрдостью $HB\ 220$ с постоянной скоростью резания $v = 2$ м/с, обеспечивающей отсутствие нароста на передней поверхности, и различными подачами $f = 0,07 \sim 0,52$ мм/об и глубиной резания $t = 1 \sim 4$ мм. Радиус округления режущей кромки был равен минимально возможным при заточке на остро ($\rho \approx 0,003$ мм) [1].

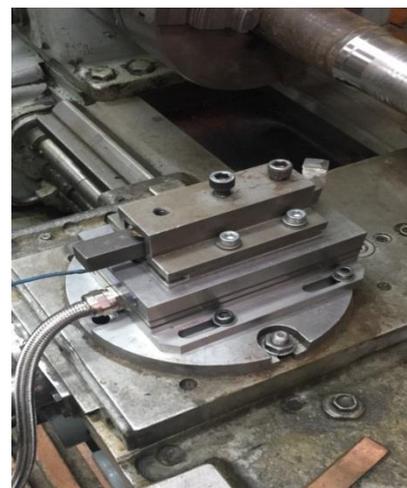


Рис. 1.4. Установка резца в динамометр Kistler на токарном станке

Для того чтобы измерить составляющих сил резания в процессе продольного точения установить резец в динамометр Kistler на токарном станке (рис. 1.4). Резец с режущей пластиной Т15К6 имел главный угол в плане $\varphi=45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_l=45^\circ$, радиус при вершине $r=0,1$ мм, главный передний угол $\gamma=+7^\circ$, главный задний угол $\alpha=12^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda=0^\circ$. На задней поверхности затачивалась искусственная фаска с различной длиной hf с постоянным задним углом $\alpha_h=0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности. Длина этой фаски при её первоначальной заточке составляла $hf = 0,95$ мм.

Для сбора и анализа данных использовалось программное обеспечение DynoWare (рис. 1.5) фирмы Kistler. Kistler DynoWare универсально и просто в применении и совместимо с динамометрами или одно- и многокомпонентными датчиками силы. 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.

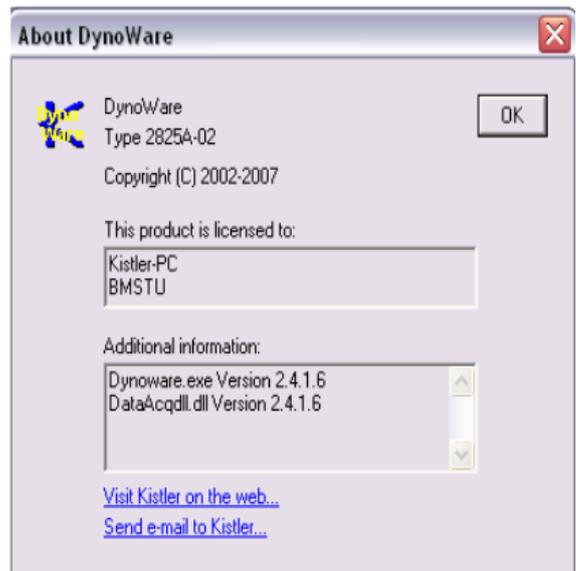


Рис. 1.5. Информация программного обеспечения DynoWare

После завершения установки инструмента и установки параметров программного обеспечения мы можем обработать и измерить сил резания. После обработки результатов измерений программными средствами Dinoware получается график (рис. 1.6)

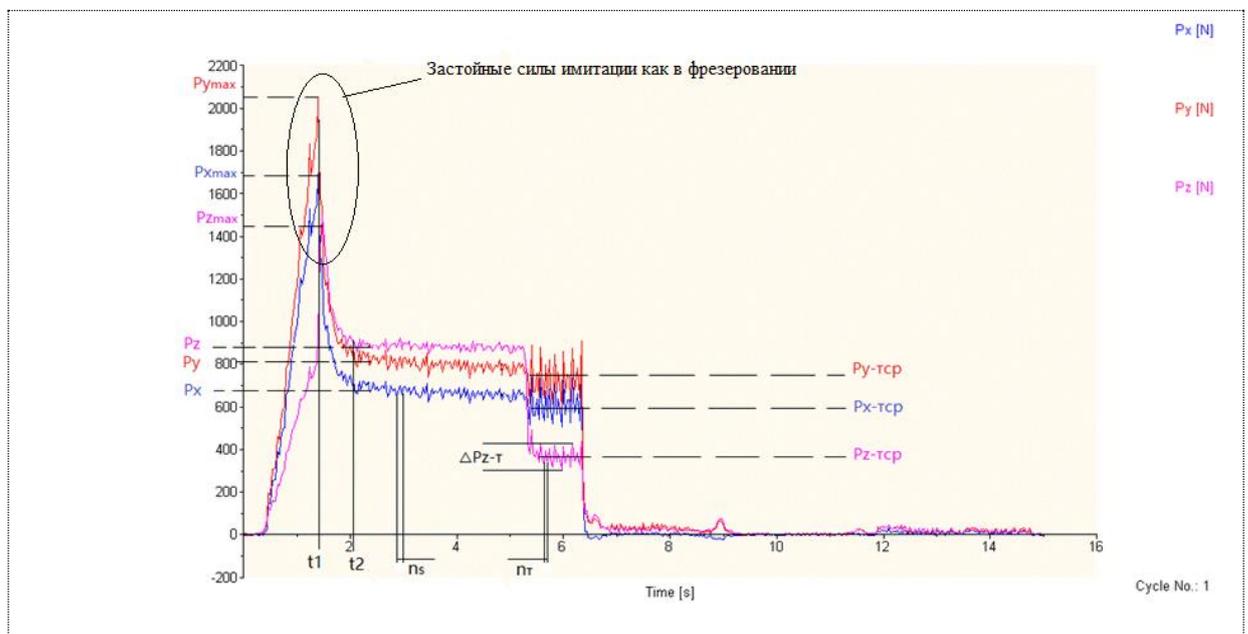


Рис. 1.6. Составляющие силы резания при подаче $s = 0,07$ мм/об, скорости вращения $n = 630$ об/мин, глубине резания $t = 1,775$ мм, 40X – T15K6. Ордината – составляющие силы резания, абсцисса – время обработки.

Максимальные застойные мгновенные составляющие силы : $R_{x\max} = 1695$ н $R_{y\max} = 2052$ н $R_{z\max} = 1500$ н; составляющие силы при резания стружки : $R_x = 670$ н $R_y = 800$ н $R_z = 885$ н; составляющие средние силы при трении : $R_{x-тср} = 606$ н $R_{y-тср} = 780$ н $R_{z-тср} = 325$ н, погрешность R_z при трении : $\Delta R_{z-т} = 100$ н, поэтому $R_{z-т\max} = R_{z-тср} + \Delta R_{z-т}/2 = 375$ н.

Время при застойной стружке $t1^* = t1 - t0 = 1$ сек., время начало снятся стружки $t2^* = t2 - t1 = 0,7$ сек. Частота резания при снятии стружки $ns = 7,6$ Hz, Частота трения $nt = 19$ Hz.

Измерили составляющие силы резания таким же методом при разным режимом резания. После анализов графиков получили серию результатов, показанных в таблице 1.1.

Табл. 1.1. Результаты измерения сил резания

Фаска износа hз, мм	Подача s, мм/об	Глубина рез. t, мм	Rz,Н(max)	Rx, Н	Ry,Н	Rz,Н
0,13	0,07	2,075	486	196	225	462
0,29	0,07	2,025	542	237	296	517
0,465	0,07	2	659	303	360	570
0,54	0,07	1,825	787	404	455	584
0,775	0,07	1,775	1350	762	835	910
0,95	0,07	1,775	1500	670	800	885
0,13	0,11	2,075	655	262	306	630
0,29	0,11	2,025	672	263	327	652
0,465	0,11	2	917	320	384	685
0,54	0,11	1,825	982	392	445	693
0,775	0,11	1,775	1534	720	790	990
0,95	0,11	1,775	1660	670	803	975
0,13	0,23	2,075	1242	464	583	1222
0,29	0,23	2,025	1238	461	590	1207
0,465	0,23	2		505	625	1264
0,54	0,23	1,775	1159	475	563	1123
0,775	0,23	1,775	1820	807	916	1417
0,95	0,23	1,775	1885	758	940	1420
0,13	0,34	2,075	1660	547	691	1591
0,29	0,34	2,025	1650	544	717	1606
0,54	0,34	1,775	1536	571	711	1521
0,775	0,34	1,775	2057	835	982	1710
0,95	0,34	1,775	2260	776	997	1736
0,13	0,52	2,075	2205	604	822	2114
0,29	0,52	2,025	2202	595	842	2152

0,54	0,52	1,775	2072	601	804	1980
0,775	0,52	1,775	2771	865	1098	2166
0,95	0,52	1,775	2853	827	1120	2235

2. Расчёт контактных напряжений на рабочих поверхностях режущих пластин с помощью программы MathCAD

Учитывая влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений, мы решили приложить на передней и задней поверхности контактные напряжения, имеющие реальное расположение. Таким образом, мы можем получить более точные НДС режущих пластин.

Для того чтобы рассчитать распределения контактных напряжений на передней и задней поверхностях при врезании, необходимо определить уравнении контактных напряжений (q_N , q_F) относительно длины фаски износа (h_3) на задней поверхности при серии подачи ($s=0,07$; $0,11$; $0,23$; $0,34$; $0,52$ мм/об). С помощью математического программного обеспечения MathCAD можем более точно и эффективно выполнить данную работу.

2.1 Расчёт удельных сил резания

При резании в разных сериях эксперимента подача устанавливается точно (переключателями коробки подач), а глубина резания может быть установлена с погрешностями, связанными с **неточностью настройки лимба** поперечной подачи на ноль в разных сериях эксперимента, с упругой деформацией системы СПИЗ (станок-приспособление-инструмент-заготовка) и с **особенностями самого процесса резания**.

Чтобы исключить погрешность глубины резания по фактической силе резания рассчитывались удельные силы резания (например, q_{pz} факт), а затем **пересчитывались** составляющие силы резания (например, P_{z} расч) по заданной глубине резания ($t_{настр}$).

После каждого эксперимента измерялась фактическая глубина резания $t_{факт}$ (половина разности диаметров заготовки до и после резания).

$$t_{факт} = D_{до} - D_{после} \text{ (мм)};$$

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

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

2.2 Определение уравнения сил резания относительно длины фаски задней поверхности

Чтобы определить уравнения сил резания (P_{max}) относительно длины фаски задней поверхности (h_3) необходимо построить график влияния длины фаски h_3 на силы резания P_{max} . Измерили технологические составляющие силы резания P_z и P_y , P_x с помощью четырёхкомпонентного динамометра Kistler методом переменной длины фаски задней поверхности. Затем пересчитывали составляющие силы резания ($P_{расч}$).

При измерении сил резания методом переменной длины фаски задней поверхности на резце затачивалась фаска по задней поверхности с задним углом $\alpha h = 0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности (задний угол в экспериментах составлял $\alpha = 10^\circ$). Длина этой фаски при её первоначальной заточки составляла $h_3 = 2$ мм. После экспериментов с разной подачей s (мм/об) и скоростью резания v (м/с) резец снимался со станка и затачивался по задней поверхности с прежним углом $\alpha = 10^\circ$ до тех пор, пока длина фаски на задней поверхности не принимала необходимую величину. В наших исследованиях использовались длины фаски h_3 от 2 до 0,1 мм (через каждые 0,2-0,1 мм) и $h_3 = 0$ мм, т.е. острозаточенный резец. После каждой переточки выполнялось резание с разной подачей s (мм/об) и скоростью резания v (м/с). Переточки только по главной задней поверхности позволяла оставлять неизменный угол на фаске задней поверхности $\alpha h = 0^\circ$, характерный при длине фаски износа

по задней поверхности менее 1,8 мм.

Здесь представлено пример определения уравнения сил резания относительно длины фаски задней поверхности с помощью программы MathCAD при подаче $s=0,07$ мм/об.

1. Экспериментальные данные:

Табл. 2.2.1 экспериментальные данные составляющих сил резания $P_z \text{ max}$

Длина фаска hз, мм	Подача s, мм/об	Глубина резания t, мм	$P_{z \text{ факт}}$, Н	$P_{z \text{ расч}}$, Н
0	0,07	2	450	470
0,13	0,07	2,075	486	480
0,29	0,07	2,075	542	540
0,465	0,07	2	659	660
0,54	0,07	1,825	787	790
0,775	0,07	1,775	1350	1350
0,95	0,07	1,775	1500	1500

Табл. 2.2.2 экспериментальные данные составляющих сил резания $P_{xy} \text{ max}$

Длина фаска hз, мм	Подача s, мм/об	Глубина резания t, мм	$P_{x \text{ max}}$, Н	$P_{y \text{ max}}$, Н	$P_{xy \text{ max}}$, Н
0,13	0,07	2,075	200	230	305
0,29	0,07	2,075	240	310	395
0,465	0,07	2	475	530	715
0,54	0,07	1,825	700	770	1040
0,775	0,07	1,775	1695	1895	2545
0,95	0,07	1,775	1695	2050	2660

*При врезании на фаске задней поверхности режущей кромки действуют нормальные составляющие силы $P_{xy \text{ max}}$ ($P_{xy \text{ max}} = \sqrt{P_{x \text{ max}}^2 + P_{y \text{ max}}^2}$) и касательные составляющие силы $P_z \text{ max}$.

2. Построение графика влияния длины фаски задней поверхности на сил резания:

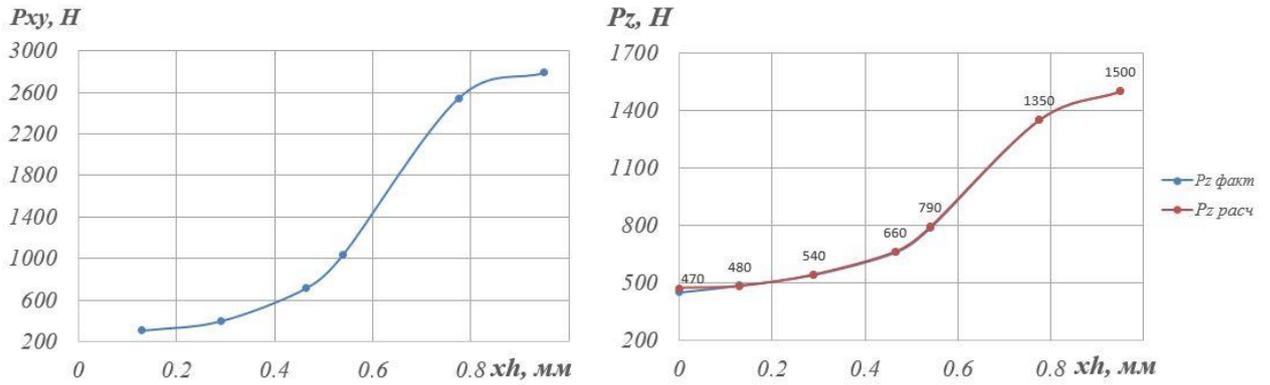


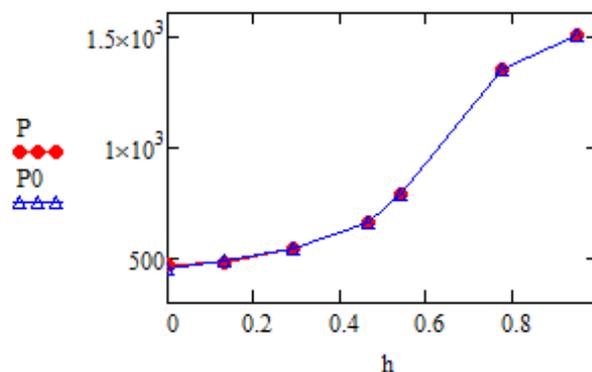
Рис. 2.2.1 Влияние длины фаски износа по задней поверхности h_z на величину наибольшей составляющей нормальной силы $P_{xy \max}$ и касательной силы $P_{z \max}$ при врезании при подаче $s=0,07$ мм/об (при толщине среза $a = 0,05$ мм). Сталь 40X - T15K6, $t = 2$ мм ($b = 2,82$ мм), $v = 120$ м/мин, $s = 0,07$ мм/об.

3. Определение уравнения сил резания относительно длины фаски задней поверхности с помощью программы MathCAD:

- Уравнение сил резания $P_z \max$ относительно длины фаски задней поверхности:

При $s=0,07$ мм/об; $t=2$ мм, найти уравнения P_z от xh

$$\mathbf{h} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.13 \\ 0.29 \\ 0.465 \\ 0.54 \\ 0.775 \\ 0.95 \end{pmatrix} \quad \text{- Фаска износа } h_z \quad \mathbf{P0} := \begin{pmatrix} 450 \\ 486 \\ 542 \\ 659 \\ 787 \\ 1350 \\ 1500 \end{pmatrix} \quad \text{- } P_z \quad \mathbf{P} := \begin{pmatrix} 470 \\ 480 \\ 540 \\ 660 \\ 790 \\ 1350 \\ 1500 \end{pmatrix} \quad \text{- } P_z^*$$

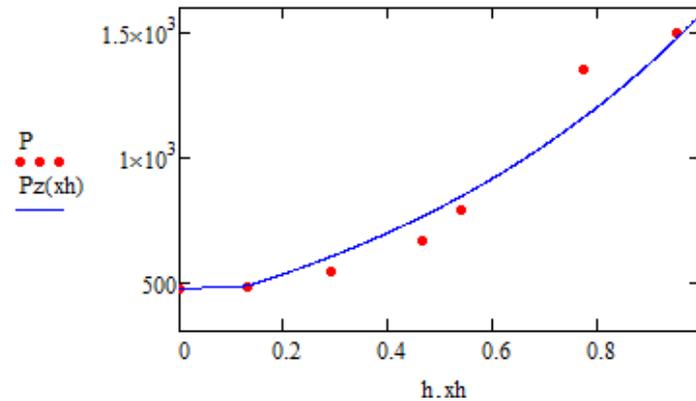


$$X := h \quad Y := \ln(P) \quad \begin{pmatrix} A \\ \text{---} \\ B \end{pmatrix} := \text{line}(X, Y) = \begin{pmatrix} 6.002 \\ 1.362 \end{pmatrix}$$

$$m := 1 \quad n := 1$$

$$\text{Given} \quad \ln(m) = 6.002 \quad \ln(n) = 1.362 \quad \text{Find}(m, n) = \begin{pmatrix} 404.236 \\ 3.904 \end{pmatrix}$$

$$P_z(xh) := \begin{pmatrix} 470 + 96.446 \cdot xh & \text{if } 0 \leq xh < 0.13 \\ 404.236 \cdot 3.904^{xh} & \text{if } xh \geq 0.13 \end{pmatrix} \quad \text{- уравнение } P_z \text{ от } xh$$



Таким образом, получим уравнение сил резания $P_z \max$ относительно длины фаски задней поверхности при врезании при подаче $s=0,07\text{мм/об}$:

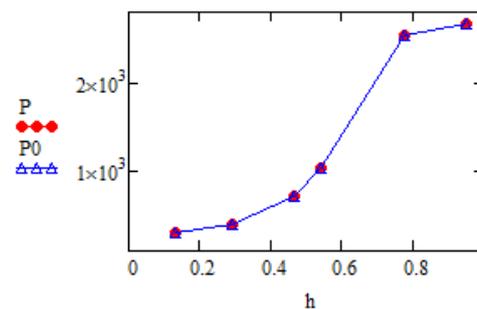
$$P_{z \max} = F_h = 470 + 96 \cdot xh, (\text{H}) \quad \text{при } 0 \leq xh < 0,13 ;$$

$$P_{z \max} = F_h = 404 \cdot 3,9^{xh}, (\text{H}) \quad \text{при } xh \geq 0,13 ;$$

- Уравнение сил резания $P_{xy} \max$ относительно длины фаски задней поверхности:

При $s=0,07\text{мм/об}$; $t=2\text{мм}$, найти уравнения P_{xy} от xh

$$h := \begin{pmatrix} 0.13 \\ 0.29 \\ 0.465 \\ 0.54 \\ 0.775 \\ 0.95 \end{pmatrix} \quad \text{- Фаска износа } h_z \quad P_0 := \begin{pmatrix} 305 \\ 392 \\ 714 \\ 1040 \\ 2543 \\ 2661 \end{pmatrix} \quad \text{- } P_{xy} \quad P := \begin{pmatrix} 305 \\ 395 \\ 715 \\ 1040 \\ 2545 \\ 2660 \end{pmatrix} \quad \text{- } P_{xy}^*$$



$$X := h \quad Y := \ln(P)$$

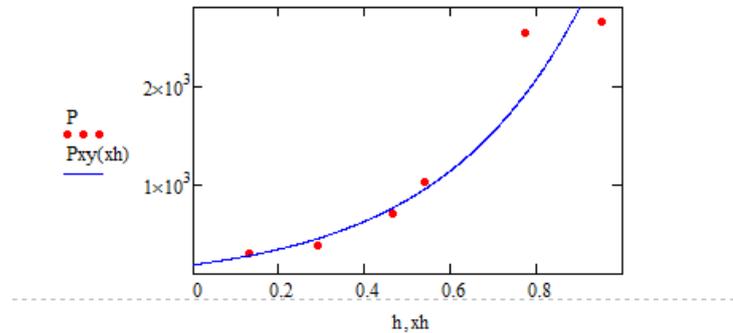
$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} := \text{line}(X, Y) = \begin{pmatrix} 5.269 \\ 2.962 \end{pmatrix}$$

$$m := 1 \quad n := 1$$

$$\text{Given} \quad \ln(m) = 5.269 \quad \ln(n) = 2.962 \quad \text{Find}(m, n) = \begin{pmatrix} 194.222 \\ 19.337 \end{pmatrix}$$

$$P_{xy}(xh) := 194.222 \cdot 19.337^{xh}$$

- уравнение P_{xy} от xh



Таким же методом получим уравнение сил резания $P_{xy \max}$ относительно длины фаски задней поверхности при врезании при подаче $s=0,07\text{мм/об}$:

$$P_{xy \max} = N_h = 194 \cdot 19,34^{xh}, (\text{Н}).$$

2.3 Расчёт удельных контактных напряжений на фаске задней поверхности

Удельные контактные напряжения на фаске задней поверхности рассчитываются по формуле:

$$q_{Nh} = \frac{\Delta N_h}{\Delta x_h \cdot b}; \quad q_{Fh} = \frac{\Delta F_h}{\Delta x_h \cdot b}, \quad (\text{Н/мм}^2 \text{ или МПа})$$

где – $\Delta N_h, \Delta F_h$ изменение нагрузки (силы) на участке фаски задней поверхности длиной $\Delta x_h, b$ – ширина контакта фаски задней поверхности с поверхностью резания, $b = \text{const} = 2,82\text{мм}$.

Так как мы не можем приложить контактные напряжения (нагрузки) на рабочей поверхности режущей пластины полностью как их функции, решили разделить рабочие поверхности на несколько поверхностей равной длины (т.е. $\Delta x_h = 0,1\text{мм}$). Таким образом, нам нужно просто

разделить длину фаски задней поверхности на последовательные равномерные интервалы (длина интервалов $\Delta x_h = 0,1\text{мм}$). Затем рассчитать удельные контактные напряжения (нагрузки) в каждом интервале, и построить для их гистограммы с помощью программы MathCAD.

Здесь представлено пример построения гистограммы удельных контактных напряжений (нагрузок) на фаски задней поверхности с помощью программы MathCAD при подаче $s=0,07\text{мм/об}$.

- Построение гистограммы нормальные удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности:

При $s=0,07\text{мм/об}$; $t=2\text{мм}$, найти зависимость σ_h от xh

$$m := 10$$

$$h_{\max} := \max(h) \quad h_{\min} := \min(h)$$

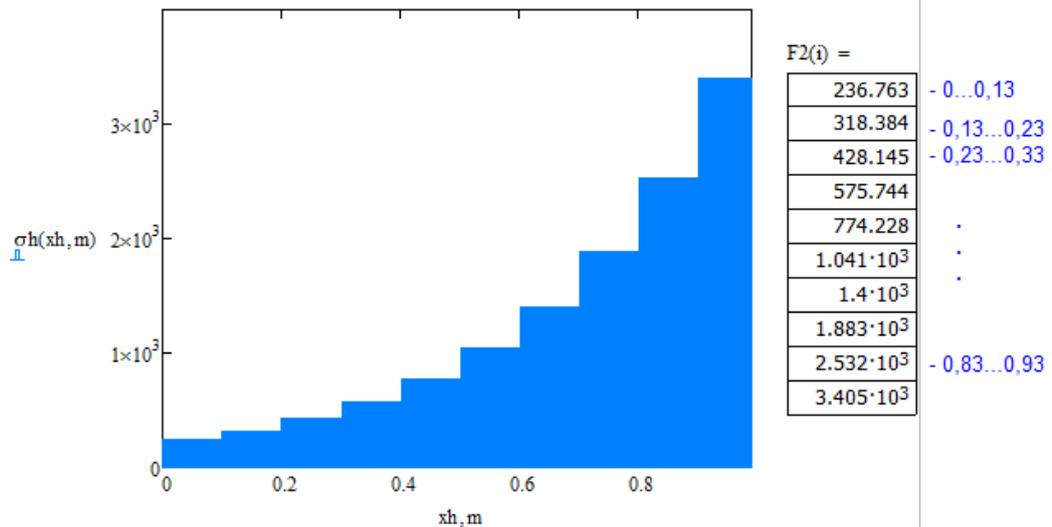
$$\Delta := \frac{\text{ceil}(h_{\max}) - \text{floor}(h_{\min})}{m} \quad \Delta = 0.1$$

$$i := 1, 2 \dots m \quad a_i := 0 + \Delta \cdot (i - 1) \quad b_i := a_i + \Delta \quad x_i := \frac{a_i + b_i}{2}$$

$$F1 := \frac{P_{xy}(0.13) - P_{xy}(0)}{0.13 - 2.828} = 283.594$$

$$F2(i) := \frac{P_{xy}(b_i) - P_{xy}(a_i)}{\Delta - 2.828}$$

$$\sigma_h(xh, m) := \begin{cases} \text{for } i \in 1..m \\ 236.763 \text{ if } 0 \leq xh < a_1 \\ \text{for } i \in 1..m \\ F2(i) \text{ if } a_i \leq xh < b_i \end{cases} \quad \text{- уравнение } \sigma_h \text{ от } xh$$



- Построение гистограммы касательные удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности:

При $s=0,07\text{мм/об}$; $t=2\text{мм}$, найти зависимость τh от xh
 $m := 10$

$$h_{\max} := \max(h) \quad h_{\min} := \min(h)$$

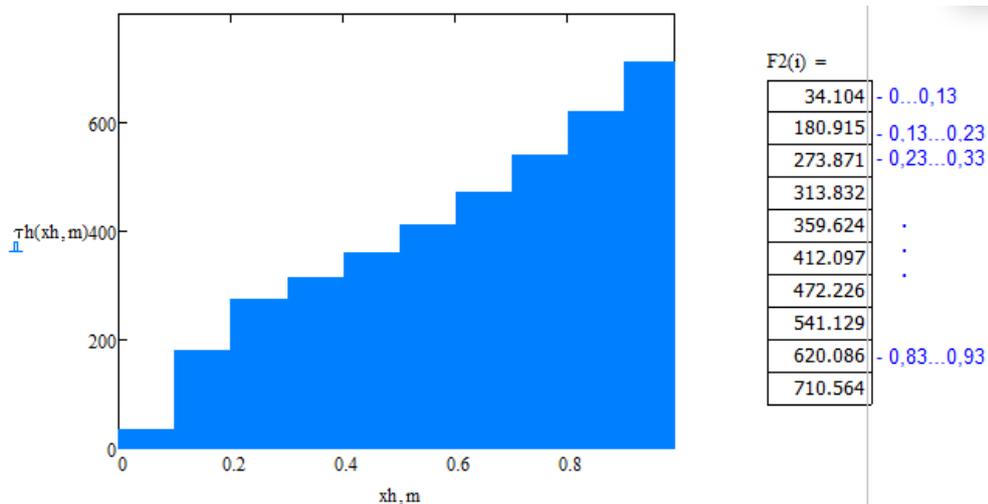
$$\Delta := \frac{\text{ceil}(h_{\max}) - \text{floor}(h_{\min})}{m} \quad \Delta = 0.1$$

$$i := 1, 2 \dots m \quad a_i := 0 + \Delta \cdot (i - 1) \quad b_i := a_i + \Delta \quad x_i := \frac{a_i + b_i}{2}$$

$$F1 := \frac{Pz(0.13) - Pz(0)}{0.13 - 2.828} = 34.103$$

$$F2(i) := \frac{Pz(b_i) - Pz(a_i)}{\Delta \cdot 2.828}$$

$$\tau h(xh, m) := \begin{cases} \text{for } i \in 1..m \\ 34.103 \text{ if } 0 \leq xh < a_1 \\ \text{for } i \in 1..m \\ F2(i) \text{ if } a_i \leq xh < b_i \end{cases} \quad \text{- уравнение } \tau h \text{ от } xh$$



Следует обратить внимание на тот, что на представленном графике принято в расчёт, что на радиусном участке (радиусом несколько микрометров, сопоставимым с размерами зерен твёрдого сплава) режущей кромки имеется застойная зона, которая принимает на себя часть нагрузки на задней поверхности.

В том случае, если этой зоны у режущей кромки не существует, гистограмма (эпюра) распределения касательных контактных напряжений на фаске задней поверхности будет иметь вид, представленный на рис. 2.3.2 На фаске задней поверхности у режущей кромки имеется участок с очень большой величиной касательного контактного напряжения ($q_{Fh} = 1295 \text{ МПа}$).

Гистограммы (эпюры) на рис. 2.3.1 построены на основе предположения, что приращение силы при удалении от режущей кромки происходит только на новых участках фаски задней поверхности, т.е.

контактные напряжения на предыдущих, уже рассмотренных участках, остаются неизменными.

При расчёте контактных напряжений в расчёт принимается приращение сил, т.е. величина силы на более ранних участках не будет оказывать влияние на результат. Поэтому можно рассматривать гистограмму (эпюру) на рис. 2.3.1 как основную, и по нашему мнению распределение касательных контактных напряжений

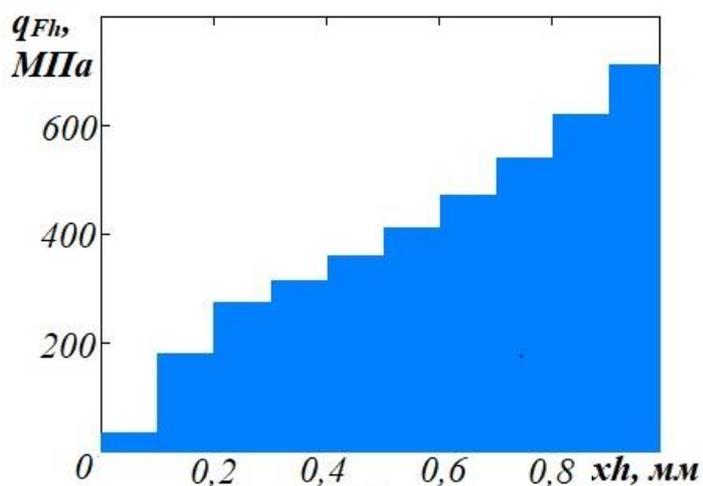


Рис. 2.3.1. Распределение касательных контактных напряжений на фаске задней поверхности q_{Fh} (МПа) при врезании **при наличии застойной зоны** на радиусном участке у режущей кромки. Сталь 40Х - Т15К6, $t = 2 \text{ мм}$ ($b = 2,82 \text{ мм}$), $v = 120 \text{ м/мин}$, $s = 0,07 \text{ мм/об}$

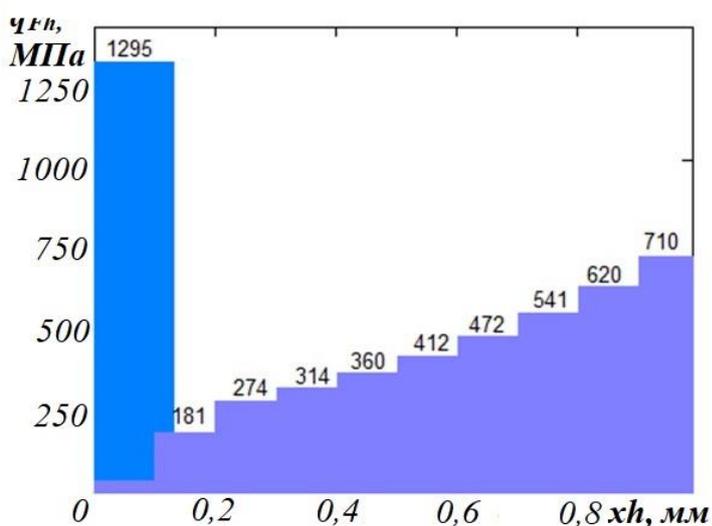


Рис. 2.3.2. Распределение касательных контактных напряжений на фаске задней поверхности q_{Fh} (МПа) при врезании **при отсутствии застойной зоны** на радиусном участке у режущей кромки. Сталь 40Х - Т15К6, $t = 2 \text{ мм}$ ($b = 2,82 \text{ мм}$), $v = 120 \text{ м/мин}$, $s = 0,07 \text{ мм/об}$

на фаске задней поверхности при врезании (до появления стружки) имеет именно такой вид. Однако для оценки нагружения режущего клина удобнее использовать гистограмму рис. 2.3.2, только считать наибольшее контактное напряжение у режущей кромки приложенным к радиусному участку режущей кромки.

3. Создание 3D модели режущих пластин

Для того чтобы исследовать НДС режущих пластин с помощью программы ANSYS, сначала необходимо создать 3D модель режущих пластин. Решили использовать программное обеспечение Solidworks для создания 3D модели режущих пластин. Оптимальные основные геометрические параметры режущих пластин исследовались Хуан Чжэньдун:

- Передний угол: $\gamma=0^\circ$.
- Главный задний угол: $\alpha=10^\circ$.
- Длина искусственной фаски и на задней поверхности, моделирующая износ по задней поверхности $h_з=0,2\text{мм}$.
- Задний угол на этой фаске: $\alpha_з=0^\circ$
- 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.

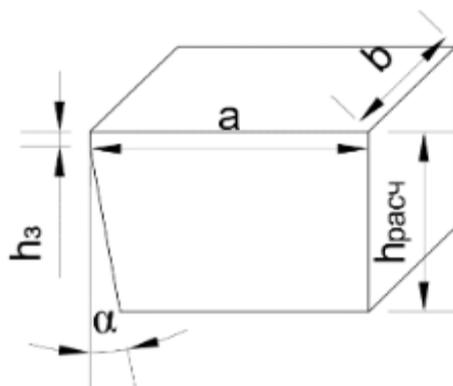


Рис. 3.1. Геометрические параметры режущих пластин в исследовании Хуан Ч.

В нашем исследовании необходимо создать по требованию экспериментов серия моделей, имеющиеся различные длины

искусственной фаски на задней поверхности ($h_z=0,13; 0,29; 0,465; 0,54; 0,775; 0,95\text{мм}$). Поскольку в нашем исследовании мы в основном изучаем влияние длины и подачи на НДС режущих пластин, толщина режущих пластин принимаем постоянно $h_{p.n.} = 6\text{мм}$.

Для того чтобы удобно приложить внешние контактные нагрузки, надо разделить рабочие поверхности режущих пластин на последовательные равномерные части.

Таким образом, мы создали 3D модель режущих пластин в таком виде:

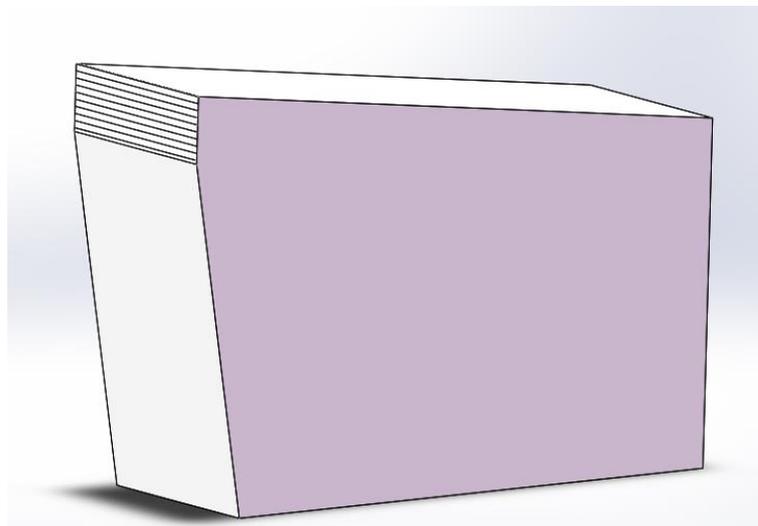


Рис. 3.2 пример 3D модель режущей пластины с фаской износа на задней поверхности $h_z=0,95\text{мм}$.

