

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Решение технологических проблем при обработке литого корпуса

УДК: 621.914.2:62-21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжоу Вэньсюань		05.06.21

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук ШБИП, доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		22.05.21

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин ШБИП, старший	Скачкова Лариса Александровна			22.05.21

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

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2021 г.

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП 15.04.01

_____ Мартюшев Н.В..

«___» _____ 2021

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Чжоу Вэньсюань

Тема работы:

Решение технологических проблем при обработке литого корпуса	
Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)	12.04.2021 №102-33/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Чертёж детали «Корпус датчика давления», годовая программа выпуска 9 шт.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Формулирование цели и задач исследования. Обзор и анализ научно-технической литературы по теме ВКР. Назначить рациональный способ получения исходной заготовки и разработать технологический процесс обработки детали. Назначить рациональные виды обработки проблемных поверхностей заготовки и определить необходимые исходные данные для расчета напряжённо-деформированного состояния (НДС) используемых для этого режущих инструментов. Повысить надёжность работы используемых режущих инструментов при обработке проблемных поверхностей.

	<p>Измерить технологические составляющие силы резания при обработке проблемных поверхностей заготовки.</p> <p>Рассчитать физические составляющие силы резания и определить распределение контактных напряжений (построить их эпюры) на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности.</p> <p>Определить зависимость основных параметров эпюр от толщины среза и величины переднего угла.</p> <p>Исследовать НДС используемых режущих инструментов при обработке проблемных поверхностей с помощью программы ANSYS.</p>
--	--

Перечень графического материала	Слайды по литературному обзору, техпроцесс обработки литой заготовки, графики влияния толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, эпюры контактных напряжений на передней и задней поверхностях, влияние переднего угла и толщины среза на картины НДС режущих инструментов при обработке проблемных поверхностей.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

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

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:

Solve the problem of casting process

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.18
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		10.10.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжоу Вэньсюань		10.10.2018

Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности

ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия

ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

РЕФЕРАТ

выпускной квалификационной работы студента гр. 4АМ91 Чжоу Вэньсюань

Решение технологических проблем при обработке литого корпуса

Выпускная квалификационная работа выполнена на 172 страницах, содержит: 79 рисунков, 17 таблицы, 24 источников.

Ключевые слова: строгальный резец, узкая канавка, обработка чугуна, контактное напряжение, износ режущего инструмента, прочность режущего инструмента, напряженно-деформированное состояние режущего инструмента.

Предметом исследования является деталь «Корпус датчика давления», длинная цельная концевая фреза $\varnothing 8$ мм, строгальный резец.

Цель работы – подтверждение квалификации «Магистр техники и технологий» по направлению «Машиностроение и автоматизация производства» 15.04.01. В процессе исследования была рассмотрена и проанализирована научно-техническая литература по теме магистерской диссертации, определены цель и задачи исследования. В работе рассмотрены методы обработки узких канавок: маложесткая концевая фреза и строгальный резец. Рассматривается влияние толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, параметры эпюр контактных напряжений на передней и задней поверхностях, влияние режимов резания и состояние режущего инструмента на его НДС. Приведены экспериментальные данные стойкости фрезы и определен наилучший режим резания.

В эксперименте используется токарный станок 1К62,

трехкомпонентный токарный динамометр Kistler и программа ANSYS для измерения силы резания.

В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент, выполнен SWOT анализ выполнения исследовательской работы.

Результаты работы позволят использовать рациональные геометрические параметры режущего инструмента и режимы резания при обработке чугуна СЧ20 для повышения работоспособности концевых фрез и узкого строгального резца.

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

Область применения: производство машиностроительной продукции.

Экономическая значимость работы достаточно высокая.

В будущем планируется участвовать в организации производства фрез и специальных строгальных резцов с режущими твердосплавными пластинами.

SUMMARY

final qualifying work of the student gr.4AM91 Zhou Wenxuan

Solve the problem of casting process

The Final Qualifying Work (Diploma Thesis) is executed on 172 pages of the explanatory note, contains: 79 figures, 17 tables, 24 sources.

Keywords: face mill, planer cutter, Narrow groove, cast iron machinability, contact stress, cutting tool wear, cutting tool strength, cutting tool strain stress

the subject of research is a planing cutter with mechanical fastening of the cutting blade.

Purpose of work - Confirmation of qualification "Master of Engineering and Technology" in the direction of "Mechanical Engineering and Industrial Automation" 15.04.01. In the course of the research, the scientific and technical literature on the topic of the master's thesis was reviewed and analyzed, the purpose and objectives of the research were explained. The paper introduces a method of processing narrow grooves, which is used for face mills, and for hard-to-reach places - planers. The influence of the cut thickness and rake angle on the chip contact length, the parameters of the contact stress map of the front and rear surfaces, and the value added tax map for cutting are considered. Experimental data on the durability of the cutter are given and the best cutting mode is determined.

The experiment uses a 1K62 lathe, a Kistler three-piece dynamometer and ANSYS software for calculating value added tax for a cutting board.

In the work, the necessary economic parameters were determined, such as processing productivity, processing costs, tool costs.

The results of the work will make it possible to use rational geometric parameters of the SMP and cutting modes when processing steel cutting to improve the performance of end mills with mechanical fastening of cutting inserts.

Degree of implementation: based on the results of the defense of work at the state attestation commission, it will be decided whether the development should be recommended for implementation in production at LLC "Mion", Tomsk.

Scope: production of engineering products. The economic significance of the work is quite high.

Содержание

Введение	12
1. Цель и задачи исследования.....	14
2. Литературный обзор.....	15
2.1. Особенности обработки чугуна.....	15
2.2. Исследование распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях.....	36
2.3. Исследование процесса стружкообразования	38
2.4. Измерение длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента.....	39
2.5. Исследование изменения сил резания при сливном и элементном стружкообразовании.....	40
2.6. Влияние подачи, глубины и скорости резания на силы и температуру резания.....	41
2.7. Анализ напряжений в режущем клине методом конечных элементов (МКЭ).....	43
2.8. Влияние вида внешнего нагружения на НДС режущего клина.....	46
3. Разработка технологического процесса обработки детали.....	48
3.1. Технологический раздел.....	48
3.2. Разработка маршрута технологии изготовления детали.....	59
4. Методика выполнения исследования.....	63
4.1. Исследование фрезерования.....	63

4.2. Проектирование цельной фрезы.....	72
4.3. Расчёт силы резания, действующей на зуб фрезы	72
5. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений.....	79
6. Определение параметров эпюр контактных напряжений.....	85
7. Расчёт прочности концевой фрезы.....	88
8. Расчёт строгального резца.....	91
9. Расчёт физических составляющих силы резания, действующих на ограниченных участках контакта стружки.....	96
10. Расчёт внутренних напряжений и деформаций в режущем клине при строгании.....	101
11. Исследования НДС изношенного по задней поверхности инструмента	105
Раздел на иностранном языке.....	113
Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	124
Раздел «Социальная ответственность».....	147
Список литературы.....	164
Приложение А.....	167

Введение

В машиностроении большое значение придают повышению производительности инструментов. Для труднодоступных мест необходимо выбрать подходящие инструменты в соответствии с формой обрабатываемых деталей. Необходимо проанализировать напряженно-деформированное состояние (НДС) режущей части инструмента и найти рациональную конфигурацию и геометрию для повышения эффективности производства.

В данной работе было исследовано распределение контактных напряжений на рабочей поверхности, которое является составной частью нагружения модели режущего инструмента внешней нагрузкой с последующим расчетом внутреннего напряжения методом конечных элементов (МКЭ).

По мере увеличения подачи увеличивается контактное напряжение на передней поверхности. Знание максимальных нормальных и касательных контактных напряжений позволит оценить прочность инструментальных материалов по отношению к этим нагрузкам. Другая проблема заключается в том, что при обработке на задней поверхности появляется фаска износа, поэтому на ней увеличивается контактное напряжение. В большинстве случаев нагрузка увеличивается со стороны задней поверхности, что является причиной поломки режущего инструмента.

Несмотря на множество исследований в этой области, влияние геометрии инструмента на внутренние напряжения ещё недостаточно изучено.

Использование программного обеспечения ANSYS для построения математической модели МКЭ для расчета позволяет в данной работе проанализировать влияние геометрии и способа резания режущего инструмента на напряженно-деформированное состояние режущего клина и всего инструмента.

1. Цель и задачи исследования

Цель работы: обеспечить требуемую точность обработки литой заготовки и повысить надежность работы режущих инструментов.

Задачи исследования:

1. анализ литературы по обработке чугуна и исследованию прочности и долговечности режущих инструментов;
2. измерение силы резания и длины контакта между стружкой и передней поверхностью режущего инструмента;
3. определение эмпирической формулы для расчета длины контакта стружки с поверхностью резца при различных условиях резания;
4. определение эмпирической формулы для расчета параметров эпюр контактных напряжений;
5. исследование НДС режущих инструментов при обработке чугуна методом конечных элементов (МКЭ);
6. определение влияния различных условий резания на НДС режущих инструментов;
7. Дать практические рекомендации по использованию результатов исследований в ВКР.

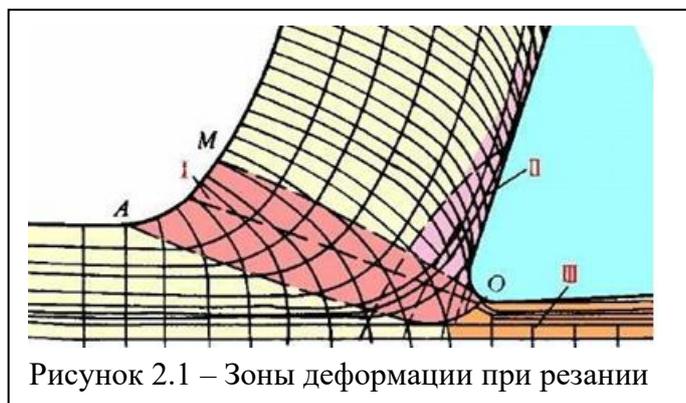
2. Литературный обзор

2.1. Особенности обработки чугуна

Процесс резания материалов является процессом глубокого пластического деформирования и разрушения, сопровождаемый трением стружки о переднюю поверхность режущего клина и трением задней поверхности инструмента о поверхность резания, происходящих в условиях высоких давлений и скоростей деформации. Затрачиваемая при этом механическая энергия превращается в теплоту, которая, в свою очередь, оказывает большое влияние на закономерности деформирования срезаемого слоя, силы резания, износ и стойкость инструмента.

Образующаяся при резании стружка несёт информацию о процессах, происходящих при резании, поэтому подвергается пристальному изучению.

В процессе резания между материалом заготовки и образовавшейся стружкой располагается переходная зона с более или менее четкими границами, называемая зоной стружкообразования. Зону резания металла можно условно

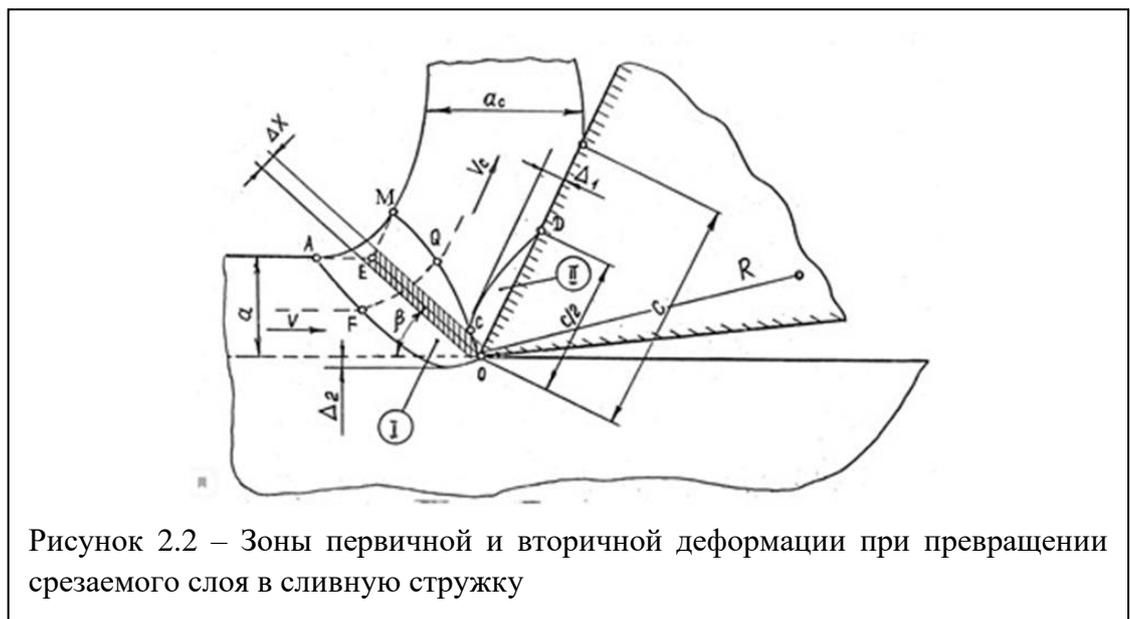


разделить на три зоны деформации (рис. 2.1).

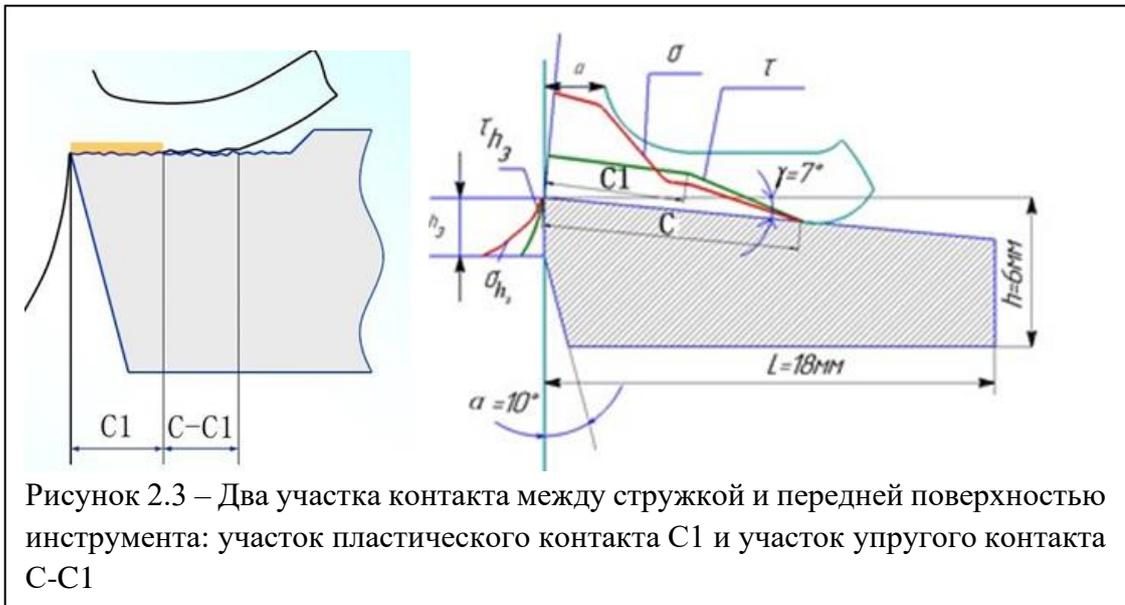
Зона I (OAM) - зона первичной деформации. OA-это нижняя граница зоны первичной деформации, а OM – это верхняя граница зоны первичной деформации. На нижней границе OA находятся недеформированные зерна

металла срезаемого слоя. Верхняя граница OM – зерна металла, принадлежащие стружке.

Зерно срезаемого слоя перемещается относительно инструмента со скоростью резания V , начинает деформироваться в точке F , а заканчивается в точке Q , где зерно приобретает скорость V_c равную скорости стружки (рис. 2.2).



Зона контакта стружки с передней поверхностью в основном создает сопротивление трению инструмента и приводит к износу передней поверхности инструмента. В зависимости от длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента эту зону можно разделить на два участка. Первый участок - это участок пластического контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента c_1 , второй участок – это участок упругого контакта, он по длине равен разности $c - c_1$;



Тип стружки зависит от многих условий, но в основном от обрабатываемого материала и режима резания. При обработке пластичных металлов обычно образуется сливная стружка, а элементная стружка образуется при обработке металлов хрупких и средней твёрдости (рис.2.3.1.).

Сливная стружка (рис. 2.4. а) представляет собой непрерывную ленту, которая в зависимости от условий схода по передней поверхности инструмента может быть прямой, спиральной или в виде хаотических завитков.



Прирезцовая сторона стружки, прилегающая к передней поверхности инструмента, гладкая, блестящая, а внешняя сторона 2 - в виде мелких, постоянно чередующихся зубчиков. Цвет стальной стружки в зависимости от температуры резания изменяется от серебристо-белого и жёлтого до

матово-серого и синего. Форма и размеры поперечного сечения стружки по всей длине постоянны, что свидетельствует о стабильности деформации, происходящей при образовании такой стружки. Сливная стружка встречается при резании пластичных металлов в основном на больших скоростях, малых и средних подачах, а также при положительных передних углах инструмента.

Элементная стружка (рис. 2.4, б) (иногда её называют стружкой скалывания) состоит из отдельных элементов (кусочков) металла l , не связанных или слабо связанных между собой прирезцовым слоем. Каждый элемент стружки при его формировании претерпевает значительную деформацию и становится в 2...3 раза твёрже по сравнению с исходной твёрдостью обрабатываемого материала. Вследствие этого срезаемый слой, проходя через так называемую поверхность скалывания mn , теряет свою пластичность и разрушается с определённой периодичностью [24].

Элементная стружка образуется при резании хрупких металлов (чугун, бронза и др.), а также при резании на невысоких скоростях пластичных металлов, при больших толщинах срезаемого слоя, малых передних углах, высокой твёрдости обрабатываемых металлов и других условиях, затрудняющих пластическую деформацию. Она часто образуется при обработке твердых конструкционных сталей пониженной пластичности с небольшими скоростями резания резцами при больших толщинах срезаемого слоя.

Стружка надлома образуется при обработке хрупких материалов. Под действием силы приложенной к инструменту, происходит надлом и

разрушение материалов.

Различают также суставчатую стружку, у которой элементы хорошо различимы, но плотно приварены друг к другу, поэтому такую стружку иногда называют псевдо сливной[6].

На вид стружки, кроме физико-механических свойств металла, влияет также режим резания, геометрия режущего инструмента, применяемые смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС).

Сливная стружка может запутаться или намотаться на заготовку, приспособление или инструмент, что способно вызвать поломку режущего инструмента, а порой и повреждение заготовки или станка, резко

увеличивается вероятность травмы рабочего. Поэтому стараются не допускать длинных стружек, для чего затачиваются

стружкозавивающие канавки, порошки, используются накладные стружколомы,

используется сильный напор

смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) или сжатого воздуха, специальные СОТС, изменяющие не только форму стружки, но и её характер.

Деталь, на которую в ВКР требуется спроектировать технологический процесс, отлита из серого чугуна СЧ20. При обработке чугуна в основном

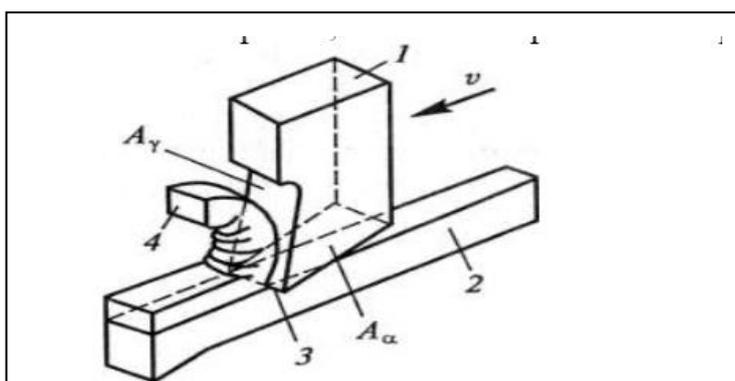


Рисунок 2.5 – Схема строгания пластины.

1 – державка (тело) резца; 2 – заготовка (пластина из обрабатываемого материала); 3 – лезвие (главная режущая кромка) резца; 4 – стружка. A_γ – передняя поверхность; A_α – главная задняя поверхность.

образуется элементная стружка, поэтому проблем с удалением стружки нет. Особенности обработки чугуна зависят от его марки. Марки **серого** чугуна обозначаются буквами СЧ (С – серый, Ч – чугун) и двумя цифрами, означающими предел прочности при растяжении. Например, СЧ 18 – серый чугун, предел прочности при растяжении 180 МПа. В зависимости от механических свойств различают серые чугуны малой (СЧ10...СЧ18) и повышенной (СЧ20...СЧ35) прочности. Для изготовления деталей машин чаще применяют чугун марок СЧ15; СЧ20; СЧ30 и реже – чугун марки СЧ35. Твердость серого чугуна HB 163... 269.

На обрабатываемость литых заготовок из серого чугуна резанием существенно влияет поверхностный слой металла — литейная корка, толщина которой 0,15...0,5 мм, а твердость HB 285...321. По мере удаления от поверхности твердость чугуна снижается (HB 187...229). Скорость резания в зоне литейной корки на 20...30 % меньше скорости резания внутренних слоев металла. Высокотемпературный отжиг чугунных отливок позволяет увеличить скорость резания в 1,5...2 раза.

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом, в котором содержание последнего превышает 2,14%. Свойства чугуна сильно зависят от технологии изготовления. Чем больше различных материалов в расплаве, тем менее предсказуемы свойства чугуна на выходе, а это серьезно усложняет последующую механическую обработку. Несмотря на это получающийся металл, с экономической точки зрения, идеально подходит для изготовления больших партий деталей и широко используется в автомобильной

промышленности. Применяется множество видов чугуна, включая ковкий, белый, серый и высокопрочный (с шаровидным графитом).

Серый чугун – материал, из которого изготавливают множество автомобильных деталей, таких как блоки цилиндров ДВС, тормозные диски и головки блока цилиндров. Для изготовления автомобильных деталей часто применяется высокопрочный чугун. На его обработку, как правило, уходит в 3 раза больше инструмента, чем на обработку серого чугуна. Такое положение дел объясняется тем, что высокопрочный чугун содержит больше кремния и легирующих элементов, в виде труднообрабатываемых карбидов. Кроме того, графит в сером чугуне представлен в виде чешуек и достаточно легко обрабатывается резанием. В высокопрочном же чугуне графитовые включения имеют форму шара, окруженного оболочкой из карбида кремния.

Несмотря на то, что серый чугун легче обрабатывается резанием, есть некоторые трудности: при обработке выделяется значительное количество теплоты. Именно поэтому на **твердосплавные** пластины (обычно из ВК8, ВК6 или ВК4) для обработки чугуна наносится достаточно толстое многослойное покрытие (около 20 мкм), включающее слой оксида алюминия (Al_2O_3). Al_2O_3 защищает основу твердосплавной пластины от перегрева, кроме того, оксид алюминия химически стабилен: он не вступает в реакцию с чугуном, что позволяет избежать химического износа пластины. Твердосплавные пластины с таким покрытием работают на скоростях резания 300-450 м/мин.

Обработка высокопрочного чугуна твердосплавными пластинами ведется на скоростях 150 -250 м/мин, но для этого требуется покрытие, более стойкое к абразивному изнашиванию. Применяются покрытия, в которых Al_2O_3 чередуется с толстыми слоями TiCN (карбонитрид титана).

Свойства основы твердосплавной пластины имеют большое значение, поэтому по возможности выбирается **мелкозернистый** твердый сплав с тонким слоем кобальта прямо под покрытием (исключается микро выкрашивание основы).

Обработка без СОЖ. Обработка чугуна – в буквальном смысле грязное дело, так как при этом разрушается и превращается в пыль свободный графит. Пыль, оседая, загрязняет все пространство вокруг станка. Как правило, с этим борются путем применения СОЖ. На самом деле при обработке «всухую» повышается и производительность, и стойкость инструмента.

При использовании СОЖ могут появиться термические трещины из-за разницы температур, так как труднее всего подать СОЖ туда, где она действительно нужна, на режущую кромку. В результате разница температур между зонами пластины, куда СОЖ попадает и куда не попадает, значительна.

Применение СОЖ может также способствовать повторному перерезанию стружки при растачивании блока цилиндров ДВС. Так как тяжело направить СОЖ непосредственно в зону резания, она отражается от дна отверстия, поэтому приносит с собой абразивную стружку. Это снижает стойкость инструмента на 50 -75 процентов.

При обработке без СОЖ основные проблемы – большое количество пыли и выход размера за пределы поля допуска в результате нагрева заготовки в процессе обработки. Необходимой точности можно добиться путем увеличения подачи – деталь просто не будет успевать нагреваться.

Кубический нитрид бора. Кубический нитрид бора (эльбор) широко применяется при обработке серого и отбеленного чугуна. Высокопрочный чугун им не так часто обрабатывают из-за большого содержания феррита. Для серого чугуна содержание феррита должно быть ниже 10%, а лучше ниже 5%. В противном случае стойкость будет невелика. При содержании свободного феррита менее 5% скорость резания составит 1000 -1500 м/мин, в зависимости от условий обработки. Содержание феррита зависит во многом от времени года, в которое произведены отливки, связано это со временем охлаждения. Зимой феррита много, а летом мало.

Высокопрочный чугун также обрабатывают кубическим нитридом бора. Это оправдано при замене шлифования резанием или при невозможности получения требуемого качества поверхности с помощью твердого сплава. Скорость резания составляет 120 -200 м/мин.

При обработке чугуна кубическим нитридом бора рекомендуется подача не менее 0,1 мм/об, а глубина резания 0,1 -3 мм. Подачу необходимо увеличивать до тех пор, пока позволяет качество получаемой поверхности – улучшится и производительность, и стойкость.

Для принятия решения использовать ли твердый сплав или кубический нитрид бора необходимо в первую очередь знать объем партии:

чем она больше, тем выгоднее использовать кубический нитрид бора. В сравнении с твердым сплавом или керамикой скорость резания в 2, 3 или даже 4 раза выше. В то же время стойкость также увеличивается. При использовании кубического нитрида бора производительность увеличивается в 5 -10 раз.

Часто кубический нитрид бора используют, когда успех операции зависит в первую очередь от стойкости инструмента. При этом достигается высокое качество и уменьшается количество брака. Инструмент из кубического нитрида бора стоит дороже твердосплавного, но при правильном его использовании себестоимость изготовления одной детали получается ниже.

При обработке материалов на основе железа инструмент из поликристаллического алмаза используют очень редко из-за риска графитизации. Если же температура в зоне резания будет оставаться ниже 700°С, то его применение может оказаться экономически эффективным. Для этого выбирается инструмент с нулевым наклоном режущей кромки и задним углом 10°, сама режущая кромка должна быть острой, любая фаска увеличивает сопротивление, а значит, и выделение тепла. Обязателен подвод СОЖ через инструмент, а также обильный наружный подвод СОЖ. Рекомендуемые режимы резания для серого чугуна: скорость резания 150 м/мин, подача 0,12 мм/об и глубина резания 0,25 мм. При этом достигается феноменальная стойкость. [Д. В. Тренёв, генеральный директор компании «Мир Станочника»].

При ориентировочных расчетах иногда принимают удельную силу резания при обработке чугуна $q_{Pz} = 900 \div 1500 \text{ Н/мм}^2$, а при обработке стали вдвое больше. По материалам шведской фирмы Sandvik Coromant для материалов группы **P** (сталь) $q_{Pz} = 1700 \div 2500 \text{ Н/мм}^2$, группы **M** $q_{Pz} = 2000 \div 3200 \text{ Н/мм}^2$, группы **K** $q_{Pz} = 1000 \div 1500 \text{ Н/мм}^2$.

При таком приближении расчет получается очень неточный, потому что удельная сила резания зависит от многих факторов. Она, например, зависит от величины подачи: при **малых** подачах **больше**, а при больших подачах меньше. Лучше пользоваться при определении значений удельных сил резания таблицами, которые приведены в справочниках по режимам резания.

$$\text{Удельная сила резания } q_{Pz} = q_{Pz \text{ табл}} \times K_1 \times K_2,$$

где $q_{Pz \text{ табл}}$ - табличное значение, Н/мм^2 ;

K_1 — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;

K_2 — коэффициент, зависящий от скорости резания и переднего угла при точении сталей твердосплавными инструментами.

Таблица 2.1 – Сила резания при обработке металлов

s , мм/об	Сила резания $P_{z \text{ табл}}$, Н, при глубине резания t , мм							
	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
0,06	75	15	30	45	60	75	90	150
0,08	80	170	330	500	650	850	1000	1700
0,1	90	180	360	550	700	900	1100	1800
0,2	150	300	600	900	1200	1500	1800	3000
0,4	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	5000
0,5	300	600	1200	1800	2400	3000	3600	6000

Таблица 2.2 – Величина коэффициента K_1

Инструментальный материал	Обрабатываемый материал, твёрдость, <i>НВ</i>						
	Сталь				Чугун серый		Алюминиевый сплав
	<i>156</i>	<i>170-229</i>	<i>207-269</i>	<i>285-321</i>	<i>163-229</i>	<i>235-295</i>	---
Быстрорежущая сталь	0,75	1,0	1,15	1,4	0,6	0,7	0,3
Твёрдый сплав	0,7	0,8	0,85	0,96			

Таблица 2.3 – Величина коэффициента K_2

Скорость резания v , м/мин	Передний угол γ , °		
	+10°	0°	-10°
100	1,0	1,1	1,2
200	0,9	1,0	1,1

Значительное влияние на силы резания оказывают физико-механические свойства обрабатываемого материала. При обработке хрупких металлов силы резания меньше, чем при обработке **пластичных металлов**. Например, при точении чугуна силы резания в 1,5-2 раза меньше, чем при точении стали. Это объясняется тем, что при обработке чугуна срезаемый слой мало деформируется. При обработке стали значительная часть работы затрачивается на пластическое деформирование срезаемого слоя. Кроме того, чугун обладает более низким пределом прочности, чем сталь.

При обработке пластичных металлов силы резания тем больше, чем больше склонность обрабатываемого материала к наклепу. В этом случае металл упрочняется, что увеличивает его сопротивляемость резанию. Например, при точении титанового сплава ВТ5 силы резания в 1,5 -1,8 раза

меньше, чем при точении стали 45, но предел прочности титанового сплава на 25% выше предела прочности стали 45. Силы резания также зависят от твердости и структуры металла. Чем мельче зерна, тем прочнее и тверже металл, а значит и больше силы резания.

Таким образом, величина сил резания является функцией комплекса физико-механических свойств и структуры металла. Поэтому существующие зависимости между силами резания и одной из основных характеристик металла — пределом прочности или твердости — являются приближенными.

Влияние скорости резания на силы резания такое же, как и на усадку стружки. Увеличение скорости резания в области исчезновения нароста приводит к уменьшению сил резания на 5-10%. При резании с малыми сечениями стружки и относительно большими скоростями резания ($V > 1,5$ м/с) и отсутствии нароста, кривая зависимости $P = f(V)$ не имеет горбообразной формы. Такой характер влияния скорости резания на усадку стружки сохраняется и для силовых зависимостей. В этом случае с увеличением скорости резания **силы резания** также снижаются.

Величина коэффициентов C_{pz} , C_{py} , C_{px} и показателей степени зависит от условий резания. Значения этих величин приводятся в справочниках по режимам резания.

При участии в работе только криволинейных участков лезвий силы резания, аналогично усадке стружки, температуре резания и другим параметрам, зависят от средней толщины среза.

Вспомогательный угол в плане и задний угол не оказывают

значительного влияния на силы резания.

Обрабатываемость различных марок чугуна

Чугун с пластинчатым графитом имеет очень хорошие свойства для механической обработки. Основной причиной продолжающегося в большом масштабе применения чугуна в машиностроении является не только низкая стоимость материала и процесса отливки, но так же и низкая стоимость окончательно обработанного изделия. Почти по всем критериям он имеет хорошую обрабатываемость — низкую скорость износа инструмента, высокую скорость съема металла, относительно низкие силы резания и затрачиваемую на резание мощность. Поверхность обработанного чугуна, скорее матовая по внешнему виду, является, однако, идеальной для многих поверхностей скольжения. Получаемая при обработке стружка сходит в виде очень мелких частиц, удаление которых из зоны резания может быть легко осуществлено даже при обработке с высокими скоростями резания. Обработка чугуна — в некоторой степени грязная и пыльная операция, связанная с присутствием в воздухе мелкой графитовой пыли, что требует применения определенных мер по защите оператора.

Подобно обработке других материалов, обработка чугуна характеризуется большим различием в поведении чугуна при срезании в плоскости сдвига и на поверхности раздела инструмента и заготовки. Наиболее важной особенностью является то, что разрушение в плоскости сдвига происходит с очень высокой частотой, вызванной присутствием пластинчатого графита. Это приводит к образованию стружки, состоящей из

очень небольших частиц длиной всего несколько миллиметров. Вследствие того, что стружка не сливная, длина контакта на передней поверхности очень небольшая, стружка тонкая и силы резания и затрачиваемая мощность низкие.

Небольшая сила резания объясняется также тем, что пластины графита имеют низкую прочность и сравнительно большой размер, так что одна пластинка может перекрывать почти всю плоскость сдвига. В табл. 2.4 приведены значения сил резания F_c (P_z) и подачи F_f (P_x) для типичного перлитного чугуна по сравнению со сталью при одних и тех же режимах резания. На этот аспект обрабатываемости влияют марка и состав чугуна. Чугуны с низкой прочностью, структура которых состоит в основном из феррита и графита, являются наиболее хорошо обрабатываемыми, допускающими наибольшие скорости съема металла.

Таблица 2.4 – Силы резания F_c (P_z) и подачи F_f (P_x) (Н) при обработке перлитного чугуна с пластинчатым графитом (подача 0,16 мм/об, глубина резания 1,25 мм)

Скорость резания м/мин	Чугун		Углеродистая сталь	
	F_c	F_f	F_c	F_f
30	222	232	520	356
61	245	285	490	364
91	245	320	445	325
122	267	338	422	313

Допустимые скорости резания и подачи несколько ниже для перлитного чугуна и уменьшаются с повышением прочности и твердости. Высоколегированные и отбеленные чугуны с очень низким содержанием графита и большим содержанием карбида железа Fe_3C и карбидов других металлов очень трудно поддаются механической обработке. Валки из

отбеленного чугуна могут быть обработаны инструментами из твердого сплава со скоростью 3—10 м/мин.

Характер деформирования большинства конструкционных чугунов (ферритного или перлитного типа) при их обработке резанием может быть с достаточной точностью определен заранее на основании данных о их прочности и пластичности, полученных при стандартных механических испытаниях в лаборатории. Однако их поведение на поверхности раздела инструмент — заготовка является менее «стандартным». Можно было бы ожидать, что графит будет действовать как смазка и препятствовать схватыванию на поверхности раздела инструмент-заготовка, однако не имеется данных, подтверждающих, что он действует подобным образом. При обработке инструментами из твердого сплава или быстрорежущей стали **образуется нарост, сохраняющийся при более высокой скорости резания, чем при обработке стали.** На картах обрабатываемости перлитного чугуна твердосплавным инструментом на основе WC-Co (группа BK) показана область, в которой сохраняется нарост. По мере увеличения скоростей резания и подачи форма нароста изменяется, и, в конце концов, нарост исчезает, когда на инструменте появляется лунка износа. На рис. 2.5 приведено сечение по наросту, сцепленному с передней поверхностью и

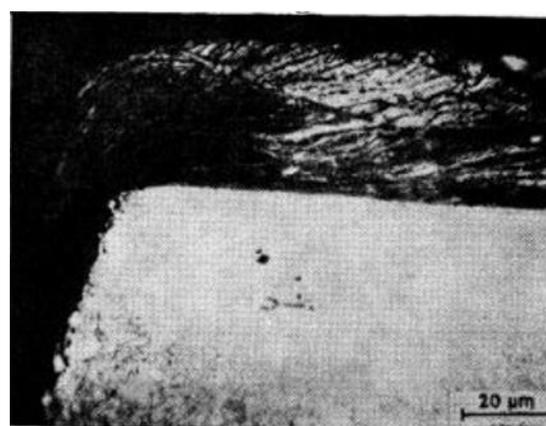


Рисунок 2.5 – Сечение по наросту на твердосплавном инструменте после обработки резанием серого чугуна с пластинчатым графитом

изношенной задней поверхностью. Он состоит из дисперсных частиц металлической основы чугуна, чрезвычайно сильно пластически сдеформированных и сваренных совместно; цементит и другие структурные составляющие обычно столь сильно диспергированы, что их нельзя увидеть в оптический микроскоп. В наросте графит не обнаруживается — в верхней части рис. 3.8 видна структура нароста в полированном, но непротравленном шлифе. По-видимому, графит присутствует в виде отдельных очень тонких слоев, поскольку при растворении нароста в кислоте образуется черный осадок.

Таким образом, **под действием напряжений сжатия** в условиях пластических деформаций на поверхности инструмента ферритные и перлитные серые чугуны с пластинчатым графитом ведут себя как **пластичные** материалы. Поэтому сила подачи F_f часто выше силы резания F_c (как это видно из табл. 2.4) и ближе к значению F_c при обработке стали. Обычно обработка чугуна инструментами из быстрорежущей стали или из твердого сплава проводится на режимах, при которых образуется нарост и может быть обеспечена достаточно высокая стойкость инструмента. При образовании стружки надлома **нарост более устойчив и реже отделяется от инструмента даже в условиях прерывистого резания**. Износ инструмента в основном определяется адгезионными процессами, и наибольшая стойкость инструмента может быть достигнута при применении инструментов из вольфрамокобальтового сплава с высокодисперсными частицами карбидов. При более высокой скорости съема металла нарост исчезает, и для

уменьшения скорости образования лунки износа и диффузионного износа задней поверхности применяются инструменты из твердого сплава, имеющего дисперсные зерна карбидов и содержащего небольшое количество TiC и TaC. Для уменьшения скорости износа могут применяться также инструменты с покрытием TiC.

В проводимых до сих пор исследованиях предполагалось, что распределение температуры в инструментах при обработке чугуна отличается от распределения температуры при обработке стали. Когда образуется стружка, отличная от сливной, наиболее высокая температура наблюдается вблизи режущей кромки. При наличии в этой зоне как высоких напряжений сжатия, так и температуры верхний предел скорости съема металла ограничивается деформацией режущей кромки.

Минералокерамические инструменты, обладающие очень высокой износостойкостью в условиях диффузионного износа и высокой жаропрочностью, могут применяться для обработки перлитного чугуна с пластинчатым графитом при скорости резания

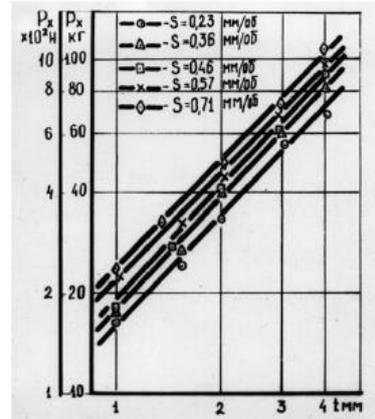
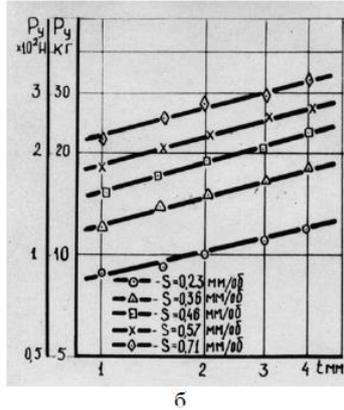
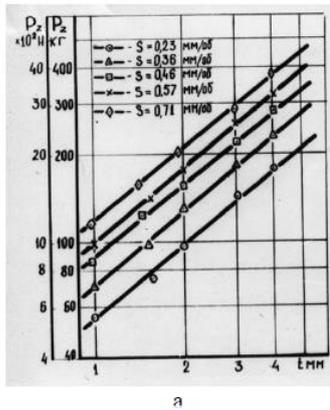


свыше 700 м/мин по сравнению с максимальной скоростью около 180 м/мин, допускаемой твердосплавными металлокерамическими инструментами.