Основные геометрические параметры режущих пластин:

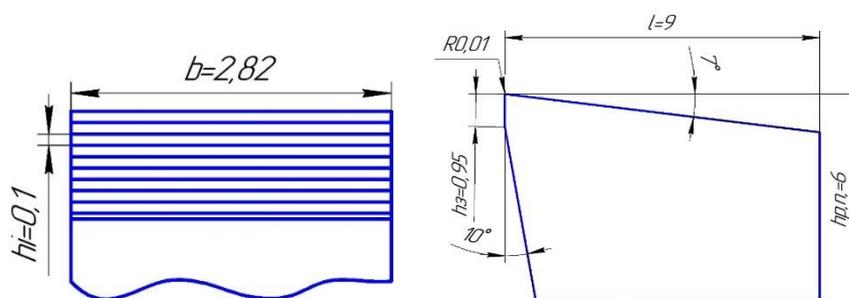


Рис. 3.3. Размеры режущей пластины с фаской износа на задней поверхности $h_z=0,95\text{мм}$.

- Передний угол: $\gamma=7^\circ$;
- Главный задний угол: $\alpha=10^\circ$;
- Длина искусственной фаски на задней поверхности, моделирующая износ по задней поверхности $h_3=0,95\text{мм}$;
- Длина участков, на которые разделена фаска на задней поверхности для нагружения внешними контактными нагрузками $h_i=0,1\text{мм}$;
- Задний угол на этой фаске: $\alpha_3=0^\circ$;
- Длина пластины: $l=9\text{мм}$;
- Ширина пластины: $b=2,82\text{мм}$;
- Толщина режущей пластины: $h_{p.n.} = 6\text{мм}$.

4. Расчёт НДС режущего клина методом конечных элементов с использованием программы ANSYS

4.1 Программная подготовка к расчёту

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. 4.1.1

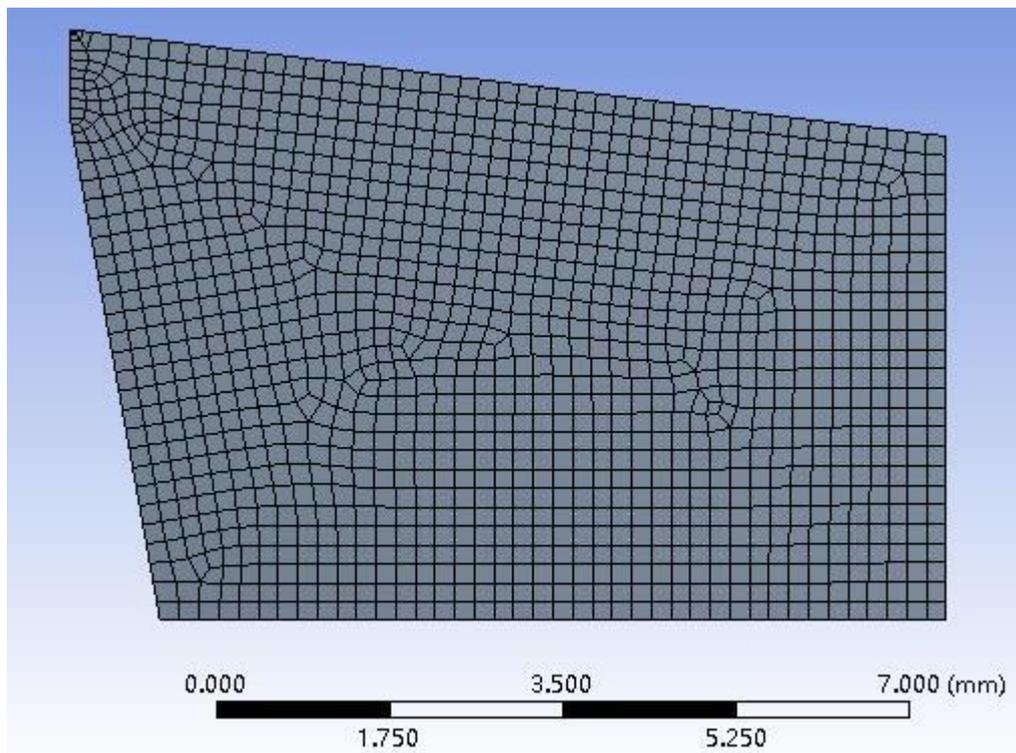


Рис. 4.1.1 Вид и размер конечных элементов

С одной стороны, сгущение сетки повышает точность, с другой — неограниченное сгущение может намного увеличивать трудоёмкость компьютера, даже потерять точности решения. В данном исследовании определили оптимальный размер узлов 0,2мм.

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Shape Checking	Standard Mecha...
Element Midside Nodes	Dropped
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Medium
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	0.20 mm
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Base...	On

Крепление режущей пластины

Для более реалистичного моделирования процесса резания режущей пластины мы задаём закрепления на модель (рис. 4.1.2).

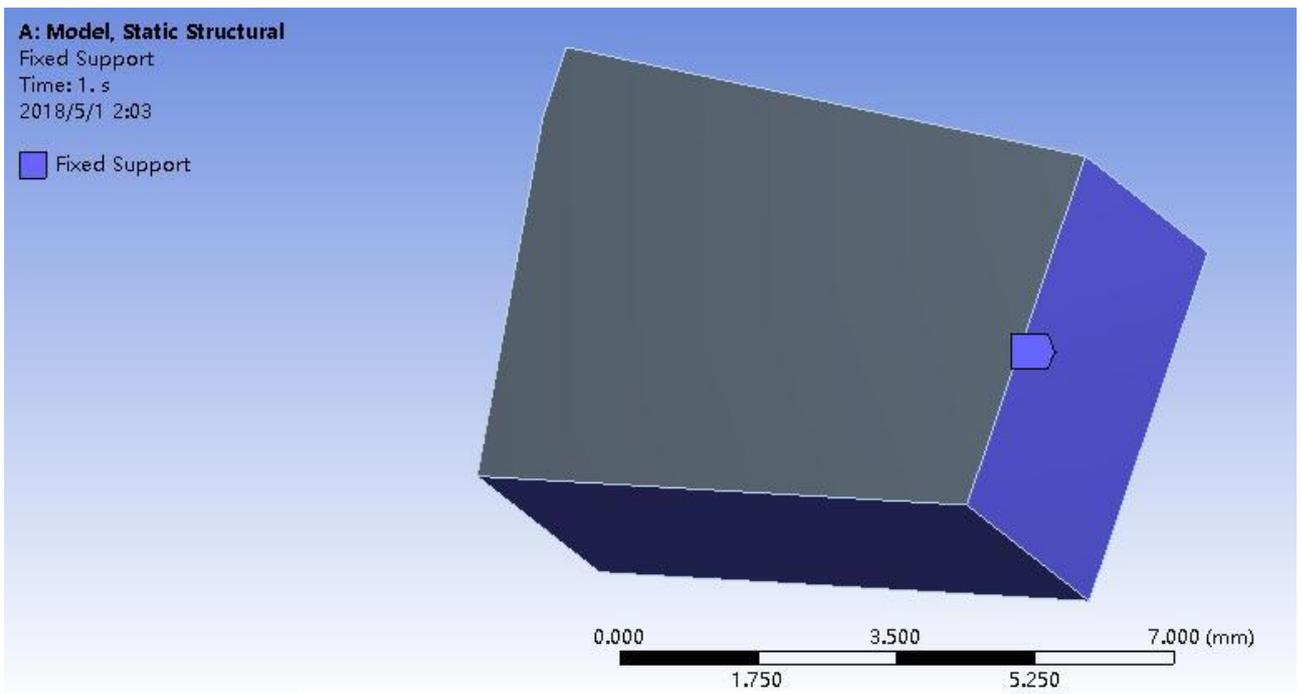


Рис. 4.1.2 Задавание крепления

Задавание физико-механических характеристик материалы модели

В программе ANSYS можно выбрать материала модули в интерфейсе «Engineering data», либо при введении модуль Юнга и коэффициент Пуассона остальные информации материалы рассчитаны автоматичны.

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modu...	
8	Young's Modulus	5.98E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0.3	
10	Bulk Modulus	4.9833E+11	Pa
11	Shear Modulus	2.3E+11	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
13	Interpolation	Log-Log	Pa
14	Scale	1	
15	Offset	0	Pa
16	Strain-Life Parameters		
17	Display Curve Type	Strain-Life	
18	Strength Coefficient	9.2E+08	Pa
19	Strength Exponent	-0.106	
20	Ductility Coefficient	0.213	
21	Ductility Exponent	-0.47	
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa

Рис. 4.1.3
Определение материала модули и её характеристики при введении модуль Юнга и коэффициент Пуассона

	A	B	C	D
1	Data Source		Location	Description
2	Favorites			Quick access list and default items
3	General Materials	<input type="checkbox"/>		General use material samples for use in various analyses.
4	General Non-linear Materials	<input type="checkbox"/>		General use material samples for use in non-linear analyses.
5	Explicit Materials	<input type="checkbox"/>		Material samples for use in an explicit analysis.
6	Hyperelastic Materials	<input type="checkbox"/>		Material stress-strain data samples for curve fitting.
7	Magnetic B-H Curves	<input type="checkbox"/>		B-H Curve samples specific for use in a magnetic analysis.
8	Thermal Materials	<input type="checkbox"/>		Material samples specific for use in a thermal analysis.

Outline of General Materials					
	A	B	C	D	E
1	Contents of General Materials		Add	Source	Description
					-wise (CW), or fill yarn direction.
8	Gray Cast Iron			General_Materials	
9	Magnesium Alloy			General_Materials	
10	Polyethylene			General_Materials	
11	Silicon Anisotropic			General_Materials	
12	Stainless Steel			General_Materials	
13	Structural Steel			General_Materials	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Рис. 4.1.4 Выбор материала модульм интерфейсе «Engineering date»

Нагружение внешних контактных нагрузок

Нагружать нагрузок на участки режущей пластины в соответствии с расчётными данными.

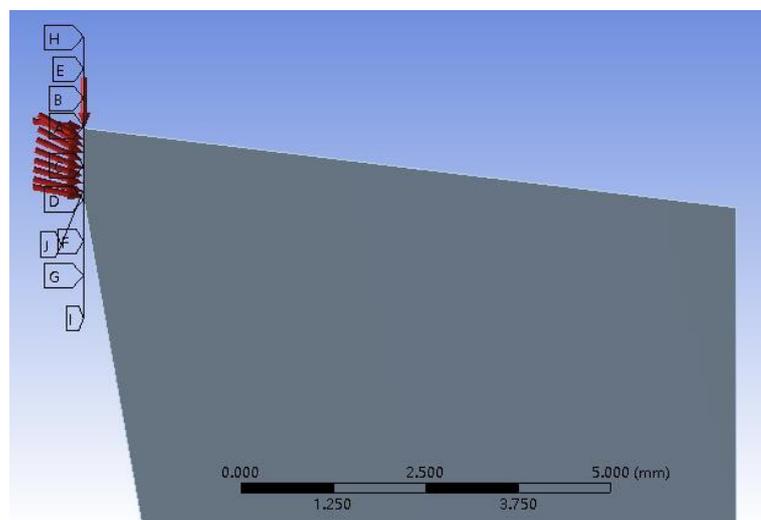


Рис. 4.1.5 Нагружения внешних контактных нагрузок.

4.2 Расчёт НДС режущей пластины

Для исследования НДС режущей пластины и расчёта на её прочности необходимо получить состояния внутренних эквивалентных напряжений, внутренних нормальных напряжений и внутренних касательных напряжений в режущей пластине. Эквивалентные напряжения показывают интегрированные значения внутренних напряжений в режущей пластине, а нормальные и касательные напряжения показывают виды напряжения: сжимающее напряжение или растягивающее напряжение.

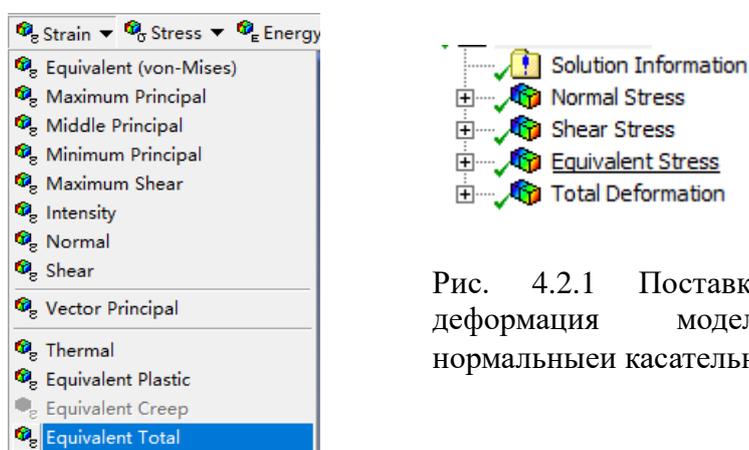


Рис. 4.2.1 Поставка расчётных задач: деформация модели; эквивалентные, нормальные и касательные напряжения.

Представлены здесь примеры расчёта состояния внутренних 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.

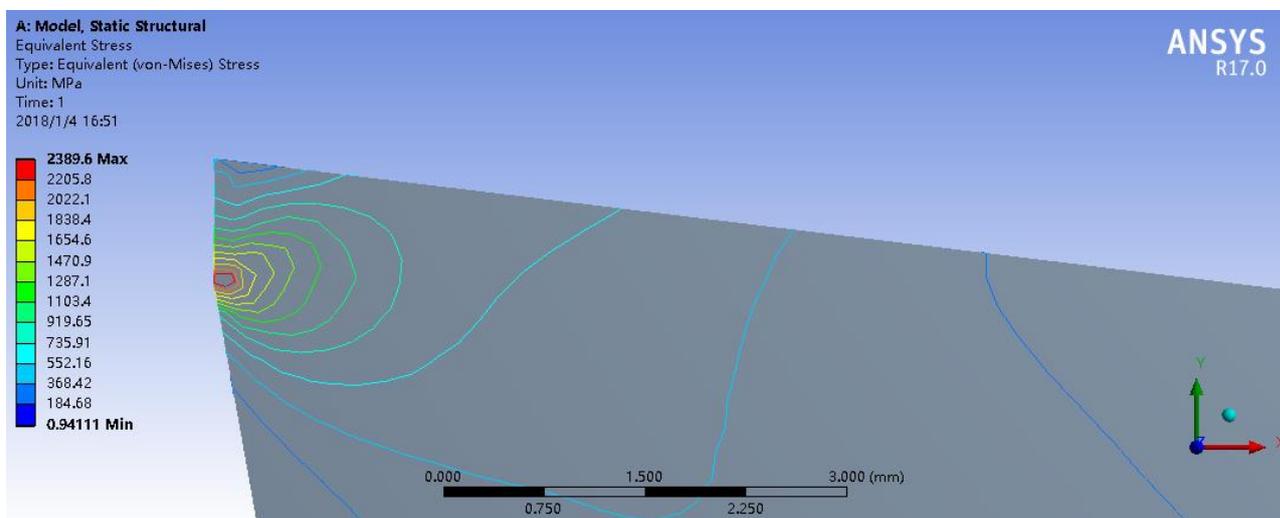


Рис. 4.2.2 Распределение эквивалентного напряжения в режущем клине, МПа. (Сталь 40Х-Т15К6; передний угол $\gamma = +7^\circ$; $h_3 = 0,95$ мм; $s = 0,07$ мм/об; $t = 2$ мм; $v = 120$ м/мин) округление режущей кромки 5 мкм.

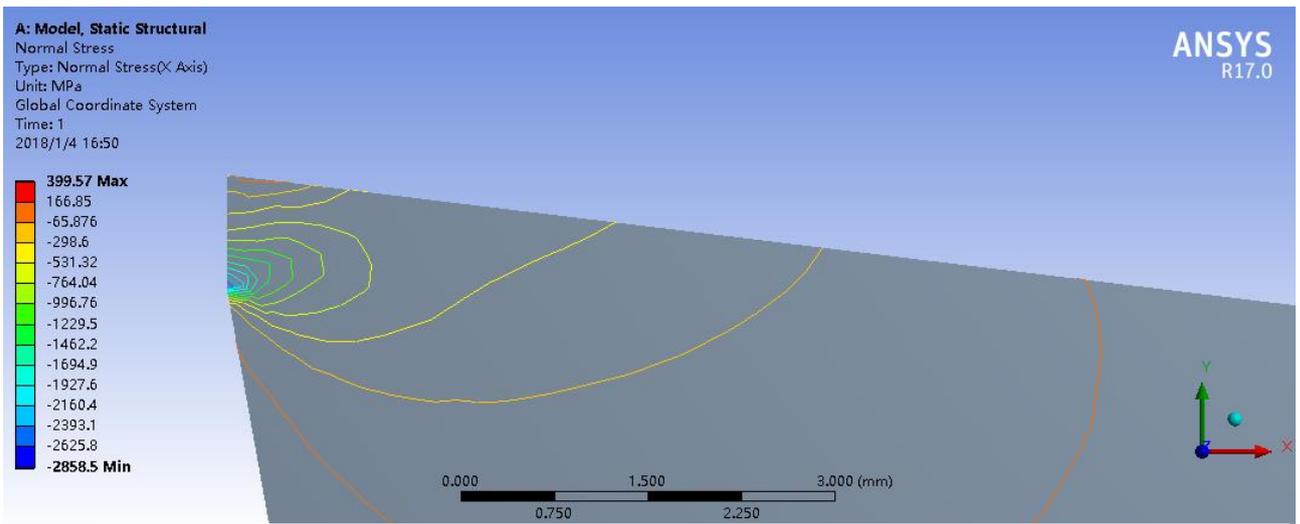


Рис. 4.2.3 Распределение нормального напряжения в режущем клине, МПа. (Сталь 40Х- Т15К6; передний угол $\gamma=+7^\circ$; $h_z=0,95\text{мм}$; $s=0,07\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.

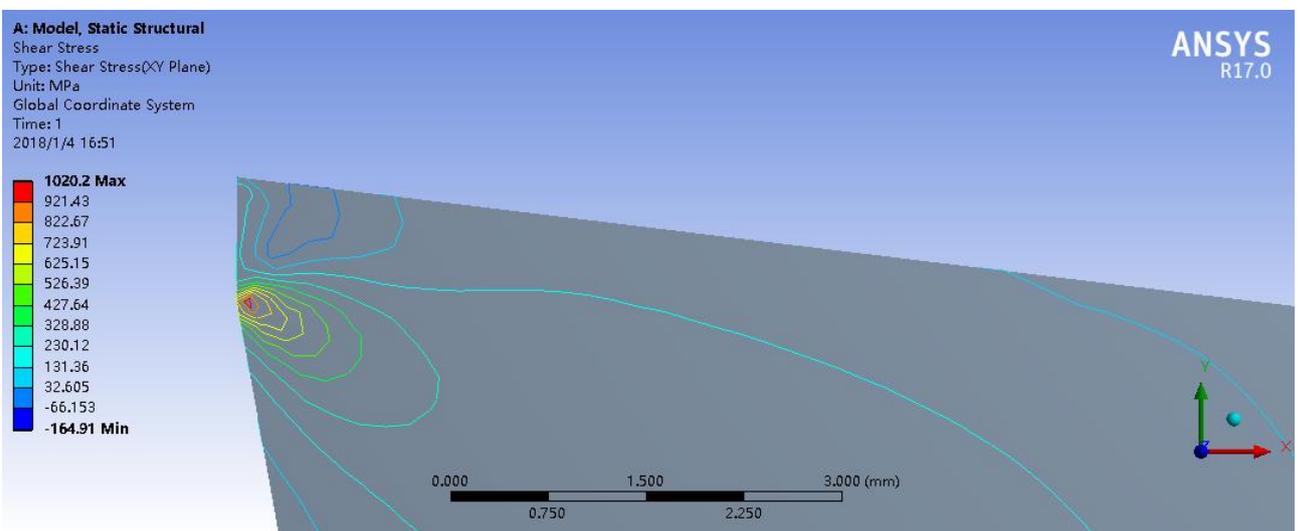


Рис. 4.2.4 Распределение касательного напряжения в режущем клине, МПа. (Сталь 40Х- Т15К6; передний угол $\gamma=+7^\circ$; $h_z=0,95\text{мм}$; $s=0,07\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.

5. Исследование влияния подачи и длины фаски износа на силы резания при врезании

5.1. Исследования влияния подачи на силы резания при врезании

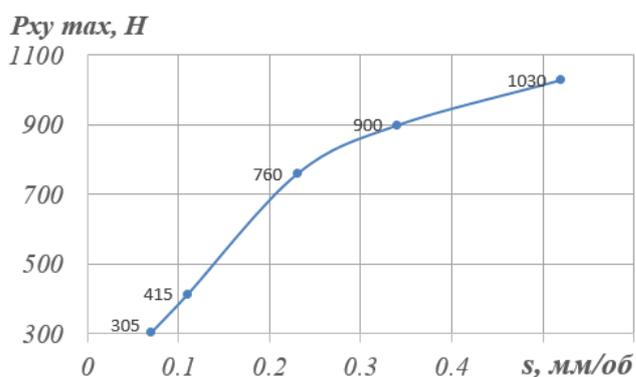
1) Исследование влияния подачи на нормальные силы резания при врезании:

Нормальные силы резания при врезании рассчитываются по формуле:

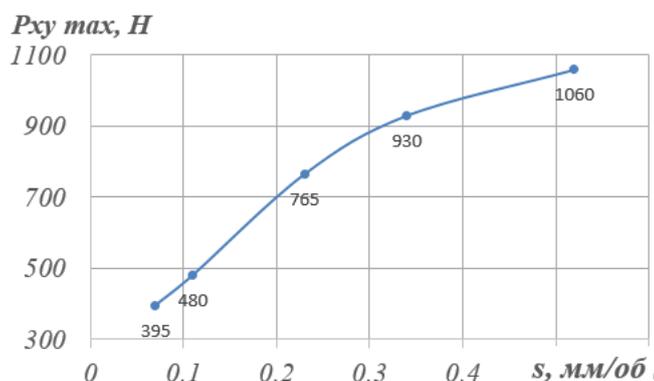
$$P_{xy \max} = \sqrt{P_{x \max}^2 + P_{y \max}^2}, H;$$

где $P_{x \max}$, $P_{y \max}$ – наибольшие составляющие силы резания в периоде врезания, H .

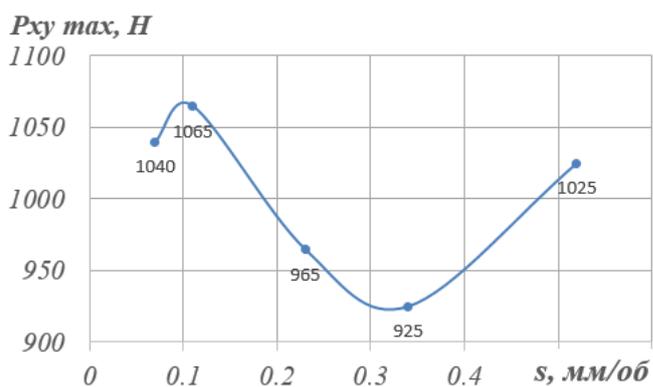
Подача s , мм/об	Нормальные силы резания при врезании $P_{xy \max}$, H при				
	$h_3=0,13\text{мм}$	$h_3=0,29\text{мм}$	$h_3=0,54\text{мм}$	$h_3=0,775\text{мм}$	$h_3=0,95\text{мм}$
0,07	305	395	1040	2545	2660
0,11	415	445	1065	2350	2540
0,23	760	765	965	2300	2430
0,34	900	930	925	2235	2200
0,52	1030	1060	1025	2160	2300



(а) $h_3=0,13\text{мм}$



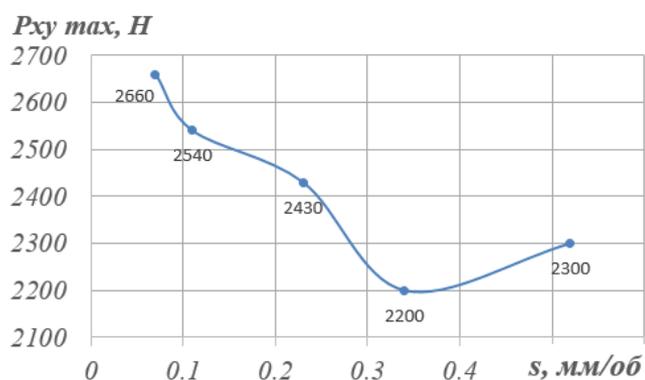
(б) $h_3=0,29\text{мм}$



(в) $h_3=0,54\text{мм}$



(г) $h_3=0,775\text{мм}$



(д) $h_3=0,95\text{мм}$

Рис. 5.1.1

Рис. 5.1.1 (продолжение) Влияние подачи s на нормальные силы резания $P_{xy\ max}$ при врезании при длине фаски задней поверхности а) $h_3=0,13\text{мм}$; б) $h_3=0,29\text{мм}$; в) $h_3=0,54\text{мм}$; г) $h_3=0,775\text{мм}$; д) $h_3=0,95\text{мм}$. Сталь 40Х - Т15К6, $t=2\text{ мм}$, $v=120\text{ м/мин}$. Ордината – нормальные силы резания $P_{xy\ max}$, H ; абсцисса – подача s , мм/об.

Из этих графиков мы можем отметить, что при маленькой фаске износа по задней поверхности ($h_3 < 0,3\text{мм}$) подача s увеличивается нормальные силы резания при врезании тоже увеличиваются, а при длине фаски износа на задней поверхности более $0,3\text{мм}$ зависимости между нормальными силами и подачей идет сложно: с увеличением подачи нормальные силы падают, а при большой подаче нормальные силы возрастают. Мы думаем данное явление связано с влиянием из **нароста (застойная зона)**.

При резании большинства конструкционных материалов возникает явление, называемое наростообразованием. Нарост - это часть материала заготовки, образующаяся в застойной зоне и связанная с поверхностями и режущей кромкой лезвия инструмента (рис. 5.1.2). Нарост

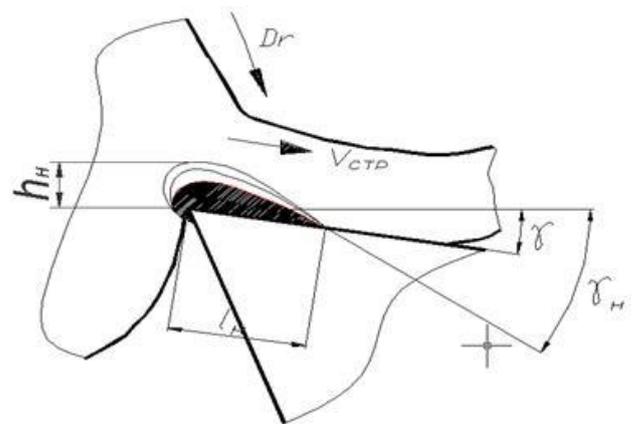


Рис. 5.1.2 Схема образования нароста

формируется в условиях высоких контактных давлений и температур, поэтому имеет высокую твердость и прочность, превосходящие в 3...4 раза соответствующие характеристики обрабатываемого материала.

Нарост при резании играет как положительную, так и отрицательную роль. Он увеличивает передний угол лезвия, облегчая тем самым процесс резания, снижает силу и температуру резания, уменьшает степень деформации стружки, защищает переднюю и заднюю поверхности и режущую кромку лезвия от непосредственного контакта с

обрабатываемым материалом и тем самым снижает износ и повышает стойкость инструмента. С другой стороны, образование нароста способствует возникновению вибрации в зоне резания и снижению качества обработанной поверхности.

2) Исследование влияния подачи на касательные силы резания при врезании:

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

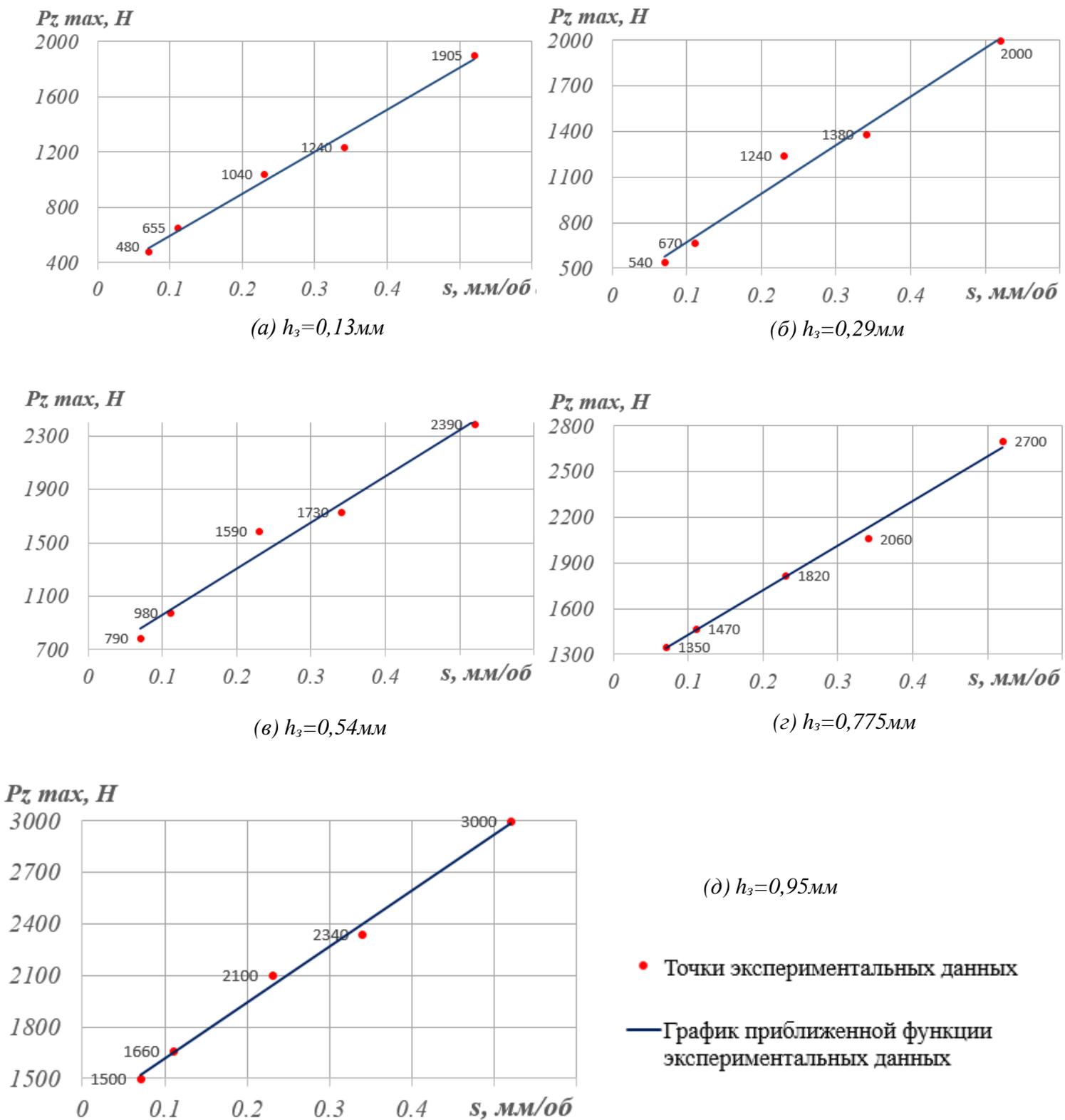


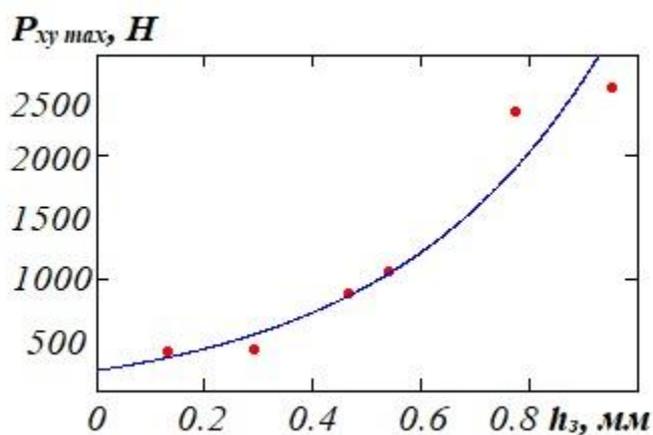
Рис. 5.1.3 Влияние подачи s на касательные силы резания $P_{z \text{ max}}$ при врезании при длине фаски задней поверхности а) $h_3=0,13\text{мм}$; б) $h_3=0,29\text{мм}$; в) $h_3=0,54\text{мм}$; г) $h_3=0,775\text{мм}$; д) $h_3=0,95\text{мм}$. Сталь 40X - Т15К6, $t=2\text{ мм}$, $v=120\text{ м/мин}$. Ордината – касательные силы резания $P_{z \text{ max}}$, Н; абсцисса – подача s , мм/об.

Графики влияния подачи s на касательные силы резания $P_{z \max}$ показывают, что в процессе врезания при разной фаске износа h_3 по задней поверхности подача s увеличивается касательные силы резания $P_{z \max}$ также увеличиваются как линейная функция.

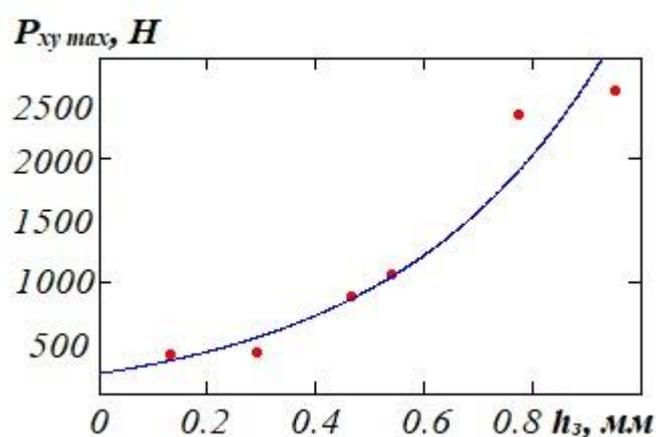
5.2. Исследования влияния длины фаски износа по задней поверхности на силы резания при врезании

1) Исследование влияния длины фаски износа по задней поверхности на нормальные силы резания при врезании:

Длина фаски h_3 , мм	Нормальные силы резания при врезании $P_{xy \max}$, Н при				
	$s=0,07$ мм/об	$s=0,11$ мм/об	$s=0,23$ мм/об	$s=0,34$ мм/об	$s=0,52$ мм/об
0,13	305	415	760	900	1030
0,29	395	445	765	930	1060
0,54	1040	1065	965	1125	1225
0,775	2545	2350	2400	2235	2160
0,95	2660	2540	2430	3430	3060



(а) $s=0,07$ мм/об



(б) $s=0,11$ мм/об

Рис. 5.2.1 Влияние длины фаски износа по задней поверхности h_3 на нормальные силы резания $P_{xy \max}$ при врезании при подаче а) $s=0,07$ мм/об; б) $s=0,11$ мм/об; в) $s=0,23$ мм/об; г) $s=0,34$ мм/об; д) $s=0,52$ мм/об. Сталь 40Х - Т15К6, $t=2$ мм, $v=120$ м/мин. Ордината – нормальные силы резания $P_{xy \max}$, Н; абсцисса – длина фаски износа по задней поверхности h_3 , мм.

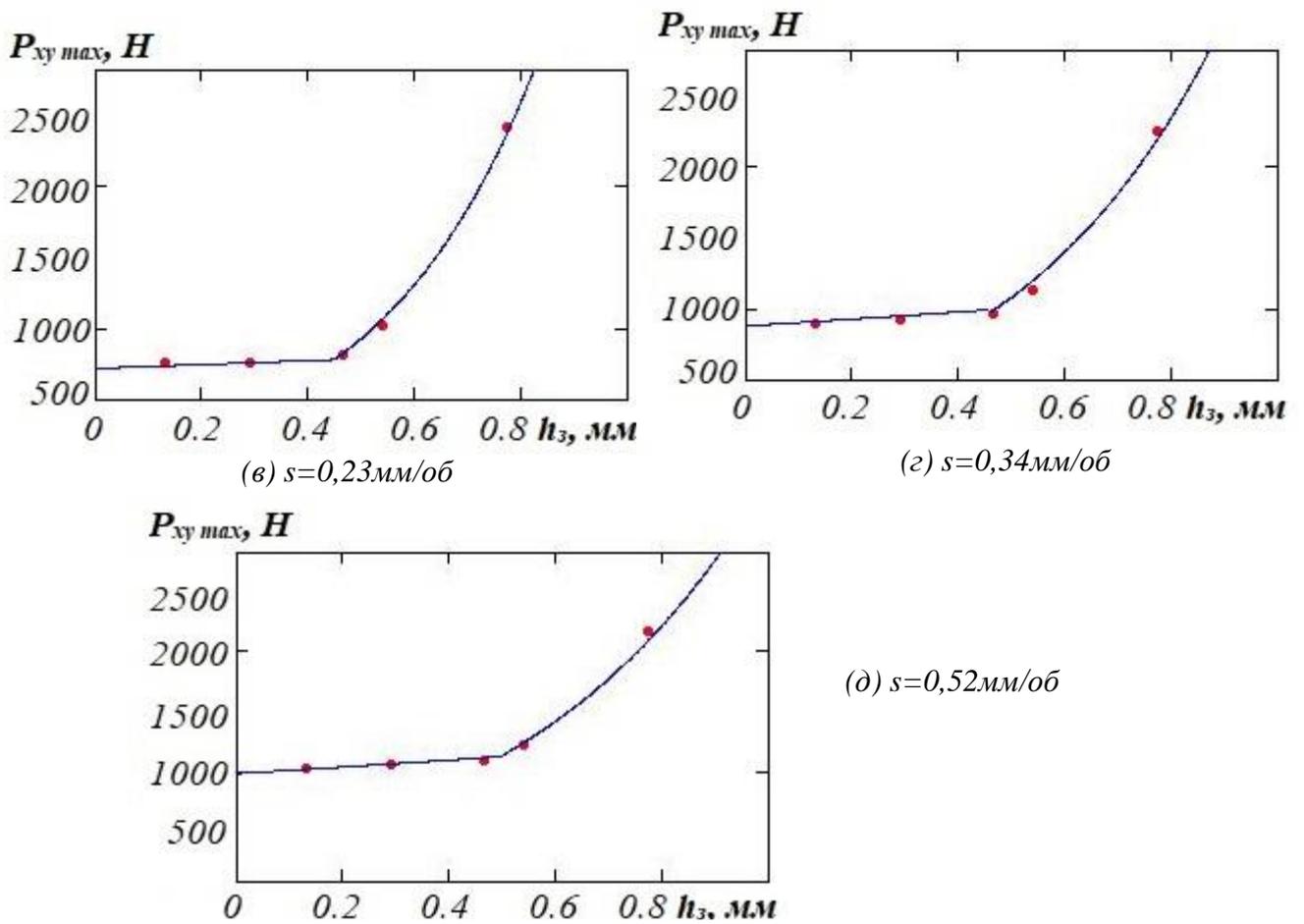
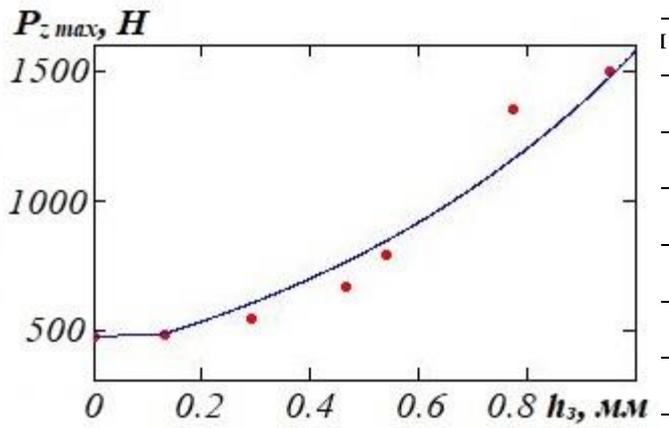
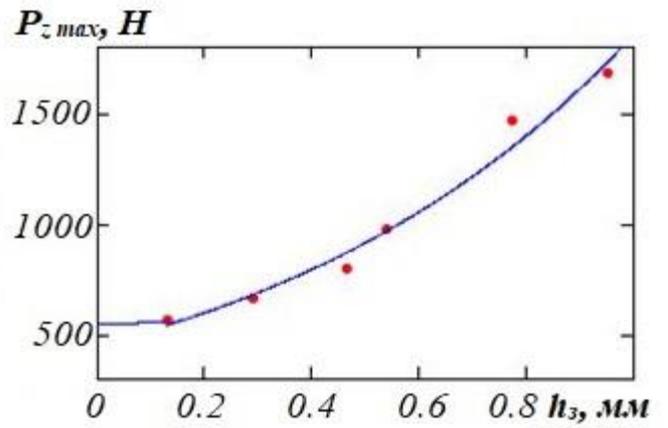


Рис. 5.2.1 (продолжение) Влияние длины фаски износа по задней поверхности h_3 на нормальные силы резания $P_{xy\ max}$ при врезании при подаче а) $s=0,07$ мм/об; б) $s=0,11$ мм/об; в) $s=0,23$ мм/об; г) $s=0,34$ мм/об; д) $s=0,52$ мм/об. Сталь 40X - Т15К6, $t=2$ мм, $v=120$ м/мин. Ордината – нормальные силы резания $P_{xy\ max}$, Н; абсцисса – длина фаски износа по задней поверхности h_3 , мм.

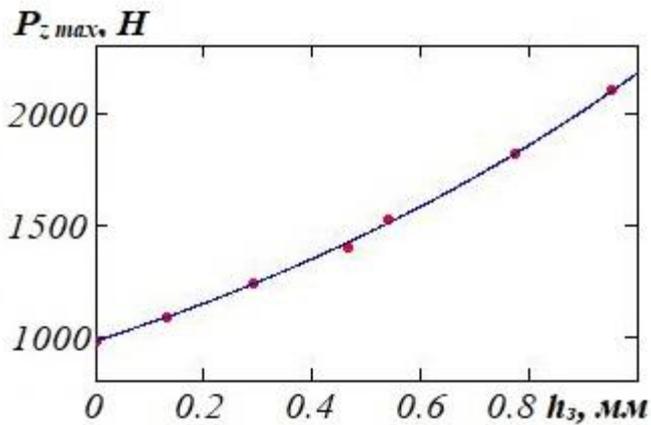
- 2) Исследование влияния длины фаски износа по задней поверхности на касательные силы резания при врезании:



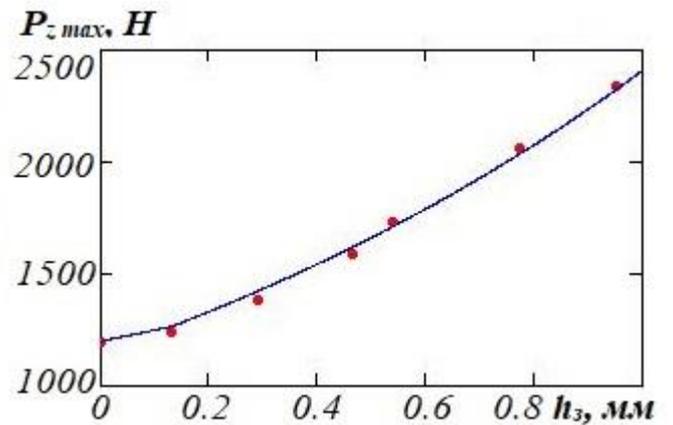
(а) $s=0,07\text{мм/об}$



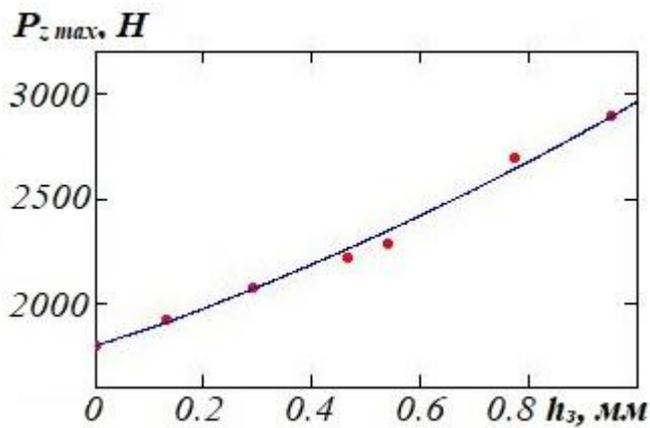
(б) $s=0,11\text{мм/об}$



(в) $s=0,23\text{мм/об}$



(г) $s=0,34\text{мм/об}$



(д) $s=0,52\text{мм/об}$

Рис. 5.2.2 Влияние длины фаски износа по задней поверхности h_3 на касательные силы резания $P_{z \max}$ при врезании при подаче а) $s=0,07\text{мм/об}$; б) $s=0,11\text{мм/об}$; в) $s=0,23\text{мм/об}$; г) $s=0,34\text{мм/об}$; д) $s=0,52\text{мм/об}$. Сталь 40X - Т15К6, $t=2\text{ мм}$, $v=120\text{ м/мин}$. Ордината – касательные силы резания $P_{z \max}$, Н; абсцисса – длина фаски износа по задней поверхности h_3 , мм.

По графикам см. рис. 5.2.1 и рис. 5.2.2 при малой длине фаски износа нормальные и касательные силы резания на задней поверхности при врезании малы, затем с увеличением длины фаски силы резания при врезании быстро увеличиваются.

6. Исследование распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности

По пункту 2.3 в части «методики выполнения работы» мы рассчитали удельные нормальные и касательные контактные напряжений и построили для них гистограммы.

В процессе расчета видно что нормальные удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности для i -ого интервала q_{Nhi} (Н/мм², или МПа) рассчитывались как отношение приращение нормальной силы на интервале фаски задней поверхности ΔN_{hi} (Н) к приращению площади этого интервала ΔS_{hi} (мм²):

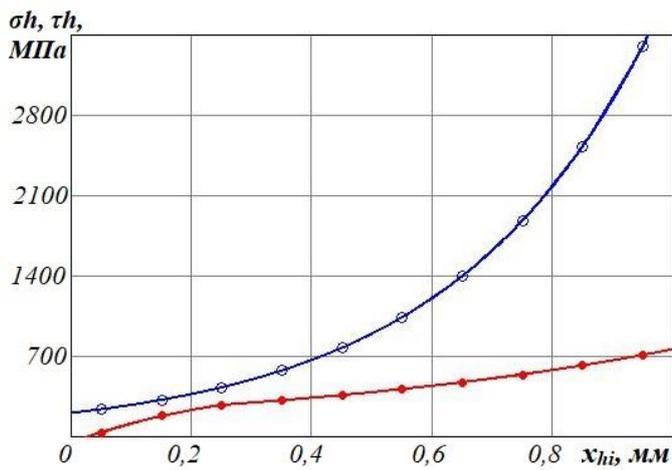
$$q_{Nhi} = \sigma_h = \frac{\Delta N_{hi}}{\Delta S_{hi}} = \frac{N_{h\ bi} - N_{h\ ai}}{(h_{bi} - h_{ai}) \cdot b}, \text{ (Н/мм}^2\text{)}$$

где ai и bi – левое и правое значение интервала $[ai, bi]$; b – ширина режущей пластины.

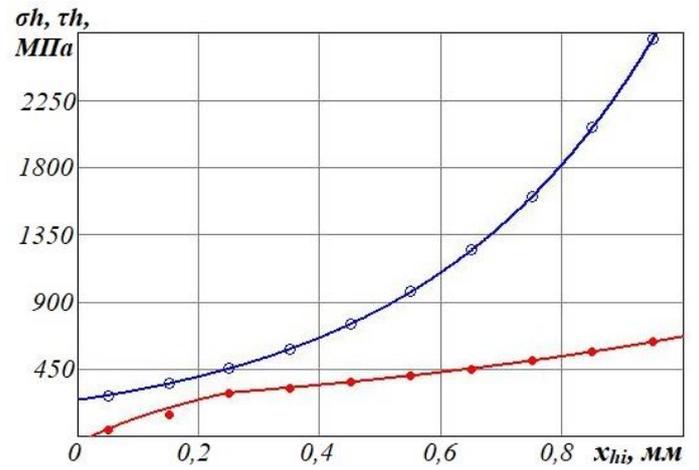
Рассчитаем касательные удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности для i -ого интервала таким же методом:

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

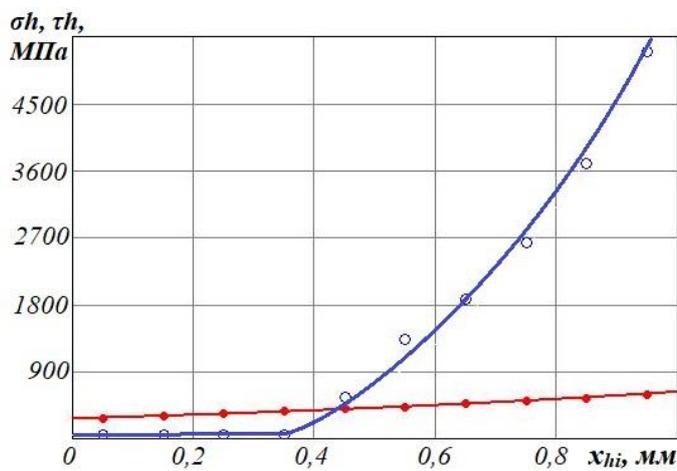
Таким образом, мы можем построить графики распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности при абсциссе – $x_{hi} = (a_i + b_i)/2$, (мм); ординате – σ_h, τ_h , (МПа).



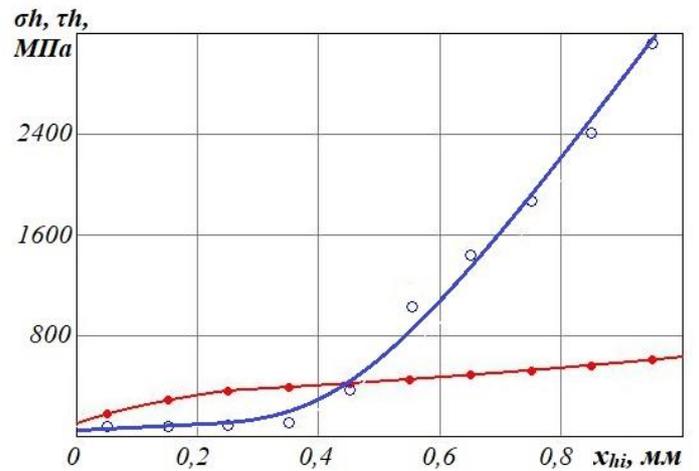
(a) $s=0,07\text{мм/об}$



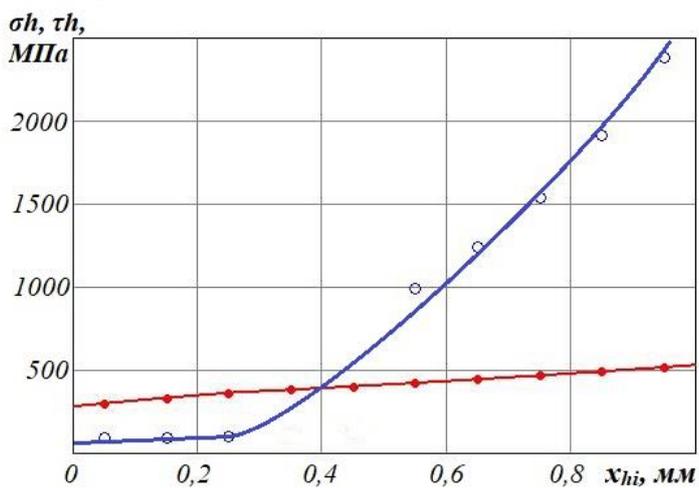
(б) $s=0,11\text{мм/об}$



(в) $s=0,23\text{мм/об}$



(г) $s=0,34\text{мм/об}$



(д) $s=0,52\text{мм/об}$

Рис. 6.1 Графики распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности при врезании при подаче а) $s=0,07\text{мм/об}$; б) $s=0,11\text{мм/об}$; в) $s=0,23\text{мм/об}$; г) $s=0,34\text{мм/об}$; д) $s=0,52\text{мм/об}$. Сталь 40X - Т15К6, $t=2\text{ мм}$, $v=120\text{ м/мин}$. Ордината – нормальные σ_h (МПа) и касательные τ_h (МПа) контактные напряжения на фаске задней поверхности; абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль длины фаски износа по задней поверхности x_{hi} (мм)

Графики распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности при врезании показывают, что в процессе врезания при разной подаче s у режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются. Это связано с влиянием прогиба поверхности резания (рис. 6.2).

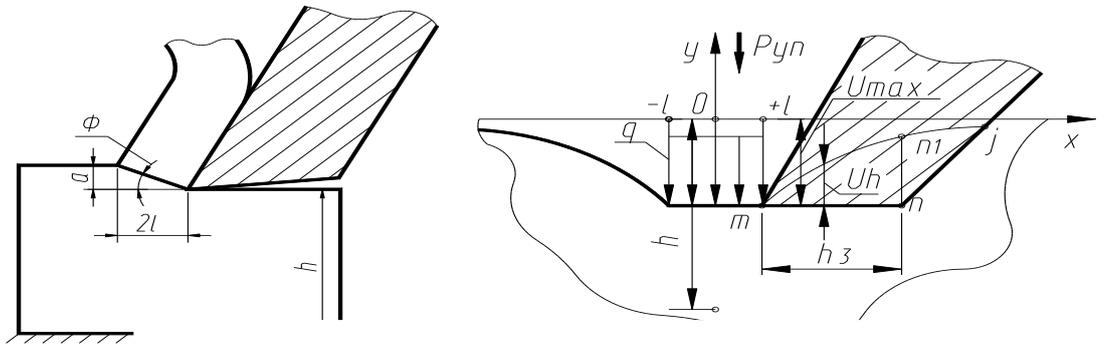


Рис. 6.2 Прогиб поверхности резания

В начальный период резания стружки ещё нет, но она формируется на передней поверхности инструмента у режущей кромки и начинает оказывать радиальное давление на поверхность резания (перпендикулярно поверхности среза), тем самым способствуя появлению прогиба этой поверхности. Из-за наличия прогиба поверхности резания, контактирующего с поверхностью фаски задней поверхности, у режущей кромки силовое воздействие от поверхности заготовки небольшое, поэтому контактные напряжения малы. При отдалении от режущей кромки происходит упругое восстановление прогиба поверхности резания, силовое воздействие увеличивается, поэтому контактные напряжения возрастают.

Движущаяся перед резцом зона стружкообразования сопровождается волной упругой деформации, что приводит к опусканию границы полуплоскости на величину U_{max} , которая зависит от интенсивности нагрузки q в области условной плоскости сдвига.

Восстанавливающаяся позади режущей кромки поверхность $m n_1 j$ взаимодействует с плоскостью фаски, дополнительно деформируясь до положения $m n j$.

Смешанная задача теории упругости для полуплоскости: на участке $[-\lambda, +\lambda]$ (2λ) заданы напряжения, а на участке $[+\lambda, \lambda+h_3]$ заданы перемещения. Полетикой М.Ф. и Козловым В.Н. было использовано решение задачи Буссинеска о воздействии силы на упругое полупространство, откуда было получено уравнение для кривой упругого

восстановления:

$$U(x) = -\frac{1-\nu^2}{E \cdot x} \cdot \lambda^2 \cdot q \cdot \left(0,14 + \frac{1,13 \cdot \lambda}{x}\right) \rightarrow U_{(x)} = \frac{1-\nu^2}{E} \cdot \lambda \cdot q \cdot \left(1,27 - \frac{0,14 \cdot \lambda}{x} - \frac{1,13 \lambda^2}{x^2}\right) - r + \left[r^2 - (x-\lambda)^2\right]^{0,5}$$

$$\sigma_h = 0,64 \cdot q \cdot \left(1,27 - \frac{0,14 \cdot \lambda}{x} - \frac{1,13 \cdot \lambda^2}{x^2}\right) - \frac{0,64 \cdot E}{(1-\nu^2) \cdot \lambda} \left\{ r - \left[r^2 - (x-\lambda)^2\right]^{0,5} \right\}$$

Чем **больше подача и глубина резания**, тем больше радиальная сила P_{yn} и длиннее участок 2λ , тем длиннее волна прогиба поверхности резания, тем **дальше от режущей кромки наибольшие нормальные напряжения** на фаске задней поверхности.

7. Исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей пластины и оценивание её прочности

В исследовании напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей пластины и оценивании её прочности эквивалентные напряжения играют очень важные роли. Мы можем сразу оценить прочность режущих пластин через сравнение эквивалентных напряжений с критерий предельной прочности материалов.

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

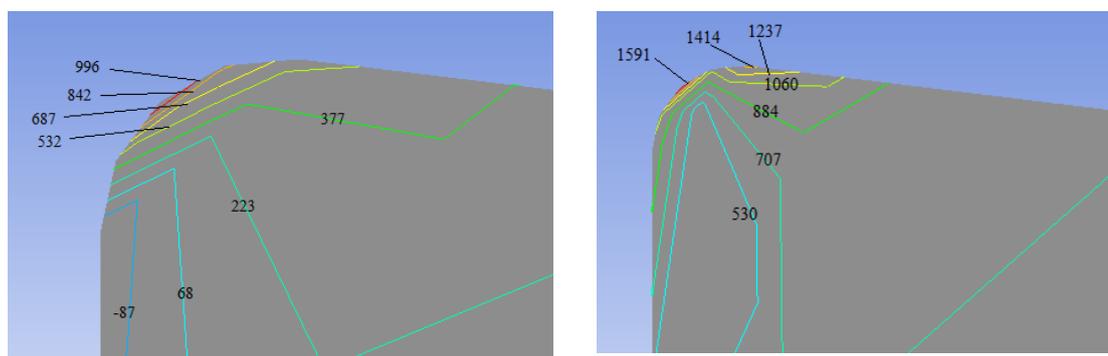
$$\sigma_\eta = x \times \sigma_i + (1 - x) \times \sigma_1 \times p \leq \sigma_B$$

где x - константа материала при данных условиях работы, её величина

характеризует степень участия в микроразрушении сдвиговой деформации, создающей благоприятные условия для разрыхления материала и образования трещин, $\chi = \sigma_B / \sigma_{-B}$; σ_B , σ_{-B} - величины предельного сопротивления материала при одноосном растяжении и сжатии; σ_i - интенсивность напряжений в рассматриваемой точке.

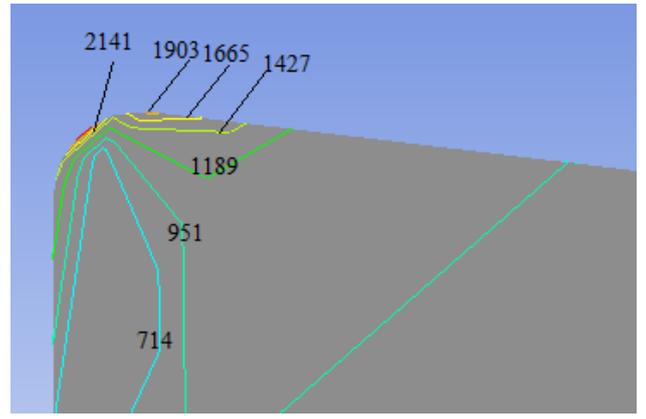
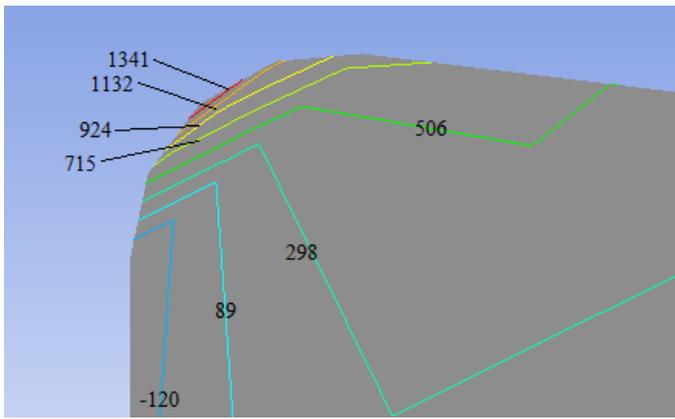
7.1. Исследование влияния подачи на НДС режущей пластины в процессе врезания

С использованием программы ANSYS получили серия расчётов НДС режущей пластины. Для исследования влияние подачи на НДС режущей пластины при врезании выбираем расчёты для разной подач при длине фаски на задней поверхности $h_3=0,13\text{мм}$, чтобы исключить влияние длины фаски на результаты.

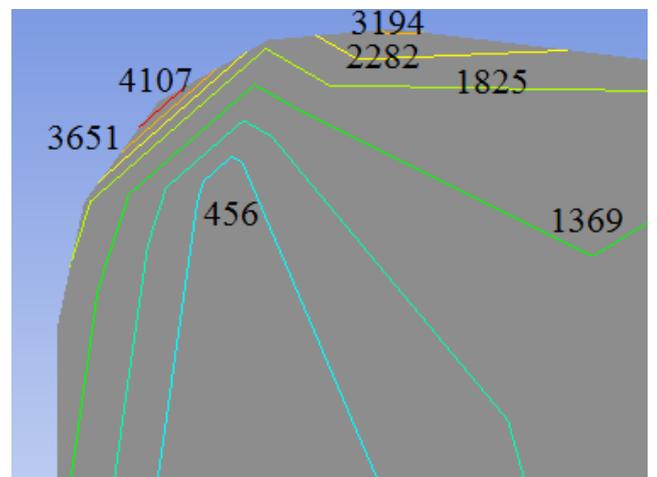
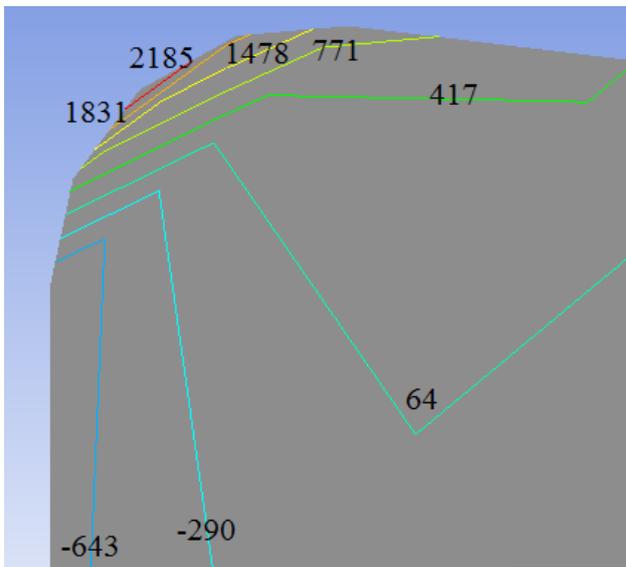


(a) $s=0,07\text{мм/об}$

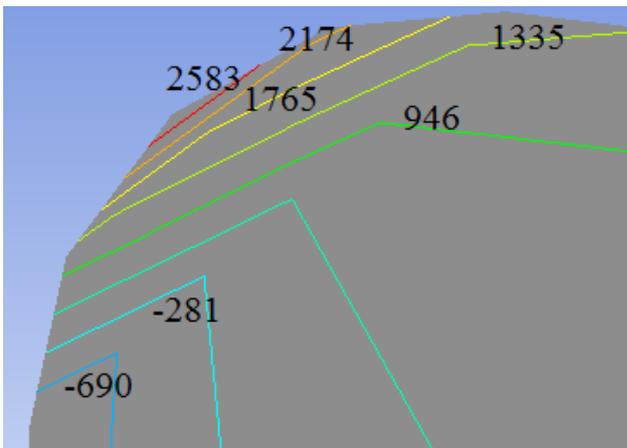
Рис. 7.1. Распределение нормального (левый рис.) и эквивалентного (правый рис.) напряжения в режущем клине при врезании при подаче а) $s=0,07\text{мм/об}$; б) $s=0,11\text{мм/об}$; в) $s=0,23\text{мм/об}$; г) $s=0,34\text{мм/об}$; д) $s=0,52\text{мм/об}$. (Сталь 40Х- Т15К6; $h_3=0,13\text{мм}$; $t=2\text{мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.



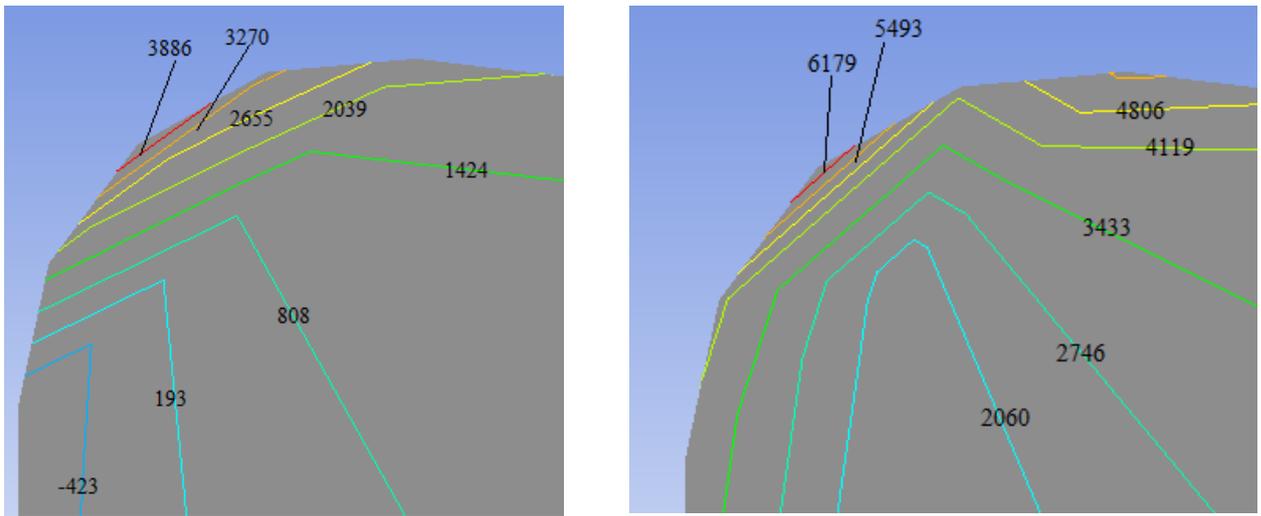
(б) $s=0,11\text{мм/об}$



(в) $s=0,23\text{мм/об}$



(г) $s=0,34\text{мм/об}$



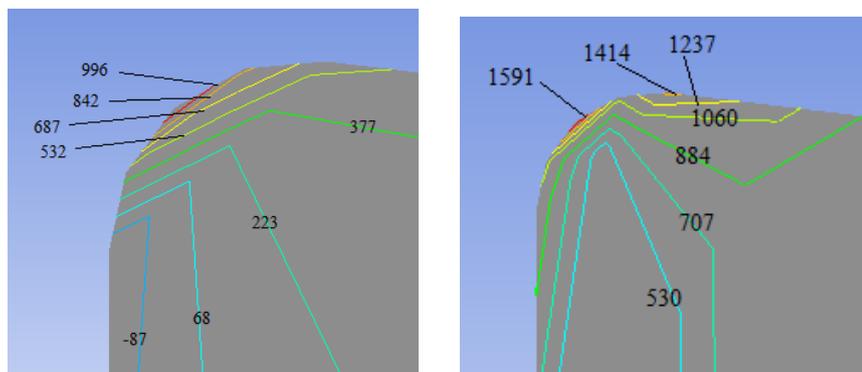
(д) $s=0,52\text{мм/об}$

Рис. 7.1. (продолжение) Распределение нормального (лево) и эквивалентного (право) напряжения в режущем клине при врезании при подаче а) $s=0,07\text{мм/об}$; б) $s=0,11\text{мм/об}$; в) $s=0,23\text{мм/об}$; г) $s=0,34\text{мм/об}$; д) $s=0,52\text{мм/об}$. (Сталь 40Х- Т15К6; $h_3=0,13\text{мм}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.

Расчёты показывают, что при малой подаче в режущем клине возникают эквивалентные напряжения около 1500 МПа, а при большой подаче эквивалентные напряжения увеличиваются больше 4000 МПа, приближаются к предельно допустимым, что приводит к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.

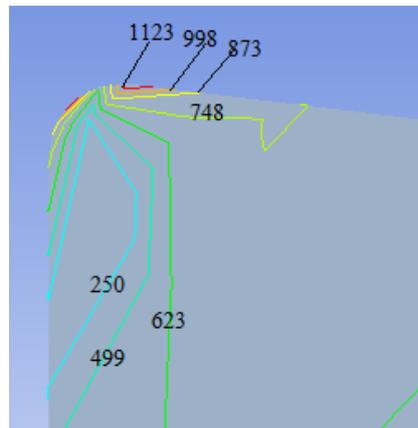
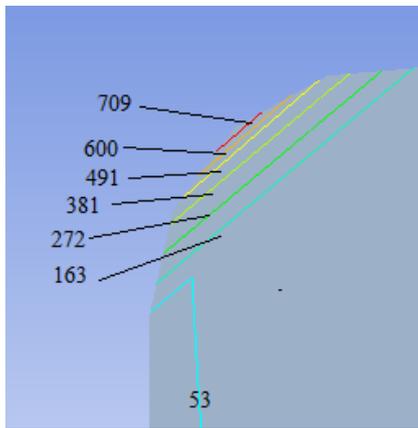
7.2. Исследование влияния длины фаски износа на НДС режущей пластины в процессе врезания

Также исследовали влияние длины фаски износа по задней поверхности на НДС режущей пластин при врезании.

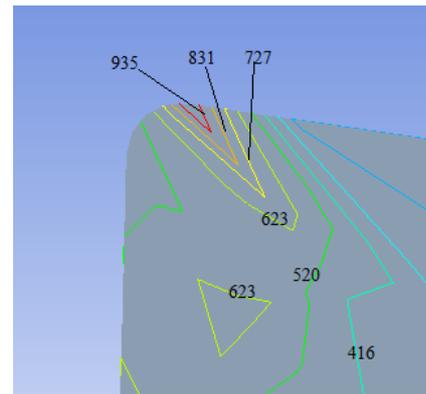
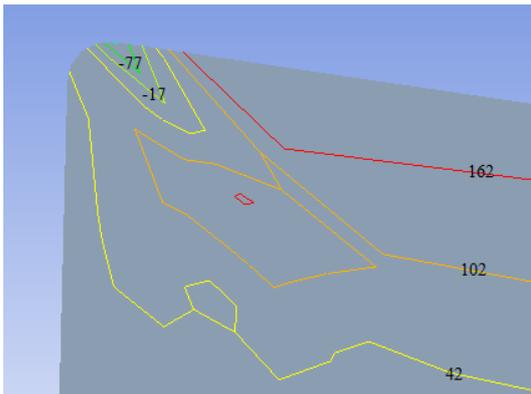


(а) $h_3=0,13\text{мм}$

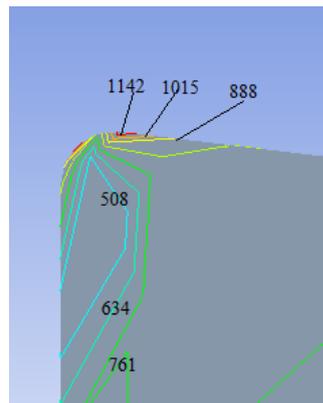
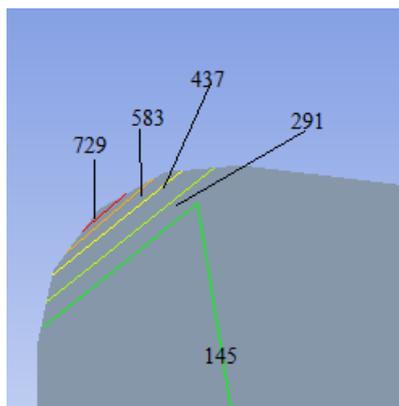
Рис. 7.2.



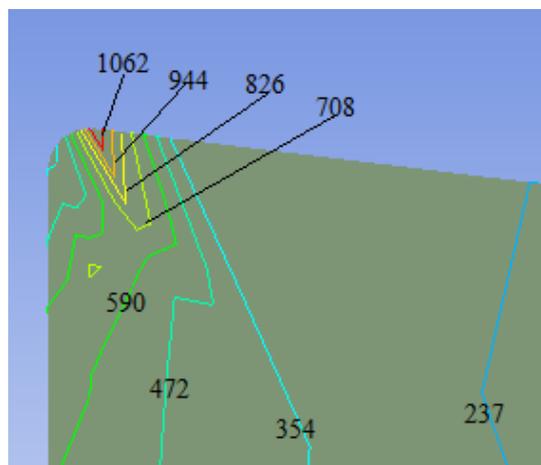
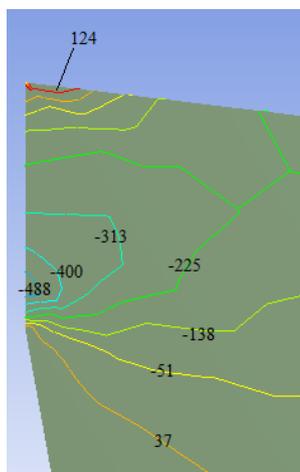
(б) $h_3=0,29\text{мм}$



(в) $h_3=0,54\text{мм}$



(г) $h_3=0,775\text{мм}$



(д) $h_3=0,95\text{мм}$

Рис. 7.2. (продолжение)

Рис. 7.2. (продолжение) Распределение нормального (левый рис.) и эквивалентного (правый рис.) напряжения в режущем клине при врезании при длине фаски износа а) $h_3=0,13\text{мм}$; б) $h_3=0,29\text{мм}$; в) $h_3=0,54\text{мм}$; г) $h_3=0,775\text{мм}$; д) $h_3=0,95\text{мм}$. (Сталь 40Х-Т15К6; $s=0,07\text{мм/об}$; $t=2\text{мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.