Чугуны с шаровидным графитом, имеющие лучшие механические свойства, чем чугуны с пластинчатым графитом, в последнее время заменяют их во многих случаях. В чугунах с шаровидным графитом последний присутствует в виде небольших сфер, а не пластинок, однако **при обработке чугуна с шаровидным графитом ведет себя подобно чугуну с пластинчатым графитом и может быть в большинстве случаев обработан по той же технологии.**

Шаровидный графит снижает прочность материала в плоскости сдвига и способствует его разрушению, однако в этом отношении он гораздо менее эффективен, чем пластинчатый графит. Образующаяся стружка представляет собой весьма длинные сегменты, которые, однако, непрочны и легко разрушаются, напоминая больше стружку пластинчатого графита, чем стальную.

Одной из проблем, возникающих иногда при обработке ферритного чугуна с шаровидным графитом, является то, что материал в зоне пластического течения чрезвычайно пластичный и **может налипать на заднюю поверхность инструмента при обработке с высокими скоростями резания**, вызывая очень большие силы резания, высокую температуру и приводя к низкому качеству обработки. Эта проблема может в значительной степени быть решена за счет обеспечения большого заднего угла на инструментах.



точение чугуна СЧ25 (Петрушин С.И., Грубый С.В.)

Рисунок 2.7 – Влияние глубины резания и подачи на составляющие P_z (а), P_y (б), P_x (в) СЧ25-ВК6; резец - ВАЗ, трехгранная пластина с задним углом $\alpha = 7^\circ$, $v = 1,0$ м/с

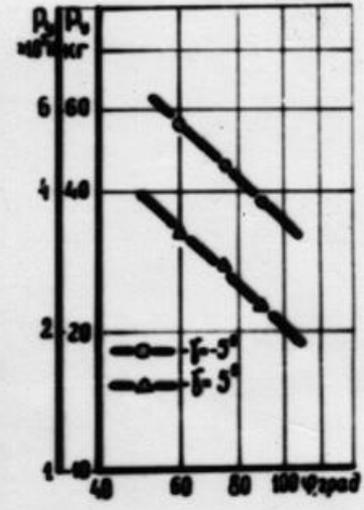
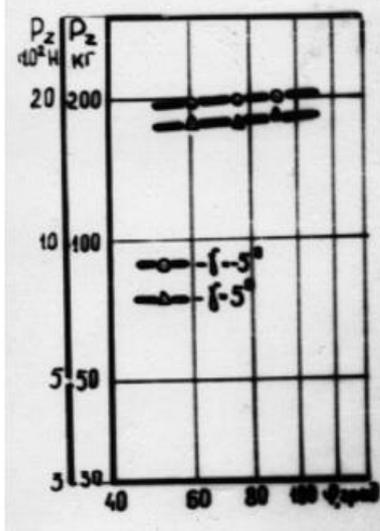


Рисунок 2.8 – Влияние углов в плане и переднего резца на составляющие силу резания. СЧ25 - ВК6; резец ВАЗ, трехгранная пластина, $v = 1,0$ м/с, $t = 2$ мм, $s = 0,57$ мм/об

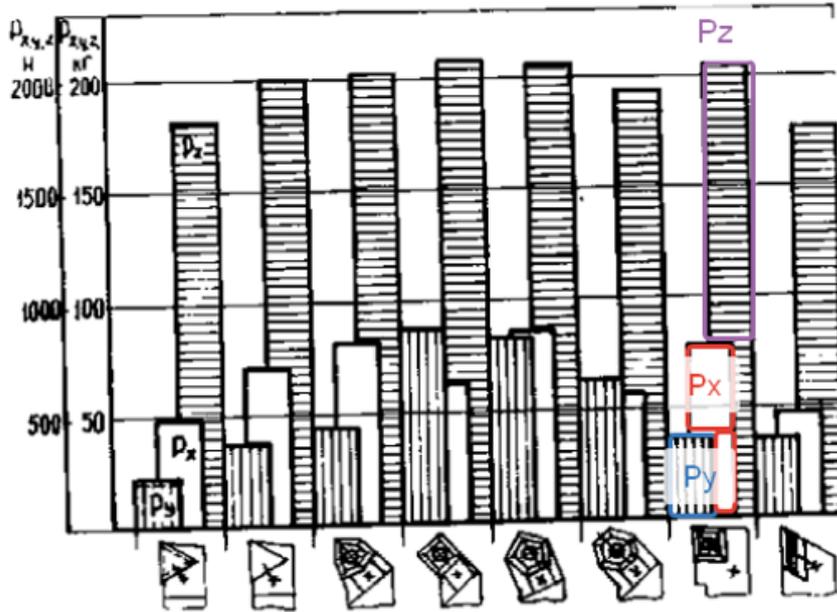


Рисунок 2.9 – Влияние формы многогранной пластины на составляющие силу резания: СЧ25-ВК6, $v=1,0$ м/с, $t=2$ мм, $s=0,57$ мм/об. [Петрушин С.И, Грубый С.В. Обработка чугунов и сталей сборными резцами со сменными многогранными пластинами. – Томск: изд. ТПУ.2000. – 156 с.]

$t=2$ мм, $s=0,57$ мм/об $\rightarrow q_{Pz}= 1842$ Н/мм²; $q_{Px}= 702$ Н/мм²; $q_{Py}= 263$ Н/мм²;
 $q_{P_{xy}}= 750$ Н/мм²; $\mu_{cp}= 0,41$.

При строгании чугуна $b=8$ мм, $t=1$ мм $\rightarrow P_z= 14736$ Н/мм², $\mu_{cp}= 0,41$, $P_{xy}= 6042$ Н/мм².

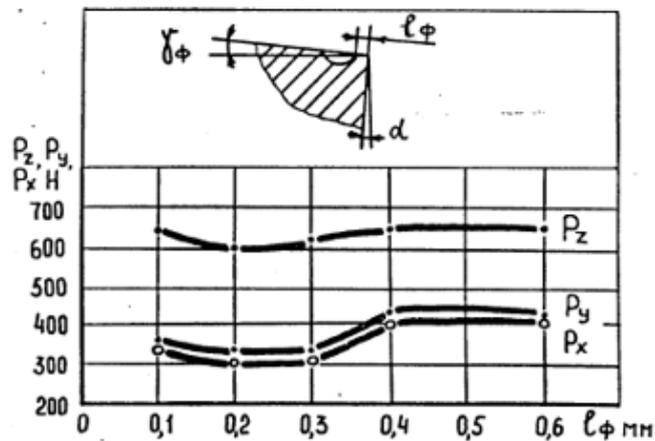


Рисунок 2.10 – Влияние ширины фаски на передней поверхности на величину составляющих силы резания, $t=1$ мм, $s=0,3$ мм/об

2.2. Исследование распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях

Для измерения и анализа влияния условий резания на силу резания сила резания F (P) может быть разложена на три технологические составляющие силы резания, действующих в трёх взаимноперпендикулярных направлениях.

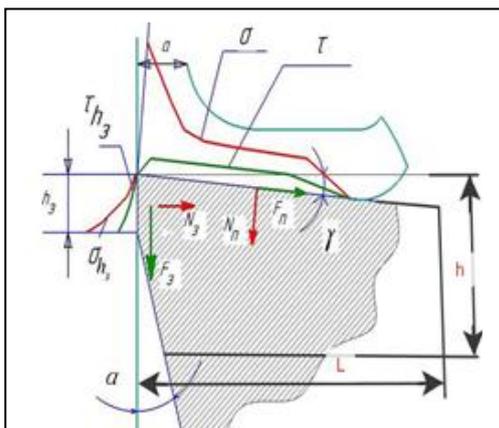


Рисунок 2.11 – Сила и напряжение на передней поверхности инструмента

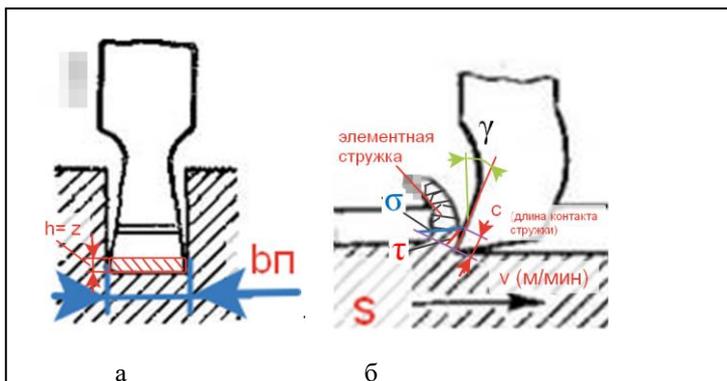


Рисунок 2.12 – Удаляемый припуск z (а) и распределение нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности резца (б)

F_z (P_z) – тангенциальная составляющая силы резания – совпадает по направлению со скоростью главного движения v . Т.к. эта составляющая в наибольшей степени влияет на мощность резания и она обычно больше других составляющих, то её называют главной составляющей силы резания.

F_x (P_x) – осевая (продольная) составляющая сила резания, направлена вдоль продольного движения подачи.

F_y (P_y) – радиальная составляющая сила, направлена поперёк продольной подачи.

Плоскость, в которой действуют F_x и F_y , называется основная плоскость.

При обработке на обычных токарных станках она горизонтальна. При строгании она вертикальна.

На величину составляющих силы резания влияет много факторов. Основные из них: материалы обрабатываемой заготовки [7]; инструментальные материалы; режимы резания: глубина резания, подача, скорость резания; геометрические параметры резца: величины переднего, заднего угла, радиуса при вершине и радиуса округления режущей кромки, главного и вспомогательного угла в плане; износ резца и т.д.

Обычно для одного и того же обрабатываемого материала чем больше глубина срезаемого слоя (глубина резания) t и подача s , тем больше главная составляющая F_z . Влияние скорости резания не столь однозначно, существуют участки, где увеличение скорости резания v приводит к увеличению силы резания, но при обработке стали при скорости резания более 150 м/мин с увеличением скорости резания сила резания уменьшается из-за увеличения скорости деформации в области стружкообразования и уменьшения вследствие этого зоны первичной пластической деформации.

Существует формула для расчёта приближенного значения составляющей силы резания F_z :

$$F_z = K \cdot f \quad (2.1)$$

где: K – удельная сила резания, Н/мм². При обработке стали 45 $K \approx 1000 - 2500$ Н/мм² в зависимости от толщины среза, переднего угла и износа инструмента.

f – площадь поперечного сечения срезаемого слоя, мм². При токарной

обработке $f = s \cdot t$, где s – подача, мм/об, t – глубина резания, мм.

Составляющая силы F_x и F_y при главном угле в плане $\varphi = 45^\circ$ могут быть приблизительно рассчитаны по следующим формулам:

$$F_x = (0,3 \dots 0,4) F_z \quad (2.2)$$

$$F_y = (0,4 \dots 0,5) F_z \quad (2.3)$$

Для точного расчёта составляющих силы резания необходимо использовать другую формулу :

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

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

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

Более точно составляющие силы резания могут быть определены экспериментально с помощью трёхкомпонентного токарного динамометра.

2.3 Исследование процесса стружкообразования

При исследовании процесса резания материалов в первую очередь определяются величина составляющих силы резания на неизношенном и изношенном инструменте, их зависимость от геометрии режущего инструмента, режимов резания, степени и зоны износа, температура резания и, в лучшем случае, распределение температуры в режущем клине и на поверхностях контакта.

Измеряется общая длина контакта стружки с передней поверхностью и длина пластического контакта, нарост (при его наличии), усадка стружки.

Образующаяся при резании стружка несёт информацию о процессах, происходящих при резании, поэтому подвергается пристальному изучению.

Исследуется также качество обработанной поверхности: шероховатость, глубина и степень наклёпанного слоя, распределение остаточных напряжений по глубине обработанной поверхности.

При наличии специального динамометра и соответствующих режущих пластин и аппаратуры исследуется распределение контактных напряжений.

Важной частью исследований является расчёт напряжённо-деформированного состояния инструмента в процессе резания и на различных его этапах (врезание, установившееся резание, окончание резания, что особенно важно при прерывистых процессах, такие как строгание, фрезерование).

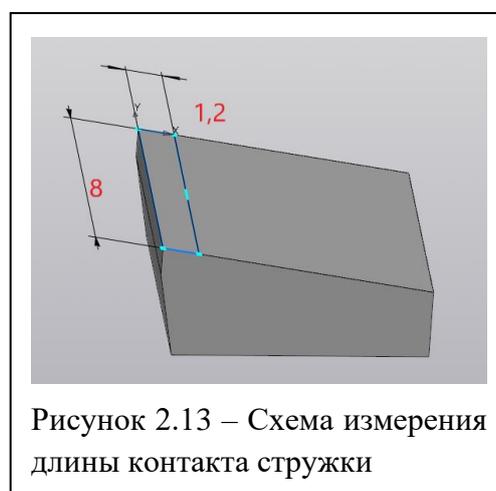
В целом исследование процесса резания материалов является трудоёмким, затратным и долгим процессом, поэтому часто ограничиваются только частью исследований.

2.4. Измерение длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

Длину контакта стружки с передней поверхностью обычно измеряют после проведения экспериментов (резания) на большом инструментальном микроскопе или с помощью лупы Бринеля, или трубки МИР. Предварительно передняя поверхность инструмента подготавливается для более точного измерения длины контакта.

Сначала тампоном, смоченным смесью медного купороса с электролитом автомобильной аккумуляторной батареи выполняется меднение поверхности инструмента, после чего инструмент сушится. На его поверхности образуется тончайшее медно-красноватое покрытие. После резания измеряется длина стёртого участка (длина контакта стружки с передней поверхностью C) (рис. 2.13), измеряется также длина налипшего 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 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 $C_1 \approx (0,1-0,3) \cdot C$.

2.5. Исследование изменения сил резания при сливном и элементном стружкообразовании

Наименьшее значение силы резания при элементной стружке будет при формировании первого элемента. По мере продвижения резца и увеличения деформации элемента сила резания будет возрастать, достигая наибольшего значения в момент скалывания элемента, а затем уменьшаться до некоторого

значения, но не до нуля, так как второй элемент стружки начинает деформироваться несколько раньше, чем заканчивается скалывание первого элемента.

Такое изменение силы резания вызывает неравномерную нагрузку на резец, заготовку и все части станка, поэтому при недостаточной жесткости системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) это приводит к вибрациям и ухудшению качества обработанной поверхности.

При суставчатой стружке сила резания будет изменяться меньше, чем при элементной, и процесс резания будет протекать более спокойно. В ещё меньшей степени сила резания будет изменяться при сливной стружке, что наряду с более равномерной нагрузкой на систему СПИД будет способствовать получению обработанной поверхности с меньшей шероховатостью.

2.6. Влияние подачи, глубины и скорости резания на силы и температуру резания

Элементами режима резания являются скорость резания v , подача s и глубина резания t . Совокупность их значений принято называть режимом резания.

Скорость резания v (V) — это скорость рассматриваемой точки режущей кромки инструмента или заготовки в главном движении. Скорость резания измеряют в соответствии с системой SI в м/с, но на практике чаще в м/мин при всех видах обработки резанием [11], кроме шлифования и полирования,

где её измеряют в м/с.

Подача s (S , f) – это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки в направлении движения подачи, к соответствующему числу циклов или определённых долей циклов другого движения. Под циклом движения понимают полный оборот (мм/об), ход (мм) или двойной ход (мм) режущего инструмента или заготовки.

Глубина резания t (мм) определяется как расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней.

Глубина резания оказывает большое влияние на силы резания, поэтому иногда возникает необходимость разделить припуск z на несколько рабочих ходов (i), чтобы глубина резания на каждом ходе не превышала 3-4 мм.

Величина подачи ограничивается силами, действующими в процессе резания; эти силы могут привести к поломке режущего инструмента, деформации и искажению формы заготовки, поломке станка. Другим ограничением является наибольшая допустимая шероховатость. Для увеличения производительности обработки целесообразно работать с максимально возможной подачей. Для обеспечения заданной шероховатости поверхности при этом необходимо увеличить радиус r (R) при вершине инструмента, однако это вызовет увеличение силы резания и увеличение упругой деформации системы станок – приспособление – инструмент - деталь (СПИД), поэтому радиус при вершине при токарной

обработке как правило не превышает 2,5 мм.

При черновом фрезеровании пазов в стальной заготовке дисковыми фрезами из быстрорежущей стали Р6М5 подача на зуб составляет 0,12-0,2 мм/зуб при повышенной жёсткости системы СПИД и мощности станка от 5 до 10 кВт [4, стр. 283, табл. 34]. При черновом фрезеровании пазов в стальной заготовке дисковыми фрезами с напайными пластинами из твёрдого сплава Т15К6 и мощности станка от 5 до 10 кВт подача на зуб составляет 0,04 -0,09 мм/зуб [4, стр. 283, табл. 33].

При одинаковой площади поперечного сечения среза нагрузка на резец больше при работе с меньшей подачей и большей глубине резания, так как на силу резания подача оказывает большее влияние, чем глубина (удельная сила резания q_{Pz} (Н/мм²) больше при меньшей подаче).

На температуру резания в наибольшей степени влияет скорость резания, в меньшей степени подача, в ещё меньшей степени – глубина резания. Это связано с тепловым балансом при резании и изменением тепловыделения и теплоотвода.

Основная причина износа инструмента – это температура на участках контакта инструмента со стружкой и с заготовкой. Поэтому скорость резания в наибольшей степени влияет на износ инструмента.

2.7. Анализ напряжений в режущем клине методом конечных элементов (МКЭ)

Метод конечных элементов (МКЭ, FEM) использует методы

математической аппроксимации для моделирования реальных физических систем (геометрических форм и условий нагружения). Используя простые интерактивные элементы, можно использовать ограниченное количество неизвестных для аппроксимации бесконечной неизвестной реальной системы.

Метод конечных элементов заменяет простые задачи простыми, а затем решает их. Он считает, что область решения состоит из множества взаимосвязанных небольших подобластей, называемых конечными элементами. Если предположить, что каждый элемент имеет подходящее (более простое) приближенное решение, тогда можно нарисовать полностью удовлетворяющее условие (например, структуру).

Поскольку реальная проблема заменяется более простой задачей, решение является не точным, а приближенным.

Трудно получить точное решение задачи, а конечный элемент не только имеет высокую точность расчета, но и может адаптироваться к различным ситуациям.

Даже сложна форма тела (режущего инструмента) разбиваются на

множество элементов (рис. 2.14), поэтому конечная модель расчёта приближается по форме к реальной, поэтому МКЭ стал эффективным методом инженерного анализа.

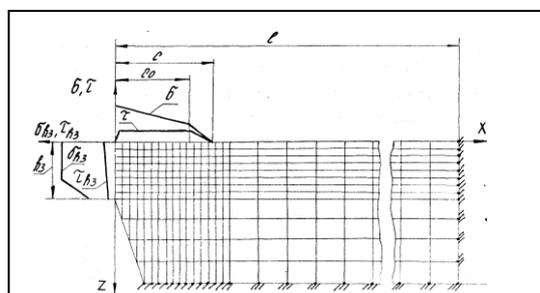


Рисунок 2.14 – Исходная схема расчёта напряжённо-деформированного состояния режущего клина изношенного инструмента

Важным этапом является приложение внешней нагрузки на рабочие поверхности инструмента (рис. 2.14). Величина контактных нагрузок на рабочих поверхностях резца может быть определена методом разрезного резца, а также расчётами с учетом характера распределения контактных нагрузок и экспериментально найденных сил на передней поверхности и на фаске износа по задней поверхности. При этом важно определить (измерить) длину контакта действия этих внешних нагрузок. Определение длины контакта на передней поверхности инструмента производится обычно на инструментальном микроскопе по следу контакта.

Важным этапом является ограничение размера исследуемой области. Если рассматриваться (рассчитываться) будет достаточно большой объём, то уменьшается **разрешаемость** (отличие НДС в рядом расположенных областях) и точность расчёта. Поэтому часто выполняется расчёт в два этапа: 1) расчёт НДС всего тела инструмента; 2) расчёт НДС области вблизи мест приложения внешней нагрузки.

В последнем случае принимается, что за пределами расчётной зоны (например, далее 5-10 мм от места приложения внешней нагрузки) тело является абсолютно жёстким. Определить эту предельно допустимую зону помогают расчёты НДС всего тела – если напряжения за пределами рассматриваемой зоны увеличиваются несущественно при отдалении от места приложения нагрузки, то можно ограничиться этой областью. По границам этой зоны создаётся закрепление, т.е. тело ограничивается и за пределами этих границ является абсолютно жёстким (рис. 2.14). При

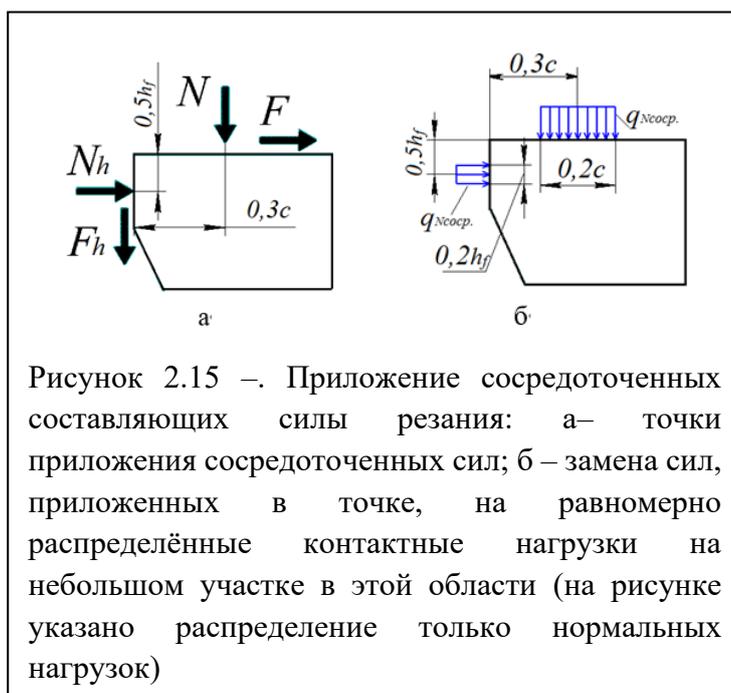
большом количестве конечных элементов не только увеличивается время расчёта, но и могут появиться ошибки при удалении от места приложения нагрузки, а значит и от количества вычислений.

2.8. Влияние вида внешнего нагружения на НДС режущего клина

Сила резания может быть приложена к передней поверхности в виде физических составляющих: сосредоточенной нормальной N и касательной F силы. По типам применения внешнего (контактного) нагружения можно выделить:

- приложение сосредоточенной силы резания;
- приложение равномерно распределенные конкретных напряжений;
- приложение контактных напряжений с истинным распределением.

При приложении сосредоточенных сил (рис. 2.15 а) возникают нереально большие напряжения у места приложения нагрузки из-за концентрации напряжений, поэтому даже замена их на распределённые на небольшом участке (площади) (рис. 2.15 б) не



даёт правильных результатов даже на достаточно большом расстоянии от этого места.

При анализе НДС исследуются нормальные, касательные и эквивалентные внутренние напряжения. Среди этих напряжений эквивалентные напряжения являются более важными для оценки прочности режущих инструментов.

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

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

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

$\sigma_{\sigma} / \sigma_{-s}$ - величины предельного сопротивления материала при одноосном растяжении и сжатии. Интенсивность напряжений в рассматриваемой точке рассчитывается по уравнению:

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

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

3. Разработка технологического процесса обработки детали

Необходимо разработать технологический процесс изготовления корпуса датчика давления. Чертёж детали представлен на рисунках 3.1 - 3.4. Годовая программа выпуска: 9 шт.

Анализ чертежа детали показал, что на нём отсутствуют некоторые размеры, необходимые для простановки технологических размеров на операционных эскизах. Требуемые размеры были получены расчётом указанных конструкторских размеров, а также измерением необходимых размеров на чертеже детали и последующим их расчётом по указанному масштабу чертежа.

Чертёж детали с добавленными размерами представлен на рис. 3.2. На рис. 3.3 показана 3Д модель детали с указанием базирования на первой операции: установка на нижнюю поверхность (плоскость), контактом с торцевой поверхностью и с закреплением в тисках с двумя одновременно сходящимися губками, обеспечивающих базирование по мнимой базе – плоскости симметрии двух параллельных нижних поверхностей.

Такое же приспособление будет использоваться и на второй операции с базированием по боковым поверхностям, уже обработанных на первой операции.

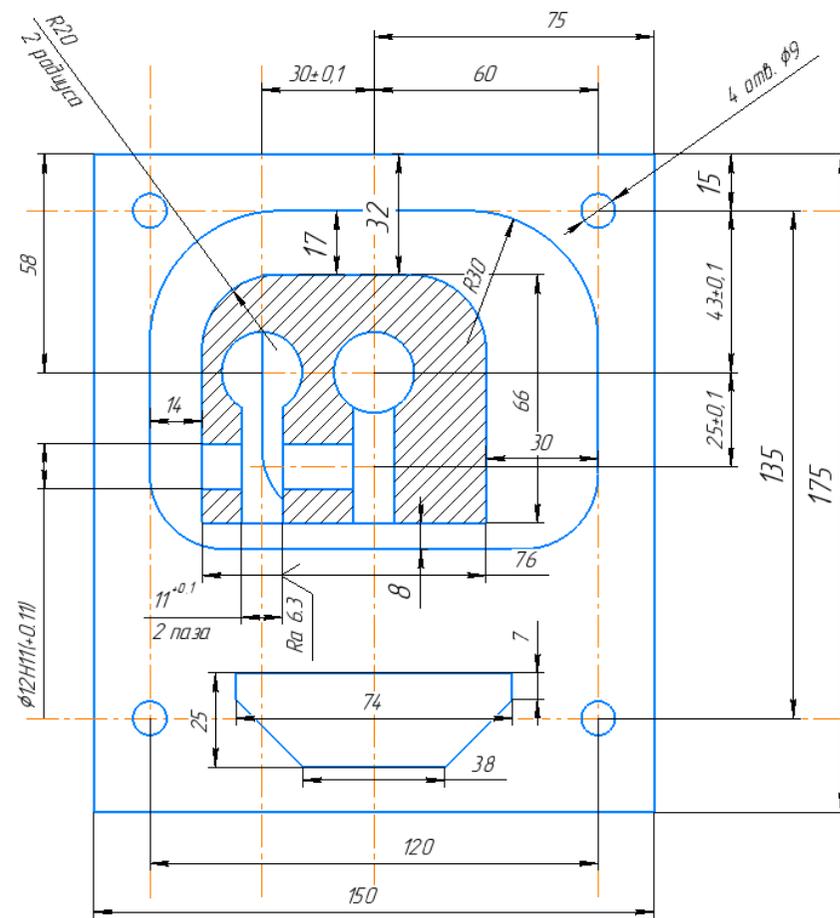
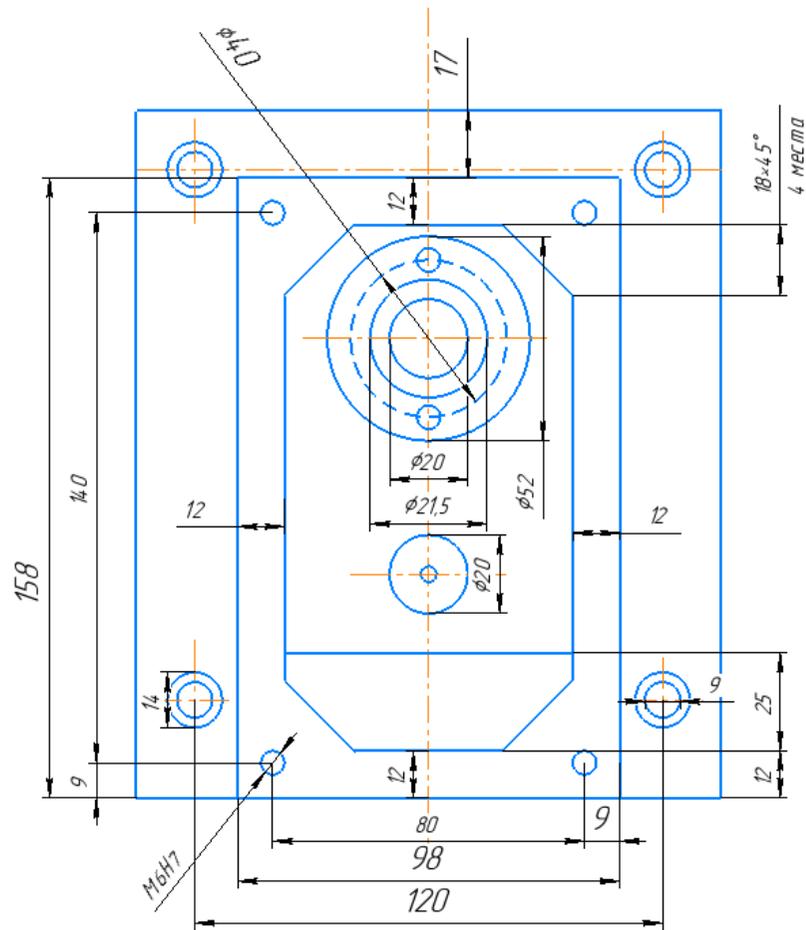


Рисунок 3.1 б - Вид снизу – разрез по оси горизонтального отверстия вверх.

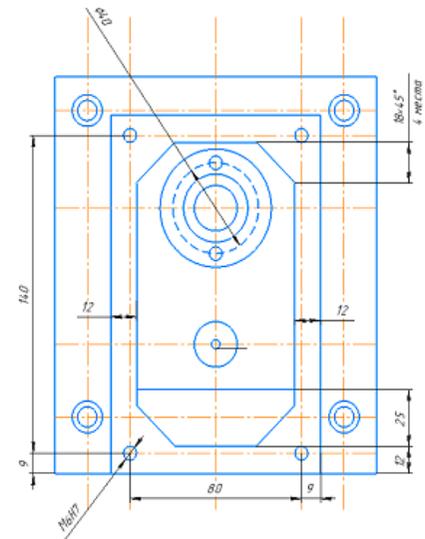
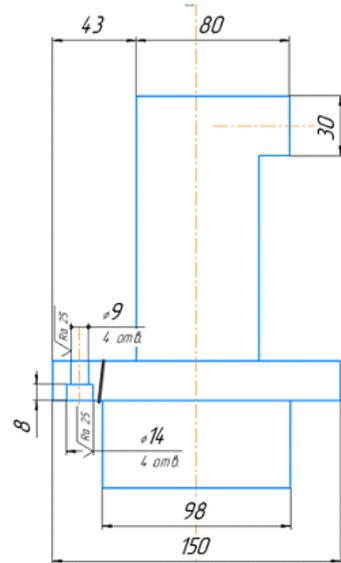
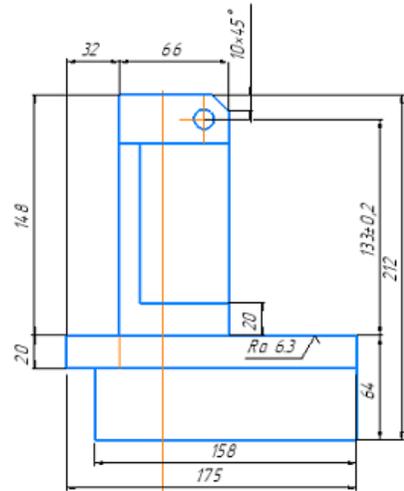
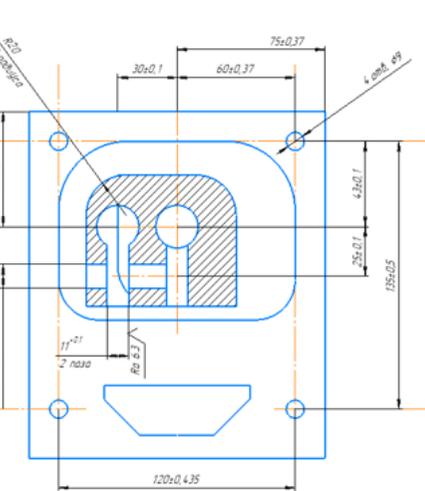


Рис. 1. Эскиз детали на виде сверху ← Рис. 2. Эскиз детали на виде слева

Рис. 3. Эскиз детали на виде сзади Рис. 4. Эскиз детали в сечении снизу

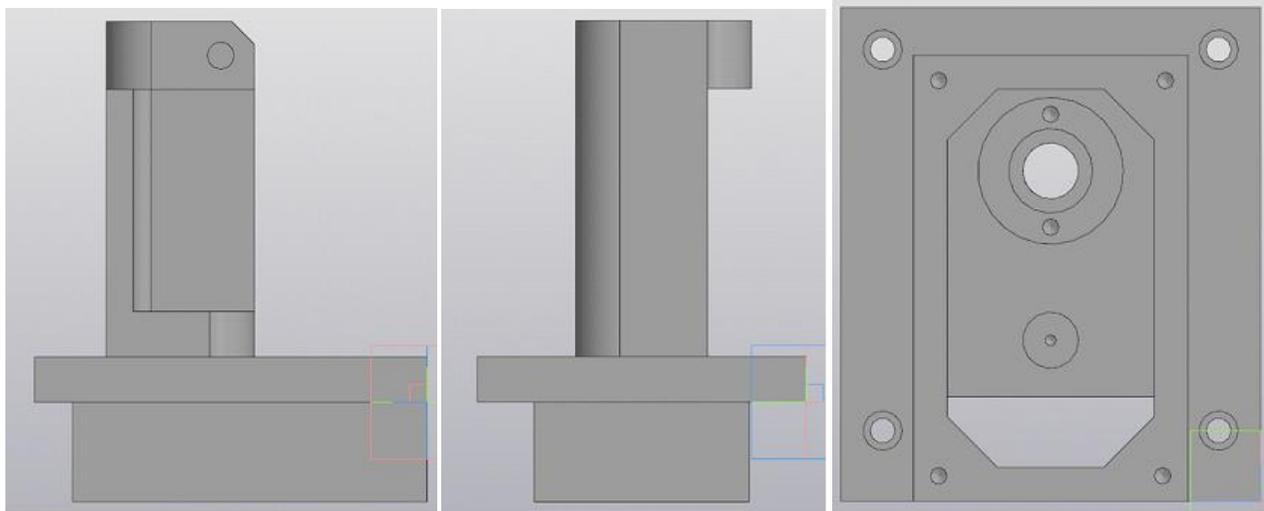
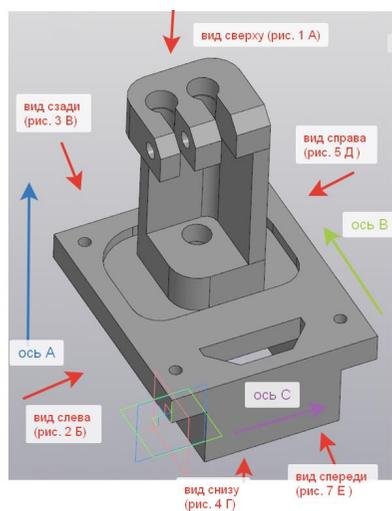
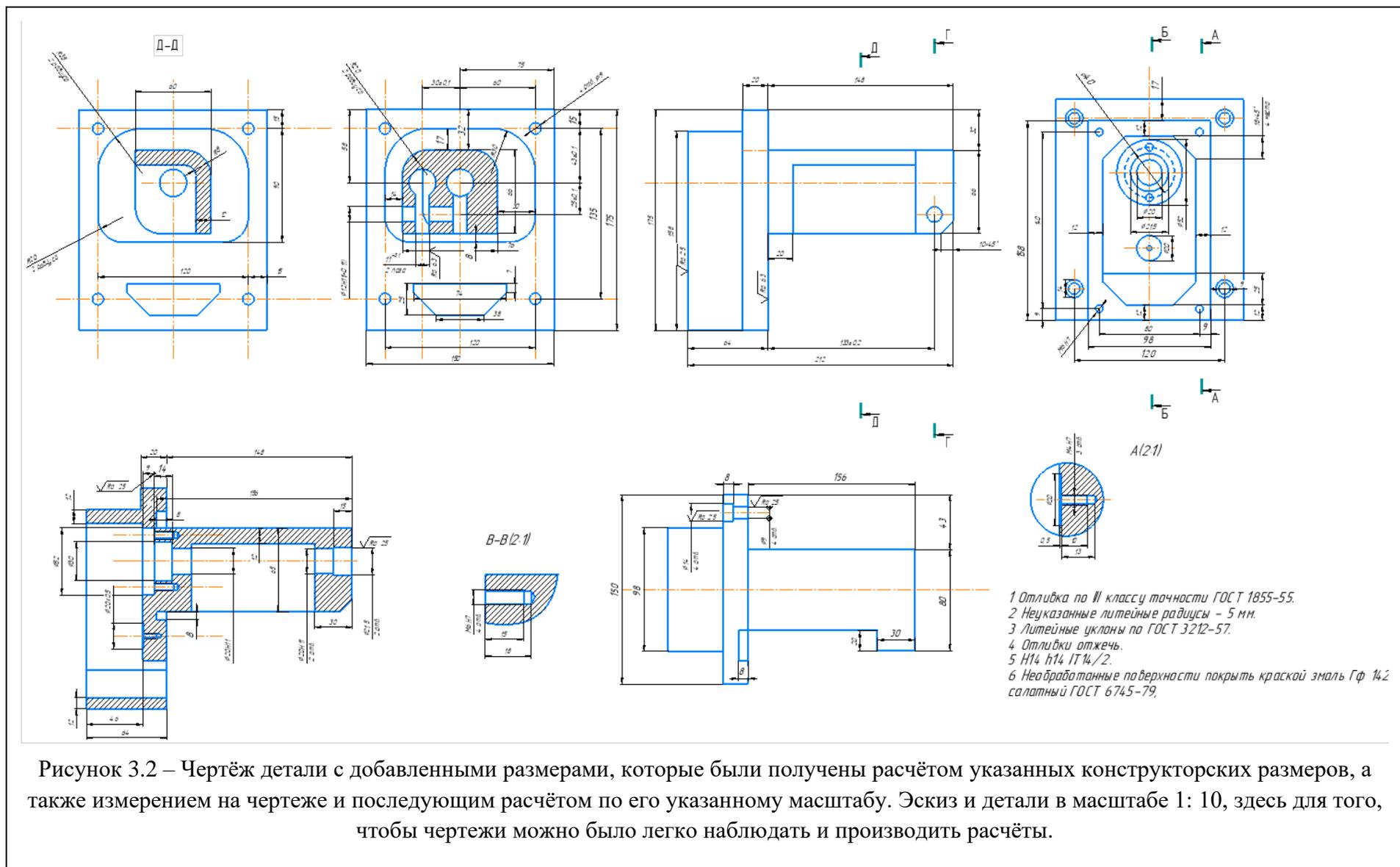


Рисунок 3.1 г – Дополнительные виды с размерами, которые выделены или которых нет на чертеже