Видно что с увеличением длины фаски эквивалентные напряжения на задней поверхности в режущем клине тоже увеличиваются, но более меньше предельно допустимых.

По результатам исследования НДС режущей пластины (рис. 7.1 и рис. 7.2) получим выводы: При малых подачах и малой длине фаски износа на задней поверхности в режущем клине возникают напряжения растяжения сравнительно небольшой величины $\sigma_x = 996\text{ МПа}$. При этом наибольшие эквивалентные напряжения достаточно велики $\sigma_{\text{экр}} = 1591\text{ МПа}$, но в 2,5 раза меньше предельно допустимых.

При увеличении подачи и длины фаски на задней поверхности у передней поверхности появляются напряжения сжатия $\sigma_x = -391\text{ МПа}$, а наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экр}} = 4053\text{ МПа}$ приближаются к предельно допустимым, что приводит к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.

8. Исследование установившихся сил резания а процессе резания

Таким же методом, который мы использовали для исследования сил резания при врезании, мы можем исследовать установившиеся силы резания при резании.

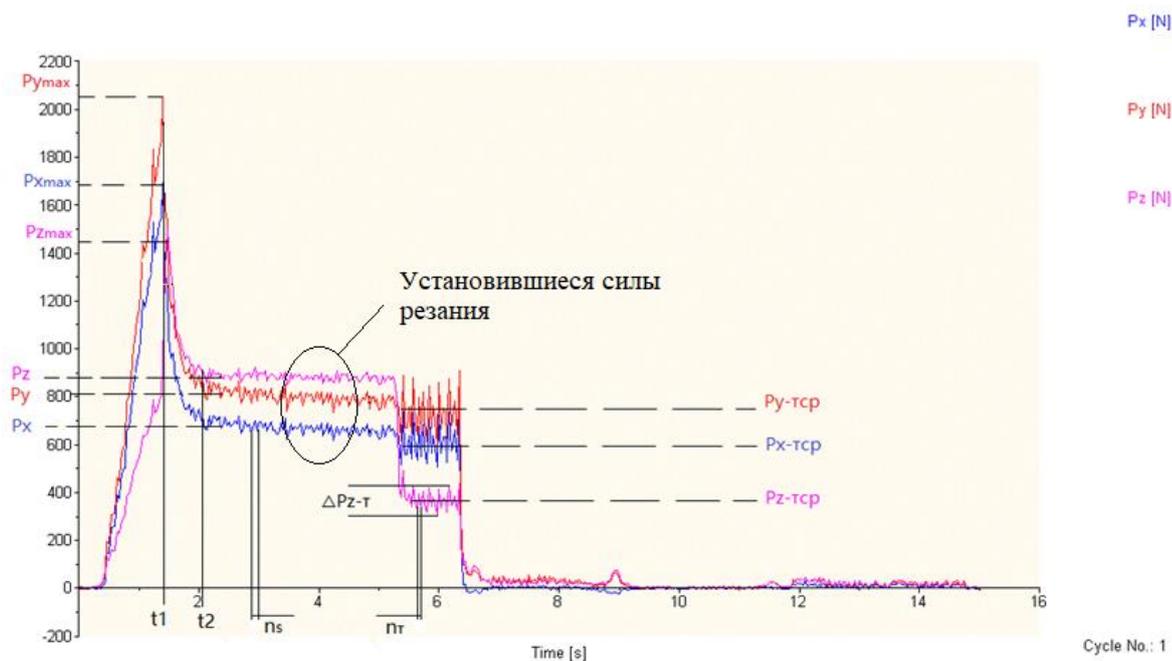


Рис. 8.1. Установившиеся силы резания при подаче $s = 0,07$ мм/об, скорости вращения $n = 630$ об/мин, глубине резания $t = 1,775$ мм, 40X – T15K6. Ордината – составляющие силы резания, абсцисса – время обработки.

8.1. Исследование контактных напряжений и удельных контактных нагрузок на передней поверхности при резании

Для расчёта контактных напряжений и получения эпюра удельных контактных нагрузок на передней поверхности при резании необходимо измерить длину контакта стружки с передней поверхностью резца.

Длина контакта стружки с передней

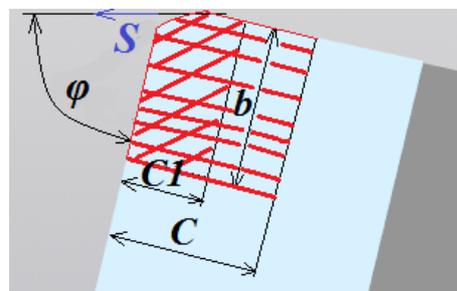


Рис. 8.1.1. Схема измерения длины контакта стружки с передней поверхностью резца

поверхностью измеряется после проведения экспериментов (резания) на большом инструментальном микроскопе или с помощью лупы Бринеля. (рис. 8.1.2.) Предварительно передняя поверхность инструмента подготавливается для более точного измерения длины контакта.

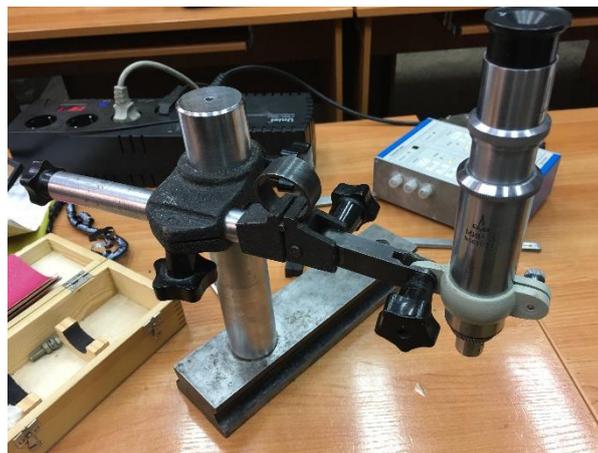


Рис. 8.1.2. Лупа Бринеля для измерения длины контакта стружки

Сначала тампоном, смоченным медным купоросом, производится меднение передней поверхности инструмента, после чего инструмент сушится. На его поверхности образуется тончайшее красноватое покрытие. После резания измеряется длина стёртого участка (длина контакта стружки с передней поверхностью C) (рис. 8.1.1.), измеряется также длина поверхности с налипшим на переднюю поверхность обрабатываемого материала – длина пластического контакта стружки с передней поверхностью C_1 . При обработке стали и других достаточно пластичных материалов $C \approx (4-7) \cdot a$, где a – толщина среза. При прямоугольном свободном резании $a = s$, при косоугольном резании $a = s \cdot \sin \varphi$. При обработке материалов, образующих элементную стружку, $C \approx (2-3) \cdot a$.

При обработке пластичных металлов и сплавов длина пластического контакта стружки с передней поверхностью резца $C_1 \approx (0,4-0,6) \cdot C$, при образовании элементной стружки $C_1 \approx (0,1-0,3) \cdot C$. Измерялась также усадка стружки (рис. 8.1.3.) по толщине $K_a = a_1/a$ как мера пластической деформации стружки. a_1 – толщина стружки, a – толщина среза $a = s \times \sin \varphi$.



Рис. 8.1.3. Прибор для измерения усадки стружки

Построили эпюры нормальных σ и касательных τ напряжений на передней поверхности резца (рис. 8.1.4.) с использованием полученных экспериментальных данных в табл. 1. При построении эпюр соблюдалось условие:

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

где σ_{xi} – нормальное контактное напряжение в рассматриваемой точке i от режущей кромки на передней поверхности резца (МПа); τ_{xi} – касательное контактное напряжение в рассматриваемой точке i от режущей кромки на передней поверхности резца (МПа); c – длина контакта стружки с передней поверхностью резца (мм).

По результатам наших экспериментов было получено, что **наибольшее нормальное** контактное напряжение на передней поверхности $\sigma_{\max} \approx 1900 \dots 2300$ МПа в зависимости от подачи, что приблизительно в 2 раза больше предела прочности стали 40Х на растяжение. **Касательное** контактное напряжение на передней поверхности при обработке стали 40Х на участке длиной $l_1=c_1$ не изменяется при удалении от режущей кромки, что подтверждает пластический характер контакта стружки с передней поверхностью. Оно имеет величину $\tau_{\text{наиб}} \approx 200$ МПа, что равно пределу прочности этой стали на сдвиг при температуре около 700°C , что соответствует представлениям о процессах, происходящих на передней поверхности.

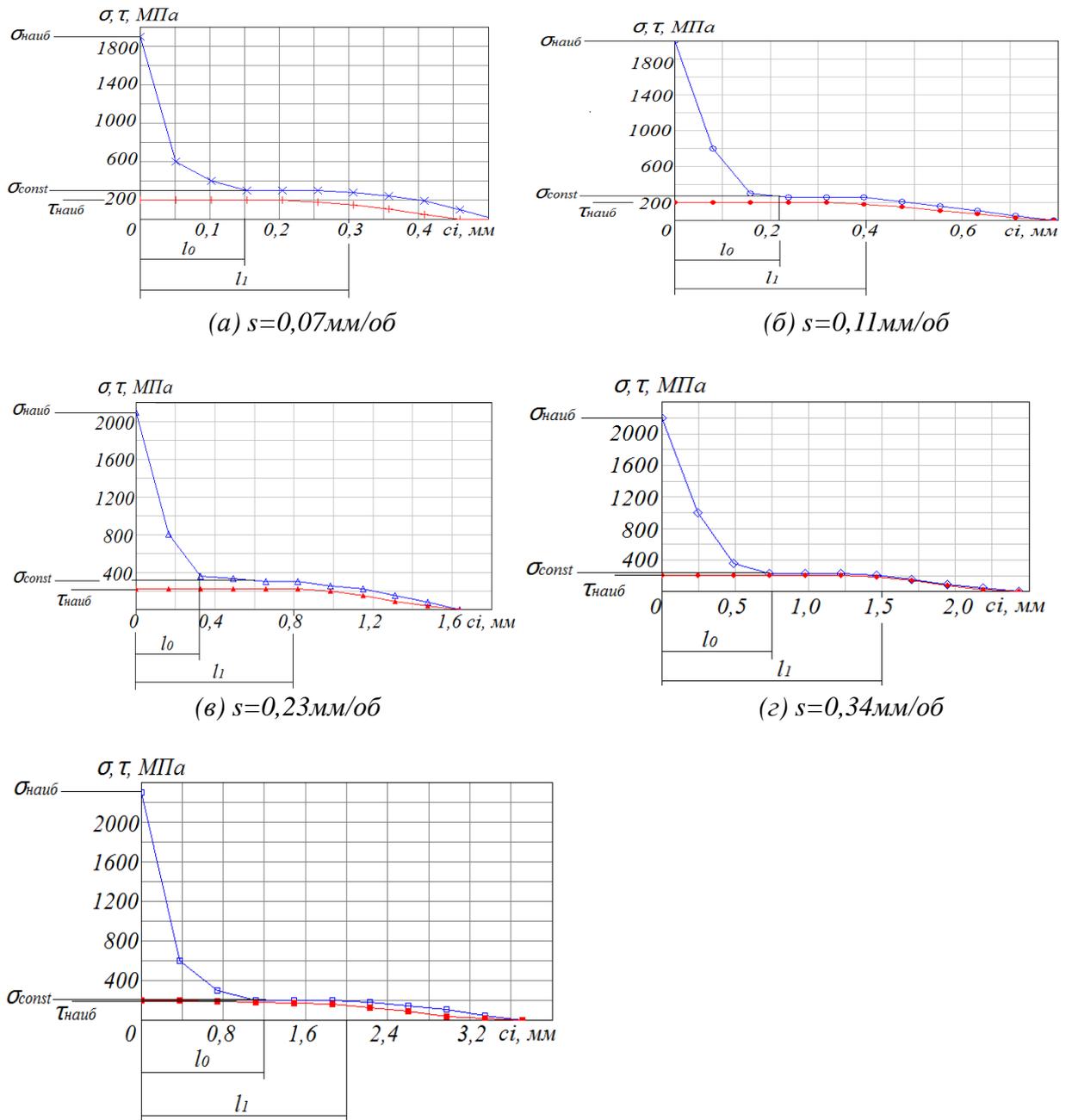


Рис. 8.1.4. Распределение нормальных σ (\times , \diamond , Δ , \circ , \square) и касательных τ ($+$, \blacklozenge , \blacktriangle , \bullet , \blacksquare) контактных напряжений на передней поверхности резца при обработке стали 40X, образующую сливную стружку.
 $v=2$ м/с, $\gamma=0^\circ$, $t=2$ мм,; а) \times , $+$ — $s=0,07$ мм/об; б) \circ , \bullet — $s=0,11$ мм/об; в) Δ , \blacktriangle — $s=0,23$ мм/об; г) \diamond , \blacklozenge — $s=0,34$ мм/об; д) \square , \blacksquare — $s=0,52$ мм/об

8.2. Исследование контактных напряжений и удельных контактных нагрузок на задней поверхности при резании

Таким же методом как мы получили эпюры контактных напряжений на фаске задней поверхности при врезании, построим эпюры контактных напряжений на фаске задней поверхности при резании.

Распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности при обработке стали 40X представлены на рис. 8.2.1.. У режущей кромки контактные напряжения практически равны нулю, а при удалении от режущей кромки они существенно увеличиваются по экспоненте. Это связано с прогибом поверхности резания под действием радиальной составляющей силы резания на передней поверхности $P_{уп}$ при обработке материалов, образующих сливную стружку. С увеличением подачи увеличивается

радиальная сила на передней поверхности, но при этом увеличивается и длина проекции условной плоскости сдвига на поверхность среза $2l = a \cdot \operatorname{tg} \Phi$, где Φ – угол наклона условной плоскости сдвига. Удельные нормальные нагрузки на проекции условной плоскости сдвига $q = P_y / (2l \cdot b)$ при этом уменьшаются, а длина волны

восстановления поверхности среза увеличивается. Эта, с виду, парадоксальная гипотеза подтверждается результатами наших экспериментов – с увеличением подачи контактные нагрузки у режущей кромки уменьшаются.

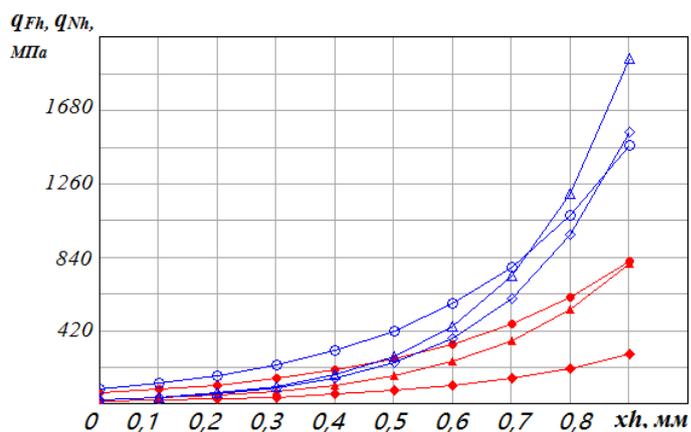


Рис. 8.2.1. Распределение нормальных q_{Nh} (\diamond, Δ, \circ) и касательных q_{Fh} ($\blacklozenge, \blacktriangle, \bullet$) удельных контактных нагрузок (МПа) на фаске задней поверхности резца при обработке стали 40X, образующую сливную стружку. $\varphi=45^\circ$, $v=2$ м/с, $t=2$ мм. \diamond, \blacklozenge - $s=0,34$ мм/об; Δ, \blacktriangle - $s=0,23$ мм/об; \circ, \bullet - $s=0,11$ мм/об. Абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль фаски задней поверхности x_{hi} (мм)

9. Исследование НДС режущей пластины при резании

9.1. Исследование влияния подачи на НДС режущей пластины при резании

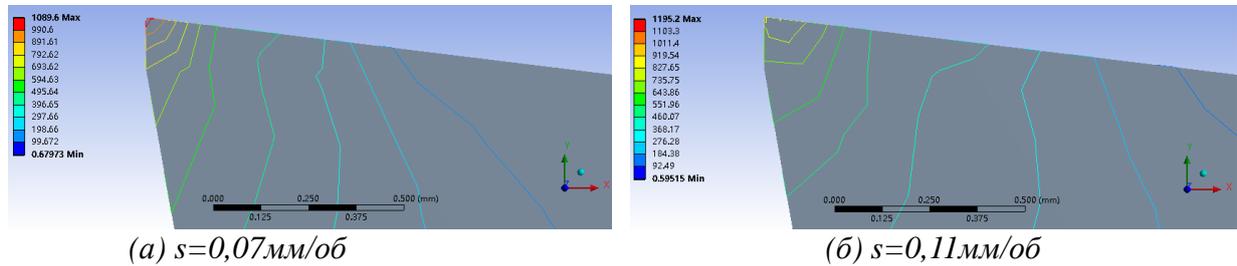


Рис. 9.1. Распределение эквивалентного напряжения в режущем клине при установившемся резании стали при подаче а) $s=0,07\text{мм/об}$; б) $s=0,11\text{мм/об}$; в) $s=0,23\text{мм/об}$; г) $s=0,34\text{мм/об}$; д) $s=0,52\text{мм/об}$. (Сталь 40X- T15K6; $h_3=0,13\text{мм}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.

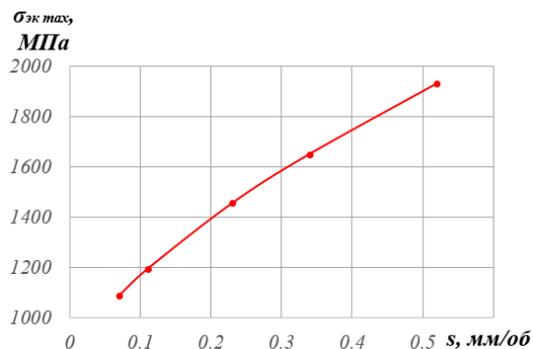
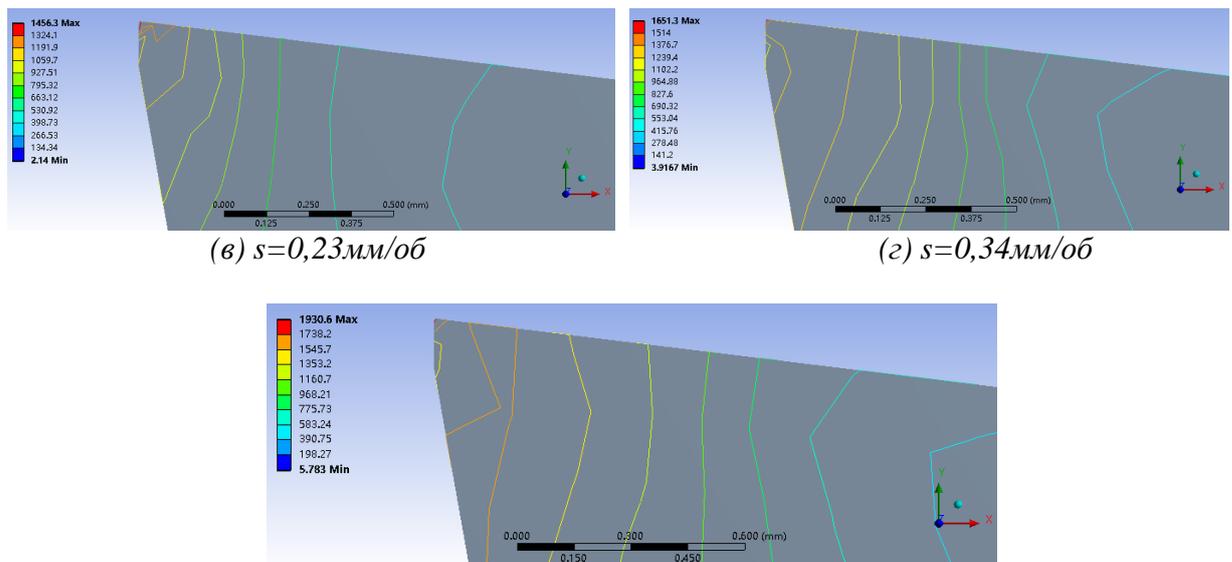
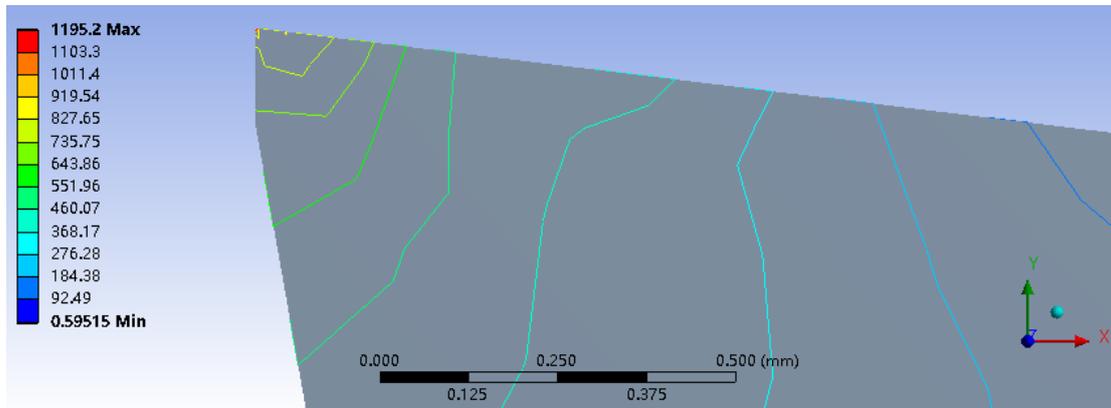
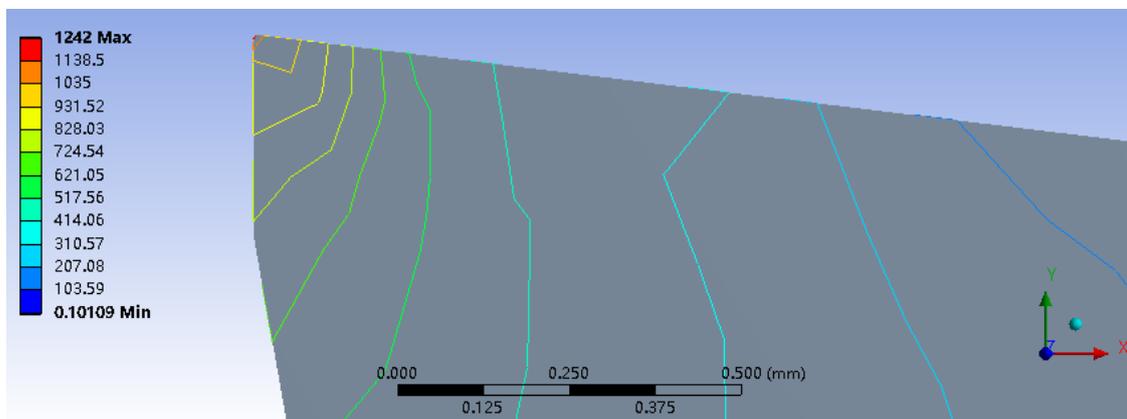


Рис. 9.1.2. Влияние подачи s (мм/об) на наибольшее эквивалентное напряжение в режущем клине при установившемся резании стали. (Сталь 40X- T15K6; $h_3=0,13\text{мм}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$), округление режущей кромки 5 мкм.

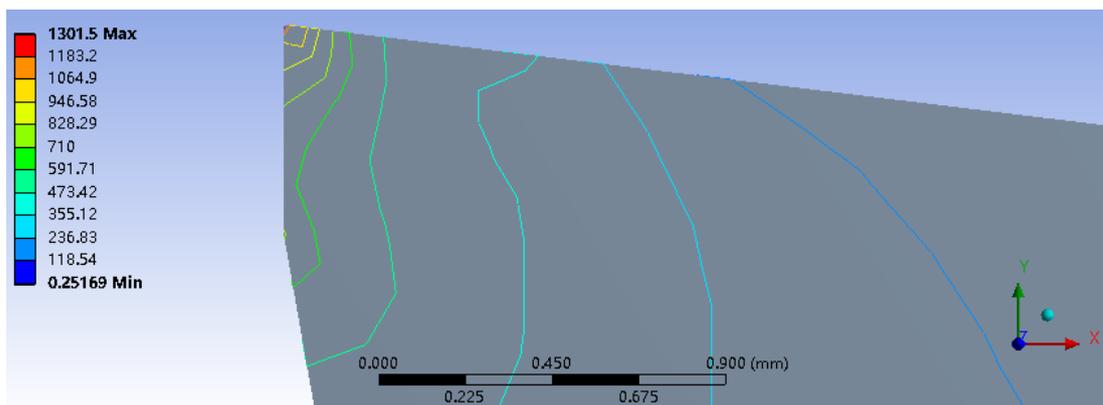
9.2. Исследование влияния длины фаски износа на НДС режущей пластины при резании



(а) $h_3=0,13\text{мм}$

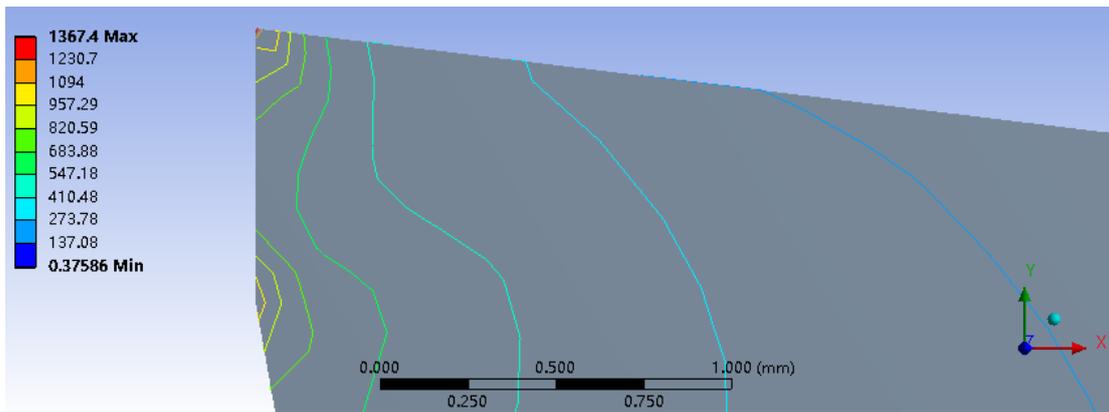


(б) $h_3=0,29\text{мм}$

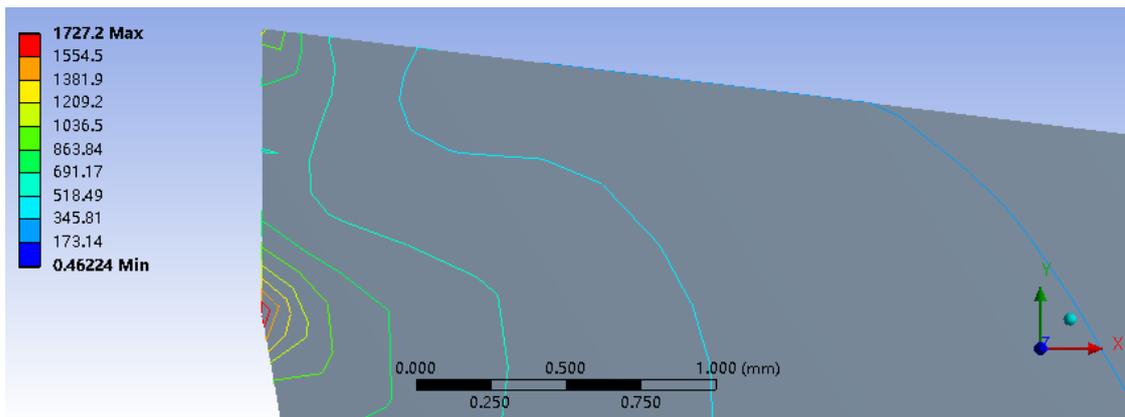


(в) $h_3=0,54\text{мм}$

Рис. 9.2. Распределение эквивалентного напряжения в режущем клине при установившемся резании стали при длине фаски износа а) $h_3=0,13\text{мм}$; б) $h_3=0,29\text{мм}$; в) $h_3=0,54\text{мм}$; г) $h_3=0,775\text{мм}$; д) $h_3=0,95\text{мм}$. (Сталь 40X-Т15К6; $s=0,11\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v=120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.



(з) $h_3=0,775\text{мм}$



(д) $h_3=0,95\text{мм}$

Рис. 9.2 (продолжение). Распределение эквивалентного напряжения в режущем клине при установившемся резании стали при длине фаски износа а) $h_3=0,13\text{мм}$; б) $h_3=0,29\text{мм}$; в) $h_3=0,54\text{мм}$; г) $h_3=0,775\text{мм}$; д) $h_3=0,95\text{мм}$. (Сталь 40X- T15K6; $s = 0,11\text{ мм/об}$; $t=2\text{ мм}$; $v= 120\text{ м/мин}$) округление режущей кромки 5 мкм.

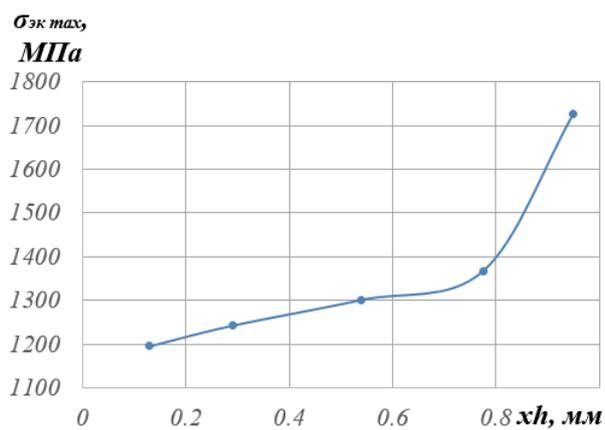


Рис. 9.1.2. Влияние длины фаски на задней поверхности на наибольшее эквивалентное напряжение в режущем клине при установившемся резании стали. Сталь 40X - T15K6; $t=2\text{ мм}$; $v= 120\text{ м/мин}$, округление режущей кромки 5 мкм, $s = 0,11\text{ мм/об}$.

10. Исследование прочности концевой фрезы

Для отработки общего метода исследования прочности концевой фрезы со сменной многогранной пластиной (СМП) использовали концевую фрезу, представленную на рис. 10.1.



Рис. 10.1. Исследуемая концевая фреза с механическим креплением СМП

Основной задачей для исследования прочности концевой фрезы с СМП является расчёт НДС режущей пластины фрезы методом конечных элементов с помощью программы ANSYS. Таким образом, нам необходимо:

- 1) Определить максимально допустимую по прочности режущей пластины подачу на зуб s_z , мм/зуб.
- 2) Определить составляющие силы резания при фрезеровании.
- 3) Определить на какие участки режущей пластины или зуба фрезы действуют силы.
- 4) Исследовать влияние переднего угла на НДС режущей пластины фрезы.

10.1. Определение максимальной подачи на зуб s_z

При исследовании прочности режущей пластины фрезы необходимо рассчитать её НДС при нагружении её максимально допустимыми составляющими силы резания. Из анализа литературы и наших исследований видно, что при увеличении подачи составляющие силы возрастают и повышаются эквивалентные напряжения в режущем клине. Поэтому нам нужно определить подачу на зуб, при которой максимальное эквивалентное напряжение в режущем клонке не больше предельно допустимого напряжения на изгиб, сжатие или растяжение для используемого материала пластины.

При фрезеровании толщина среза a_i (мм) изменяется при вращении фрезы и зависит от подачи на зуб s_z (мм/зуб). 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, выполненные при точении, показали, что при

врезании все 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.

Требуется выполнить анализ НДС зуба также сразу же после выхода его из контакта с заготовкой, т.к. после резкого исчезновения силы резания происходит упругое восстановление областей зуба, находившихся до этого в нагруженном состоянии. При большой подаче это может вызвать разрушение режущего клина.

По результату нашего исследования можно построить график зависимости максимальных напряжений $\sigma_{эк\ max}$ от толщины среза a_i (рис. 10.1.1.), и определить для него приближенное уравнение с использованием MathCAD.

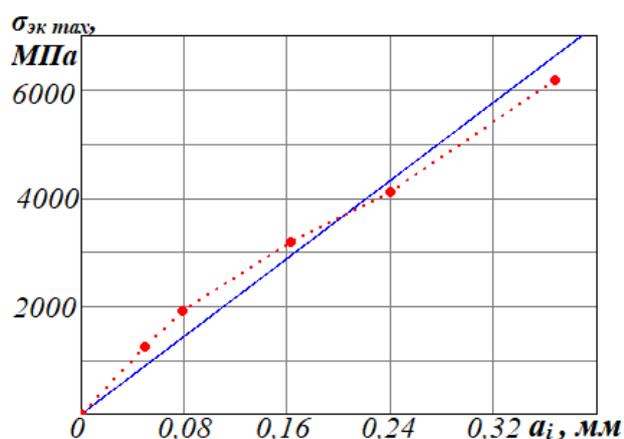


Рис. 10.1.1. Зависимость максимальных напряжений $\sigma_{эк\ max}$ в режущем клине от толщины среза a_i при установившемся резании. Сталь 40Х- Т15К6; $t = 2$ мм; $v = 120$ м/мин. **Сплошная линия** – график приближенного уравнения; **пунктирная линия** – график экспериментальных данных.

С помощью программы MathCAD получили для экспериментальных данных приближенное уравнение:

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

Таким образом, если мы знаем предельную допустимую прочность материала пластины (Т15К6) $\sigma_{доп}$, то можем определить наибольшую

толщину среза $a_{\text{наиб}}$ по формуле:

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

При встречном цилиндрическом фрезеровании наибольшая толщина среза определяется по формуле [С. В. Аврутин: Фрезерное дело]:

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

где t – глубина резания, мм; D – диаметр фрезы, мм.

Исходные данные в нашем исследовании:

Материал инструмента	режущего	T15K6
Предел прочности на сжатие, МПа		4200
Обрабатываемый материал		40X
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

Таким образом, максимальная подача на зуб $s_{z \max}$ рассчитывается

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

Для определения составляющих сил резания при фрезеровании принимаем подачу на зуб $s_z = 0,15$ мм/зуб.

10.2. Определение составляющих сил резания при фрезеровании

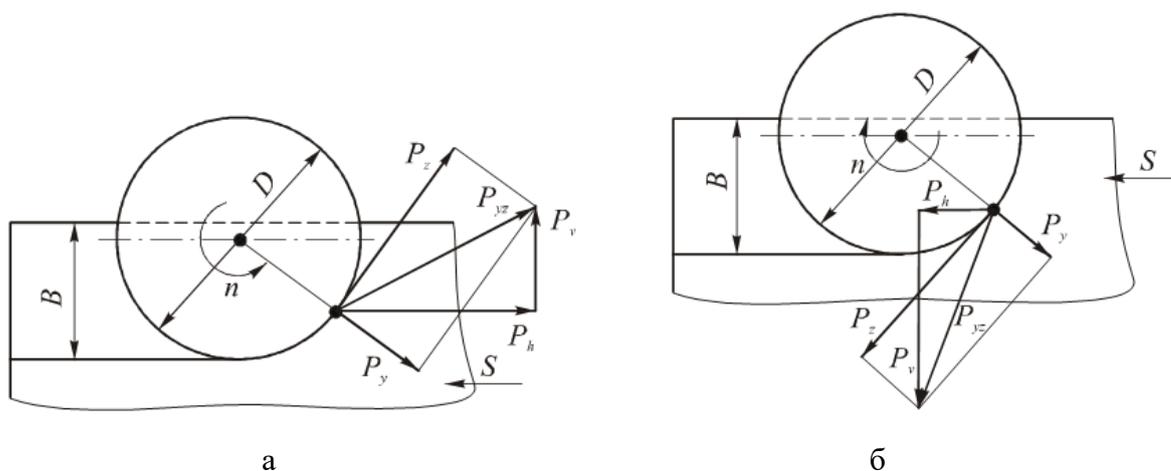


Рис. 10.2.1. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой: *а* - при встречном фрезеровании (против подачи); *б* — при попутном фрезеровании (направление вектора скорости резания v совпадает с направлением

Для чернового фрезерования назначаем встречное фрезерование (рис. 10.2.1, *а*). Достоинства встречного фрезерования:

1) Нагрузка на зуб фрезы возрастает постепенно, от нуля при врезании (т.к. $a_{нач} = 0$ мм) до максимума ($a_{конечн} = a_{max}$) на выходе из контакта;

2) Зубья фрезы работают из-под «корки», выламывая её снизу, начинают врезаться в уже обработанную чистую поверхность, что уменьшает износ при фрезеровании поволоков с поверхностью, покрытой окалиной и наклёпанным слоем, а также литых заготовок;

3) Составляющая сила резания P_z направлена против движения подачи D_s , поэтому при этой схеме зазоры между боковыми поверхностями резьбы ходового винта и гайкой стола всегда выбраны, что, в отличие от попутного фрезерования, позволяет избежать рывков, т.е. резкого перемещения стола с гайкой в направлении действия силы резания, при врезании очередного зуба.

Режим резания фрезерования:

Подача: для расчёта прочности режущей пластины фрезы

принимая подачу на один зуб $s_z = 0,15$ мм/зуб.

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

Частота вращения фрезы: $n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot D) = 1000 \cdot 120 / (\pi \cdot 30) = 1273$ об/мин. В соответствии с техническим паспортом станка принимаем $n = 1200$ об/мин

Сила резания. Главная составляющая силы резания при фрезеровании – окружная (тангенциальная) составляющая сила резания P_z , Н

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

где z – количество зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл. 41 [40], поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала K_{Mp} для стали и чугуна – в табл. 9 [40] $K_{Mp} = 0,92$.

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

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

При токарной обработке стали 40Х нами были получены эмпирические графики зависимости удельных составляющих сил резания от подачи и длины фаски на задней поверхности [Victor Kozlov, Jiayu Zhang, Yingbin Guo, Sai Kiran Sabavath. **Calculation of contact stresses in cutting of steel**] (рис. 10.2.2).

Для расчёта составляющих силы резания при остром режущем клине используем график рис. 10.2.2, а, полученный при установившемся резании стали 40Х и $h_f = 0,13$ мм (считаем как острый резец, т.к. силы на задней поверхности незначительны из-за прогиба поверхности резания)

(рис. 2, а) при $a = s \cdot \sin\varphi$; $s = a / \sin\varphi = 0,15 / \sin 45^\circ = 0,15 / 0,707 = 0,21$ мм/об; $\rightarrow q_{Pz} = 4590$ Н.

Исходя из наших экспериментальных данных, полученных при токарной обработке, при $a = 0,15$ мм $q_{Pz} = 2550$ МПа = 2550 Н/мм²:

$$P_z = q_{Pz} \cdot a \cdot b =$$

$$q_{Pz} \cdot a \cdot l = 2550 \cdot 0,15 \cdot 12 = 4590 \text{ Н,}$$

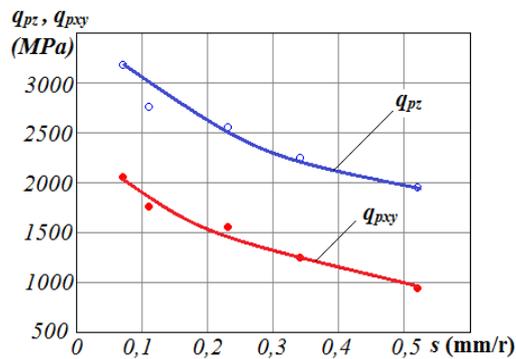
где q_{Pz} — удельная тангенциальная сила резания (Н/мм²); a — толщина среза (мм); b — ширина среза (мм); l — длина контакта режущей пластины с заготовкой по главной режущей кромке (мм).

$$P_y = P_{xy} = q_{Pxy} \cdot a \cdot b =$$

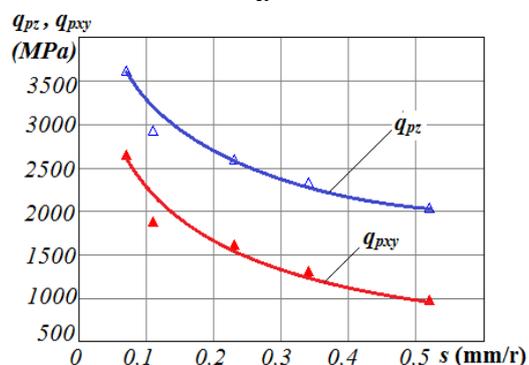
$$= q_{Pxy} \cdot a \cdot l = 1500 \cdot 0,15 \cdot 12 =$$

$$= 2700 \text{ Н.}$$

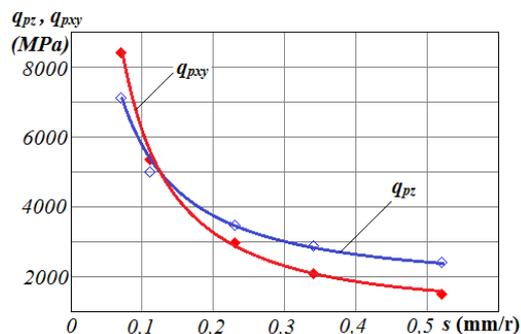
По формуле и данным из справочника [40] $P_y = 872$ Н



а



б



с

Рис. 10.2.2. Влияние подачи s (мм/об) на удельную силу резания (МПа) при обработке стали 40Х при различной длине искусственной фаски на задней поверхности h_f : $t=2$ мм; $v=2$ м/с; а — $h_f=0,13$ мм; б — $h_f=0,29$ мм; с — $h_f=0,95$ мм.

Рассчитываемая по данным справочника [40] главная составляющая силы резания P_z намного меньше величины, рассчитанной исходя из экспериментальных данных об удельных силах резания. Чтобы более реально и точно исследовать прочность режущей пластины, необходимо использовать экспериментальные данные.

Величины остальных составляющих силы резания (рис. 10.1.): горизонтальной (сила подачи) P_h , вертикальной P_v , осевой P_x рассчитывают 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: $P_x = P_z \cdot 0,4 \cdot \operatorname{tg} \omega = 4590 \cdot 0,4 \cdot 0,4 = 700 \text{ Н}$

10.3. Приложение внешних нагрузок на рабочих участках режущей пластины

Для исследования НДС неизношенной (острой) режущей пластины фрезы МКЭ с помощью программы ANSYS сначала надо нагружать составляющие силы на рабочем участке пластины (поверхности контакта со стружкой). Схема нагружения сил на рисунке 10.3.1.

Составляющие силы нагружаются на заштрихованной части, её длина l равна глубине резания t ($l = t = 12$ мм), ширину b принимаем равной длине пластического контакта стружки C_1 ($b = C_1$, мм), т.к. основная нагрузка на передней поверхности приходится на этот участок.

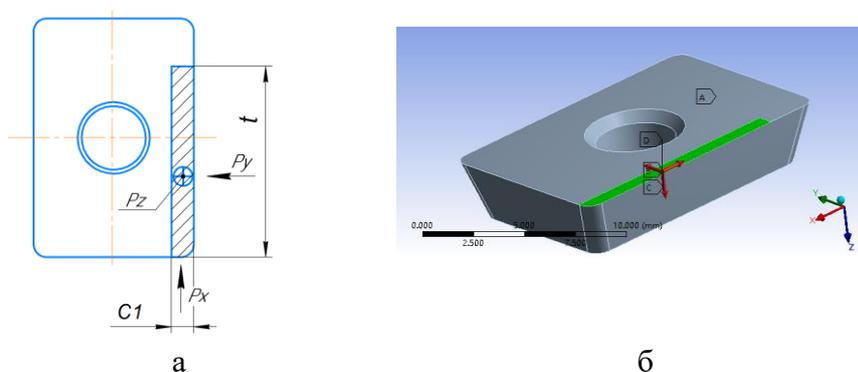


Рис. 10.3.1. Схема нагружения составляющими силы резания:
а – 2D вил сверху; б - 3D вил.

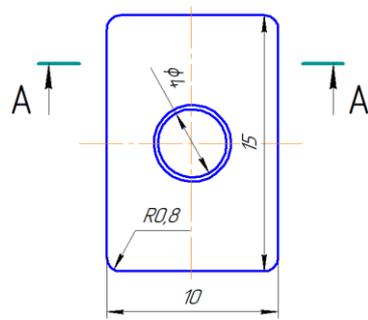
Т

аким образом, на плоскости передней поверхности с длиной 12 мм и шириной 0,15 мм действуют главная сила резания (тангенциальная составляющая силы резания) $P_z = 4590$ Н, радиальная сила $P_y = 2700$ Н и осевая сила $P_x = 700$ Н.

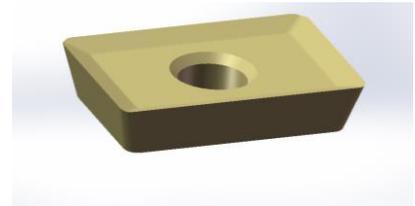
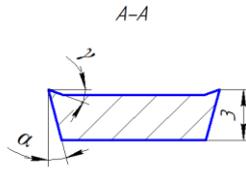
10.4. Исследование влияния переднего угла на НДС режущей пластины фрезы

Для исследования влияния переднего угла γ , ° на НДС пластины фреза создаём 3D модели с разным передним углом ($\gamma = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$) и задним углом $\alpha = 15^\circ$ (рис. 10.4.1.).

С помощью программы ANSYS расчёт НДС для режущей пластины МКЭ с принятием равномерно-распределенные нагрузки представлен на рис. 10.4.2.

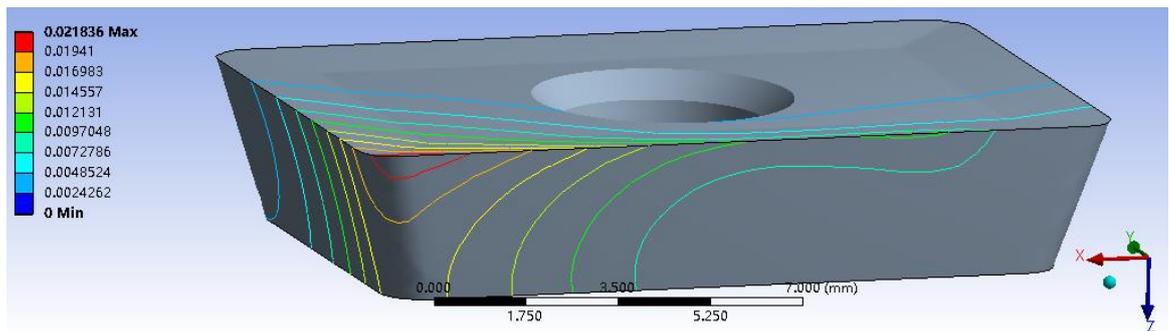


а. Основные размеры пластины

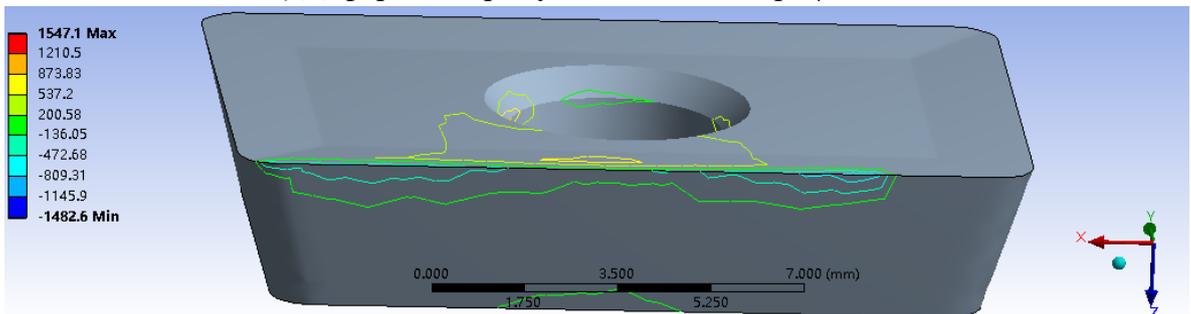


б. 3D модель режущей пластины

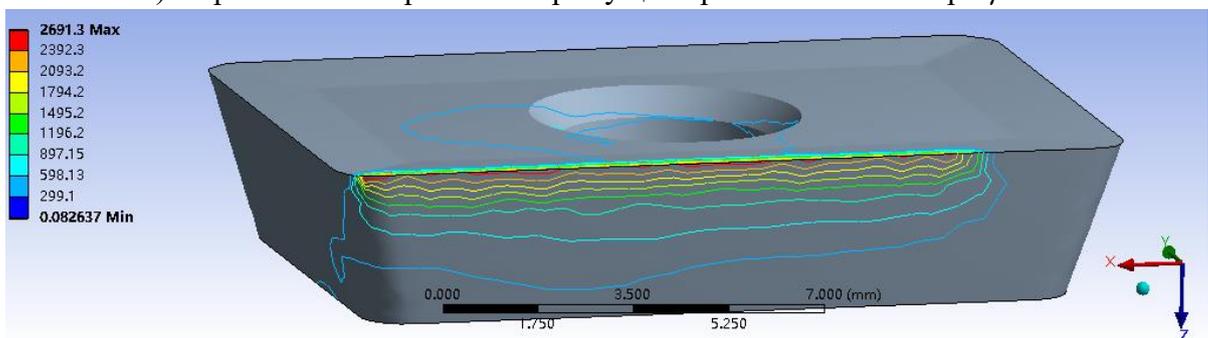
Рис. 10.4.1. Режущая пластина фрезы



а) Деформация режущей пластины при $\gamma = 5^\circ$.



б) Нормальные напряжения в режущей кромке пластины при $\gamma = 5^\circ$



в) Эквивалентные напряжения в режущей кромке пластины при $\gamma = 5^\circ$

Рис. 10.4.2. НДС режущей пластины фрезы при $\gamma = 5^\circ$ (Сталь 40X - Т15К6, $s_z = 0,15$ мм/зуб, $t = 12$ мм; $v = 120$ м/мин).

Чтобы более ясно наблюдать влияния переднего угла на максимальные нормальные напряжения и максимальные эквивалентные напряжения в режущей кромке пластины построим для них графики (рис. 10.4.3).

Из графиков рис. 10.4.3 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

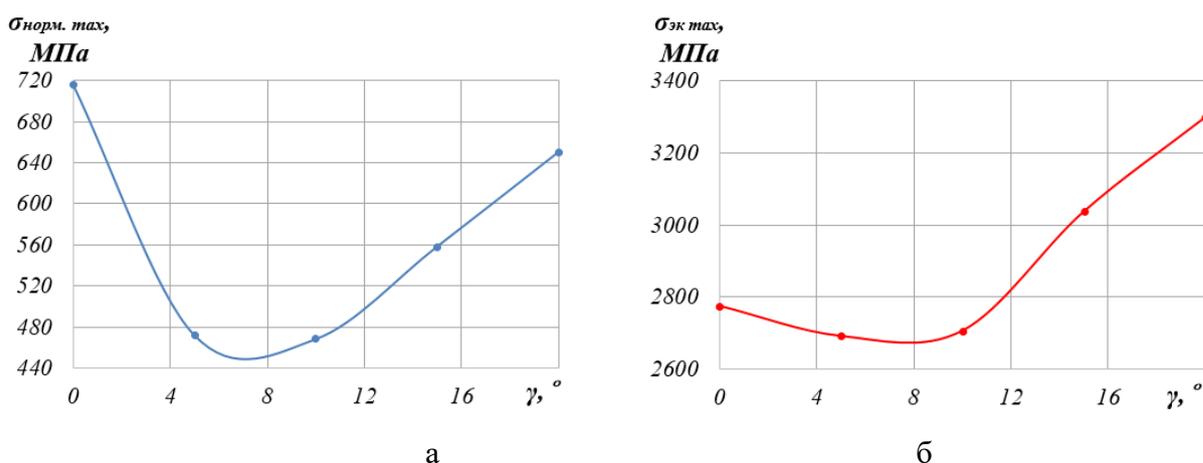


Рис. 10.4.3. Влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения (а) и максимальные эквивалентные напряжения (б) в режущей кромке пластины. Сталь 40Х – Т15К6, $s_z = 0,15$ мм/зуб; $t = 12$ мм; $v = 120$ м/мин.

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 кромке пластины, увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.

Таким образом, при обработке стали 40Х силы 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.

11. Влияние вида нагружения на НДС пластины

Для исследования влияния переднего угла на НДС режущей пластины фрезы принимали, что на рабочие поверхности пластины действуют равномерно-распределенные нагрузки. Но на самом деле необходимо учитывать характер распределения контактных нагрузок, и исследовать НДС пластины при нагружении контактных нагрузок по их эпюру.

По результатам наших экспериментов было получено, что при обработке стали 40Х эпюры нормальных и

касательных напряжений на передней поверхности имеют вид на рис. 11.1. Параметры эпюр экспериментально нами определялись в зависимости от подачи.

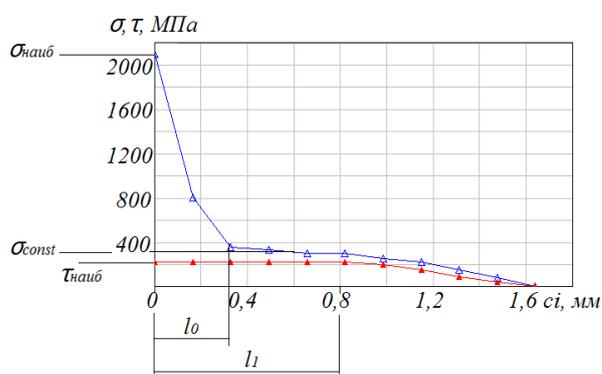


Рис. 11.1. Параметры эпюр нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности. Сталь 40Х – Т15К6

На рис. 11.2 представлены экспериментальные точки и построены графики после их обработки программой MathCAD до прямолинейной зависимости.

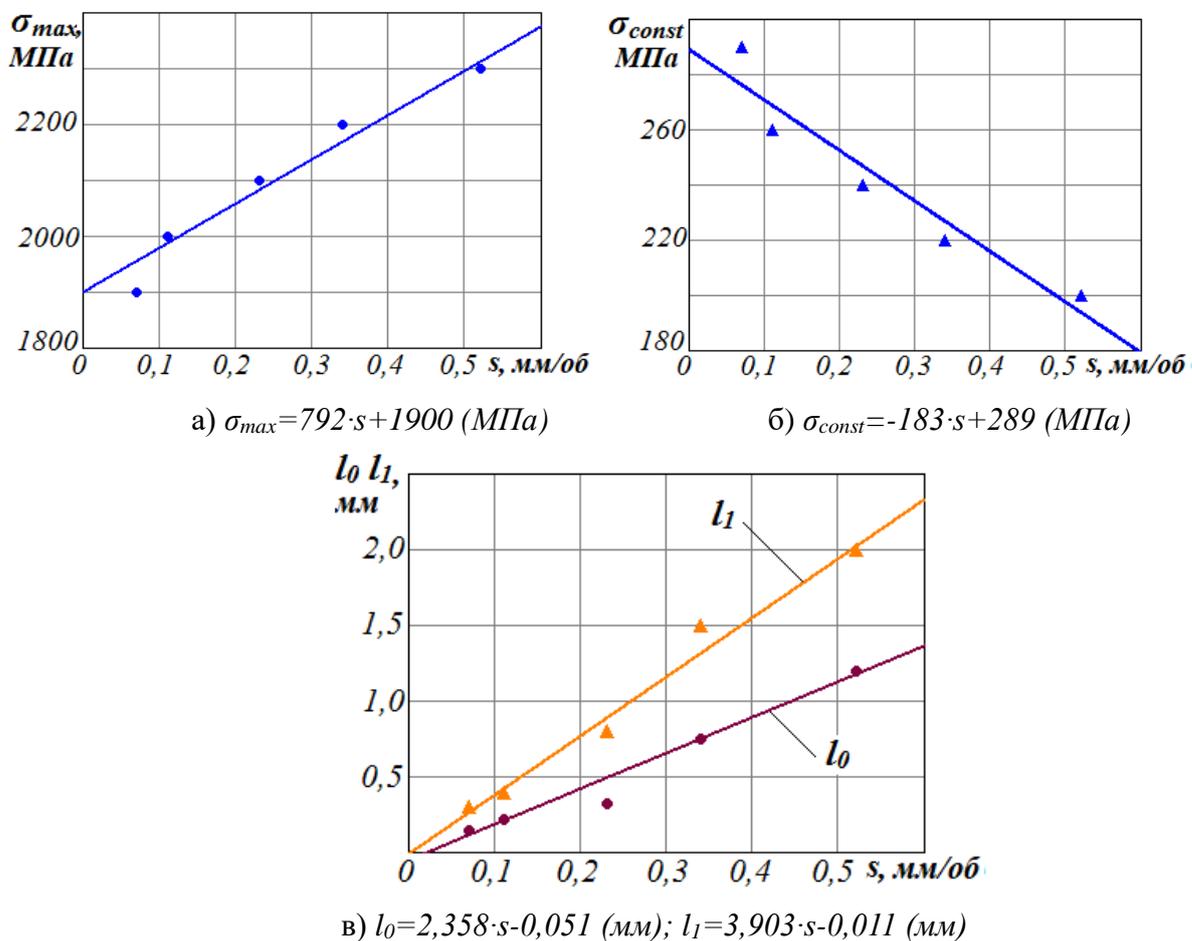


Рис. 11.2. Влияние подачи s (мм/об) на а) - величину наибольшего нормального контактного напряжения у режущей кромки; б) - величину нормального контактного напряжения на горизонтальном участке эпюры; в) - расстояние от режущей кромки до начала горизонтального участка эпюр нормального контактного напряжения на горизонтальном участке эпюры (σ_{const}) l_0 (мм) и его окончания l_1 (мм) при обработке стали 40Х.

Касательное контактное напряжение на передней поверхности при обработке стали 40Х на участке длиной $l_1=c_1$ не изменяется при удалении от режущей кромки, что подтверждает пластический характер контакта стружки с передней поверхностью. Оно имеет величину $\tau_{наиб} \approx 200$ МПа, что равно пределу прочности этой стали на сдвиг при температуре около 700 °С.

Таким образом, при подаче $s=0,21\text{мм/об}$ $\sigma_{max}=2066\text{ МПа}$, $\sigma_{const}=250\text{ Мпа}$, $l_0=0,44\text{ мм}$ и $l_1=0,8\text{ мм}$. Используя экспериментальные данные о распределении контактных напряжений на передней поверхности режущего клина выполняется расчет НДС для режущей пластины при нагружении передней поверхности контактными нагрузками, рассчитанными по выявленным эпюрам.

Чтобы более детально и точно делать расчет НДС прикладывать нагрузки, мы рассматриваем режущую пластину в главной секущей плоскости (рис. 11.3). Некоторые результаты расчётов представлены на рис. 11.4.

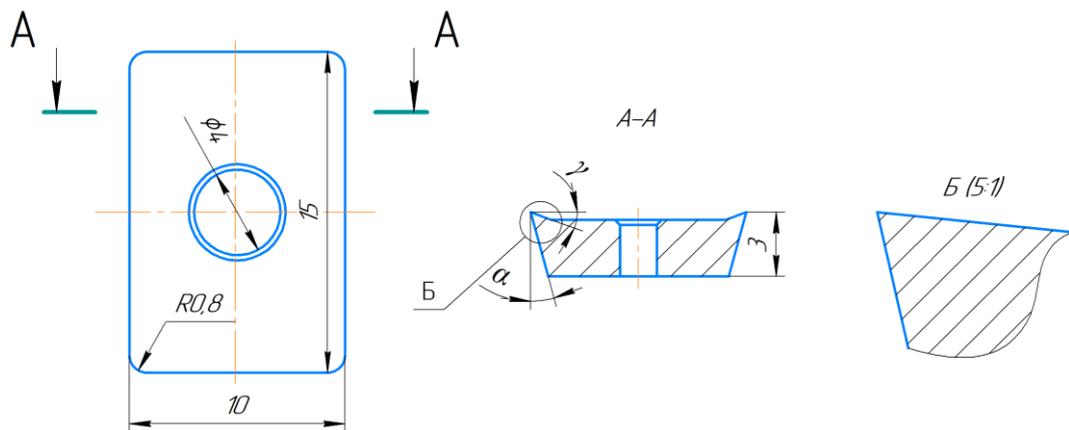
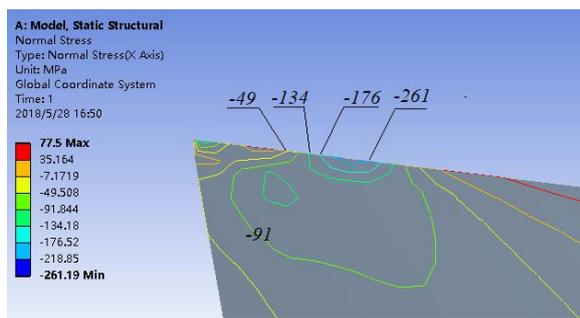
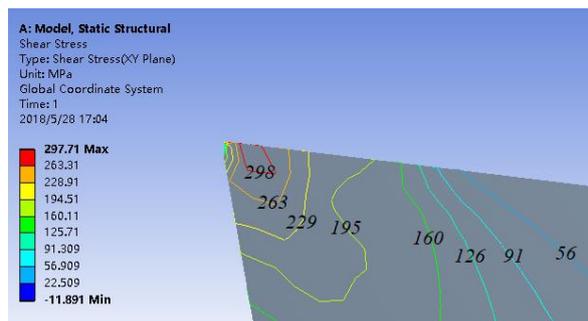


Рис. 11.3. Главная секущая плоскость.

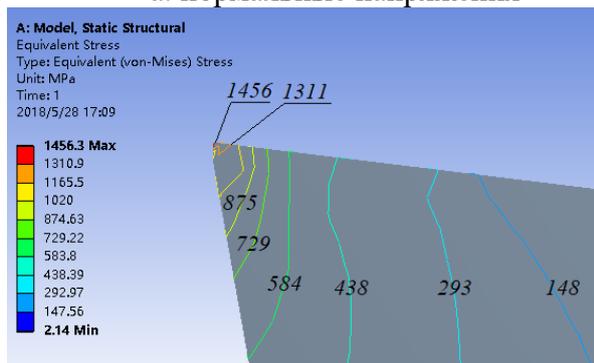
Также построим графики влияния переднего угла на максимальные нормальные напряжения и максимальные эквивалентные напряжения при обработке стали 40Х (рис. 11.5).



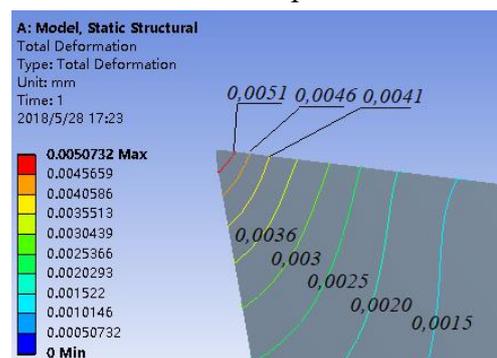
а. нормальные напряжения



б. касательные напряжения



в. эквивалентные напряжения



г. деформация режущей кромки

Рис. 11.4. Распределения нормальных (а), касательных (б) и эквивалентных (в) напряжений в режущей кромке и деформация режущей кромки при нагружении нагрузок по их эпюру при переднем угле $\gamma = +7^\circ$.

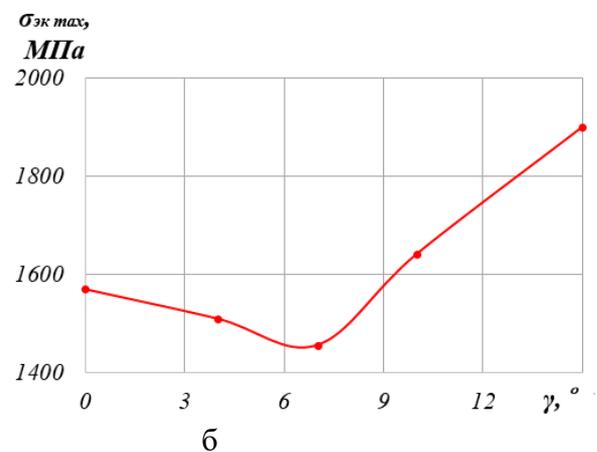
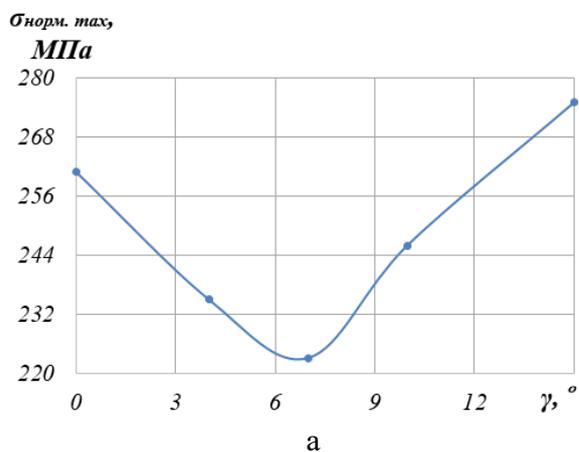


Рис. 11.5. Влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения (а) и максимальные эквивалентные напряжения (б) в режущем клине пластины при нагружении контактными нагрузками по их эпюрам. Сталь 40X – Т15К6, $s_z = 0,15$ мм/зуб; $t = 12$ мм; $v = 120$ м/мин.

Сравнивая рис. 11.5 с рис. 10.4.3 можно отметить, что при

нагружении контактными нагрузками по их эпюрам и при нагружении равномерно-распределенными нагрузками на передней поверхности пластины полученные графики (влияния переднего угла на НДС режущей пластины) имеют аналогичное распределение, но при нагружении в соответствие с эпюрами величины внутренних напряжений являются более точными, а значит и определение оптимального переднего угла является более точным, чем при нагружении равномерно распределенными нагрузками (из рис. 10.4.3 $\gamma=+5^\circ \dots +10^\circ$; из рис. 11.5 $\gamma=+6^\circ \dots +7^\circ$).

12. Влияние обрабатываемого материала на НДС пластины

Для того, чтобы более прямо и просто рассчитать оптимальный передний угол при обработке стали и других достаточно пластичных материалов, образующих сливную стружку, необходимо: 1) исследовать влияние обрабатываемых материалов на НДС режущей пластины и оценить оптимальный передний угол; 2) построить график зависимости оптимальных передних углов от обрабатываемого материала.

Для исследования НДС пластины при обработке разных материалов, надо сначала определить распределения контактных напряжений на передней поверхности. В приведенном выше исследовании мы получили для стали 40Х эпюры контактных напряжений на передней поверхности (рис. 11.1) и эмпирические формулы параметров эпюра (рис. 11.2). По нашему мнению, их можно использовать и для других марок сталей, при обработке которых образуется сливная стружка. Основным фактором, влияющим на контактные напряжения, является предел прочности на растяжение σ_s (МПа).

Учитывая, что в наших экспериментах обрабатывалась сталь с $\sigma_s=1000$ (МПа), эмпирические формулы параметров эпюра можно пересчитать с коэффициентом σ_s (МПа):

Наибольшее нормальное контактное напряжение у режущей кромки:

$$\sigma_{\text{наиб}} = 792 \cdot s + 1,9\sigma_B \text{ (МПа);}$$

Нормальное контактное напряжение на горизонтальном участке эюры:

$$\sigma_{\text{const}} = -183 \cdot s + 0,289\sigma_B \text{ (МПа);}$$

Касательное контактное напряжение:

$$\tau = 0,2\sigma_B \text{ (МПа);}$$

Расстояние от режущей кромки до начала горизонтального участка эюр нормального контактного напряжения на горизонтальном участке эюры (σ_{const}) l_0 и его окончания l_1 (мм):

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

Исследование НДС режущей пластины при обработке стали 35ХГСА

Исходные данные стали 35ХГСА:

Химический состав, %: С – 0,32...0,39; Cr – 1,1...1,4; Mn – 0,8...1,1; Si – 1,1...1,4; Fe – 95.

Временное сопротивление разрыву: $\sigma_s = 1620$ МПа.

Параметры эюр контактных напряжений на передней поверхности при обработке стали 35ХГСА при подаче $s=0,21$ мм/об:

$$\sigma_{\text{наиб}} = 792 \cdot s + 1,9\sigma_B = 3236 \text{ (МПа);}$$

$$\sigma_{\text{const}} = -183 \cdot s + 0,289\sigma_B = 505 \text{ (МПа); } \tau = 0,2\sigma_B = 324 \text{ (МПа);}$$

$$l_0 = 2,358 \cdot s - 5,1 \cdot 10^{-5}\sigma_B = 0,39 \text{ (мм);}$$

$$l_1 = 3,903 \cdot s - 1,1 \cdot 10^{-5}\sigma_B = 0,76 \text{ (мм);}$$

Делаем расчёт НДС режущей пластины с использованием этих данных при разном переднем угле. Результаты представлены в виде графиков (рис. 12.1).

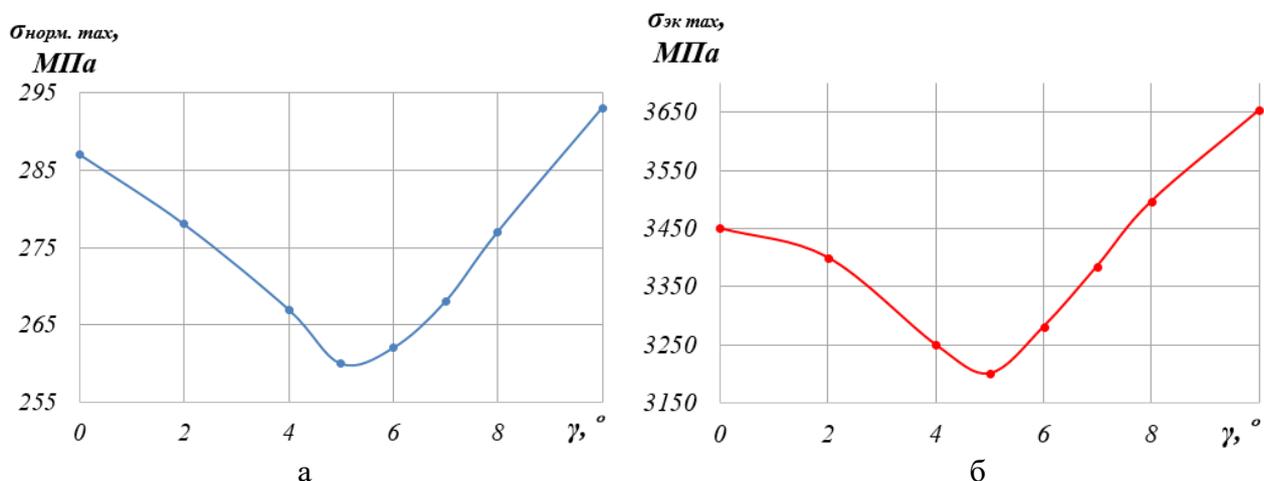


Рис. 12.1. Влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения (а) и максимальные эквивалентные напряжения (б) в режущем клине пластины при обработке стали 35ХГСА.

Исследование НДС режущей пластины при обработке стали 40

Исходные данные стали 40:

Химический состав, %: С – 0,37...0,45; Cr – до 0,25; Mn – 0,5...0,8; Si – 0,17...0,37; Cu: до 0,3; Fe – 97.

Временное сопротивление разрыву: $\sigma_B = 570$ МПа.

Параметры эпюра контактных напряжений на передней поверхности при обработке стали 35ХГСА при подаче $s=0,21$ мм/об:

$$\sigma_{\text{наиб}} = 792 \cdot s + 1,9\sigma_B = 1241 \text{ (МПа);}$$

$$\sigma_{\text{const}} = -183 \cdot s + 0,289\sigma_B = 128,13 \text{ (МПа); } \tau = 0,2\sigma_B = 114 \text{ (МПа);}$$

$$l_0 = 2,358 \cdot s - 5,1 \cdot 10^{-5}\sigma_B = 0,44 \text{ (мм);}$$

$$l_1 = 3,903 \cdot s - 1,1 \cdot 10^{-5}\sigma_B = 0,77 \text{ (мм);}$$

Делаем расчёт НДС режущей пластины с использованием этих данных при разном переднем угле. Результаты представлены в виде графиков (рис. 12.3).

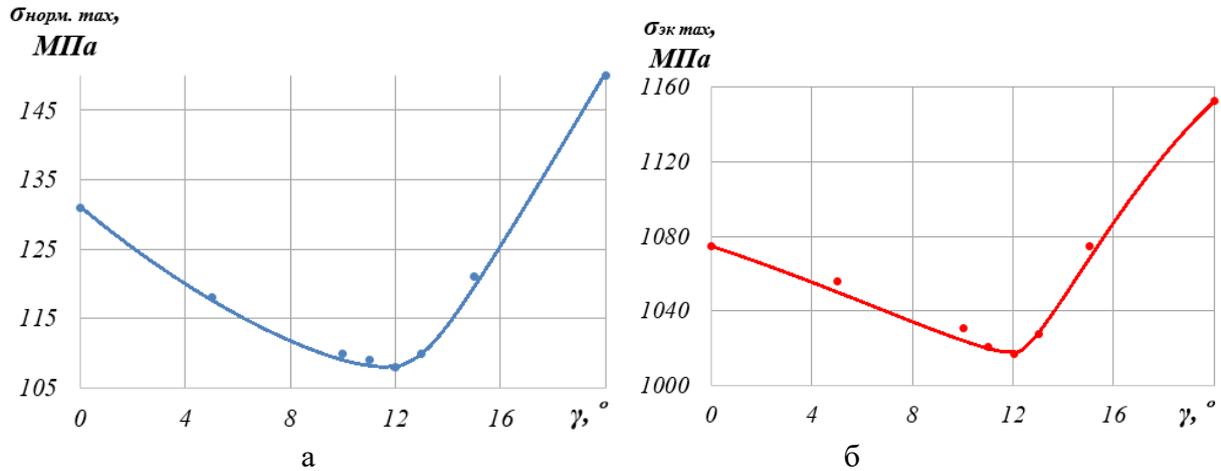


Рис. 12.3. Влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения (а) и максимальные эквивалентные напряжения (б) в режущем клине пластины при обработке стали 40.