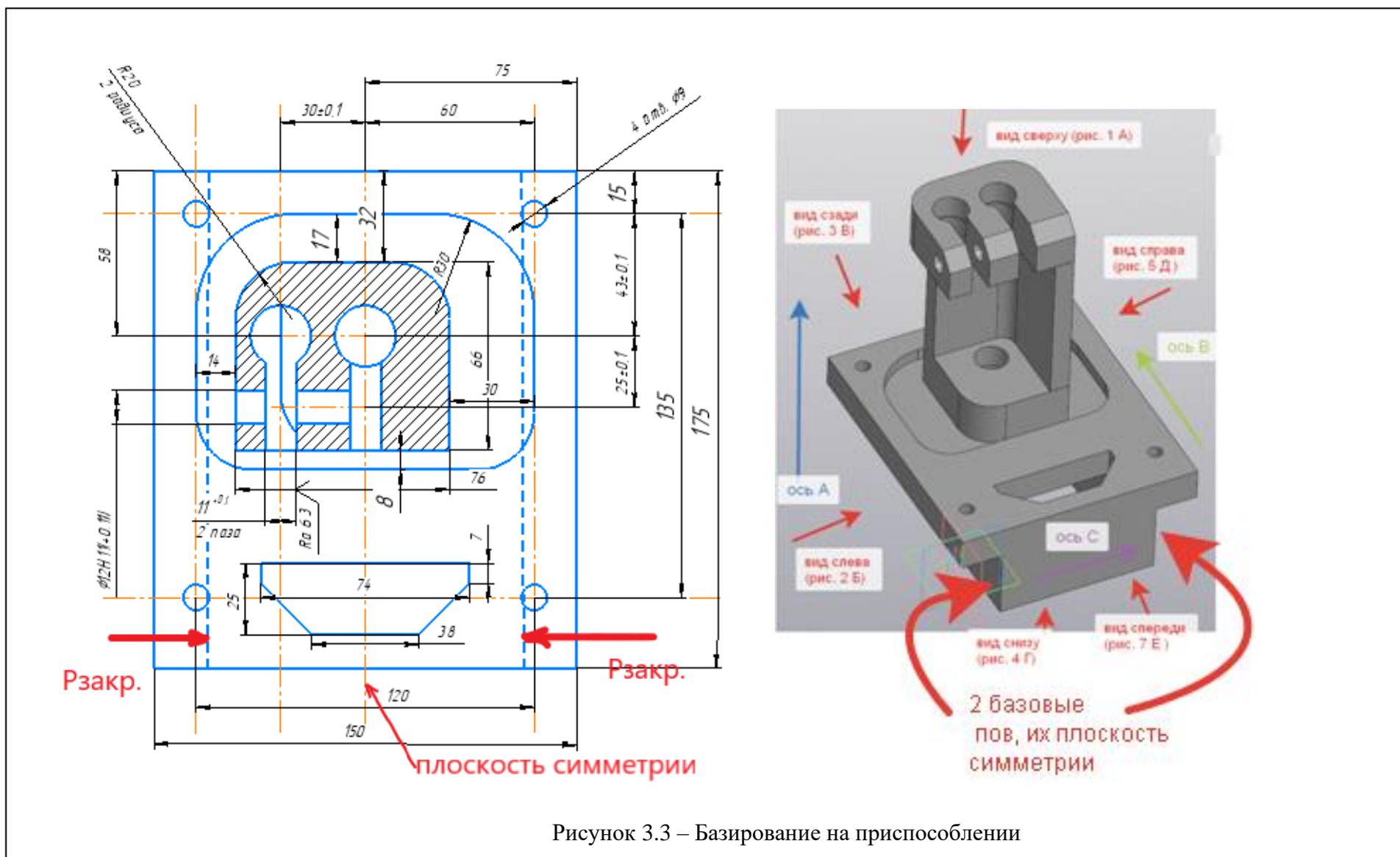


Рисунок 3.3 – Базирование на приспособлении

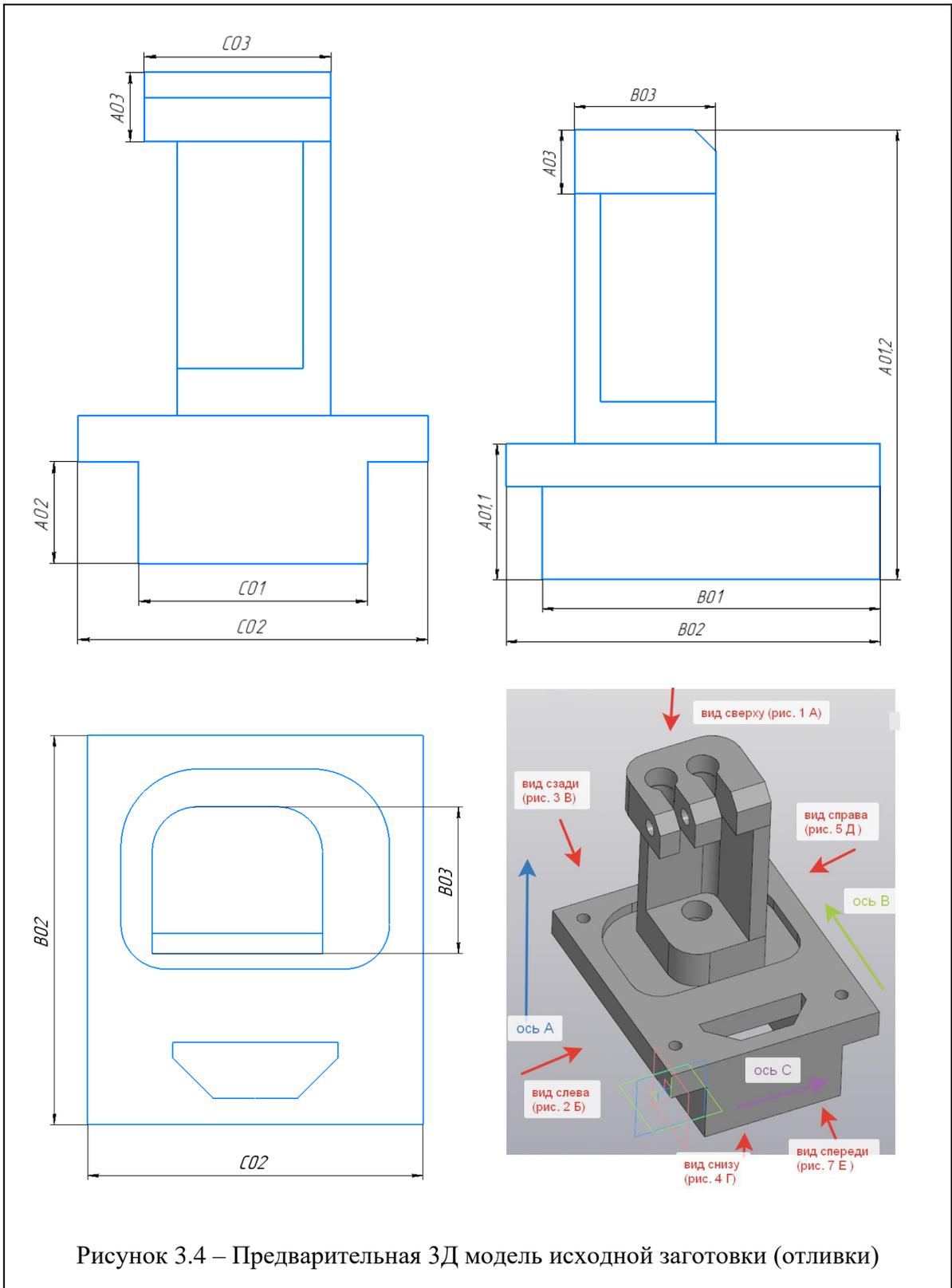


Рисунок 3.4 – Предварительная 3Д модель исходной заготовки (отливки)

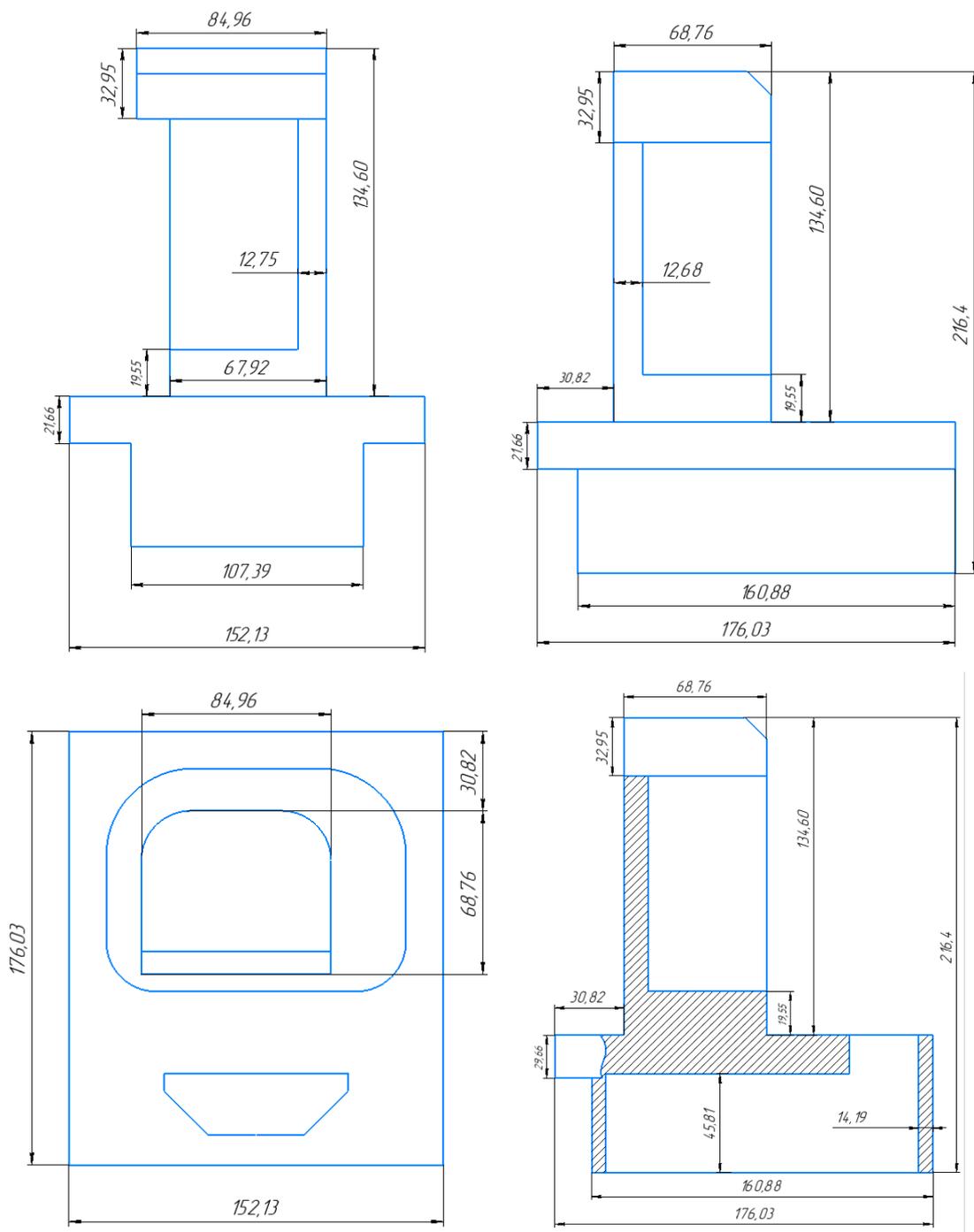
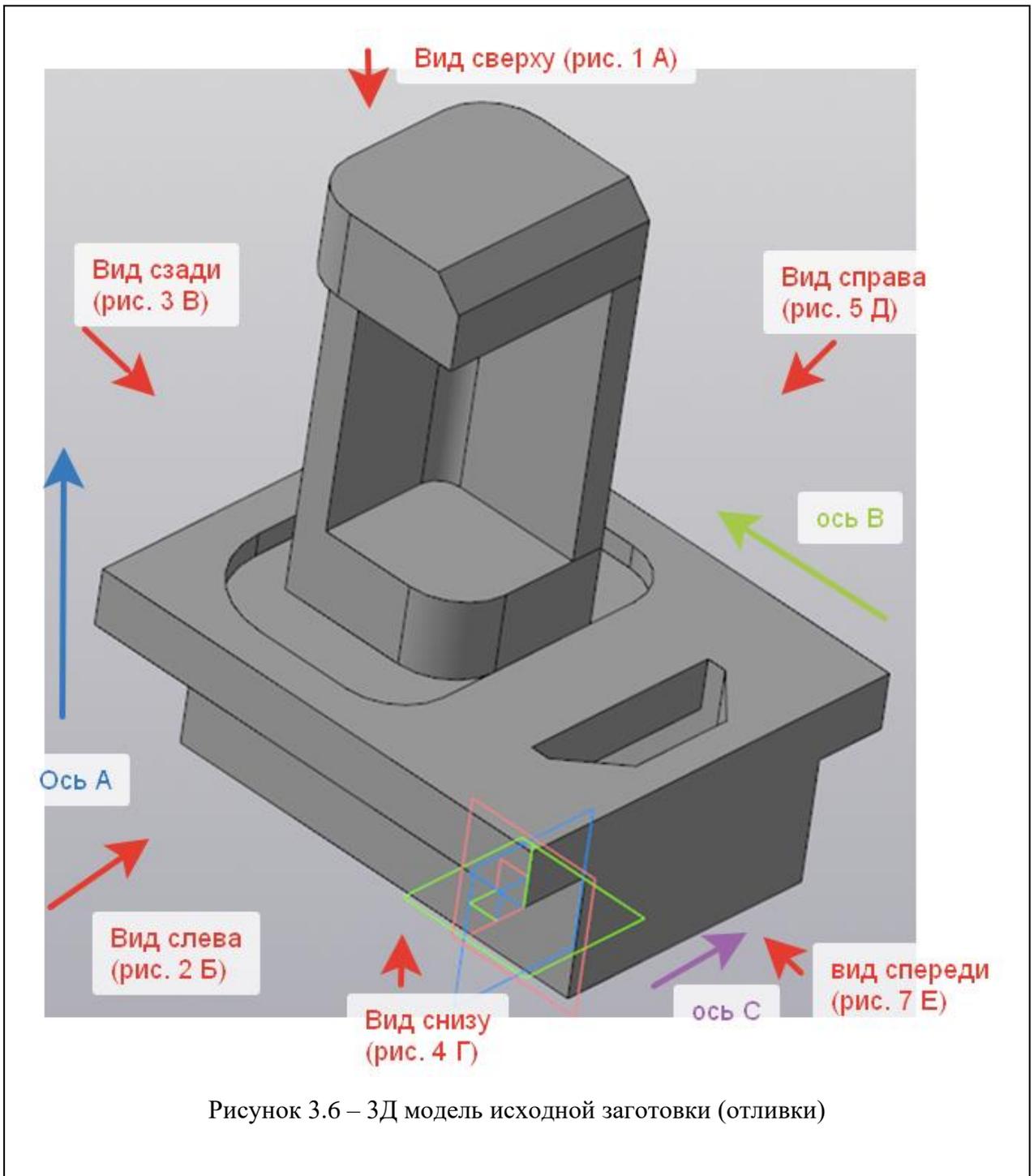
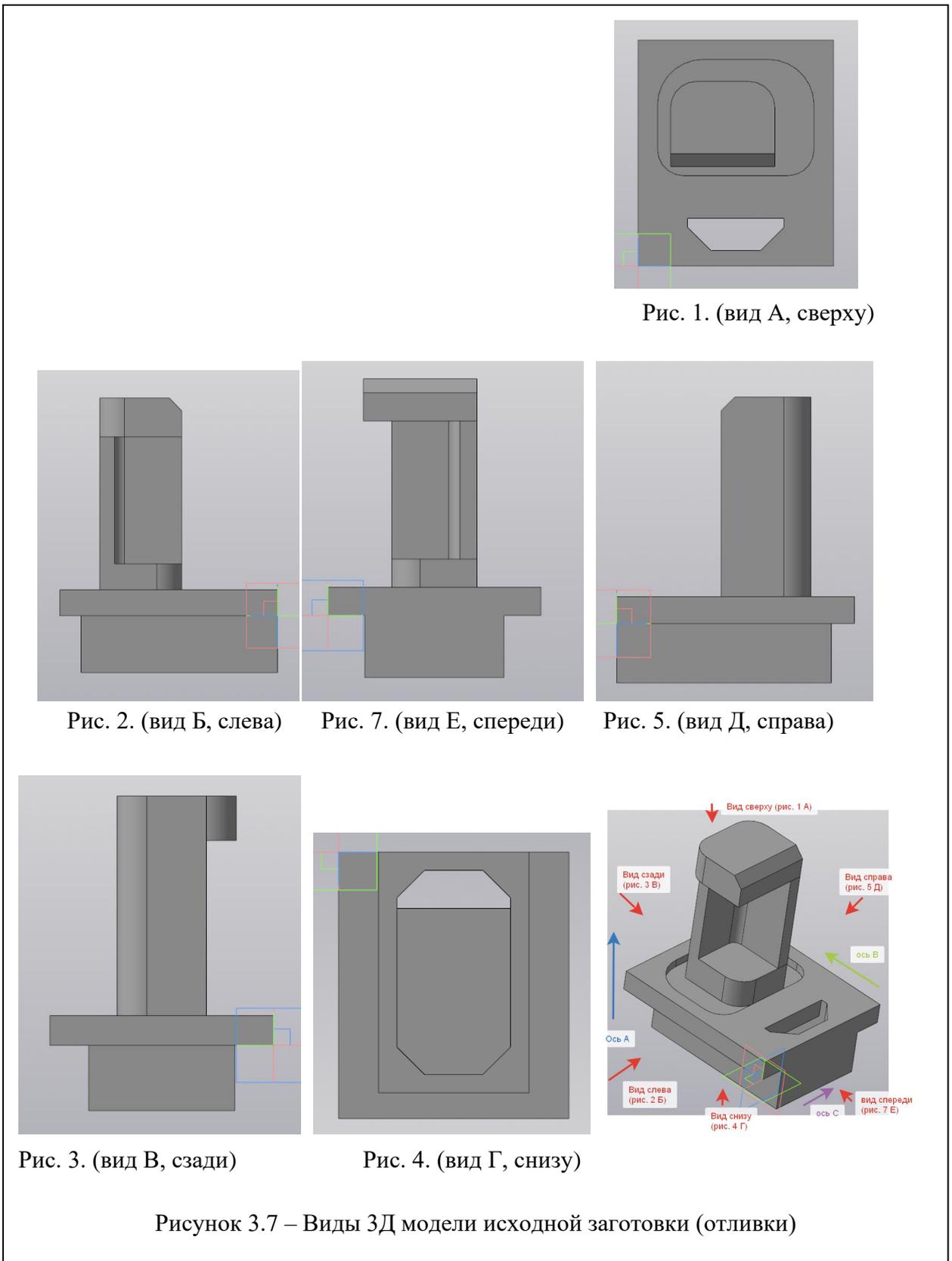


Рисунок 3.5 – Эскиз исходной заготовки (отливки)





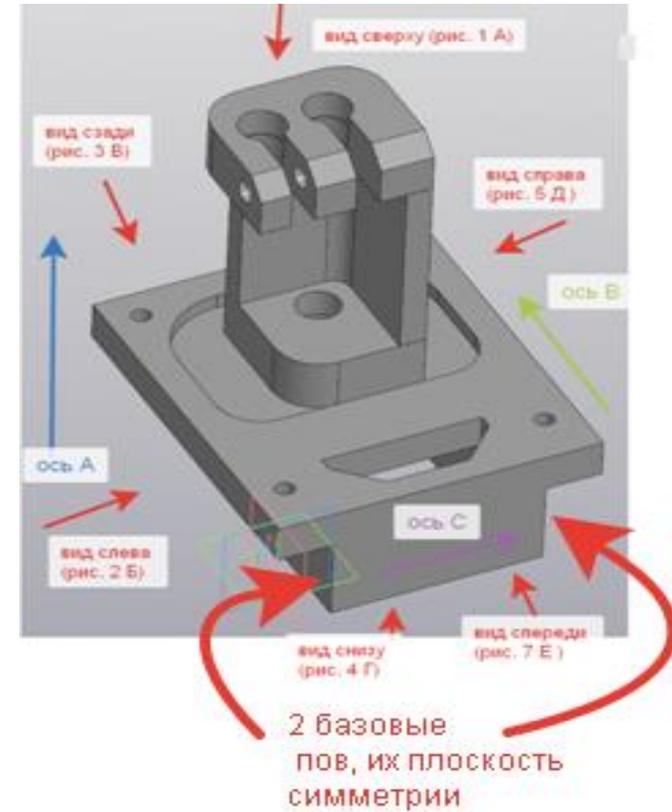
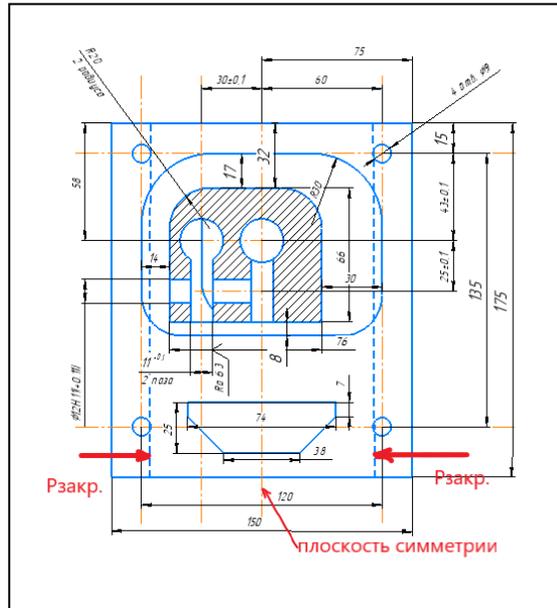
Для обеспечения точности и экономичности обработки её выполняем на обрабатывающем фрезерном центре с ЧПУ ИС – 8000 в две операции.