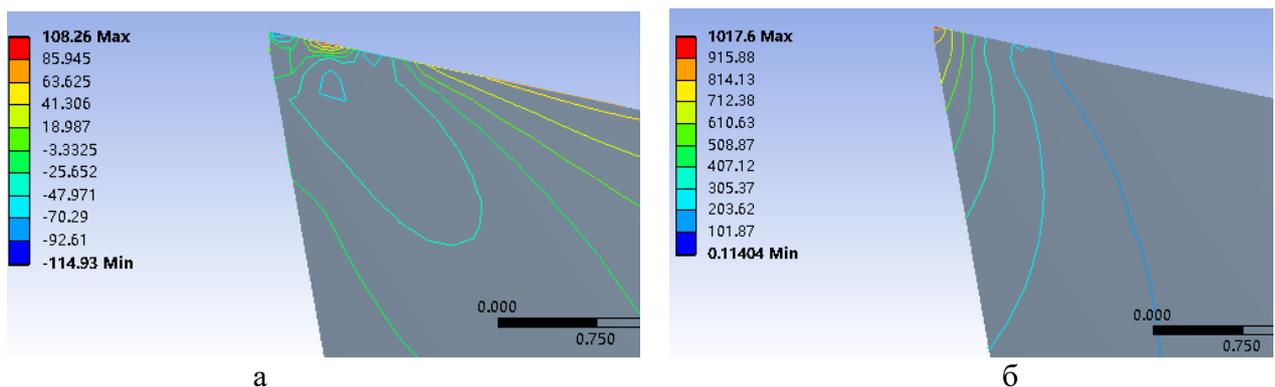


Рис. 12.4. Распределения нормальных (а) и эквивалентных (б) напряжений в режущем клине при обработке стали 40 при переднем угле $\gamma=+12^\circ$.

Исследование НДС режущей пластины при обработке стали 10

Исходные данные стали 10:

Химический состав, %: С – 0,07...0,14; Cr – до 0,15; Mn – 0,35...0,65; Si – 0,17...0,37; Cu: до 0,25; Fe – 98.

Временное сопротивление разрыву: $\sigma_6 = 330$ МПа.

Параметры эпюра контактных напряжений на передней поверхности при обработке стали 10 при подаче $s=0,21$ мм/об:

$$\sigma_{\text{наиб}} = 792 \cdot s + 1,9\sigma_6 = 785,4 \text{ (МПа);}$$

$$\sigma_{const} = -183 \cdot s + 0,289\sigma_B = 58,77 \text{ (МПа)}; \quad \tau = 0,2\sigma_B = 66 \text{ (МПа)};$$

$$l_0 = 2,358 \cdot s - 5,1 \cdot 10^{-5}\sigma_B = 0,45 \text{ (мм)};$$

$$l_1 = 3,903 \cdot s - 1,1 \cdot 10^{-5}\sigma_B = 0,78 \text{ (мм)};$$

Делаем расчёт НДС режущей пластины с использованием этих данных при разном переднем угле. Результаты представлены в виде графиков (рис. 12.5).

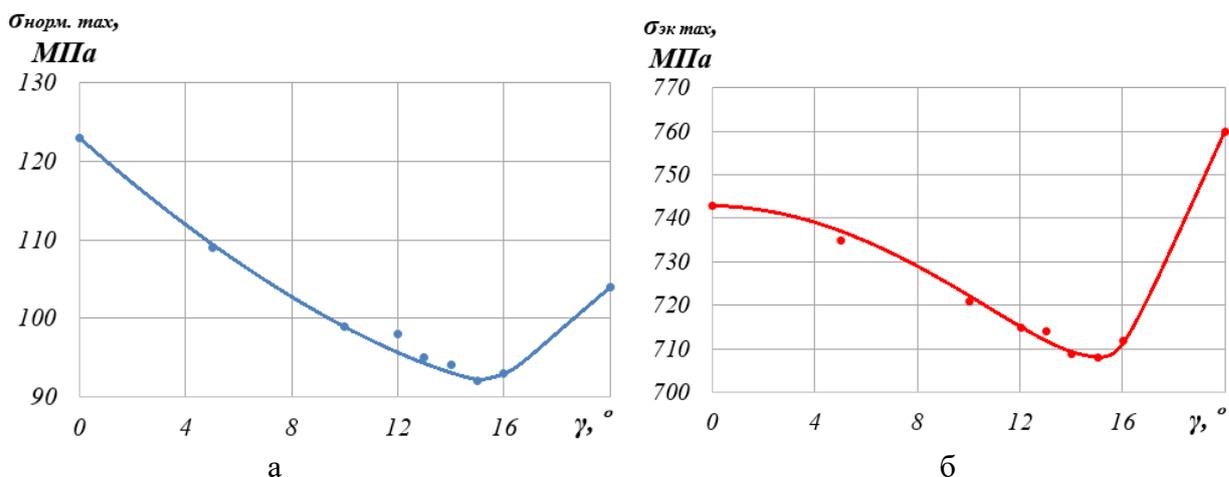


Рис. 12.5. Влияние переднего угла на максимальные нормальные напряжения (а) и максимальные эквивалентные напряжения (б) в режущем клине пластины при обработке стали 10.

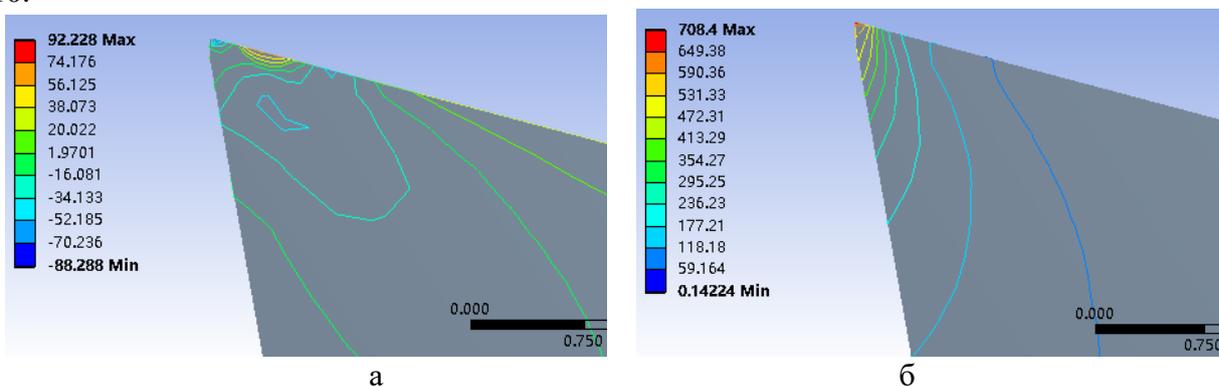


Рис. 12.6. Распределения нормальных (а) и эквивалентных (б) напряжений в режущем клине при обработке стали 10 при передним углом $\gamma = +15^\circ$.

По результатам видно, что при обработке стали 35ХГСА ($\sigma_s = 1620$ МПа) оптимальный передний угол $\gamma = +5^\circ$; при обработке стали 40Х ($\sigma_s = 1000$ МПа) оптимальный передний угол $\gamma = +7^\circ$; при обработке стали 40 ($\sigma_s = 570$ МПа) оптимальный передний угол $\gamma = +12^\circ$; при обработке стали 10 ($\sigma_s = 330$ МПа) оптимальный передний угол $\gamma = +15^\circ$.

Построим график зависимости оптимального переднего угла γ от временного сопротивления разрыву (от предела прочности при растяжении) σ_B (рис. 12.7), и определим его эмпирическую формулу с использованием программы MathCAD (рис. 12.8).

Из графика рис. 12.7 отметим, что изменение оптимальных передних углов с пределами прочности обрабатываемых материалов соответствует обратной функции. Поэтому мы рассчитаем эмпирическую формулу в виде :

$$\gamma = (B \cdot \sigma_B + A)^{-1} (\text{°}).$$

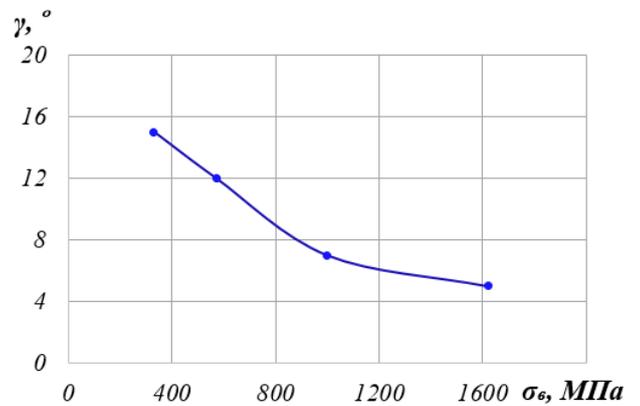
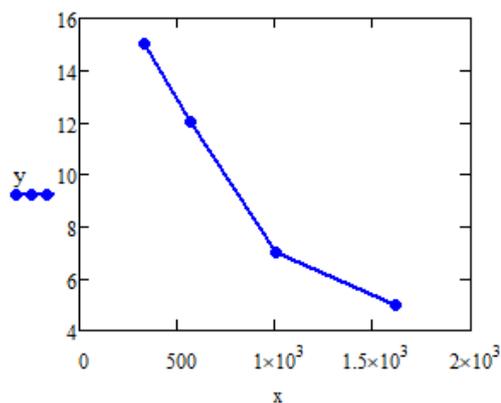


Рис. 12.7. График зависимости оптимального переднего угла γ от временного сопротивления разрыву (предела прочности при растяжении) σ_B .

$$y := \begin{pmatrix} 5 \\ 7 \\ 12 \\ 15 \end{pmatrix} \quad x := \begin{pmatrix} 1620 \\ 1000 \\ 570 \\ 330 \end{pmatrix}$$



$$X := x \quad Y := \frac{1}{y}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} := \text{line}(X, Y) = \begin{pmatrix} 0.029 \\ 1.069 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$\gamma(\sigma) := (B \cdot \sigma + A)^{-1}$$

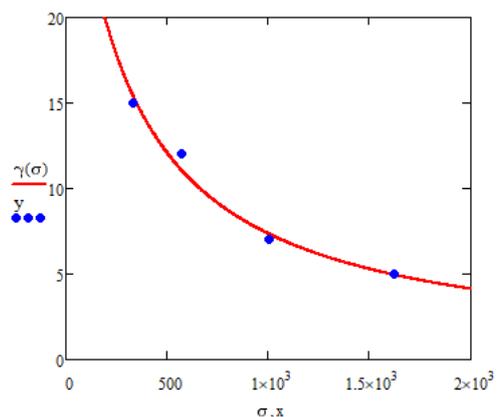


Рис. 12.8. Процесс расчёта эмпирическую формулы для определения оптимального переднего угла

С помощью MathCAD получили формулу:

$$\gamma = (1,069 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B + 0,029)^{-1} (\text{°})$$

Таблица 12.1. Контроль формулы для расчёта оптимального переднего угла

Обрабатываемый материал	Предел прочности σ_b , МПа	Экспериментальные данные γ , °	Расчётные данные по формуле γ , °
35ХГСА	1620	5	4,94
40Х	1000	7	7,35
40	570	12	11,1
10	330	15	15,52

Учитывая погрешности эксперимента, мы считаем, что полученная нами формула может быть использована для расчёта оптимального переднего угла при обработке сталей фрезами с неизношенными режущими пластинами.

Выводы

1. При маленькой фаске износа по задней поверхности ($h_z < 0,3\text{мм}$) подача s увеличивается нормальные силы резания при врезании тоже увеличиваются, а при длине фаски износа на задней поверхности более $0,3\text{мм}$ с увеличением подачи нормальные силы падают, а при большой подаче нормальные силы возрастают из-за влияния **нароста (застойной зоны)**.
2. В процессе врезания при разной фаске износа h_z по задней поверхности подача s увеличивается касательные силы резания $P_{z\max}$ также увеличиваются как линейная функция.
3. При малой длине фаски износа нормальные и касательные силы резания на задней поверхности при врезании малы, затем с увеличением длины фаски силы резания при врезании быстро увеличиваются.
4. В процессе врезания при разной подаче s у режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются. Это связано с влиянием **прогиба поверхности резания**.
5. При малых подачах и малой длине фаски износа на задней поверхности в режущем клине возникают напряжения растяжения сравнительно небольшой величины $\sigma_x = 996 \text{ МПа}$. При этом наибольшие эквивалентные напряжения достаточно велики $\sigma_{\text{экр}} = 1591 \text{ МПа}$, но в 2,5 раза меньше предельно допустимых.
6. При увеличении подачи и длины фаски на задней поверхности у передней поверхности появляются напряжения сжатия $\sigma_x = -391 \text{ МПа}$, а наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экр}} = 4053 \text{ МПа}$ приближаются к предельно допустимым, что приводит к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.
7. При увеличении переднего угла γ до оптимального значения

максимальные нормальные напряжения в режущей кромке пластины уменьшаются, а затем при увеличении переднего угла γ они возрастают.

8. При обработке сталей, образующих сливную стружку концевой фрезе с твердосплавными СМП можно определить оптимальный передний угол пластины по эмпирической формуле: $\gamma = (1,069 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B + 0,029)^{-1}$ (°).

Приложение А

Раздел на иностранном языке

Research of contact stresses distribution over surfaces of a cutter

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Го Инбинь		

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	Пичугова И.Л.			

Research of contact stresses distribution over surfaces of a cutter

INTRODUCTION

For calculation of a cutting tool strength, it is necessary to know not only component forces of cutting, but also distribution of contact stresses (contact loads) on rake and flank surfaces. This task is especially important for the processing of difficult-to-machine materials and for rough cutting by the worn out instrument, especially when chipping on a cutting edge and failure of a cutting plate occur. Wear on a flank surface with appearance of chamfer on a flank surface (flank-land) and the big contact loads leading to a tool failure are the most dangerous.

The method of a “split cutter” (“section tool”) is used for research of contact stresses distribution. Researching of force dependences was carried out in turning a workpiece made from a steel 40X (5140 in accordance to ASTM-SAE) with hardness HB 200 ... 210 and ultimate tensile stress $\sigma_{UTS}=1000 \text{ MPa}$ by a cutter at through passage with a cutting plate made from cemented carbide T15K6 (TiC15%, WC79%, Co6%) with the principal edge angle in the plan $\varphi = 45^\circ$, the end cutting-edge angle (the auxiliary edge angle in the plan) $\varphi_I=45^\circ$, the nose radius $r=0,1 \text{ mm}$, 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 $\lambda=0^\circ$.

1. Split cutter method for contact stresses research over flank surface of a cutter

Increasing cutting tools wear leads to increasing cutting force and spalling of cutting wedge. The wear of cutting tool takes place: 1) on the face (rake surface) near the cutting edge with appearance a crater with a depth h_c , 2) on the cutting edge with appearance of a radius ρ of cutting edge, 3) on the flank with appearance of flank land (chamfer) with a length h_f and a clearance angle α_h (Fig. 1). Very often the clearance angle α_h is equal to zero [1, 2, 3, 4, 5, 6].

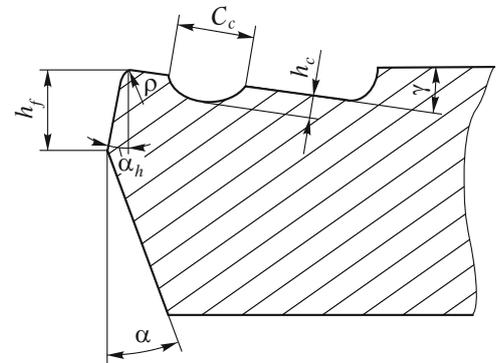


Fig. 1. Zones of cutting wedge wear

Calculation of cutting tool strength requires knowledge about distribution of contact loads (external stresses or specific loads) over the face and flank surfaces of the cutting wedge. They can be investigated experimentally by three methods: 1) by the optical polarization method [2, 4], 2) by the method of interference [2, 4], 3) by the method of a “split cutter” (split cutting tool), or “sectional cutter” (sectional cutting tool) [1, 2, 4].

The method of the “split cutter” allows researching distribution of contact loads (external stresses) with industrial cutting mode, but one demands creation of rigid dynamometer [1, 4]. In order to be sure about constant cutting condition during experiments it is necessary to measure total components of cutting force: tangential component P_z and radial component P_y [1] (Fig. 2). They should be constant and do not depend on which section of cutting edge of the “split cutter” is now in the contact with a workpiece (very often it is a disk which is machined with a radial feed f for realization of free orthogonal cutting) (Fig. 2, 3).

Construction of the dynamometer for the “split cutter” contains lower level of elastic measuring elements 4, which are used for measurement and inspection of total components of cutting force P_z and P_y – they should be constant during serial of experiments. These forces are large and thickness of walls is large, that is why measuring elements 4 are more rigid in comparison with upper elastic measuring elements 3 [1].

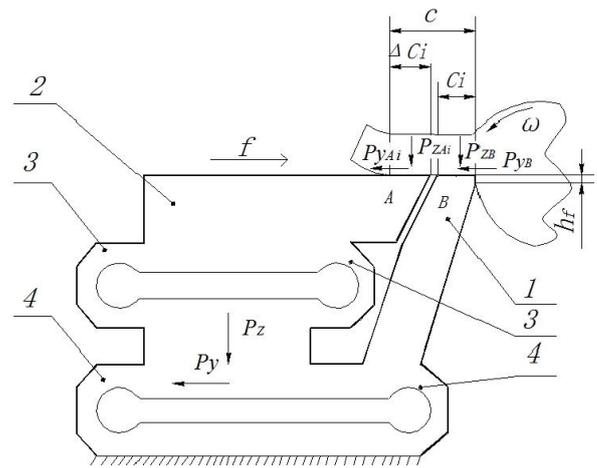


Fig. 2. The research of contact loads distribution over a face surface of the cutter by the method of the “split cutter” on a lathe with horizontal feed rate f

Upper level of elastic measuring elements 3 is used for measurement of forces P_{zA} and P_{yA} , acting on a cutting plate A (Fig. 2). The “split cutter” consists of two parts, or cutting plates: A and B. The plate B contains the face (rake surface) of the cutter or some part C_i of the face, cutting edge and the flank surface (Fig. 2, 3). The plate A contains some part ΔC_i of the face (Fig. 2, 3). This plate is used for measurement forces P_{zAi} and P_{yAi} acting on the some part ΔC_i of the face – it is the main plate of the “split cutter”. This dynamometer is called as “four-component dynamometer for the split cutter” [1].

1.1. Research of contact stresses distribution over face of the cutter

Cutting plates A and B are fabricated so that the distance C_B from the cutting edge to a slanting slit (clearance) with an angle ψ_B between plates is more length of contact C of a chip with the face surface of the cutter ($C_B > C$) (Fig. 3). The less size C_B and larger length of plates the less the angle ψ_B and more accuracy of contact loads calculation. Dynamometer, used in our experiments, allows us to use long plates with the length 120 mm.

In a kickoff a machined disk is placed in the position 0 ($i=0$) where there is no contact of the chip with the plate A. In the Fig. 3 it is the upper part of the plate B,

where C and bc are the length and the width of the chip contact with the face. In this case on the plate A components of cutting force are equal to zero: $P_{zA i=0} = 0$ [N] and $P_{yA i=0} = 0$ [N]. Total components of cutting force (tangential P_z and radial P_y), acting on the plate B and measured in this position with the help of measuring elements 4 (Fig. 2), should be constant during experiment.

The dynamometer consistently is displaced with the “split cutter” along periphery of the disk on the length l_i and then on the length l_{i+1} relatively the position 0 (Fig. 3), the disk is cut

and force components $P_{zA i}$ and $P_{yA i}$ (Fig. 2), $P_{zA i+1}$ and $P_{yA i+1}$ are correspondently measured. For the free orthogonal cutting and for the rake angle $\gamma=0^\circ$ the force component $P_{zA i}$ is equal to normal force on this section i ($N_{Ai} = P_{zAi}$), the force component $P_{yA i}$ is equal to friction (tangential) force F_{Ai} ($F_{Ai} = P_{yAi}$). If the rake angle $\gamma \neq 0^\circ$ it is necessary to recalculate normal and tangential forces taking into account an actual rake angle γ .

The increment of the surface area for the considered position $(i+1)$ relatively the previous position (i) occurs on the length $\Delta C'_{i+1}$ (Fig. 3) which is calculated by the formula:

$$\Delta C'_{i+1} = \Delta C_{i+1} - \Delta C_i. \quad (1)$$

The increment of the normal force $\Delta N'_{A i+1}$ over this area with length $\Delta C'_{i+1}$ is calculated by the formula:

$$\Delta N'_{A i+1} = N_{A i+1} - N_{A i}, \quad (2)$$

i.e. the normal force on the plate A for the considered position minus normal force for the previous position. Also for the friction (tangential) force

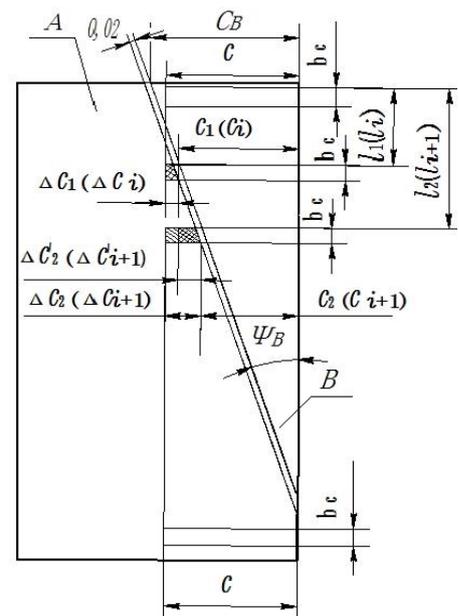


Fig. 3. The scheme of contact loads measurement over the face of the cutter by the “split cutter” method

$$\Delta F'_{A\ i+1} = F_{A\ i+1} - F_{A\ i} \quad (3)$$

The ratio of these forces increments to the contact area increment is the specific normal and tangential cutting forces over the area increment of the position $(i+1)$ (with the length $\Delta C'_{i+1}$).

$$qN'_{i+1} = \Delta N'_{A\ i+1} / (\Delta C'_{i+1} \cdot b_c); \quad (4)$$

$$qF'_{i+1} = \Delta F'_{A\ i+1} / (\Delta C'_{i+1} \cdot b_c). \quad (5)$$

For very small displacement of the dynamometer along the disk periphery ($\Delta l_{i+1} \rightarrow 0$, where $\Delta l_{i+1} = l_{i+1} - l_i$) the increment of contact length of the chip over the plate A $\Delta C'_{i+1}$ will be small ($\Delta C'_{i+1} \rightarrow 0$), the area increment will be small, therefore the specific normal force qN'_{i+1} over this area can be considered as a normal stress σ over the face of the cutter in the position $(i+1)$ ($\sigma_{i+1} \approx qN'_{i+1}$), i.e. in the point over the face of the cutter where the distance from the cutting edge is $x_{i+1} = C_{i+1}$. It is similar for a shearing (tangential, or friction) stress τ ($\tau_{i+1} \approx qF'_{i+1}$).

Use of lower level of elastic measuring elements 4 (Fig. 2) permits to avoid penetration of the chip into the slit between plate A and B . Construction of four-component dynamometer for the “split cutter” foresees less rigidity of elements 3 in comparison with elements 4 in order to be more sensitive as forces P_{zA} and P_{yA} less than forces P_{zB} and P_{yB} . Forces P_{zB} and P_{yB} act on the plate B over face and flank surfaces of this plate (Fig. 2). Elements 4 are deformed elastically and are displaced slightly lower and in the left direction (out from workpiece) together with the elements 3, which are mounted on the lower level of elastic measuring elements 4. Exceeding (projection) of the plate A relatively the plate B is not formed. Forces P_{zAi} and P_{yAi} act on the plate A and deform elastically the measuring elements 3, the plate A is displaced slightly lower and in the left direction (out from the plate B). Projection of the plate A relatively the plate B is not formed.

1.2. Research of contact stresses distribution over flank land of the cutter

Research of contact load distributions over the flank land by using the above described scheme of cutting faces a problem of elastic deformation of measuring elements 3 (Fig. 4). The force P_{yAi} ($P_{yAi} = P_{yAface} + N_{hi}$) acts on the plate A and slightly displaces the plate A in the left direction (out from the plate B) due to small rigidity of elements 3, that

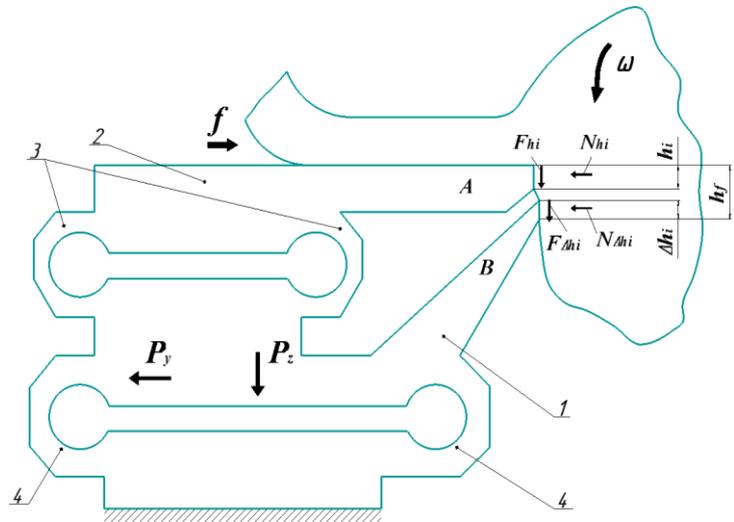


Fig. 4. The research scheme of contact loads distribution over the flank land of the cutter by the method of the “split cutter” on a lathe with the horizontal feed rate f

leads to occurrence exceeding the plate B relatively the plate A. The sharp projection of the plate B starts to cut off an additional chip from the surface of the machined disk. The slit between plates A and B is hammered that leads to violation of forces measurement and even to breakage of plates.

For elimination of this undesirable phenomenon it is necessary to change the cutting scheme. Research of contact loads over the flank land is necessary to carry out on a horizontal-milling machine with the vertical feed f of machine tool table (Fig. 5, a).

Forces P_{zB} and P_{yB} act on the plate B over the face and some part of the flank land of this plate. Elements 4 are deformed elastically and are displaced together with elements 3 and the plate A slightly lower and in the left direction (out from workpiece). Exceeding the plate A relatively the plate B is not formed.

Force P_{yAi} act on the plate A over an area with the length Δh_i ($\Delta h_i = h_f - h_i$) of the flank land and displaces plate A slightly lower relatively the plate B due to

small rigidity of elements 3. Projection of the plate A relatively the plate B is not formed due to large rigidity of elements 4. For this scheme of cutting the plates A and B are fabricated so that the distance C_B from the cutting edge to the slanting slit with the angle ψ_B between these plates is more the length of the flank land h_f of the cutter ($C_B > h_f$, as in Fig. 3).

For the clearance angle of the flank land $\alpha_h=0^\circ$ the force P_{zAi} is equal to a tangential (or friction) force over this section i of the flank land ($P_{zAi}=F_{Ai}=F_{hAi}$), the force P_{yAi} is

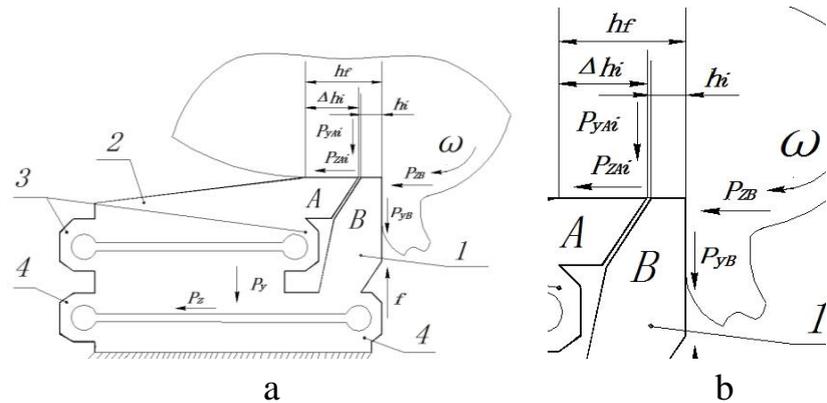


Fig. 5. The research scheme of contact loads distribution over the flank land of the cutter by the method of the “split cutter” on a horizontal-milling machine with the vertical feed rate f of a table; a – general view; b – increased view of contact section

equal to a normal force N_{Ai} ($P_{yAi}=N_{Ai}=N_{hAi}$). The ratio of the force increment $\Delta N'_{Ai+1}$ and $\Delta F'_{Ai+1}$ to the contact area increment is a specific normal and tangential force over the area of the flank land with the length $\Delta h'_{i+1}$, i.e. in the point over the flank land of the cutter where the distance from the cutting edge is $x_{i+1} = h_{i+1}$ (Fig. 5, b):

$$\Delta h'_{i+1} = h_i - h_{i+1}; \quad (6)$$

$$qN'_{hi+1} = qN'_{Ai+1} = \Delta N'_{Ai+1} / (\Delta h'_{i+1} \cdot b_{dc}) = \Delta P'_{yAi+1} / (\Delta h'_{i+1} \cdot b_{dc}); \quad (7)$$

$$qF'_{hi+1} = qF'_{Ai+1} = \Delta F'_{Ai+1} / (\Delta h'_{i+1} \cdot b_{dc}) = \Delta P'_{zAi+1} / (\Delta h'_{i+1} \cdot b_{dc}), \quad (8)$$

where b_{dc} – is the width of machined disk contact with the flank land of the cutter.

For very small displacement of the dynamometer along the disk periphery ($\Delta l_{i+1} \rightarrow 0$) the specific normal force qN'_{hi+1} over the flank land in this position will be considered as a normal stress over the flank land σh ($\sigma h'_{i+1} \approx qN'_{hi+1}$). It is similar for a shearing stress over this area of the flank land τh ($\tau h'_{i+1} \approx qF'_{hi+1}$).

1.3. Preparation for experimental research of contact stresses distribution

Experiments were carried out in free orthogonal turning of a disk made from workpiece material and with the radial feed f of a cutter (for research of contact load distributions over the face of the cutter by means of horizontal feed f on the lathe, over the flank land – by means of vertical feed f of the table on the horizontal-milling machine). The ductile brass (63Cu-37Zn), which forms continuous chip, and the brittle brass (57Cu-39Zn-1Al-3Mn), which forms discontinuous chip, were used as workpiece material. Brass was selected to fine-tune the method of the split cutter. Wear was simulated by sharpening a chamfer with a length h_f on a flank surface ground with the clearance angle $\alpha_h = 0^\circ$. The focus was given to experimental research of contact stresses distribution over the artificial wear flank land.

1.4. Results of experiments and discussion

In machining ductile brass (63Cu-37Zn) by the “split cutter” with length of the artificial flank-land $h_f = 2.4 \text{ mm}$ and clearance angle $\alpha_h = 0^\circ$ extreme pattern of σ_h curves over the flank land is observed, i.e. the highest normal contact stress σ_h max is at some distance from the cutting edge (Fig. 6).

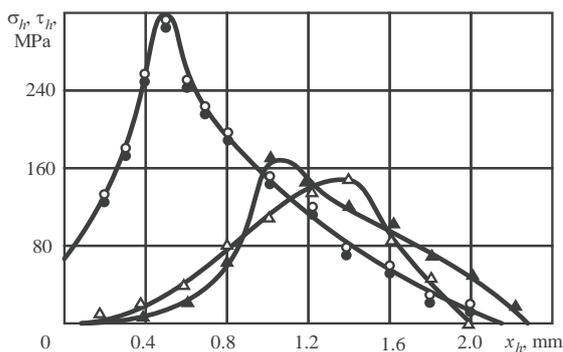


Fig. 6. Distribution of contact stresses over the flank land of the cutter in ductile brass (63Cu-37Zn) machining. $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 18^\circ$, $\alpha_h = 0^\circ$, $v = 1.7 \text{ m/s}$, \circ , \bullet – $f = 0.06 \text{ mm/r}$; Δ , \blacktriangle – $f = 0.21 \text{ mm/r}$; \circ , Δ – normal contact stresses σ_h ; \bullet , \blacktriangle – tangential contact stresses τ_h . Ordinate – normal σ_h [MPa] and tangential τ_h [MPa] stresses over the flank land; abscissa – distance from the cutting edge over the flank land x_h [mm]

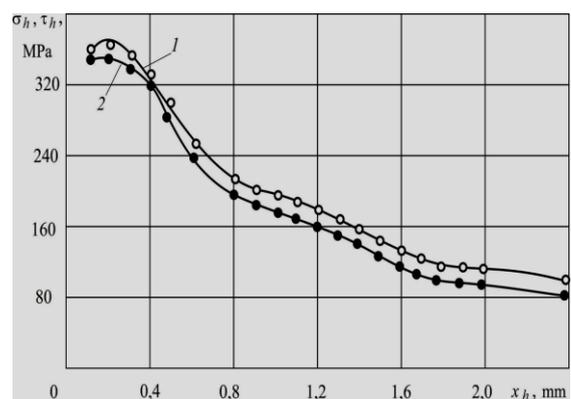


Fig. 7. Distribution of normal σ_h (\circ) and tangential τ_h (\bullet) contact stresses over the flank land of the cutter in cutting brittle brass (57Cu-39Zn-1Al-3Mn). $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 18^\circ$, $\alpha_h = 0^\circ$, $v = 1.7 \text{ m/s}$, $f = 0.41 \text{ mm/r}$.

In machining brittle brass ($57Cu-39Zn-1Al-3Mn$) by a cutter with the same geometry and cutting speed, the highest contact stress σh_{max} , in the contrary, is near the cutting edge (Fig. 7).

The highest normal contact stress σh_{max} in cutting materials with continuous chip formation is at some distance from the cutting edge due to a sag mn_{1j} of a transient surface under an acting of a radial component P_{yr} of the cutting force on the rake surface (Fig. 8). The greatest magnitude U_{max} of the elastic recovery should be proportional

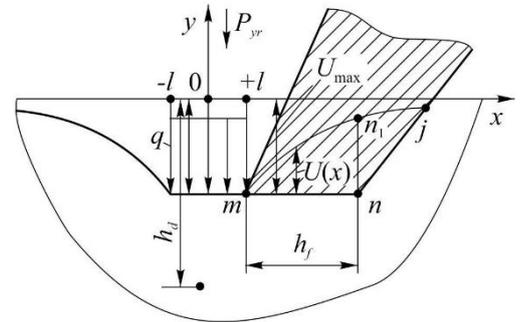


Fig. 8. The scheme of force interaction between the flank land mn of the cutter and the sag mn_{1j} of the transient surface under the acting of the radial component of the cutting force on the rake surface P_{yr}

to this force P_{yr} . Since distribution of the normal load over a section of projection of shear plane on the transient surface (with length $2l$ ($-l...+l$)) should be taken into account in this case, the loading under the chip formation zone can be performed by a plane punch with the base length $2l$ and with the width of the contact b . We assume, that below the punch is an uniform distribution of normal specific load q , which can be calculated by the formula $q=P_{yr}/(b \cdot 2l)$, where P_{yr} is the radial component of the cutting force on the rake surface of the cutter; $2l = a \cdot ctg\Phi$; a is an uncut chip thickness (for the free orthogonal cutting it is the radial feed f , that is $a=f$); Φ is a shear angle [7].

Chip formation zone moves ahead of the cutter and is accompanied by a wave of elastic deformation that causes a fall of the transient surface on a value U_{max} (Fig. 8). Recovering surface mn_{1j} behind the cutting edge contacts with the surface of the flank wear land mn (with the length h_f) and it is deformed additionally to position mn_j . As a result of this phenomenon the pressure over the cutter flank land from the elastic recovering transient surface mn_{1j} near the cutting edge will be less than on some distance from it when forming a continuous chip. It is also necessary

to take into account the radius r of the machined disk. In this case extreme pattern of curves of normal σ_h contact stresses over the flank land is observed (Fig. 6).

At continuous chip formation the influence of radial component of the cutting force on the face P_{y_r} is stable [9], the sag of the transient surface is constant. At discontinuous chip formation at the moment when formed chip element separates from the workpiece, the radial component P_{y_r} of the cutting force on the face quickly decreases (sometimes to zero) [8], which leads to elastic recovery of the transient surface, therefore the highest normal contact stress $\sigma_h \max$ is observed near the cutting edge, which is confirmed by results of experiments in machining brittle brass ($57Cu-39Zn-1Al-3Mn$), which forms discontinuous chip (Fig. 7).

2. Research of contact stresses distribution in incision into a steel workpiece

In conventional milling (up-milling) the teeth of mill comes in contact with the surface of the workpiece with a zero uncut chip thickness ($a=0 \text{ mm}$). During the initial moment there is a friction and pressure only on the flank surface of a cutting tool without chip formation, i.e. forces on a rake surface are absent. Then on a rake surface of the cutting tool, a chip starts to form and there are forces on a radius section of the rounded cutting edge and a small section of the rake surface near the cutting edge.

If a chamfer appears on a flank surface in the process of a cutting tool wear, forces in incision (at run) of cutting edge into a workpiece are essentially increased and can lead to the destruction of instrument. Wear of a cutting wedge occurs on a rake surface with formation of a crater with the length c_c and depth h_c , on a cutting edge with the form of radius ρ of cutting edge rounding, but most intensively it is developed on a flank surface in the form of a chamfer with a length h_f (flank-land h_f) with a clearance angle α_h [1-8]. When the length of a chamfer is less than 1.5 mm , in most cases $\alpha_h=0^\circ$.

2.1. Materials and methods

Research of physical components of cutting force, acting on teeth of mill, for its calculation on strength, is hampered because of turning movement of mill teeth relatively to dynamometer. Therefore it has been decided to model an initial time of cutting in face milling with an cutting edge angle $\varphi=45^\circ$ by turning a steel workpiece with a cutter with longitudinal feed rate s (mm/r) (millimeters per revolution) with $\varphi=45^\circ$. Incision into a workpiece was executed for the workpiece having a conical surface, remained after cutoff of feed rate in the previous experiment with an cutting edge angle $\varphi=45^\circ$ that ensured cutting tool contact at once on all length of a cutting edge at the initial moment of its touch, as in face milling. Research was carried out in steel ($Fe-0.4 C-1Cr$) (5140 in accordance to ASTM-SAE) machining with ultimate tensile strength $\sigma_{UTS}=1000$ (MPa) and hardness HB 220 with fixed speed of cutting $v=2$ (m/s), ensuring absence of an built-up-edge on a rake surface, and various feed rate $s = 0.07-0.52$ (mm/r) and depth of cut $t = 1-4$ mm. The radius of a cutting edge rounding was equal to the minimum possible with a sharp-cornered cutting edge ($\rho \approx 0.003$ mm) [10, 11].

The tangential P_z , radial P_y and axial P_x technological component forces of cutting were measured by using Kistler' dynamometer (Swedish). During the turning thermo-EMF Θ (μA) is measured with the help of a nature tool-work thermocouple. After calibration the tool-work thermocouple, the average cutting temperature is determined, which is close to the maximum temperature of contact of the cutting tool with a chip and a workpiece [3-6]. The use of thermal imager MS-5630 allowed defining temperature on different areas of a cutting tool and workpiece in ($^\circ C$).

The cutter with a cutting plate made from cemented carbide (TiC15%, WC79%, Co6%) had a minor cutting edge angle $\varphi_l=45^\circ$, the nose radius $r=0.1$ (mm), the side-rake angle $\gamma=+7^\circ$, the side-relief angle $\alpha=12^\circ$, the major cutting edge inclination angle $\lambda=0$. On a flank surface the artificial chamfer of various length h_f with a fixed clearance angle $\alpha_h=0^\circ$, modelling wear on a flank

surface, was sharpened. The length of this chamfer at its initial sharpening was $h_f = 0.95$ (mm).

After experiments with different feed rate s (mm/r) and depth of cut 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 the 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 (as an acute). 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 $\alpha_h = 0^\circ$.

2.2. The study of the incising

Experiments have shown that during the incising of cutting edge into a conical surface of steel workpiece there is short-term increasing of cutting force components P_z , P_y and P_x then are quickly reduced after chip formation (Fig. 1). The greatest magnitudes of cutting force components during the incising are denoted by symbols $P_{z\max}$, $P_{y\max}$ and $P_{x\max}$. Component forces of cutting in the period of stable cutting (at the ordinary cutting) are denoted by symbols P_z , P_y and P_x .

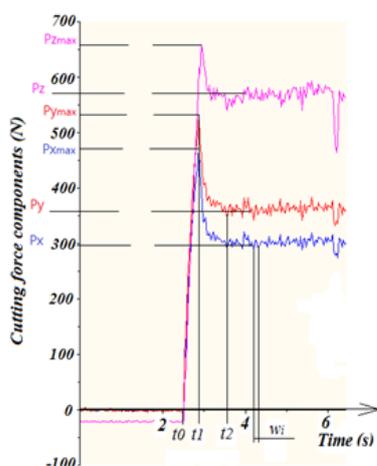


Fig. 1. Change of cutting force components at incision of a cutter into a steel workpiece. $s = 0.07$ (mm/r), $v = 2$ (m/s), $t = 1.8$ (mm). Abscissa is time of cutting (s).

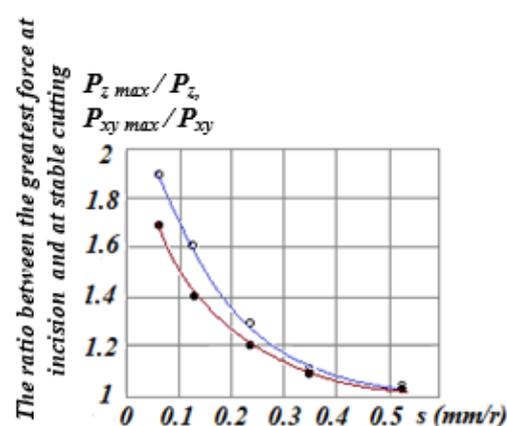


Fig. 2. Influence of feed rate s (mm/r) on the ratio between the greatest force at incision ($P_{z\max}$ and $P_{xy\max}$) and at stable cutting (P_z and P_{xy}). $s = 0.07$ mm/r, $v = 2$ m/s, $t = 1.8$ mm. \circ – $P_{z\max}/P_z$; \bullet – $P_{xy\max}/P_{xy}$.

Abscissa is feed rate s (mm/r).

Increasing of feed rate causes reducing the ratio between the greatest force at run and at stable cutting (Fig. 2) that is connected, in our opinion, with a sag of a surface of cutting under the influence of the seizure zone in the area of a cutting edge which is moved ahead of a cutting tool and acts as radial component force on a rake surface [2]. This hypothesis proves to be true also by results of researches of distribution normal σh and shear (tangential) τh contact stresses on a flank surface chamfer (Fig. 4, 7).

2.3. The study of specific cutting forces

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 adjusted (required) depth of cut t_{adj} , therefore always there is a difference of the real (actual) depth of cut t_{act} by several fractions of a 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_{act} (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 : $q_{P_z act} = P_{z act} / (s \cdot t_{act})$ (MPa). Then we calculated the more precisely defined force $P_{z pr}$ for adjusted depth of cut t_{adj} : $P_{z pr} = q_{P_z act} \cdot t_{adj} \cdot s$ (N). These precisely determined forces $P_{z pr}$, $P_{x pr}$ and $P_{y pr}$ when cutter incised into a workpiece, 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 .

In our research the precisely determined resultant force of cutting force components, acting in reference (horizontal) plain XOY, P_{xy} was also calculated: $P_{xy pr} = (P_{x pr}^2 + P_{y pr}^2)^{1/2}$. Using this equation the specific cutting force $q_{P_{xy}} = P_{xy pr} / (s \cdot t_{adj})$ (MPa) was calculated, and then graphs of its dependences on feed rate s have been constructed.

To research of the processes occurring on surfaces of mill teeth during cutting, uncut chip thickness a (mm) is used. Therefore dependences of specific cutting

forces on uncut chip thickness a have been constructed in turning $a = s \cdot \sin \varphi$ (mm)

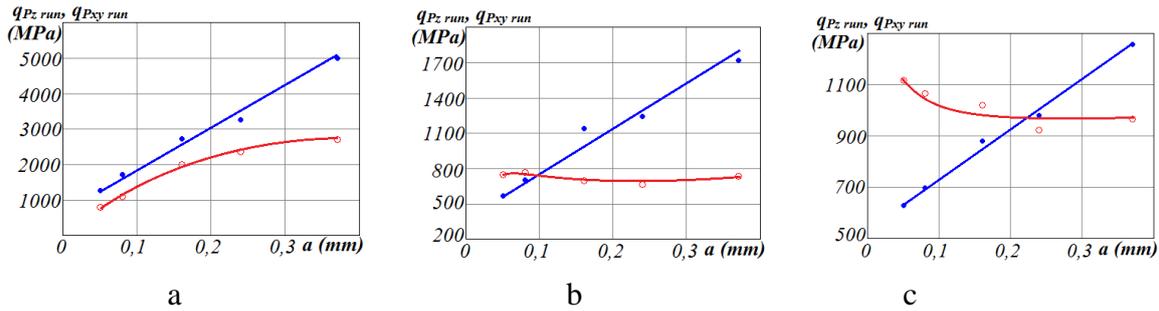


Fig. 3. Graphs of dependence of specific cutting force q_{Pz_run} (●) and q_{Pxy_run} (○) (MPa) from uncut chip thickness a (mm) in turning steel (Fe-0.4 C-1Cr) by a cutter in run into a workpiece at a different chamfer length h_f : a – $h_f = 0.13$ (mm); b – $h_f = 0.54$ (mm); c – $h_f = 0.95$ (mm)

at time of run into a workpiece (Fig. 3). In this figure it is visible that increasing a (mm) (feed rate s [mm/r]) leads to directly proportional increase of specific cutting forces q_{Pz} (MPa) irrespective of a chamfer length h_f , but change q_{Pxy} is not so univalent: at $h_f < 0.54$ (mm) specific cutting forces q_{Pxy} are also increased, at $h_f = 0.54$ (mm) they do not vary, and at $h_f > 0.54$ (mm) they are decreased.

Character of uncut chip thickness a influence on specific cutting forces during the infeed is opposite to character at the stable cutting (at the ordinary cutting): with increasing of uncut chip thickness a , the specific cutting forces of all components decrease, and increasing of a flank surface chamfer length h_f an intensity of this reducing is increased. It speaks about the big portion of a flank surface chamfer forces in the common forces at run.

2.4. The study of contact stresses on the flank surface chamfer

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 [1-6], and that epures do not depend on flank-land length h_f at $\alpha_h = 0$ (°) [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 $q_{Nh} = \Delta N_h / (\Delta h_f \cdot b)$, where Δh_f – is an increment of length of the

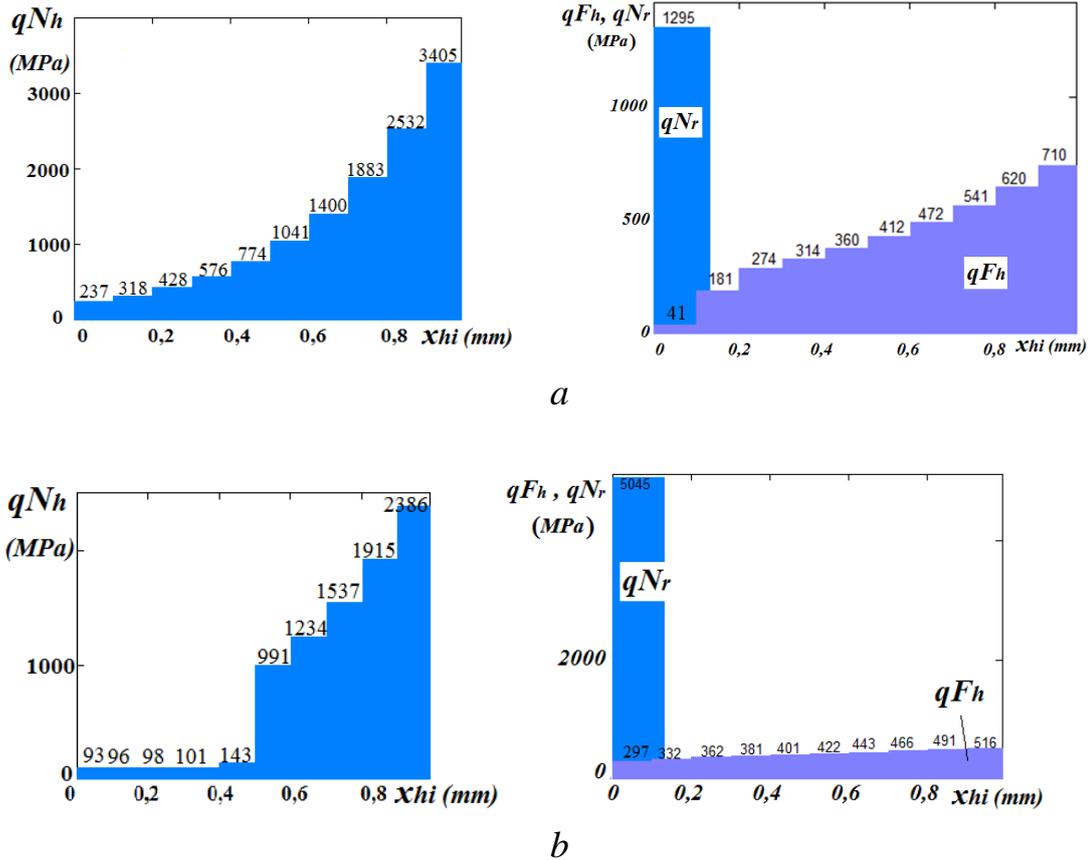


Fig. 4. Histograms of distribution of specific normal q_{Nh} and shear q_{Fh} contact loads (MPa) on the flank surface chamfer and value of specific normal contact loads q_{Nr} (MPa) on the rake surface near the cutting edge at run into a steel workpiece. $v = 2$ (m/s), $t = 1.8$ (mm). a – $s=0.07$ mm/r; b – $s=0.52$ mm/r. Abscissa is distance from a cutting edge along a flank surface chamfer on x_{hI} (mm).

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 $q_{Fh} = \Delta F_h / (\Delta h_f \cdot b)$ (Fig. 4)

The histogram q_{Nh} near the cutting edge does not have zone with the big magnitude of specific contact load as it is on the histogram q_{Fh} (highlighted in a lighter tone) (Fig. 4). In our opinion, on the histogram q_{Fh} on a flat section of a flank surface chamfer near the cutting edge there are no shearing stresses, and increased magnitude q_{Fh} near a cutting edge is actually a specific contact load q_{Nr} , acting in a direction opposite to direction of cutting speed v (m/s), i.e. from the force P_{zr} (N) on a rounded section of a cutting edge and on a small section of a rake surface before a

chip occurrence. The friction force on the mentioned section of a cutting edge is absent or it is very small, since at run there is no movement of a forming chip along a rake surface, therefore on the histograms q_{Nh} near the cutting edge there is no section with the increased magnitude of a contact load.

From histograms (Fig. 4) it is visible that in run, increasing feed rate causes increasing shear contact loads q_{Fh} more slowly at increasing a chamfer length h_f , and in the smallest degree, than normal q_{Nh} . At increasing chamfer length h_f from 0.13 mm to 0.95 mm: for $s=0.07$ mm/r shear contact loads q_{Fh} increases from 181 to 710 MPa (on 529 MPa); for $s=0.11$ mm/r – from 146 to 630 MPa (on 484 MPa); for $s=0.52$ mm/r – from 332 to 516 MPa (on 184 MPa).

Considering that specific contact load q_{Nr} acts on a rake surface near a cutting edge, instead of a flat section of a flank surface chamfer, graphs of contact stresses on a flat section of a chamfer in run have been constructed (Fig. 5).

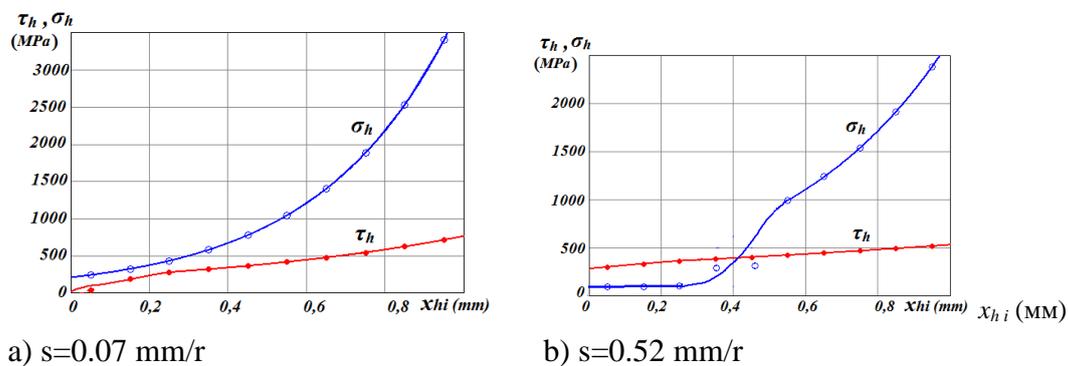


Fig. 5. Distribution of contact stresses on a flank surface chamfer (MPa) when incised. $t=2$ mm, $v=2$ m/s. Ordinate is normal σ_h and shear τ_h contact stresses (MPa) on a flank surface chamfer; abscissa represents distance from a cutting edge along a flank surface chamfer on x_{hi} (mm)

At the cutting edge contact loads are small, and at moving far from it they are quickly increased according to exponential law. This is due to, in our opinion, recovering of a sag of transient surface, which is formed under the influence of a seizure zone in the area of a cutting edge. This seizure zone moves ahead of a cutting tool and acts as radial component cutting force on a rake surface perpendicularly to a transient surface in the period of chip forming.

With increasing feed rate s the radial component of cutting force on the rake surface in the area of chip forming P_{y_r} is increased, but the length of projection of a conditional shear plain on a transient surface of forming chip l_ϕ is also increased. This length can be calculated as $l_\phi = a \cdot \text{ctg } \Phi$ (mm), where Φ is shear angle ($^\circ$).

Specific normal load on the projection of the conditional shear plain $q_{P_{y_r}} = P_{y_r} / (l_\phi \cdot b)$ (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 $s=0.52$ mm/r in Fig. 5).

Equations of contact stresses on a flank surface chamfer in run into a steel workpiece for graphs of Fig. 5 and for others feed rates are displayed in Table.

Table. 1. Equations of contact stresses on a flank surface chamfer at its length h_f in run into a steel workpiece

Feed rate s (mm/r)	h_f (mm)	σ_h (MPa)	h_f (mm)	τ_h (MPa)
0.07	0-0.95	$204.18 \cdot 19.337^{x_i}$	0-0.25	$360 \cdot \ln(1350 \cdot x_i + 220) - 2000$
			0.25-0.95	$195 \cdot 3.896^{x_i}$
0.52	0-0.45	$92 + 10 \cdot x_i$	0-0.25	$300 \cdot \ln(1000 \cdot x_i + 800) - 1725$
	0.45-0.95	$297.377 \cdot 8.953^{x_i}$	0.25-0.95	$319.258 \cdot 1.659^{x_i}$

Conclusions:

1. Researching contact stresses distribution over surfaces of a cutter is necessary to carry out on the special rigid four-component dynamometer for a “split cutter” with inspection of total component of cutting force P_z and P_y – they must be constant during serial of experiments.
2. Researching contact loads over a face of a cutter by the special four-component dynamometer for a “split cutter” is necessary to carry out on a lathe with horizontal feed f , but research of contact loads over a flank land – on a horizontal-milling machine with vertical feed f of a table.
3. Character of normal contact loads over the flank land depends on the type of

the chip formation due to a sag of the transient surface under the acting of the radial component of the cutting force on the rake surface.

4. When cutting tool is incised into a steel workpiece with all length of a cutting edge, having a chamfer on a flank surface with the clearance angle $\alpha_h=0^\circ$, there is a short-term increase of cutting force components almost 2 times, which are quickly decreased to the magnitude acting in stable cutting after chip occurrence. It explains increasing probability of destruction of the cutting tool, worn out on a flank surface during incision into a workpiece.
5. Short-term increasing of cutting force components in run into a steel workpiece do not occur when feed rate exceed 0.34 mm/r and depth of cut exceed 2 mm that is explained, in our opinion, by a sag of a transient surface under the influence of a seizure zone in the area of a cutting edge, which moves ahead of a cutting tool and reduce contact interaction of a flank surface chamfer with a workpiece.
6. At moving far from a cutting edge shear contact stresses are increased in a lesser degree in comparison with normal that is connected, in our opinion, with plastic character of contact of a chamfer with a workpiece.
7. In run normal contact stresses are quickly increased at a distance from a cutting edge more than 0.5 mm that is explained by recovering of a transient surface sag, and explains increase of probability of cutting wedge destruction when length of a wear flank surface chamfer exceeds 1.2 mm.

References

- [1] Poletika M F and Krasilnikov V A 1971 *Dynamometer for measurement of force and stresses over a rake surface of cutter* (Machine tools and cutting tools, vol 2) pp 37–38
- [2] Trent, E.M., Wright, P.K. *Metal Cutting*. fourth ed. Butterworth-Heinemann, Boston, 2000
- [3] Proskokov A V and Petrushin S I 2012 *Chip Formation with a Developed Plastic-Deformation Zone* (Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, vol 2, pp 173-177
- [4] Ostafjiev V A et al 1976 *Physical fundamentals of metals cutting processes* (Kiev: Visha shkola)
- [5] Hu J and Chou Y 2007 *Characterizations of cutting tool flank wear-land contact* (Wear, 263, Iss. 7-12) pp 1454-1458
- [6] Sun S, Brandt M, Mo J P T 2014 *Evolution of tool wear and its effect on cutting forces during dry machining of Ti-6Al-4V alloy*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol 228, Iss. 2, Febr. 2014, pp 191-202
- [7] Kozlov V N 2012 Flank contact load distribution at cutting tool wear (Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, [6357713]
- [8] Afonarov A and Lasukov A 2014 *Elementary Chip Formation in Metal Cutting* (Russian Engineering Research vol 3) pp 152-155
- [9] Merchant M E, Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip, J. Appl. Phys. 16 Iss 5 267-275.
- [10] S. V. Kirsanov, A. S. Babaev, Machinability of Calcium Steel in Deep Hole Drilling with Small Diameters Gun Drills, Applied Mechanics and Materials (2015) 756 116-119.
- [11] E. V. Artamonov, M. O. Chernyshov, and T. E. Pomigalova Improving the Performance of Composite Bits with Replaceable Inserts Russian Engineering Research, 2017, 37, No. 4, pp. 348-350.
- [12] Che-Haron C. H. Tool life and surface integrity in turning titanium alloy / C. H. Che-Haron // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – № 3 – pp. 231-237.
- [13] Narutaki N., Murakoshi A., Motonishi S., Takeyama H. Study on machining of titanium alloys. CIRP Annals / N. Narutaki, A. Murakoshi, S. Motonishi, H. Takeyama // Manufacturing Technology. – 1983. – № 1 – pp. 65-69.
- [14] Mohammadpour M., Razfar M. R., Jalili Saffar R. Numerical investigating the effect of machining parameters on residual stresses in orthogonal cutting / M. Mohammadpour, M. R. Razfar, R. Jalili Saffar // Simulation modelling practice and theory. – 2010 – № 18 – pp. 378–389.

- [15] Vichev S., Kirov V., Hristov D. Strength calculation of cutting tools / S. Vichev, V. Kirov, D. Hristov. // International Journal of Machine Tools and Manufacture. Volume 34, Issue 1, January 1994. pp. 13-18.
- [16] Oraby S. E., Hayburst D. R. Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation / S. E. Oraby, D. R. Hayburst // International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, (2004), pp. 1261- 1269.
- [17] Huang Z., Cui J., Zhang J., Kozlov V.N. Method for measuring contact stresses on the surfaces of a cutting tool / Science and Education: Materials of the XX International Conference (April 18-22, 2016) - Tomsk: Tomsk State Pedagogical University, 2016, p. 69-75.
- [18] Huang Z., Zhang J., Kozlov V.N. Strength of inserts in titanium alloy machining / Mechanical Engineering Processes and Metal Treatment (MEACS 2015) 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 124 012174, Vol. 124, Number 1, 2016, pp. 162-167.
- [19] Huang Z., Zhang J., Leshchiner E.G., Kozlov V.N. Strength of the cutting inserts in the processing of titanium alloy / Vocational education: problems and achievements: Materials of the V International Scientific and Practical Conference (December 15-17, 2015) - Tomsk: Tomsk State Pedagogical University, 2015, p. 59-65.
- [20] Huang Z., Zhang J., Leshchiner E.G., Kozlov V.N. Calculation of the strength of cutting inserts in the processing of titanium alloy / Actual problems in mechanical engineering: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Actual problems in mechanical engineering" (March 30, 2016) - Novosibirsk: Izdatelstvo NSTU, 2016, p. 59-65.
- [21] Shi B., Attia H. Modeling the thermal and tribological processes at the tool-chip interface in machining / B. Shi, H. Attia // Mach. Sci. and Technol. – 2009. – V. 13; № 2. – pp. 210-226.
- [22] Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.A., Kirsanov S.V., Grigoriev S.N., Skhirtladze A.G. Cutting tools: textbook for universities / Under the general. Ed. S.V. Kirsanov. Moscow: Mechanical Engineering, 2014, 520 p.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 8ЛМ61	ФИО Го Инбинь
-----------------	------------------

ШКОЛА	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

**Тема дипломной работы «Исследование прочность концевой фрезы методом
конечных элементов»**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p><u>Характеристика объекта исследования:</u> Расчёт на прочность концевой фрезы методом конечных элементов. Лаборатория находится в 16-ом уч. корпусе и в общежитии ТПУ. Основные оборудования: компьютер, станок, динамометр.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;</p> <p>б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);</p> <p>в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;</p> <p>г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p> <p>а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники,</p>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	<p>средства защиты);перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка;</p> <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</p>
<p>2. Экологическая безопасность</p> <ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия</p> <p>б) разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</p> <p>в) разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</p> <p>г) разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. – план эвакуации – план размещения светильников

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2018г.
--	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.02.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Го Инбинь		26.02.2018г.

Описание рабочего места

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрено рабочее помещение для расчета прочности режущего инструмента методом конечных элементов с помощью компьютера.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

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

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с беспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

Социальная ответственность

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В лаборатории, где находится оргтехника могут быть следующие вредные факторы: а) некомфортные метеоусловия; б) вредные вещества; в) производственный шум; г) недостаточная освещенность; д) электромагнитное излучение;

1. Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

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

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

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

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных

помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

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

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Допустимые значения микроклимата

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

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

2. Вредные вещества

Во время работы с оргтехникой исполнитель сталкивается с пылью, выделяемой бумагой.

Бумага (целлюлоза) выделяет в атмосферу воздуха пыль целлюлозную.

Согласно гигиенические нормативы СН 2.2.5.1313-03 ПДК целлюлозы в атмосфере рабочего помещения составляет 15 мг/м³, что соответствует 4му классу опасности.

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она

служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

3. Производственный шум

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

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

Средства коллективной защиты (СКЗ) от шума:

- Акустические (звукоизолирующие кожухи, кабины, акустические экраны, выгородки, звукопоглощающие облицовки, объемные поглотители звука и др.).
- Архитектурно-планировочные (создание шумозащищенных зон, рациональное размещение оборудования рабочих мест, рациональные акустические решения планировок зданий и генеральных планов объектов и др.).
- Организационно-технические (применение малошумных технологических процессов и машин, оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля, использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях и др.).
- Средства, снижающие шум аэродинамического происхождения (уменьшение скорости обтекания воздушными потоками препятствий; улучшение аэродинамики конструкций, работающих в контакте с потоками; снижение скорости истечения газовой струи и уменьшением диаметра отверстия, из которого эта струя истекает).
- Средства, снижающие шум гидродинамического происхождения (выбор оптимальных режимов работы насосов для перекачивания жидкостей, правильного проектирования и эксплуатации гидросистем и ряда других мероприятий).

Используемые материалы:

Наиболее шумные механизмы и машины закрывают звукоизолирующими кожухами, изготовленными из конструкционных материалов (стали, сплавов алюминия, пластмасс, ДСП и др.). Звукоизолирующие кабины изготавливают из кирпича, бетона, стали, ДСП и других материалов. Звукопоглощающие материалы (материалы, в состав которых входят пористые заполнители — вермикулит, пемза, вспученный

перлит; материалы с ячеистым строением — пенополистирол, пенополиуретан и др.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

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

Вкладыши – это вставляемые в слуховой канал мягкие тампоны из ультратонкого волокна, иногда пропитанные смесью воска и парафина, или жесткие тампоны (из легкого каучука, эластичных пластмасс, резины, эбонита) в форме конуса. Это самые дешевые, но недостаточно эффективные и удобные средства.

Наушники плотно облегают ушную раковину и удерживаются на голове дугообразной пружиной. Наиболее эффективны при высоких частотах.

4. Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 75 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на

должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 7$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 3,5$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 7 \times 6 = 42 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_C = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{П} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу ЛД-40, $\Phi_{л} = 2300$ лм и светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = hn - hp,$$

где hn – высота светильника над полом, высота подвеса,

hp – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $hn = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке №1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

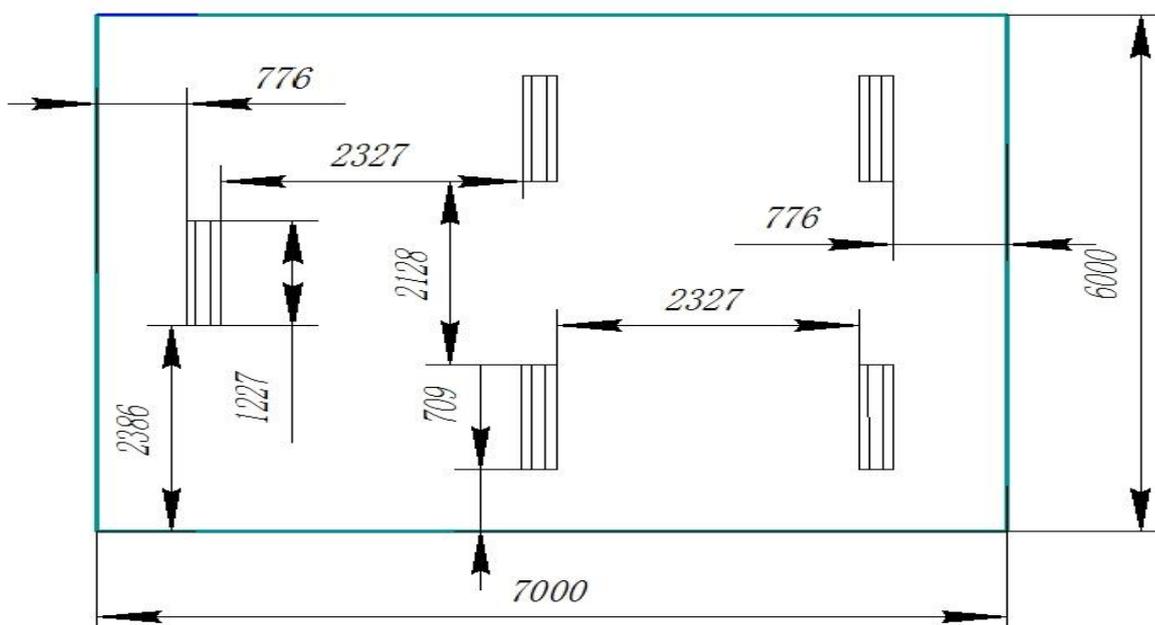


Рис.1. – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,0 \cdot (7 + 6)} = 1,6$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$N = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{\text{п}} \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2300 \cdot 0,47} = 9,6 = 10$$

Общее число светильников: $N = 5$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$2L_2 + \frac{2}{3}L_2 + 3 \cdot 265 = 7000$$

$$L_2 = 2327\text{мм}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$L_1 + \frac{2}{3}L_1 + 2 \cdot 1227 = 6000$$

$$L_1 = 2128\text{мм}$$

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2600$ Лм.

$$\Phi_{\text{расч}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{10 \cdot 0,47} = 2212\text{лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{лам}}}{\Phi_{\text{лам}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{лам}}}{\Phi_{\text{лам}}} \cdot 100\% = \frac{|2212 - 2300|}{2300} \cdot 100\% = 3,8\%.$$

Таким образом: $3,8\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5. Электромагнитные поля

В лаборатории используются программные обеспечения для расчёта экспериментальных данных. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей на организм человека.

Эффект воздействия СВЧ электромагнитного поля на биологические объекты в известной степени определяется количеством проникающей в них и поглощаемой ими электромагнитной энергии. Значительная часть энергии микроволн поглощается тканями организма и превращается в тепло, что объясняют возникновением колебания ионов и дипольных молекул воды, содержащихся в тканях. Наиболее эффективное поглощение микроволн

отмечается в тканях с большим содержанием воды: кровь, тканевая жидкость, слизистая желудка, кишок, хрусталик глаза и др.

Нагрев тканей в СВЧ-поле является наиболее простым и очевидным эффектом действия микроволн на организм человека. Положение максимума температуры, его удаление от поверхности тела зависит от проводимости среды, а, следовательно, и от частоты радиоволны, действующей на ткань: с увеличением частоты (укорочением волны) максимум температуры приближается к поверхности.

Длительное и систематическое воздействие на организм СВЧ-излучения вызывает повышенную утомляемость, периодически появляющуюся головную боль, сонливость или нарушение сна, повышение артериального давления и боли в области сердца. Под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот наблюдаются изменения в крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — изменения в психической сфере (неустойчивые настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

Предельно допустимый уровень (ПДУ) согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 – «Электромагнитные поля в производственных условиях» – представлены в табл.10.2.

Табл.2. ПДУ на электромагнитные излучения

Категория облучаемых лиц	Плотность потока энергии СВЧ-излучения, мкВт/см ²
Работающие с источниками излучения в течение:	
8-часовой смены	< 10
не более 2 ч в смену	< 100
не более 20 мин в смену	< 1000

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

- уменьшение излучения от источника;
- экранирование источника излучения и рабочего места;
- установление санитарно-защитной зоны;

- поглощение или уменьшение образования зарядов статического электричества;
- устранение зарядов статического электричества;
- применение средств индивидуальной защиты.

Средства защиты от воздействия электромагнитных излучений

- Уменьшение излучения. Для этого на предприятиях с большим количеством оборудования уменьшают напряженность и плотность потока электромагнитного поля. Вводятся режимы запуска и отключения оборудования.
- Экранирование рабочих мест сотрудников для уменьшения негативного влияния излучения. В качестве экранов применяются металлические листы толщиной минимум 0,5 мм, они изготавливаются из материалов с высокой электрической проводимостью. Такие экраны требуют обязательного заземления. Для максимальной эффективности применяется несколько экранирующих ступеней: экраны устанавливаются для всего источника в целом, для генерирующего контура, для рабочих контуров.
- Установление санитарно-защитной зоны вокруг предприятий, являющихся мощными источниками электромагнитного излучения. В таких зонах нельзя строить жилые дома и другие городские сооружения.
- К средствам индивидуальной защиты (СИЗ) от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят защитные халаты, комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты.

Материал экранов:

Отражающие экраны, сделанные из металлической сетки, образуют вихревые токи под действием электромагнитного поля. Металлизированные экраны для максимальной эффективности окрашивают специальными красками, изготовленными с использованием коллоидного серебра и порошкового графита. Также для получения экранирующего эффекта

применяются пленочные и тканевые материалы, снабженные металлизированным покрытием.

Для создания окон и смотровых иллюминаторов с отражающими свойствами применяется специальное стекло: на его поверхности находится тонкая прозрачная оксидная пленка. Такая пленка изготавливается на основе меди, серебра, алюминия или других металлов: она не затрудняет обзор, но при этом препятствует прохождению электромагнитного излучения и минимизируют его вред для персонала. Все экранирующие экраны обязательно снабжаются заземлением: оно должно обеспечить уход в землю образовавшегося заряда.

Также для минимизации ЭМИ применяются поглощающие экраны: они изготавливаются из материалов, способных задерживать излучение. В числе таких материалов резиновые коврики, волокнистая древесина, поролоновые листы и многое другое.

Защитные очки, выполняются из любого прозрачного материала, обладающего защитными свойствами.

Материал очков:

Защитные очки. Линзы очков изготавливают из специального стекла (например, покрытого двуокисью олова - ТУ 166-63), вырезанные в виде эллипсоидов с размером полукруга 25x17 мм и вставленные в оправу из пористой резины с вшитой в нее металлической сеткой.

Для изготовления защитного стекла можно использовать различные материалы. Это зависит от степени их оптической прозрачности и защитных свойств для определенных частот ЭМИ. Защитные свойства очков оцениваются по степени затухания примененного стекла. Следует иметь в виду, что защиту очками до 10 дБ можно получить лишь на частоте излучения более 3 ГГц.

6. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Данное помещение относится к помещению с повышенной опасностью поражения электрическим током). В помещении применяются

следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами — диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей.

При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта; при смене патронов трубчатых предохранителей он должен быть в очках. Клещи нужно держать в вытянутых руках.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках. К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

7. Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , B_{1n} , G_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Г - негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- б) утечка метана (при концентрации в воздухе от 4,4 % до 17 % метан взрывоопасен).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- г) издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Воздушно-пенные огнетушители очагов пожара, без наличия электроэнергии. Углекислотные и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый закачной огнетушитель ОП-3. Тушение электроустановок нужно производить на расстоянии не менее 1 метра (имеется в виду расстояние от сопла огнетушителя до токоведущих частей). Зарядку порошковых огнетушителей следует производить один раз в пять лет. При возникновении необходимости ремонта или зарядки, следует обращаться в специализированные фирмы.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 2).