Техпроцесс представлен на рис. 3.8.

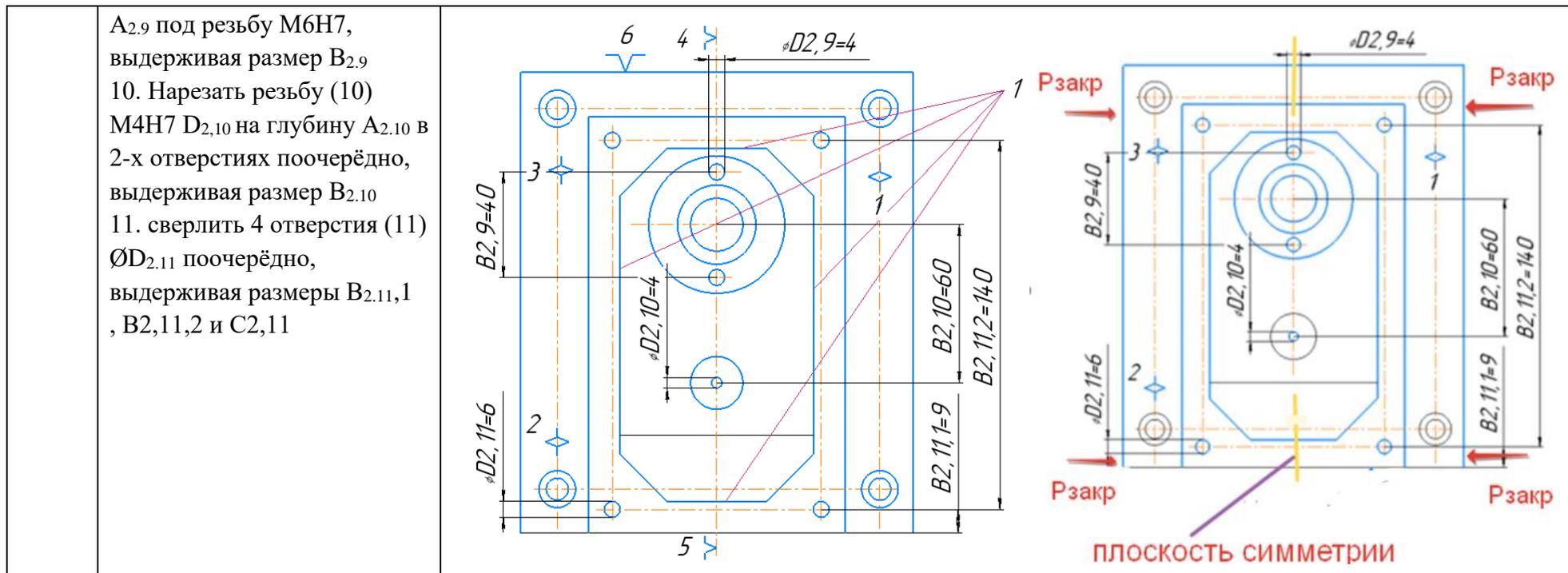
3.2 Разработка маршрута технологии изготовления детали

№ оп	№ перехода и его содержание	Операционный эскиз и 3D модель заготовки
1	<p>Фрезерная</p> <p>Установить и закрепить заготовку</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезеровать поверхности (1), (3), (2) и (4) по контуру, выдерживая размеры V_{1.1.1}, V_{1.1.2}, V_{1.2}, C_{1.1} и C_{1.2} 2. фрезеровать поверхность (5), выдерживая размер A_{1.2}; 3. фрезеровать поверхность (6), выдерживая размер A_{1.3}; 4. расфрезеровать карман (11) по контуру согласно чертежу на глубину A_{1.4} = 8^{+0,36} мм; 5. сверлить 2 отверстия (8) ØD_{1.6} поочерёдно, выдерживая размеры C_{1.5.1}, C_{1.5.2} и V_{1.5}; 6. фрезеровать 2 отверстия (9) ØD_{1.7} поочерёдно, на глубину A_{1.6}, выдерживая размеры C_{1.6.1} = C_{1.5.1}, C_{1.6.2} = C_{1.5.2} и V_{1.6} = V_{1.5}; 7. фрезеровать 2 паза (10) C_{1.7} поочерёдно, выдерживая размеры C_{1.7.1} = C_{1.5.1} и C_{1.7.2} = C_{1.5.2} 8. сверлить отверстие (11) ØD_{1.8}, выдерживая размеры V_{1.8} и A_{1.8} на глубину C_{1.8}. 	<p style="text-align: center;">Операционный эскиз и 3D модель заготовки</p> <p style="text-align: center;">фрезеровать карман 11 по контуру</p>

9. Раскрепить и снять заготовку



№ операции	№ перехода и его содержание	Операционный эскиз и 3D модель заготовки
2	<p>Вертикально-фрезерная Установить и закрепить заготовку.</p> <p>1. Фрезеровать стенки кармана, выдерживая размеры $A_{2.1}$, $B_{2.1.1}$, $B_{2.1.2}$, $C_{2.1.1}$, $C_{2.1.2}$</p> <p>2. Фрезеровать поверхности (2) поочередно, выдерживая размер $A_{2.2}$</p> <p>3. Сверлить отверстие (3) $\varnothing D_{2.3}$ на проход, выдерживая размер $B_{2.3}$</p> <p>4. фрезеровать отверстие (4) $\varnothing D_{2.4}$ на глубину $A_{2.4}$</p> <p>5. фрезеровать отверстие (5) $\varnothing D_{2.5}$ на глубину $A_{2.5}$</p> <p>6. Сверлить 4-е отверстия (6) $\varnothing D_{2.6}$ на проход поочередно, выдерживая размеры $B_{2.6.1}$, $B_{2.6.2}$ и $C_{2.6}$</p> <p>7. фрезеровать 4-е отверстия (7) $\varnothing D_{2.7}$ поочередно на глубину $A_{2.7}$</p> <p>8. фрезеровать отверстие (8) $\varnothing D_{2.8}$ на глубину $A_{2.8}$, выдерживая размер $B_{2.8}$</p> <p>9. Сверлить 2 отверстия (9) $\varnothing D_{2.9}$ поочередно на глубину</p>	



При разработке техпроцесса было выяснено, что обработка **кармана** на первой операции в верхней части заготовки **стандартными** режущими инструментами невозможна из-за большой высоты выступающей части заготовки («башни») (14 мм) и малой ширины наименьшей ширины кармана (8 мм). Было предложено два варианта обработки этого кармана: 1) длинной маложёсткой фрезой диаметром 8 мм и длиной 203 мм; 2) строгание специальным узким строгальным резцом, который закрепляется на фрезерной оправке и жёстко фиксируется относительно шпинделя. Вращения у шпинделя блокируется, а скорость срезания v обеспечивается скоростью подачи стола $s_{\text{мин}}$ (мм/мин) с закреплённой на ней заготовкой. Ширина режущей части резца $b = 8$ мм, а глубина резания равна минимальному припуску на обработку. Предварительная конфигурация и размеры кармана формируются при отливке.

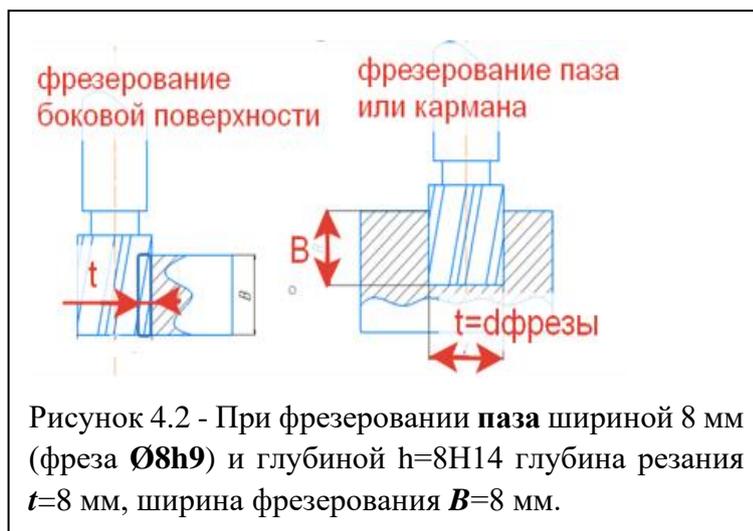


Таблица 4.1 – Подачи при фрезеровании пазов [13]

Диаметр фрезы D , мм	Фрезерование на вертикально-фрезерных станках за один проход	
	Осевое врезание на глубину шпоночного паза	Продольное движение при фрезеровании шпоночного паза
	Подача на один зуб s_z , мм,	
6	0,006	0,020
8	0,007	0,022
10	0,008	0,024
12	0,009	0,026

Таблица 4.2 – Коэффициент и показатели степеней при фрезеровании пазов

Фрезы	Материал режущей части	Операция	C_v	q	x	y	u	p	t
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_b = 750$ МПа									
Концевые прорезные и отрезные	P6M5* ²	Прорезание пазов и отрезание	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

*² – с охлаждением

Таблица 4.3 – Средние значения периода стойкости T фрез

Фрезы	Стойкость T , мин, при диаметре фрезы, мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
Концевые	80	90	120	180	—							
Прорезные и отрезные	—				60	75	120	150	—			
Фасонные и угловые	—			120	180	—						

Таблица 4.4 – Коэффициент и показатели степеней при фрезеровании пазов концевой фрезой

Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
	C_p	x	y	u	q	w
Сталь - Быстрорежущая сталь P6M5	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Чугун СЧ НВ190 –Р6М5(Прорезание пазов и отрезание)	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1
Чугун СЧ НВ190 –Р6М5(Фрезерование плоскостей и уступов)	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3

Расчёт режима резания

Скорости резания V .

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

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv}$$

Где K_{Mv} - коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

K_{nv} - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{uv} - коэффициент, учитывающий материал инструмента.

Силы резания P_z .

Главная составляющая силы резания при фрезеровании - окружная сила P_z ,

и

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

Где z – количество зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$ об/мин.

Крутящий момент, Н·м, на шпинделе

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000}$$

Где D —диаметр врезь, мм.

Мощность резания (эффективная), кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}$$

Операция 1, переход 1:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев** фрезы – **3** шт.

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^{m_t} S_z^y B^{u_z} P^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 1,06^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 20^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 =$$

$$= (119/0,86) \times 0,72 = 99,63 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 95$ м/мин.

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 95}{3,14 \cdot 8} = 3782 \approx 3500 \text{ об/мин.}$$

На обрабатывающем фрезерном центре обеспечить частоту вращения фрезы можно до 5 000 об/мин, но стойкость фрезы будет меньше, а она специальная, поэтому дорогая.

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{190} \right)^{n_p} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88.$$

Таблица 4.5 – Поправочный коэффициент K_{mp} для стали и **чугуна**, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкерованиях	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Серый чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 1,06^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 20^{0,4} \times 3}{8^{0,2} \times 3500^{0,1}} \times 0,88 =$$

$$= (448/3, 43) \times 0,88 = 131 \times 0,88 = 115,28 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{115,28 \times 8}{2000} = 0,46 \approx 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{115,28 \times 95}{1020 \times 60} = 0,18 \text{ кВт.}$$

Операция 1, переход 2:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 8^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 8^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = 41 \times 0,72 =$$

$$= 29,93 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 25 \text{ м/мин.}$

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 8} = 1000 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 8^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 8^{0,4} \times 3}{8^{0,2} \times 1250^{0,1}} \times 0,88 =$$

$$= (465/3,1) \times 0,88 = 150 \times 0,88 = 132 \text{ Н.}$$

Таблица 4.6 – Составляющие силы резания при фрезеровании

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 (см. рис. 5)</i>				
Встречное (против подачи)	1,1 - 1,2	0 - 0,25	0,4 - 0,6	$(0,2 - 0,4) \cdot \text{tg}\omega$
Попутное (в направлении подачи)	0,8 - 0,9	0,7 - 0,9	0,4 - 0,6	$(0,2 - 0,4) \cdot \text{tg}\omega$
<i>Фрезы торцовые и концевые*² (см. рис. 6)</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

*¹ Фрезы, работающие по схеме цилиндрического фрезерования, когда торцовые зубья в резании не участвуют.

*² Фрезы, работающие по схеме торцового фрезерования.

$P_h = 0,4 \times P_z = 0,4 \times 132 = 52,8 \text{ Н.} \rightarrow$ расчёт жёсткости фрезы, упругой деформации при фрезеровании паза.

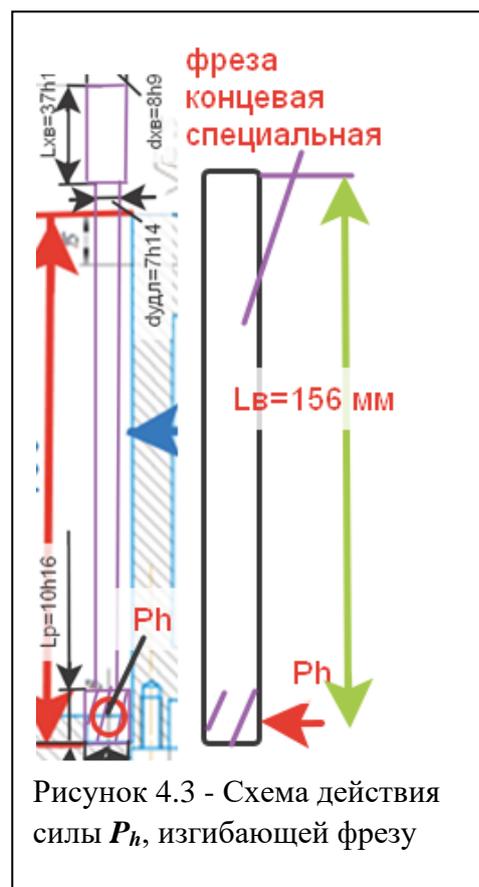
$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{132 \times 8}{2000} = 0,528 \approx 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{132 \times 35}{1020 \times 60} = 0,08 \text{ кВт.}$$

Рассчитываем силу P_h , которая действует против продольной подачи $v_{\text{прод}} = 3 \text{ мм/мин}$ и изгибает фрезу при консольном её действии на вылете (длина консоли) $L_b = 156 \text{ мм}$:

При расчёте упруго деформации фрезы учитываются диаметр удлинительного стержня 7 мм и длина вылета фрезы относительно цанги, в которой она закрепляется, $L_b = 156 \text{ мм}$.

Жёсткость фрезы зависит от способа её закрепления, её диаметра и длины. Наибольшее отжатие фрезы (отклонение от начального положения под



действием составляющей силы резания P_h) $y_{фр\ max}$ (мм) при консольном закреплении в цанговом патроне имеется у нижнего торца фрезы (у заготовки), которое рассчитывается по формуле

$$y_{фр\ max} = P_y \cdot l^2 / (3 \cdot E \cdot I), \quad (4.1)$$

где: l – длина вылета (консоли) фрезы (мм) ($l = L_b = 156$ мм); E – модуль упругости (модуль Юнга) (МПа). Для стали $E = 210 \text{ ГПа} = 210 \cdot 10^9 \text{ Па (Н/м}^2) = 210 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$; I – момент инерции поперечного сечения заготовки (мм⁴). Для круглой заготовки $I = \pi \cdot d^4 / 64$ (мм⁴).

При фрезеровании специальной удлиненной фрезой $\varnothing d = 7$ мм.

$$y_{фр\ max} = P_h \cdot l^2 / (3 \cdot E \cdot I) = 220 \cdot 156^2 / (3 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 7^4 / 64) = 0,078 \text{ мм.}$$

$$M_{Ph} = P_h \cdot l / 2 = 220 \cdot 156 \cdot 10^{-3} / 2 = 17,16 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

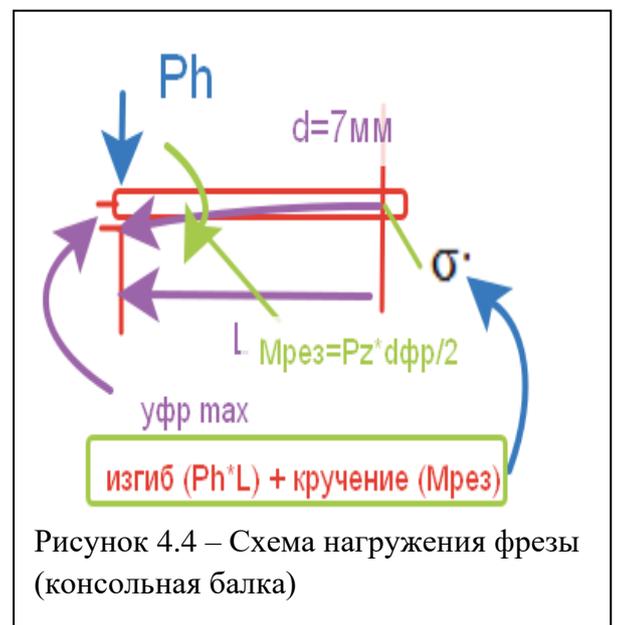
$$M_{Pz} = P_z \cdot d_{фр} / 2 = 220 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 2 = 0,88 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$$\sigma = M / W_h = M_{Ph} / W_h = 17,16 / (3,14 \cdot 0,007^3 / 32) = 527678223,24 \text{ Па} = 527,7 \text{ МПа}$$

где – W_h – момент сопротивления консольно закреплённого круглого стержня (балки) при действии силы P_h . $W = \pi \cdot d^3 / 32$ (м³);

Касательные напряжения от кручения: $\tau = M \cdot \rho / I$,

где: M – крутящий момент на поперечном сечении;
 ρ – расстояние от точки воздействия до центра круга;
 I – момент инерции поперечного сечения заготовки. $I = \pi \cdot d^4 / 64$ (м⁴).



$$\tau = M \cdot \rho / I = M_{Pz} \cdot \rho / I = 0,88 \times 0,0035 / (3,14 \cdot 0,007^4 / 64) =$$

$$= 11438970,49 \text{ Па} = 11,44 \text{ МПа}.$$

Максимально допустимое напряжение для быстрорежущей стали Р6М5: $\sigma_B = 548,6 \text{ МПа}$. Определяем при этом предельно допустимую силу P_h : $P_{h \max} = 229 \text{ Н}$.

По результатам экспериментов на 7-й минуте $P_h = 229 \text{ Н}$, по истечении этого времени износ главной режущей кромки зуба фрезы по задней поверхности составляет $0,12 \text{ мм}$.

С учётом коэффициента запаса прочности $K_z = 1,5$ рассчитываем допустимое напряжение у хвостовика фрезы у цанги: $[\sigma_B] = \sigma_B / K_z = 548 / 1,5 = 365 \text{ МПа} = 365 \text{ Н/мм}^2$.

Рассчитываем наибольшую ширину фрезерования B (глубину паза h) при фрезеровании кармана:

$$[\sigma] = M / W_h = M_{Ph} / W_h \rightarrow M_{Ph} = [\sigma] \times W_h = [\sigma] \times \pi \cdot d^3 / 32 =$$

$$= 365 \times 10^6 \times 3,14 \times 0,007^3 / 32 = 12,28 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$M_{Ph} = P_h \cdot l / 2 \leq 12,28 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$. Рассчитываем предельно допустимую силу $P_{h \max}$: $P_{h \max} = 12,28 \times 2 / l = 12,28 \times 2 / 0,156 = 157,4 \text{ Н} \approx 157 \text{ Н}$.

Рассчитываем наибольшую ширину фрезерования B (глубину паза h) при фрезеровании кармана:

$$P_{h \max} = P_{z \max} \times 0,4 = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} \times 0,4 \text{ (Н)}.$$

$$P_{h \max} = 0,4 \cdot 10 C_p t^x S_z^y B^u z \times K_M;$$

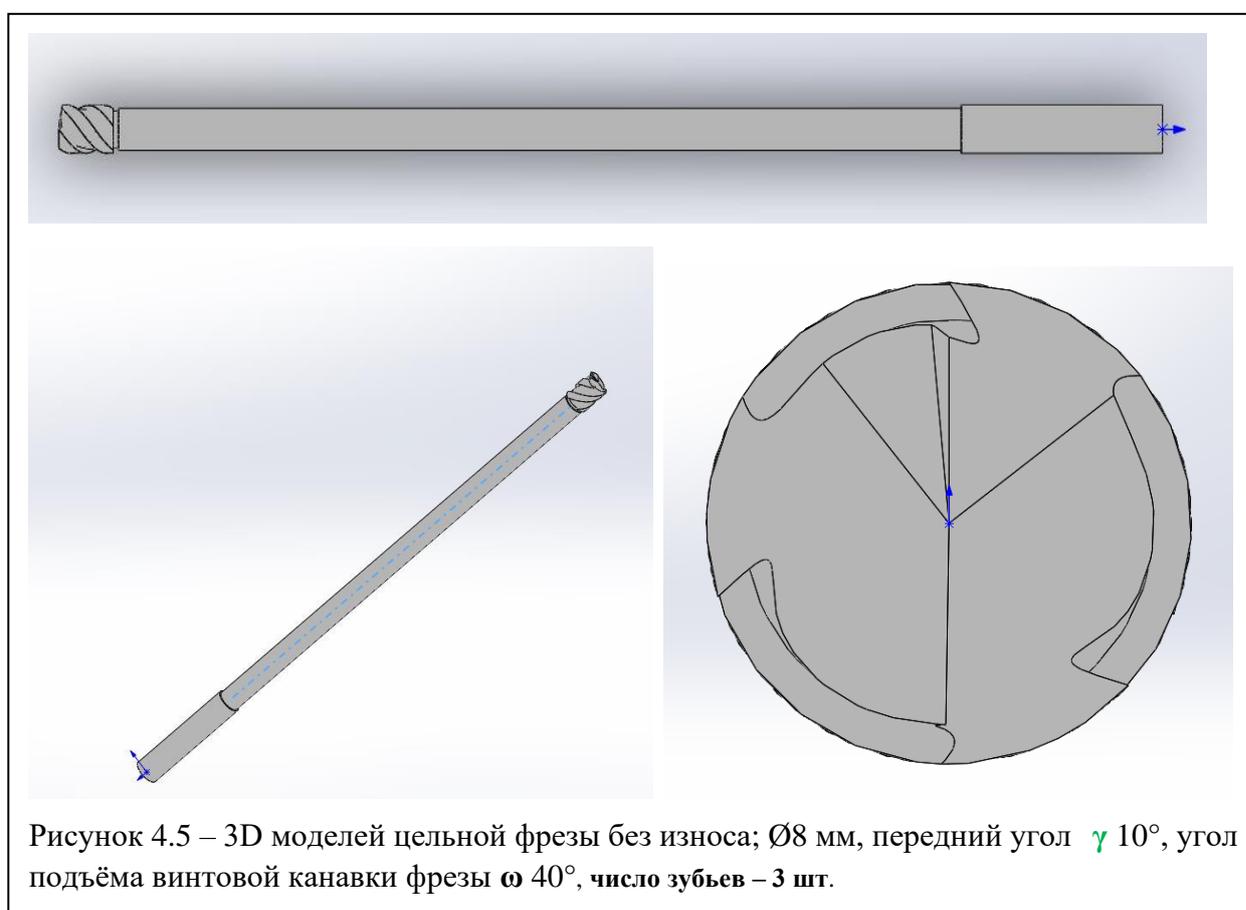
$$B^u = P_{h \max} D^q n^w / (10 C_p t^x S_z^y z K_M \cdot 0,4) =$$

$$= 157 \cdot 8^{0,2} \cdot 1000^{0,1} / (10 \cdot 300 \cdot 0,022^{0,5} \cdot 3 \cdot 0,88 \cdot 0,4) = 157 \cdot 8^{0,2} \cdot 2 / 469,6 =$$
$$= 475,9 / 470 = 1,013 \text{ мм.}$$

$B^u = B^{0,4} = 1,013$; $B = 1,013^{2,5} = 1,03$ мм. → фрезерование фрезой Ø8 мм с длиной вылета фрезы 156 мм **невозможно**, или придётся обрабатывать слишком долго, более **8** проходов при углублении в заготовку на каждом проходе на 1 мм. Но если карман предварительно сформирован при литье, а минимальный припуск около 1 мм, то фрезерование кармана возможно.

4.2. Проектирование цельной фрезы

Минимальная ширина канавки (как паза) при обработке кармана составляет 8 мм, глубина 8 мм. Требуется специальная фреза Ø8мм с длиной режущей части 10 -12 мм, с цилиндрическим хвостовиком Ø8 мм длиной 37 мм, длина всей фрезы 203 мм.



4.3. Расчёт составляющих силы резания P_z , P_y и P_x , действующих на зуб фрезы, выделение сил на передней и на задней поверхности

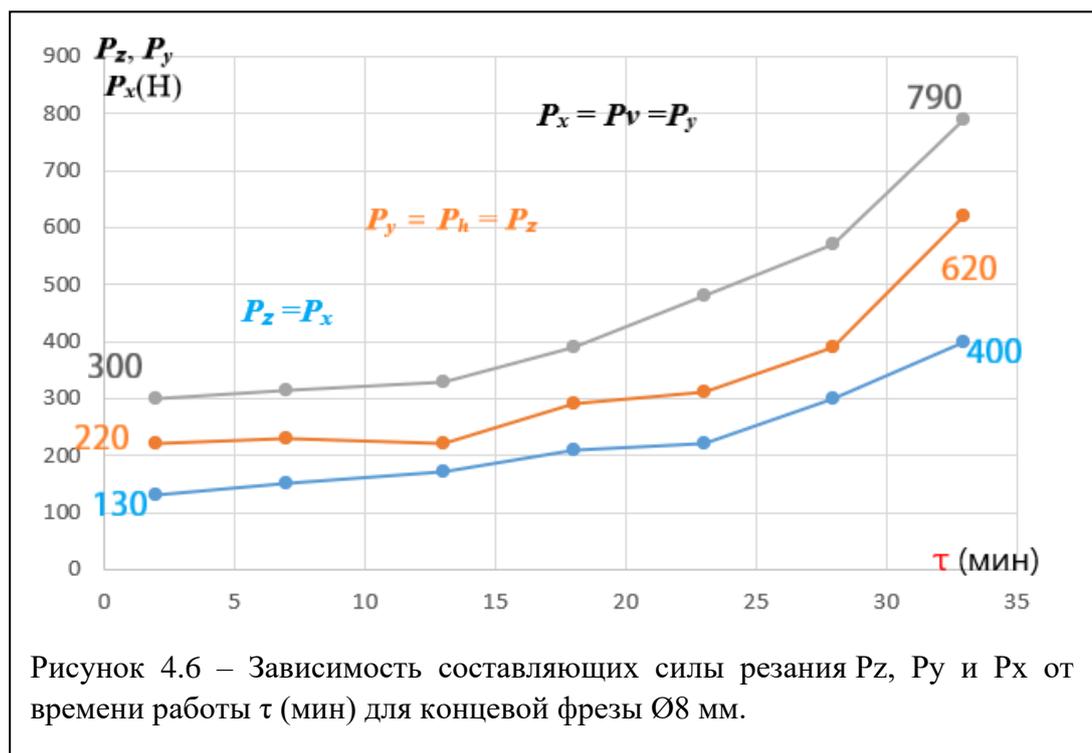
При фрезеровании толщина среза изменяется при вращении фрезы и рассчитывается по формуле: $a_i = S_z \cdot \sin\varphi$. Наибольшая толщина среза

зависит от глубины резания t , диаметра фрезы d и подачи на зуб S_z :

$$a_{max} \approx S_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}};$$

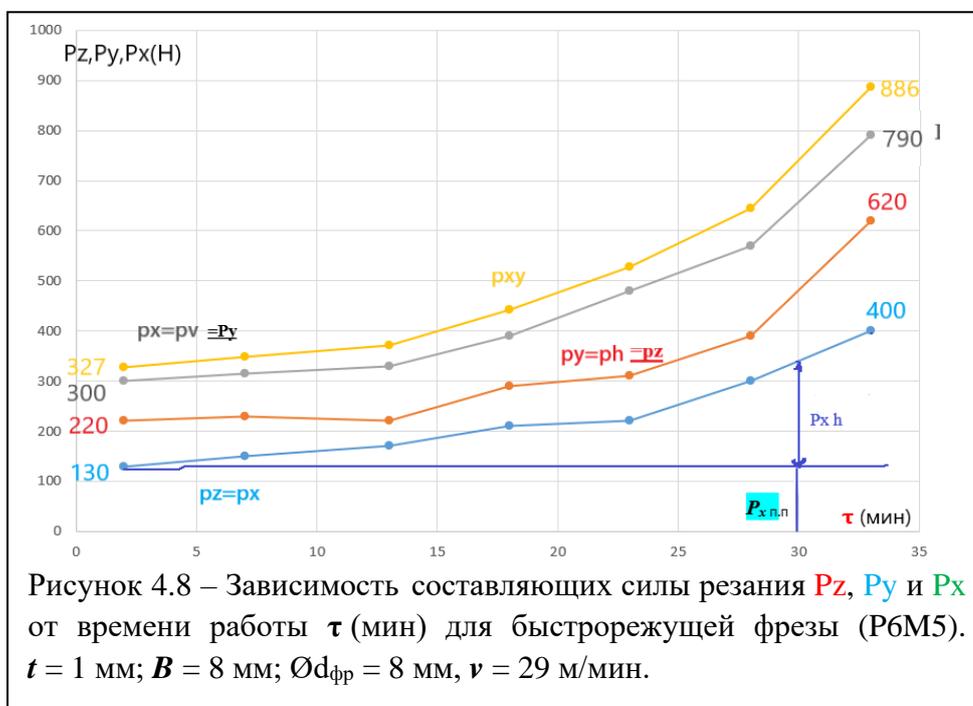
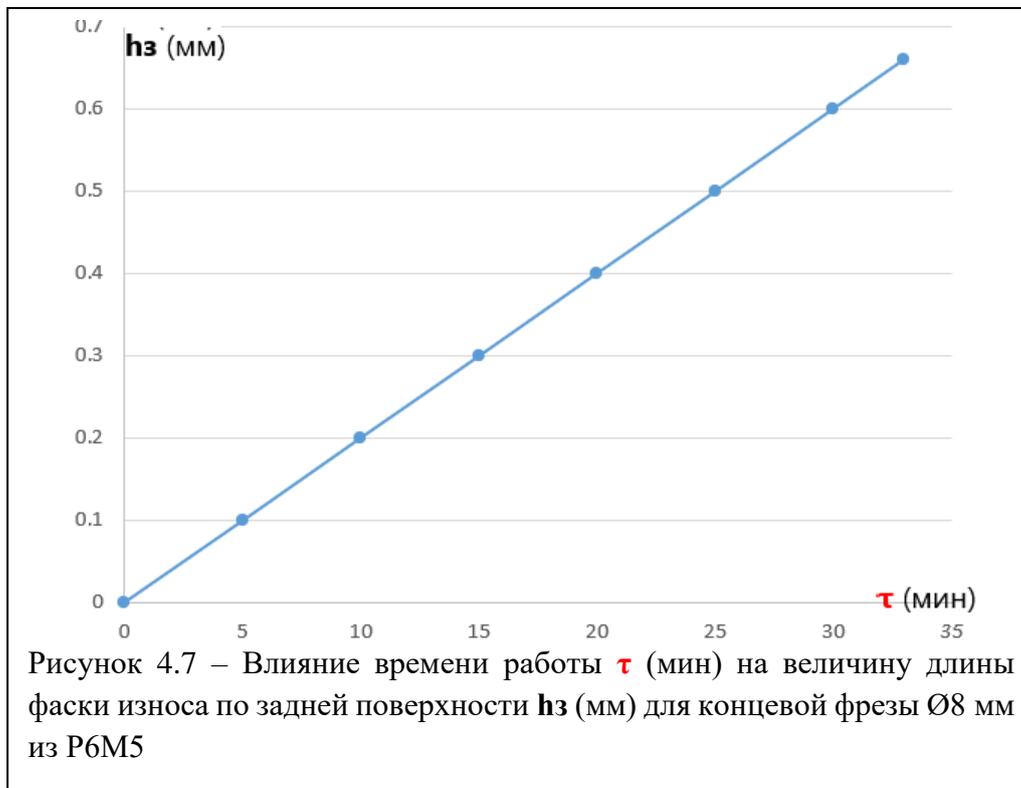
где a_i – толщина среза (мм); a_{max} – максимальная толщина среза (мм); S_z – подача на зуб (мм/зуб).

При обработке концевой фрезой с помощью динамометра Kistler измерялись составляющие силы резания P_h , P_v и P_x . В результате экспериментов из них были выделены силы P_z , P_y и P_x и было получено изменение составляющих силы резания P_z , P_y и P_x с течением времени работы.



В самом начале когда фреза была острая у нас силы были маленькие, а потом они начали увеличиваться. Это увеличение связано только с силами на задней поверхности. Выделение сил на фаске износа по задней поверхности выполняется вычитанием текущей силы от начальной величины этой

составляющей силы в самом начале обработки. На графике – от горизонтальных (начальных) до текущих точек по вертикали.



Результирующая сил P_x и P_y сила P_{xy} рассчитывается по формуле:

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

На передней поверхности (п.п.) (на неизношенной фрезе) действуют силы:

$$P_{x.p.p} = 130 \text{ Н}; P_{y.p.p} = 300 \text{ Н}; P_{z.p.p} = 220 \text{ Н}.$$

$$P_{xy.p} = \sqrt{130^2 + 300^2} = 327 \text{ Н};$$

При износе в конце периода стойкости ($T=36$ мин) в результате появления сил на фаске износа по задней поверхности длиной h

фиксироваться силы на мониторе от Kistler:

$$P_{x.монит} = 400 \text{ Н}; P_{y.монит} = 790 \text{ Н};$$

$$P_{z.монит} = 620 \text{ Н};$$

$$P_{x.h.} = 400 - 130 = 270 \text{ Н};$$

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

$$P_{z.h.} = 620 - 220 = 400 \text{ Н}$$

$$P_{xy.h.} = \sqrt{270^2 + 490^2} = 560 \text{ Н}$$

Удельное давление на передней поверхности зуба фрезы:

$$q_N = \frac{N}{l \cdot c}$$

где N – нормальная сила на передней поверхности зуба фрезы (Н) с учётом переднего угла γ ($^\circ$); l – длина контакта главной режущей кромки зуба фрезы с заготовкой с учётом угла наклона главной режущей кромки (угла наклона винтовой канавки ω), глубины резания t (мм) и диаметра фрезы $d_{фр}$ (мм); c – длина контакта стружки с передней поверхностью (мм), которая

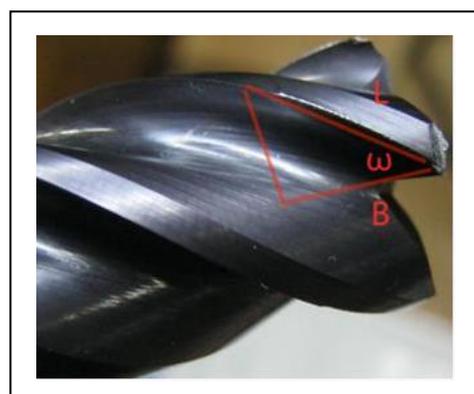


Рисунок 4.9 – Износ зуба фрезы по задней поверхности. B – ширина фрезерования; ω – угол наклона винтовой канавки зуба фрезы

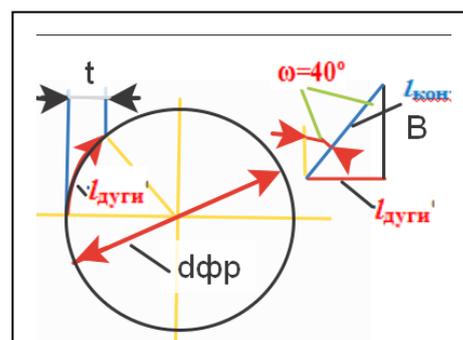


Рисунок 4.10 – Расчёт длины дуги сектора $l_{дуги}$ и длины контакта главной режущей кромки фрезы с заготовкой $l_{конт.}$. B – ширина фрезерования на при длине дуге сектора $l_{дуги}$

зависит от толщины среза a (мм). На разных участках режущей кромки величина a разная, т.к. имеется винтовая канавка с углом $\omega > 0^\circ$. При повороте зуба на угол ψ будет и разная толщины среза a , поэтому будем рассматривать значение $a \approx a_{max}$ и c .

$$a_{max} \approx S_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}};$$

Расчёт длины контакта режущей кромки фрезы $l_{\text{конт}}$ при $B=8$ мм, $t=1$ мм, $d=8$ мм и $\omega=40^\circ$ (у стандартной концевой 3-х зубой фрезы):

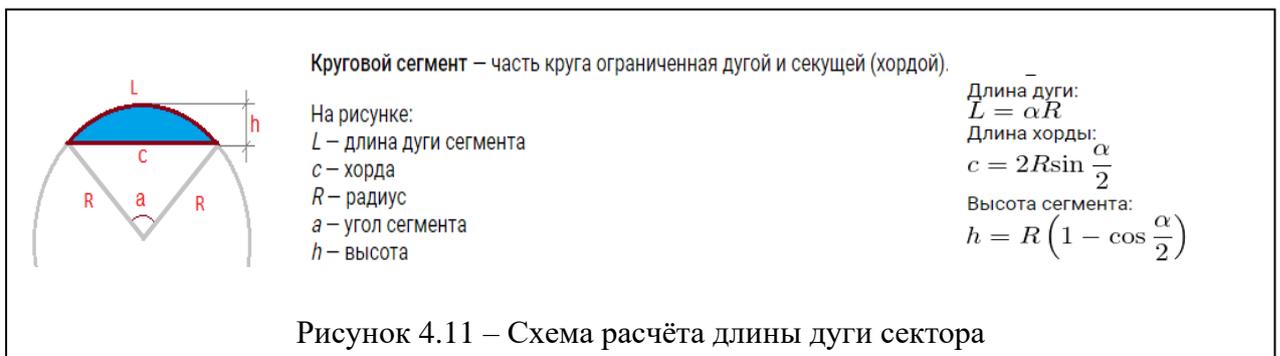
1) при $t=1$ мм и $d=8$ мм рассчитываем длину дуги сектора

$$l_{\text{дуги}} = \pi R \alpha / 180 = 3,14 \cdot 4 \cdot 180^\circ / 180^\circ = 12,56 \text{ мм};$$

2) рассчитываем длину контакта режущей кромки фрезы

$$l_{\text{конт}} = l_{\text{дуги}} / \cos \omega = 12,56 / \cos 40^\circ = 9,62 \text{ мм}.$$

Круговой сектор – это часть **круга**, ограниченная дугой (называемой **дугой сектора**) и двумя радиусами, соединяющими концы дуги с центром **круга**. Длина **окружности** радиуса равна $C = 2 \pi R$. Длина дуги **окружности** радиуса равна $C_\alpha = 2 \pi R \cdot \alpha / 360$, где α – градусная мера этой дуги. Или: $C_\alpha = \pi R \cdot \alpha / 180$. При фрезеровании паза концевой фрезой $\alpha_{\text{дуги}} = 180^\circ$.