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ

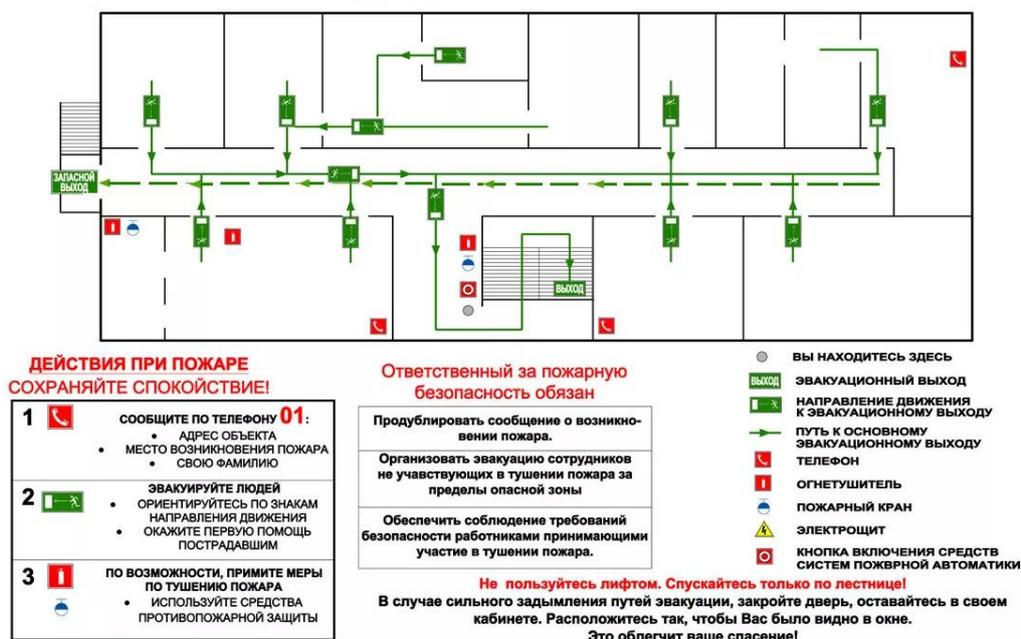


Рис. 2. План эвакуации.

8. Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

В данном исследовании в процессе измерения сил резания производятся отходы: металлы и стружки.

Переработка металлов. Сначала металлолом собирается и сортируется. Отсортированный металл пакуется и отправляется в утилизационные центры.

Непосредственно в центре, металл проверяется на добросовестность сортировки; и сразу, или складывается, или отправляется в плавильную печь. Там, металл подогревается и плавится при различных температурах, в зависимости от вида металла. Полностью расплавленный металл, собранный в полном объеме, формируется в небольшие слитки. Им дают возможность остыть, прежде, чем пускать в последующую переработку.

Переработка СОЖ и стружки углеродистых и легированных сталей.

Существуют холодный и горячий способы брикетирования стальной стружки. При холодном брикетировании стружку, поступающую на перерабатывающий пункт, подвергают грохочению, дроблению, отделяют от СОЖ и повторно дробят (СОЖ отфильтровать, пригодное для дальнейшего использования масло направить в производство, а оставшийся шлам упаковать и направить в строительные компании.); затем она брикетируется или ее отправляют россыпью на предприятия для переработки. При горячем брикетировании, в отличие от холодного, стружка углеродистых сталей после вторичного дробления обжигается и сушится в сушильном барабане, к которому пристроена камера для поджигания газов при температуре 550—700° С; вслед за этим брикетируется на прессах, причем при этом способе брикеты получают более высокого качества, чем при холодном.

Все существующие методы переработки стружки можно разделить на следующие: а) механические методы — дробление, пакетирование и брикетирование в холодном и горячем состоянии (брикетирование взрывом, под молотом с вибратором и с электро-контактным упрочнением); б) металлургические методы — переплав в дуговых и индукционных электропечах, вагранках и других агрегатах; в) теплошлаковые методы переплава — электрошлаковый и факельно-шлаковый.

9. Защита в ЧС

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления

(землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Масляные обогреватели нагреваются до температуры 110-150 градусов, поэтому довольно быстро способны отопить помещение. Некоторые модели масляных радиаторов наделены вентилятором, с помощью которого теплый воздух быстрее распространяется по всему помещению. Масляный обогреватель с термостатом, можно вообще не выключать. Обогреватель будет самостоятельно отключаться, когда температура поднимется до заданной. То есть на время отсутствия сотрудников можно выставить на термостате температуру 10-15 градусов, и не бояться, что они замерзнут, придя на работу. Главное учитывать, чтобы суммарная мощность обогревателей была меньше электрической мощности источника их питания. А также желательно наличие дополнительного автоматического выключателя в распределительном щите для защиты от перегрузок.

Обеспечение устойчивости при авариях на:

электрических сетях: Необходимо использование кабельных линий, заглубленных на $H > 2,5$ м. Повышение стойкости сетей электрического снабжения. Питание подаётся не менее, чем от 2-х подстанций, удалённых не менее чем на 500 м. Использование запасных источников питания (аккумуляторы)

теплосетях: Создание запасной системы отопления (например, электрические нагреватели)

водоснабжении: Вода расходуется как на технические нужды, так и на питьё. Необходимо обеспечить кольцевую систему водоснабжения предприятия с установкой автоматических быстродействующих задвижек, управляемых системой, реагирующей на снижение давления. Кольцевые сети запитываются от 2-х источников водоснабжения. Также желательно иметь артезианские скважины. Рекомендуется создание защищённых резервных ёмкостей для воды, использование систем оборотного водоснабжения.

транспорте: Создание автостоянки в подвалах и цокольных этажах. Иметь дорожные машины, используемые при расчистке снега и т.п.

10. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
12. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
13. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
14. 13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
15. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
16. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Го Инбинь

Школа	ИШНПТ	Кафедра	ТМСПР
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	1.Стоимость материалов 2.Зарплата проекта 3.Отчисления во внебюджетные фонды 4.Прочие расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы рабочего времени выполнения проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка конкурентоспособности проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование и расчет бюджета проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение эффективности и перспектив научного исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская Алена Васильевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Го Инбинь		

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Машиностроение является одной из движущих отраслей индустрии. Эффективный рост промышленности, а также в свою очередь темпы внедрения инновационных технологий в превосходящей степени зависят от уровня развития отрасли машиностроения. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоёмкости её производства. К таким же результатам может привести и использование совершенных методов обработки деталей.

Также машиностроение относится к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других

энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью. Указанные особенности машиностроительного производства требуют от каждого работника (мастера, инженера, руководителя) знаний экономических законов, реализуемых на машиностроительном предприятии, умений использования их для достижения главных целей предприятия.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

11.2 Пред проектный анализ.

11.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Фреза концевая является широко используемым в машиностроении металлорежущим инструментом, предназначенным для обработки уступов, пазов и плоскостей небольшой ширины. Основной особенностью этого инструмента выступает возможность одновременной обработки двух перпендикулярно расположенных плоскостей, благодаря наличию зубьев как на цилиндрической, так и на торцевой поверхности фрезы.

Исследовать напряжённно-деформированное состояние (НДС) концевой фрезы и расчёт на прочности концевой фрезы, для того чтобы получить оптимальные геометрические размеры режущего клина зуб фрезы. Метод конечных элементов является надёжным и оптимальным методом для расчёта НДС режущих пластин. Существуют несколько программных обеспечений для выполнения данного метода: ANSYS, ABAQUS и Solidworks.

11.2.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i , \quad (11.1)$$

Где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица.11.2. – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _А	Б _В	Б _С	К _А	К _В	К _С
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,03	4	4	3	0,21	0,28	0,21
2. Удобство в	0,03	4	3	3	0,12	0,09	0,09

эксплуатации								
3. Помехоустойчивость	0,06	3	3	3	0,15	0,15	0,15	
4. Энергоэкономичность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28	
5. Надежность	0,06	5	4	4	0,20	0,25	0,20	
6. Уровень шума	0,05	5	4	4	0,24	0,30	0,24	
7. Безопасность	0,04	4	3	3	0,20	0,15	0,15	
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	3	4	4	0,12	0,16	0,16	
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	5	3	3	0,12	0,20	0,12	
10. Простота эксплуатации	0,06	4	3	3	0,15	0,20	0,15	
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	3	3	2	0,12	0,12	0,08	
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,03	3	3	3	0,00	0,00	0,00	
Экономические критерии оценки эффективности								
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	3	4	0,21	0,35	0,28	
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	4	0,20	0,25	0,25	
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28	
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	3	3	0,24	0,40	0,32	
5. Послепродажное обслуживание	0,04	5	5	5	0,16	0,20	0,20	
6. Финансирование научной разработки	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09	
7. Срок выхода на рынок	0,07	5	5	4	0,24	0,30	0,24	
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	4	4	0,20	0,20	0,20	
Итого	1	83	72	70	4,22	3,65	3,57	

Где: А - расчёт по ANSYS; В - расчёт по ABAQUS; С - расчёт по Solidworks.

Значение K позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя K получилось от 4,5 до 5,0, то такая разработка считается перспективной. Если от 4,0 до 4,5 – то перспективность выше среднего. Если от 3,5 до 4,0 – то перспективность средняя. Если от 3,0 до 3,5 – то перспективность ниже среднего. Если 3,0 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, расчёт по ANSYS считается перспективным.

11.2.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 11.3.

При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (11.2)$$

Где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица.11.3. – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	5
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	5	5
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	65	61

Значение $B_{\text{сум}}$ (суммарное количество баллов по каждому направлению) позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Поскольку $B_{\text{сум}} > 60$, можем делать такой вывод, степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у

разработчика считаются перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

11.2.4. FAST – анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в табл.11.4.

Таблица 11.4. – Описание главной, основных, и вспомогательных функций

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранги функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Динамометр Kistler	1	Измерение сил резания	X		
Резец проходной	1	Резание материала		X	
Программа ANSYS	1	Расчёт НДС режущей пластины		X	
Программа Solidworks	1	Создание 3-Д модели		X	
Программа MathCAD	1	Расчёт напряжений			X

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глуценко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости

каждой функции. Для этого построим матрицу смежности функции (табл.11.5.).

Таблица 11.5. – Матрица смежности функций

	Измерение сил резания	Резание материала	Расчёт НДС режущей пластины	Создание 3-Д модели	Расчёт напряжений
Измерение сил резания	=	>	>	>	>
Резание материала	<	=	<	<	<
Расчёт НДС режущей пластины	<	>	=	>	>
Создание 3-Д модели	<	>	<	=	<
Расчёт напряжений	<	>	<	>	=

Преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций и заносим данные в табл. 11.6.

Таблица 11.6. – Матрица количественных соотношений функций

	Измерение сил резания	Резание материала	Расчёт НДС режущей пластины	Создание 3-Д модели	Расчёт напряжений	Итого
Измерение сил резания	1	1,5	1,5	1,5	1,5	7
Резание материала	0,5	1	0,5	0,5	0,5	3
Расчёт НДС режущей пластины	0,5	1,5	1	1,5	1,5	6
Создание 3-Д модели	0,5	1,5	0,5	1	0,5	4
Расчёт напряжений	0,5	1,5	0,5	1,5	1	5
						25

Определяем значимость каждой функции:

- Измерение сил резания: $7/25 = 0,28$;
- Резание материала: $3/25 = 0,12$;

- Расчёт НДС режущей пластины: $6/25 = 0,24$;
- Создание 3-Д модели: $4/25 = 0,16$;
- Расчёт напряжений: $5/25 = 0,2$.

Таблица 11.7. – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Динамометр Kistler	1	Измерение сил резания	-	-	38200	-	38200
Резец проходной	1	Резание материала	-	2	120	150	270
Программа ANSYS	1	Расчёт НДС режущей пластины	-	-	2000	-	2000
Программа Solidworks	1	Создание 3-Д модели	-	-	3240	-	3240
Программа MathCAD	1	Расчёт напряжений	-	-	1860	-	1860
							$\Sigma = 45570$

Определим относительные затраты на функцию:

Измерение сил резания: $38200/45570 = 0,838$;

Резание материала: $270/45570 = 0,006$;

Расчёт НДС режущей пластины: $2000/45570 = 0,044$;

Создание 3-Д модели: $3240/45570 = 0,071$;

Расчёт напряжений: $1860/45570 = 0,04$

Информация об объекте, собранная в рамках предыдущих стадий, обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (Рис. 1):

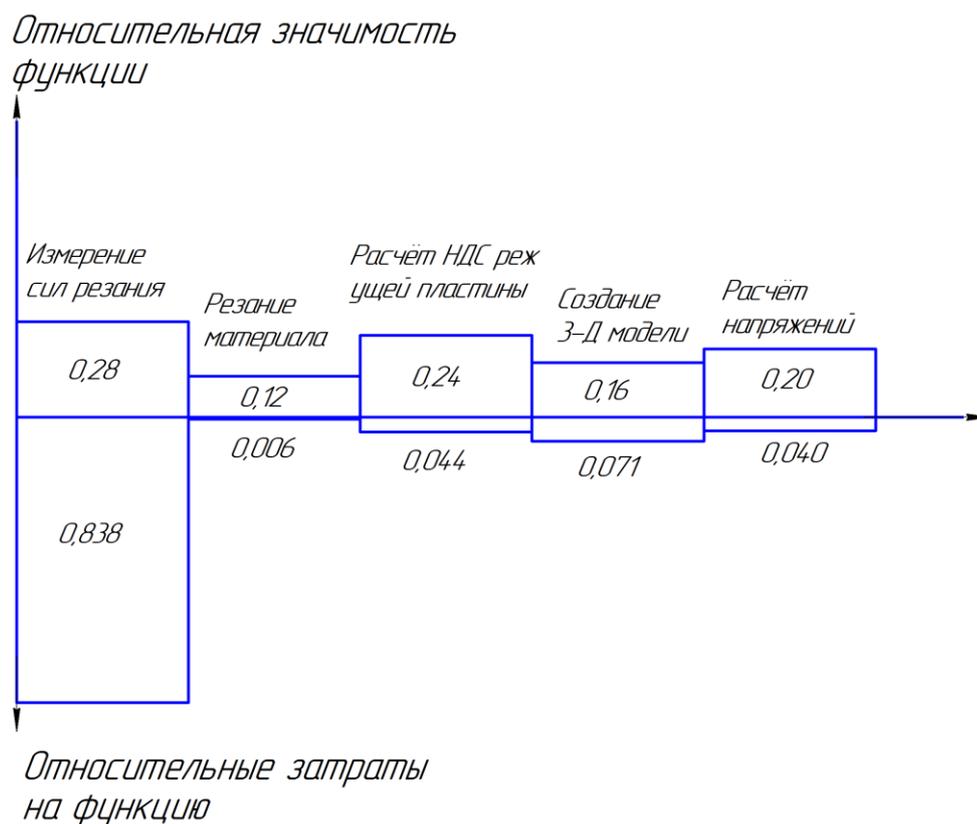


Рис.1 - Функционально-стоимостная диаграмма

Согласно вышеприведенной диаграмме, видно рассогласование по 1, 2, 3 пунктам. Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги:

- применения принципиально новых конструкторских решений;
- оптимизации технических параметров;
- применения новых техпроцессов, заготовок и материалов;
- унификации сборочных единиц и деталей;

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

11.2.5. SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 11.8.

Таблица 11.8. – Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
<p>C1. Удобство измерения сил резания.</p> <p>C2. Высокая точность расчёт НДС режущей пластины.</p> <p>C3. Эффективность расчёта на прочности режущей пластины.</p> <p>C4. Получение оптимальных гометрических размеров режущей пластины зуб фрезы.</p> <p>C5. Универсальность исследования.</p>	<p>Сл1. Дороговизна динамометра Kistler.</p> <p>Сл2. Трудность измерения поворотных сил.</p> <p>Сл3. Сложность настройки программ</p>
Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
<p>V1. С развитием компьютерных технологий появляются новые программы для выполнения МКЭ.</p> <p>V2. Новые динамометры для разных видов обработки.</p> <p>V3. Повышение требования к прочности инструментов</p> <p>V4. Сокращение инструментальных материалов</p>	<p>У1. Появление новых высокопрочных материалов.</p> <p>У2. Трудность обработки режущих пластин с расчётными размерами.</p> <p>У3. Недоверие к результатам расчёта.</p> <p>У4. Появление альтернативных методов расчёта.</p>

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках

данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах ниже.

Таблица 11.9. – Интерактивная матрица проекта
«Сильные стороны и возможности».

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	+	+	-
	B2	+	-	+	0	+
	B3	-	-	-	+	-
	B4	-	-	-	+	-

Таблица 11.10. – Интерактивная матрица проекта
«Слабые стороны и возможности».

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	+
	B2	+	+	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	-

Таблица 11.11. – Интерактивная матрица проекта
«Сильные стороны и угрозы».

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	+	-
	У2	-	-	-	+	+
	У3	-	+	+	+	+
	У4	-	+	+	-	+

Таблица 11.12. – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы».

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

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 11.13.

Таблица 11.13. – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны НИ проекта:</p> <p>С1. Удобство измерения сил резания.</p> <p>С2. Высокая точность расчёт НДС режущей пластины.</p> <p>С3. Эффективность расчёта на прочности режущей пластины.</p> <p>С4. Получение оптимальных гометрических размеров режущей пластины зуб фрезы.</p> <p>С5. Универсальность исследования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Дороговизна динамометра Kistler.</p> <p>Сл2. Трудность измерения поворотных сил.</p> <p>Сл3. Сложность настройки программ</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. С развитием компьютерных технологий появляются новые программы для выполнения МКЭ.</p> <p>В2. Новые динамометры для разных видов обработки.</p> <p>В3. Повышение требования к</p>	<p>В1С2С3С4</p> <p>В2С1С3С5</p> <p>В3С4</p> <p>В4С4</p>	<p>В1Сл3</p> <p>В2Сл1Сл2</p>

прочности инструментов В4. Сокращение инструментальных материалов		
Угрозы: У1. Появление новых высокопрочных материалов. У2. Трудность обработки режущих пластин с расчётными размерами. У3. Недоверие к результатам расчёта. У4. Появление альтернативных методов расчёта.	У1С3С4 У2С4С5 У3С2С3С4С5 У4С2С3	У4Сл2Сл3

11.3. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

11.3.1. Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о

заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в табл. 11.14.

Таблица .11.14. – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель	Расчёт НДС режущей пластины и получение оптимальные размеры режущего клина
Инженер	Магистерская диссертация

В табл.11.5. представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица .11.15 .– Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Исследование прочности концевой фрезы методом конечных элементов с помощью программы ANSYS
Ожидаемые результаты проекта:	Получение расчёта НДС режущей пластины фрезы и оптимальные размеры режущего клина зуб фрезы
Критерии приемки результата проекта:	Режущие клины должны быть достаточно надежными и экономичными
Требования к результату проекта:	Требование:
	Выполнение моделирования фрезерования и измерение сил резания
	Исследование распределения контактных нагрузок на поверхности инструмента
	Создание 3D модель режущего клина
	Расчёт НДС режущей пластины
	Получение выводов и оформление магистерской диссертации

11.3.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто

будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 11.16.).

Таблица.11.16. – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Го Инбинь, магистрант кафедры ТМСР ИШНПТ ТПУ	Исполнитель	1. Измерение сил резания. 2. Исследование контактной напряжений. 3. Создание 3D модель и исследование НДС режущей пластины. 4. Составление отчета.	1300
2	Козлов В.Н. к.т.н. Доцент кафедры ТМСР ИШНПТ ТПУ	Научный руководитель	1. Консультация по теоретической части проекта. 2. Помощь в измерении сил и анализе расчётных графиков. 3. Помощь в проведении анализа испытания и оформлении отчета.	500
ИТОГО:				1800

11.3.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица .11.17. – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	300000руб
3.1.1. Источник финансирования	ТМСР. ИШНПТ
3.2. Сроки проекта	-
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10.2016
3.2.2. Дата завершения проекта	05.2018
3.3. Прочие ограничения и допущения	-

11.4. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

11.4.1. Иерархическая структура работ НТИ

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис.1 представлен ИСР по проекту исследования прочности фрезы МКЭ.

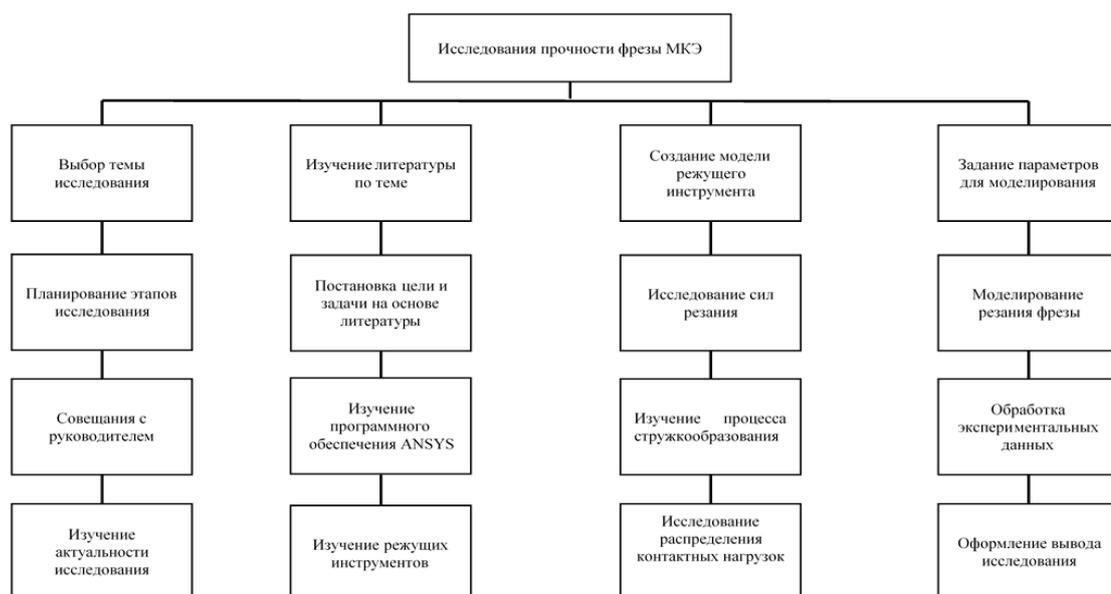


Рис.2. – ИСР по проекту исследования прочности фрезы МКЭ

11.4.2. Контрольные события НТИ

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информацию необходимо свести в таблицу 11.18.

Таблица .11.18. – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий)
-------	---------------------	------	----------------------------

			документ)
1	Написание текста об обзоре материала, знакомство с тематикой исследования	11.2016	НИРС
2	Знакомство с этапом эксперимента и программным обеспечением	04.2017	НИРС
3	Моделирование процесса фрезерования и измерение сил резания	07.2017	Научно-исследованная практика
4	Исследование контактной напряжений на рабочей поверхности инструмента	11.2017	НИРС
5	Исследование НДС режущего клина зуб фрезы	03.2018	НИРС

11.5. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в табл. 11.19.

Таблица 11.19. – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Выбор темы исследования	6	28.09.2016	04.10.2016	Козлов В.Н.
2	Постановка целей и задач	2	04.10.2016	06.10.2016	Козлов В.Н. Го Инбинь
3	Формирование плана исследования	2	09.10.2016	11.10.2016	Козлов В.Н. Го Инбинь
4	Изучение актуальности исследования	7	11.10.2016	18.10.2016	Го Инбинь
5	Изучение литературы	14	18.10.2016	1.11.2016	Го Инбинь
6	Постановка этапов эксперимента	7	1.11.2016	8.11.2016	Козлов В.Н. Го Инбинь
7	Измерение сил резания	21	8.11.2016	29.11.2016	Козлов В.Н. Го Инбинь
8	Обработка экспериментальных данных	10	29.11.2016	9.12.2016	Го Инбинь
9	Исследование влияния подачи на силу резания	15	6.3.2017	21.3.2017	Козлов В.Н. Го Инбинь
10	Исследование влияния	6	21.4.2017	27.4.2017	Козлов В.Н.

	длины фаски на силу резания				Го Инбинь
11	Исследование распределения контактных нагрузок	27	1.9.2017	28.9.2017	Козлов В.Н. Го Инбинь
12	Создание 3D модель режущего клина	15	15.11.2017	30.11.2017	Го Инбинь
13	Расчёт НДС режущей пластины с помощью ANSYS	9	20.2.2018	29.2.2018	Го Инбинь
14	Исследование НДС режущей пластины	6	4.3.2018	10.3.2018	Козлов В.Н. Го Инбинь
15	Анализ результатов	14	11.3.2018	25.3.2018	Козлов В.Н. Го Инбинь
16	Оформление вывода и пояснительной записки	15	5.4.2018	20.4.2018	Козлов В.Н. Го Инбинь

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам(10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

11.6. Бюджет научного исследования

Расходные материалы:

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в табл. 11.21.

Таблица .11.21 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Лицензия программой	2000	1 экз.	2000
Бумага для принтера формата А4	250	2уп.	500
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Оплетка для расчетно-пояснительной записки	300	1 шт.	300
Всего за материалы			3850
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			193
Итого:			4043

Основная заработная плата:

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя и инженера (магистранта) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. $F_d = 1790$ рабочих дней.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b * (k_{пр} + k_d) * k_p$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 11.22.

Таблица 11.22 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33163	1,2	1,1	1,3	99157,28	576,11	70	40328
Инженер	14874	1,2	1,1	1,3	44473,26	258,4	170	43928

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,1 \cdot 84256 = 8425,6 \text{ руб.}$$

Расчет отчислений от заработной платы

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где: $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 92681,6 = 27804 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot C_{OB}}{F_D} \cdot t_{рф} \cdot n,$$

где N_A – годовая норма амортизации, $N_A = 25\%$;

C_{OB} – цена оборудования, $C_{OB} = 40000$ руб.;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{рф} = 650$ часа;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 40000 \cdot 1 \cdot 650}{2384} = 2726,51 \text{руб.}$$

Расчет прочих расходов

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

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

Подставим значения и вычислим:

$$C_{\text{проч.}} = (4043 + 92681,6 + 27804 + 2726,51) \cdot 0,1 = 12726 \text{руб.}$$

Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица .11.23. – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	4043
Зарботная плата	$C_{\text{ЗП}}$	92681,6
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	27804
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2726,51
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	12726
Итого:		139981

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 139981$ руб.

11.7 Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. с целью получения определенного результата в будущем. Отличительными особенностями инвестиций, особенно когда речь идет о вложениях в нематериальные активы в форме НИР являются:

- результат может быть получен в течение ряда последующих лет в общем случае – на протяжении жизненного цикла создаваемой системы;
- результаты инвестиций содержат элементы риска и неопределенности;
- связывание на некоторое время финансовых средств инвестора.

Однако в данной работе провести оценку экономической эффективности проекта не представляется возможным.

Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i,$$

где: R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта,

в баллах.

Таблица 11.24 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та n_i
1. Уровень новизны	0,4
2. Теоретический уровень	0,1
3. Возможность реализации	0,5

Таблица 11.25 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 11.26 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между	8

факторами с наличием объяснений	
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 11.27 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Таблица 11.28 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Таблица 11.29 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	4	Расчёт НДС режущей пластины фрезы и исследование прочности режущего клина зуб фрезы МКЭ с помощью программы ANSYS; получение оптимальных геометрических параметров режущих пластин.
Теоретический уровень	0,1	Элементарный анализ связей между фактами	2	Концевая фреза широко используется для обработки уступов, пазов и плоскостей.
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Быстро и точно выполнить с помощью программы ANSYS.

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для нашего про-екта составляет:

$$K_{\text{нту}} = 0,4 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10 = 1,6 + 0,2 + 5 = 6,8$$

Таким образом, исходя из данных таблицы 11.18, данное исследование имеет средний уровень научно-технического эффекта.

11.8 Реестр риска проектов

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 11.30 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технический	Большие погрешности измерения сил резания	4	4	Средний	Использовать более точный динамометр	Ошибки расчёта НДС режущей пластины
2	Технический	Влияние режима резания на силы	4	4	Средний	Проводить серию экспериментов	Влияние температуры и износа на силы резания
3	Технический	Слишком много программных (ANSYS) вычислений	2	4	Средний	Оптимизация 3D модели; снижение количества конечных элементов	Крушение программы (ANSYS) и потеря данных
4	Технический	Программные погрешности в расчёте НДС режущей пластины	2	3	Низкий	Сравнить результаты с другим программным обеспечением	Изменение геометрических размеров режущего клина

11.9 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 11.31 – Сравнительная оценка характеристик вариантов

	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	5
Удобство для установки	0,1	5	5
Эффективность	0,2	4	2
Надежность	0,25	4	3
Точность обработки	0,15	2	2
Энергосбережение	0,05	1	1
ИТОГО	1	3,9	3,25

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,05 = 3,9;$$

$$I_m^a = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,05 = 3,25.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a},$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ - сравнительная эффективность проекта;

Таблица 11.32 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,58	0,47
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,25	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,60	8,30
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,48	

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

Таким образом, исполнение разработки является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнениями аналога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с.
2. 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.
3. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.
4. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.
5. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М.: Машгиз, 1962. 152 с.
6. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
7. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.Н., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Подред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352 с.
8. 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.

9. Верещака Д.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
10. Виноградов А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых материалов твердосплавными сверлами. Киев: Наукова думка, 1985. 263 с.
11. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
12. Kozlov V. N., Li X. Influence of chip formation characteristics on flank contact load distribution in titanium alloy cutting / V. N. Kozlov, X. Li. // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. – Vol. 756: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014). – pp. 126-131.
13. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. 367 с.
14. Кожевников Д.В. Некоторые вопросы механики процесса косоугольного резания стали. // Известия вузов. Машиностроение. 1960, № 6, С.139...148.
15. Narutaki N et al 1983 CIRP Annals - Manufacturing Technology 32(1) 65–69
16. Wang B et al 2013 International journal of Machine Tools & Manufacture 73 1–8
17. Hu J and Chou Y 2007 Wear 263(7-12) 1454–1458
18. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

- 18.Афонасов А. И. Обрабатываемость заготовок из титанового сплава BT22, прошедших горячую обработку с защитными покрытиями / А. И. Афонасов // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – № 8. – С. 18-21.
- 19.Верещака А. С., Аникеев А. И., Дачева А. В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов / А. С. Верещака, А. И. Аникеев, А. В. Дачева // Технология машиностроения. – 2010. – № 3. – С.17-22.
- 20.Che-Haron C. H. Tool life and surface integrity in turning titanium alloy / C. H. Che-Haron // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – № 3 – pp. 231-237.
- 21.Narutaki N., Murakoshi A., Motonishi S., Takeyama H. Study on machining of titanium alloys. CIRP Annals / N. Narutaki, A. Murakoshi, S. Motonishi, H. Takeyama // Manufacturing Technology. – 1983. – № 1 – pp. 65-69.

22. Mohammadpour M., Razfar M. R., Jalili Saffar R. Numerical investigating the effect of machining parameters on residual stresses in orthogonal cutting / M. Mohammadpour, M. R. Razfar, R. Jalili Saffar // Simulation modelling practice and theory. – 2010 – № 18 – pp. 378–389.
23. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969. -150 с.
24. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. М.: Машиностроение, 1967. 416с.
25. Режимы резания металлов: Справочник Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.
26. Резание и инструмент / Под ред. А.М. Розенберга. М.: Машиностроение, 1964. 228 с.
27. Титов В. Б., Ревин Н. Н., Зубарев Ю. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка хрупкой прочности режущего инструмента / В. Б. Титов, Н. Н. Ревин, Ю. М. Зубарев // Инструм. и технол. – 2004. – № 17-18. – С. 227-233. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
28. Розенберг А.М. Динамика фрезерования. М.: Советская наука. 1945.360 с.
29. Shi B., Attia H. Modeling the thermal and tribological processes at the tool-chip interface in machining / B. Shi, H. Attia // Mach. Sci. and Technol. – 2009. – V. 13; № 2. – pp. 210-226.

- 30.Новиков Г. В., Снисаренко И. Н. Повышение прочности и износостойкости режущего инструмента / Г. В. Новиков, И. Н. Снисаренко // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Ч. 1: Материалы 6 Международной научно-технической конференции, Курск, 18-20 дек., 2008. – Курск, 2008. – с. 218-224.Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под общ.ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.
- 31.Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ.ред. И.А. Ординарцева. Л. : Машиностроение, 1987. 846 с.
- 32.Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ.ред. В.А.Гречишникова и С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006. 720 с.
- 33.Аршинов С. В., Горелов В. А., Кушнер В. С., Бургонова О. Ю. Сопротивление титановых сплавов резанию / С. В. Аршинов, В. А. Горелов, В. С. Кушнер, О. Ю. Бургонова // Вестник машиностроения. – 2015. – № 10. – С. 75-80.
- 34.Vichev S., Kirov V., Hristov D. Strength calculation of cutting tools / S. Vichev, V. Kirov, D. Hristov. // International Journal of Machine Tools and Manufacture. Volume 34, Issue 1, January 1994. pp. 13-18.
- 35.Oraby S. E., Hayburst D. R. Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation / S. E. Oraby, D. R. Hayburst //

- International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, (2004), pp. 1261-1269. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. Минск: Новое знание, 2005. 512 с.
36. Хуан Ч., Цуй Ц., Чжан Ц., Козлов В.Н. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента / Наука и образование: Материалы XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (18-22 апреля 2016 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2016, с. 69-75.
37. Z. Huang, J. Zhang, V. Kozlov Strength of inserts in titanium alloy machining / Mechanical Engineering Processes and Metal Treatment (MEACS 2015) 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 124 012174, Vol. 124, Number 1, 2016, pp. 162-167.
38. Хуан Ч., Чжан Ц., Лещинер Е.Г., Козлов В.Н. Прочность режущих пластин при обработке титанового сплава / Профессиональное образование: проблемы и достижения: Материалы V Международной научно-практической конференции (15–17 декабря 2015 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2015, с. 59-65.
39. Хуан Ч., Чжан Ц., Лещинер Е.Г., Козлов В.Н. Расчёт прочности режущих пластин при обработке титанового сплава / Актуальные проблемы в машиностроении: Материалы III Международной научно-практической

- конференции «Актуальные проблемы в машиностроении» (30 марта 2016 г.) – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2016, с. 59-65.
- 40.Справочник технолога – машиностроителя. В 2 – х Т. 2/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мешерякова. – 4-е изд., перераб. И доп., М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
- 41.Poletika M F and Krasilnikov V A 1971 Dynamometer for measurement of force and stresses over a rake surface of cutter (Machine tools and cutting tools, vol 2) pp 37–38
- 42.Trent, E.M., Wright, P.K. Metal Cutting. fourth ed. Butterworth-Heinemann, Boston, 2000
- 43.Proskokov A V and Petrushin S I 2012 Chip Formation with a Developed Plastic-Deformation Zone (Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, vol 2, pp 173-177
- 44.Ostafjiev V A et al 1976 Physical fundamentals of metals cutting processes (Kiev: Visha shkola)
- 45.Hu J and Chou Y 2007 Characterizations of cutting tool flank wear-land contact (Wear, 263, Iss. 7-12) pp 1454-1458
- 46.Sun S, Brandt M, Mo J P T 2014 Evolution of tool wear and its effect on cutting forces during dry machining of Ti-6Al-4V alloy. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol 228, Iss. 2, Febr. 2014, pp 191-202

47. Kozlov V N 2012 Flank contact load distribution at cutting tool wear
(Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012,
[6357713]
48. Afonarov A and Lasukov A 2014 Elementary Chip Formation in Metal Cutting
(Russian Engineering Research vol 3) pp 152-155
49. Merchant M E, Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting
and a type 2 chip, J. Appl. Phys. 16 Iss 5 267-275.
50. Кнышова Е. Н. Экономика организации : учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е.
Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. –
Профессиональное образование.
51. Бочаров В. В. Инвестиции : учебник для вузов / В. В. Бочаров. – 2-е изд. –
СПб: Питер, 2009. – 381 с. – Учебник для вузов.
52. Староверова Г. С. Экономическая оценка инвестиций : учебное пособие / Г.
С. Староверова, А. Ю. Медведев, И. В. Сорокина. – 2-е изд., стер. – Москва:
КноРус, 2009. – 312 с
53. Несветаев Ю. А. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Ю.
А. Несветаев; Московский Государственный индустриальный университет;
Институт дистанционного образования. – 3-е изд., стер. – Москва: Изд-во
МГИУ, 2006. – 162 с.
54. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах :
учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол:
ТНТ, 2012. – 192 с.

55. Голосовский С. И. Эффективность научных исследований в промышленности / С. И. Голосовский. – Москва: Экономика, 1986. – 159 с.
56. Мигуренко Р. А. Научно-исследовательская работа: учебно-методическое пособие / Р. А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.