Удельное давление на фаске задней поверхности:

$$q_{Nh} = \frac{P_{xy} h}{l \cdot h_3}$$

$$q_{Nh} = q_{P_{xy}h} = \frac{P_{xy}h}{l \cdot h_3} = \frac{560}{9,62 \cdot 0,62} = 87 \text{ Н/мм}^2;$$

$$q_{Fh} = q_{P_{zh}} = \frac{P_{zh}}{l \cdot h_3} = \frac{400}{9,62 \cdot 0,62} = 62 \text{ Н/мм}^2.$$

Рассчитываем средний условный коэффициент трения на фаске износа по задней поверхности μ_h : $\mu_h = q_{Fh}/q_{Nh} = 62/87 = 0,71$.

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

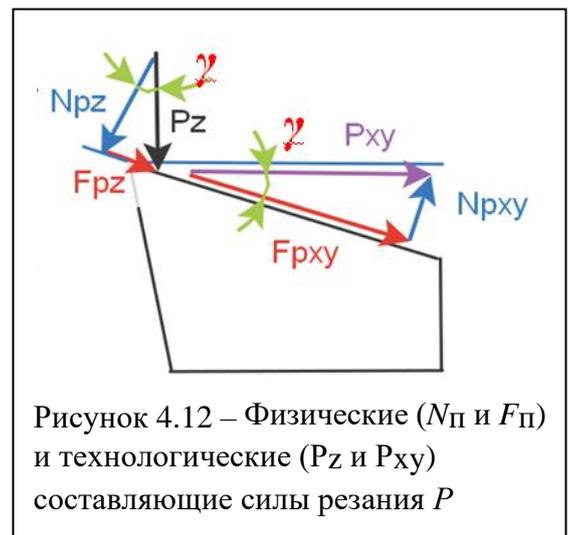
Расчёт физических составляющих силы резания N и F по технологическим составляющим P_z и P_{xy} при переднем угле $\gamma \neq 0^\circ$ выполняем по формулам, которые получаем из суммы векторов (рис. 4.12)

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

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

передний угол $\gamma = 10^\circ$;

Расчёт физических составляющих N и F



на передней поверхности при $P_{z,\Pi} = 220 \text{ Н}$; $P_{xy,\Pi} = \sqrt{130^2 + 300^2} = 327 \text{ Н}$:

$$N = 220 \times \cos 10^\circ - 327 \times \sin 10^\circ = 217 - 57 = 160 \text{ Н};$$

$$F = 327 \times \cos 10^\circ + 220 \times \sin 10^\circ = 322 + 38 = 360 \text{ Н};$$

Расчёт физических составляющих N_1 и F_1 на фаске задней поверхности:

$$N_h = P_{xy} h = \sqrt{P_{xz}^2 + P_{yz}^2} = \sqrt{270^2 + 490^2} = 560 \text{ Н};$$

$$F_h = P_z h = 400 \text{ Н};$$

Табл. 4.3.1 – Силы резания, рассчитанные по удельным силам резания стали 40Х, полученных из экспериментов при постоянной условной глубине резания $t=2$ мм

$a, \text{ мм}$	$s, \text{ мм/об}$	<i>Технологические средние силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +7^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм $\gamma = +7^\circ$, Н</i>				<i>Технологические силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, $\gamma = +15^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм $\gamma = +15^\circ$, Н</i>		
		$P_{xy \text{ ср}}$	$P_z \text{ ср}$	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$		P_{xy}	P_z	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	286	443	0,646	338	405	0,83		223	433	0,516	327	360	0,909
0,078	0,11	396	619	0,640	469	566	0,83		309	577	0,536	448	477	0,939
0,163	0,23	742	1216	0,610	885	1117	0,79		635	1087	0,584	894	886	1,010
0,240	0,34	961	1735	0,554	1165	1606	0,73		864	1592	0,543	1247	1314	0,949
0,368	0,52	1144	2370	0,483	1425	2214	0,64		1078	2222	0,485	1616	1867	0,866

$a, \text{ мм}$	$s, \text{ мм/об}$	<i>Технологические средние силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, и $\gamma = +25^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +25^\circ$, Н</i>				<i>Технологические силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, и $\gamma = +35^\circ$, Н</i>			<i>Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +35^\circ$, Н</i>		
		$P_{xy \text{ ср}}$	$P_z \text{ ср}$	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$		P_{xy}	P_z	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	167	394	0,646	318	286	1,111		110	354	0,313	294	226	1,298
0,078	0,11	223	520	0,640	422	377	1,119		137	463	0,295	378	301	1,255
0,163	0,23	479	981	0,610	849	686	1,237		324	874	0,370	767	530	1,445
0,240	0,34	650	1414	0,554	1187	1007	1,179		436	1234	0,353	1065	761	1,400
0,368	0,52	817	1948	0,483	1564	1420	1,101		556	1674	0,332	1416	1059	1,346

5. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений

Для построения распределения контактных напряжений (эпюр контактных напряжений) необходимо знать силы на передней поверхности в зависимости от толщины среза a и длину контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Т.к. при фрезеровании такие исследования проводить сложно, получим эпюры при тчении с соответствующей толщиной среза a .

1) После проведения эксперимента измеряется длина контакта с стружки с передней поверхностью инструмента c при различных передних углах γ (рис. 5.1).

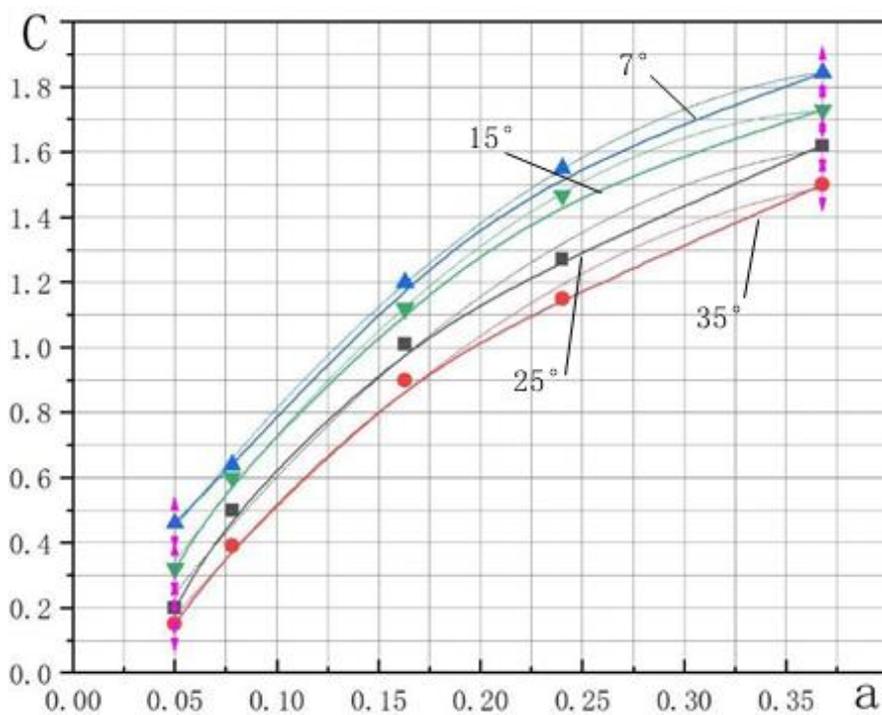
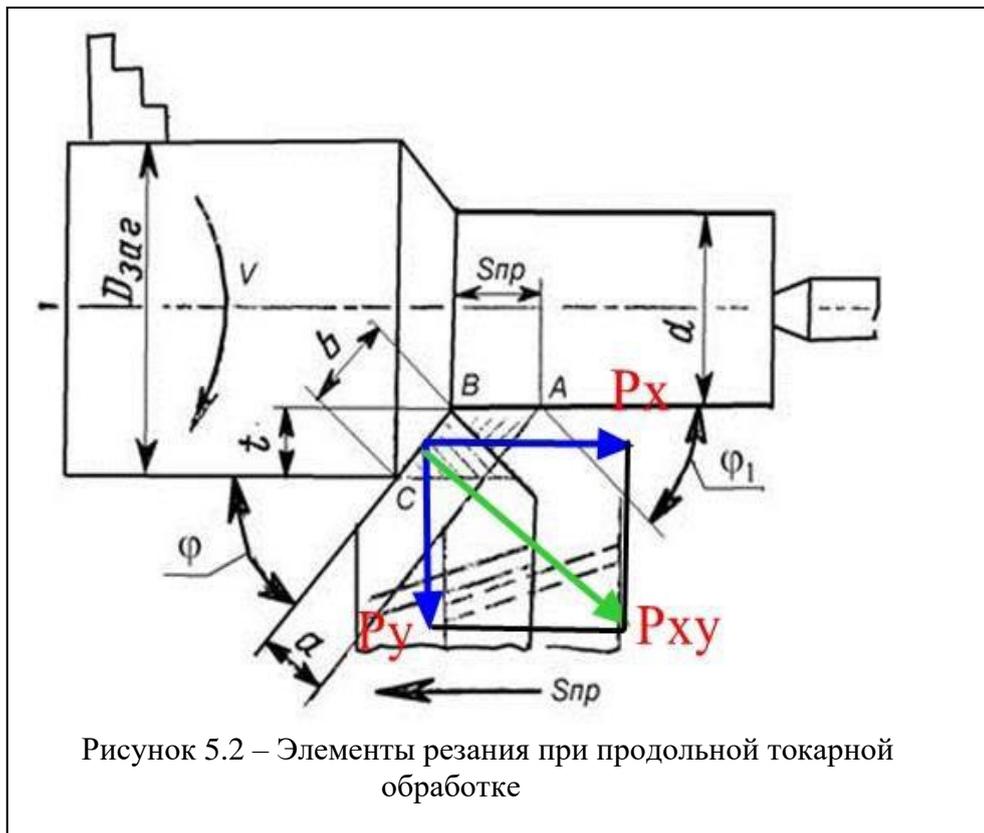


Рисунок 5.1 – Зависимость длины контакта стружки c (мм) по передней поверхности от толщины среза a (мм) и переднего угла γ (°) при обработке стали 40Х.

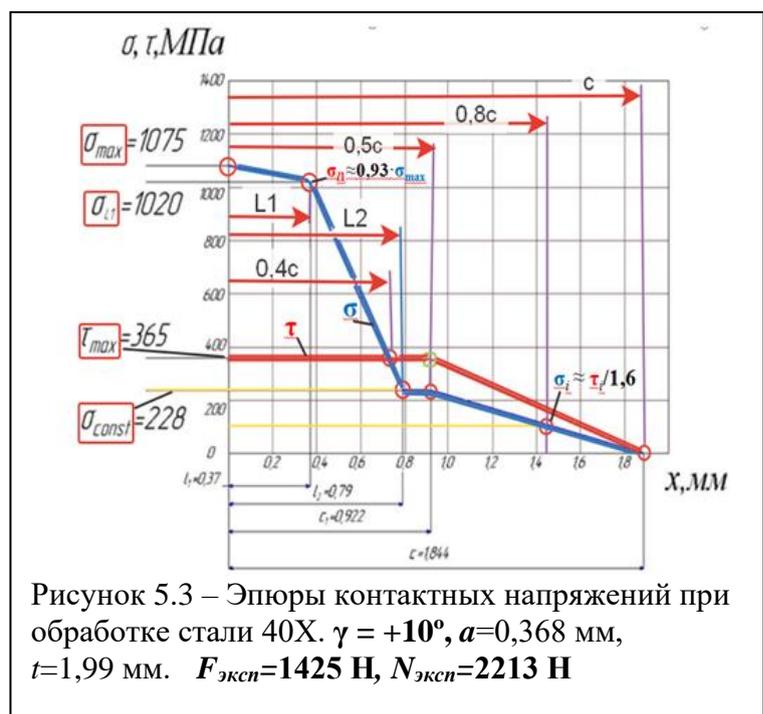
при $\gamma=7^\circ$: $c=0,026+8,955a-10,903a^2$; при $\gamma=15^\circ$: $c=-0,1028+9,564a-12,483a^2$;
при $\gamma=25^\circ$: $c=-0,0164+8,728a-10,638a^2$; при $\gamma=35^\circ$: $c=-0,205+8,105a-9,507a^2$.

2) На основании проведённых экспериментов строятся графики изменения длины контакта c от толщины среза a $a=s \times \sin \varphi$, где s – подача (мм/об) (рис. 5.2); φ – главный угол в плане.

Строятся графики изменения длины контакта c от переднего угла γ и толщины среза a и определяются соответствующие уравнения: при $a = 0,05$ мм, $c = -0,01 \cdot \gamma + 0,5$; при $a = 0,078$ мм, $c = -0,01015 \cdot \gamma + 0,75$; при $a = 0,163$ мм, $c = -0,01074 \cdot \gamma + 1,28$; при $a = 0,24$ мм, $c = -0,01137 \cdot \gamma + 1,55$; при $a = 0,368$ мм, $c = -0,0115 \cdot \gamma + 1,905$.



3) По экспериментальным точкам графиков изменения длины контакта c (мм) от толщины среза a (мм) с помощью программного обеспечения OriginLab определяется функциональная связь между c и a при разных



передних углах γ , т.е. $c = f(a)$. Например, при $\gamma=7^\circ$:
 $c=0,026+8,955a-10,903a^2$ (мм).

4) По физической касательной силе F строится эпюра касательных напряжений τ . В её основе лежит особенность характера этой эпюры – у режущей кромки она имеет горизонтальный участок на участке пластического контакта стружки с передней поверхностью, т.е. от $x=0$ до $x=c_1$ (рис. 5.3), а при дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры τ имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке $x_i=c$. Такой характер позволяет после простых преобразований использовать формулу

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

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

F – касательная сила на передней поверхности (Н);

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

5) Строится эпюра касательных контактных напряжений (рис. 5.3).

6) Эпюру нормальных контактных напряжений σ строим относительно эпюры τ , используя график изменения коэффициента трения $\mu = \tau / \sigma$ в зависимости от относительной длины контакта стружки с передней поверхностью $\psi = x_i/c$ (рис. 5.4).

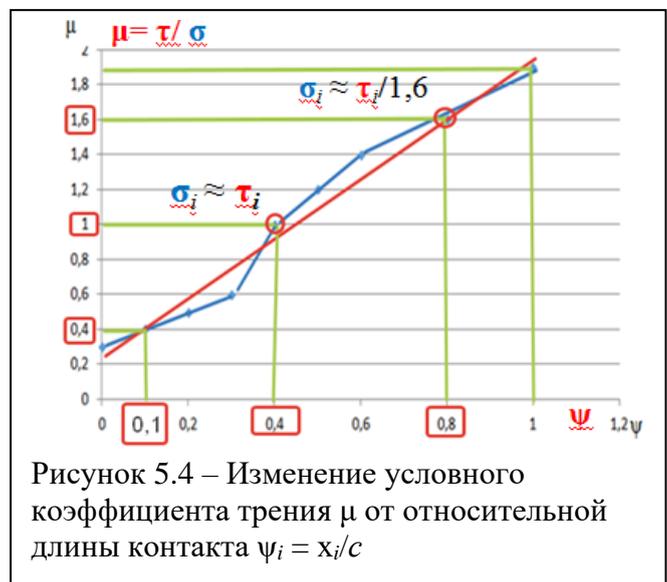


Рисунок 5.4 – Изменение условного коэффициента трения μ от относительной длины контакта $\psi_i = x_i/c$

6.1. Величину σ_{\max} задаём

сначала сами $\sigma_{\max} = 2\sigma_b$. Потом корректируем, чтобы сила по эпюре N_σ была равна силе по эксперименту $N_{\text{эсп}}$. Т.е. ищем σ_{\max} .

6.2. На расстоянии $l_1 \approx a$ (мм) $\sigma_{l1} \approx 0,93 \cdot \sigma_{\max}$

6.3. При $x=0,4 \times c$ коэф. трения $\mu=1$, то есть там $\sigma_i = \tau_i$.

6.4. На участке до $x \approx 0,5c$ горизонтальная линия у эпюры σ .

6.5. При $x \approx 0,8c$ $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$.

7. Выполняется проверка правильности построения эпюр – сила, рассчитанная по эпюре (N_σ или F_τ) должна быть равна силе по эксперименту ($N_{\text{эксперимента}}$ или $F_{\text{эксперимента}}$).

7.1. Проверка **нормальной силы по эпюре σ** :

$$S_\sigma = \sum s_{\sigma i} \text{ (Н/мм)} \rightarrow N_\sigma = S_\sigma \times b \approx N_{\text{эксперимента}};$$

7.2. Проверка **касательной силы по эпюре τ** :

$$S_\tau = \sum s_{\tau i} \text{ (Н/мм)} \rightarrow F_\tau = S_\tau \times b \approx F_{\text{эксперимента}}$$

В нашем случае при фрезеровании фрезой диаметром $d = 8$ мм с подачей $s_z = 0,022$ мм/зуб и $t = 8$ мм наибольшая толщина среза a_{max} равна:

$$a_{max} \approx a_{max} \approx S_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}} = 0,022 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,044 \text{ мм.}$$

т.е. $a_{cp} = 0,022$ мм. Для концевой фрезы главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$.

При образовании **элементной стружки**, как при обработке серого чугуна СЧ20, $c_1 \approx 0,8 \cdot c$ (см. рис. 5.4 б). Это позволяет использовать формулу:

$$\tau_{max} = F / (c \times b \times 0,9).$$

Если передний угол $\gamma = 10^\circ$ длина контакта $c \approx 1,4 a = 0,031$ мм, ширина контакта с заготовкой $b = l_{\text{конт}} = 9,62$ мм; $N = 112$ Н; $F = 46$ Н;

$$c_1 \approx 0,8 \cdot c = 0,8 \cdot 0,031 = 0,0248 \text{ мм.}$$

При образовании **элементной стружки**, как при обработке серого чугуна СЧ20, $c_1 \approx 0,8 \cdot c$ (см. рис. 5.4 б). Это позволяет использовать формулу:

$$\tau_{max} = F / (c \times b \times 0,9) = 46 / (0,031 \times 9,62 \times 0,9) = 171,4 \text{ МПа};$$

$$\mu_{cp} = F / N = 46 / 112 = \mathbf{0,41}.$$

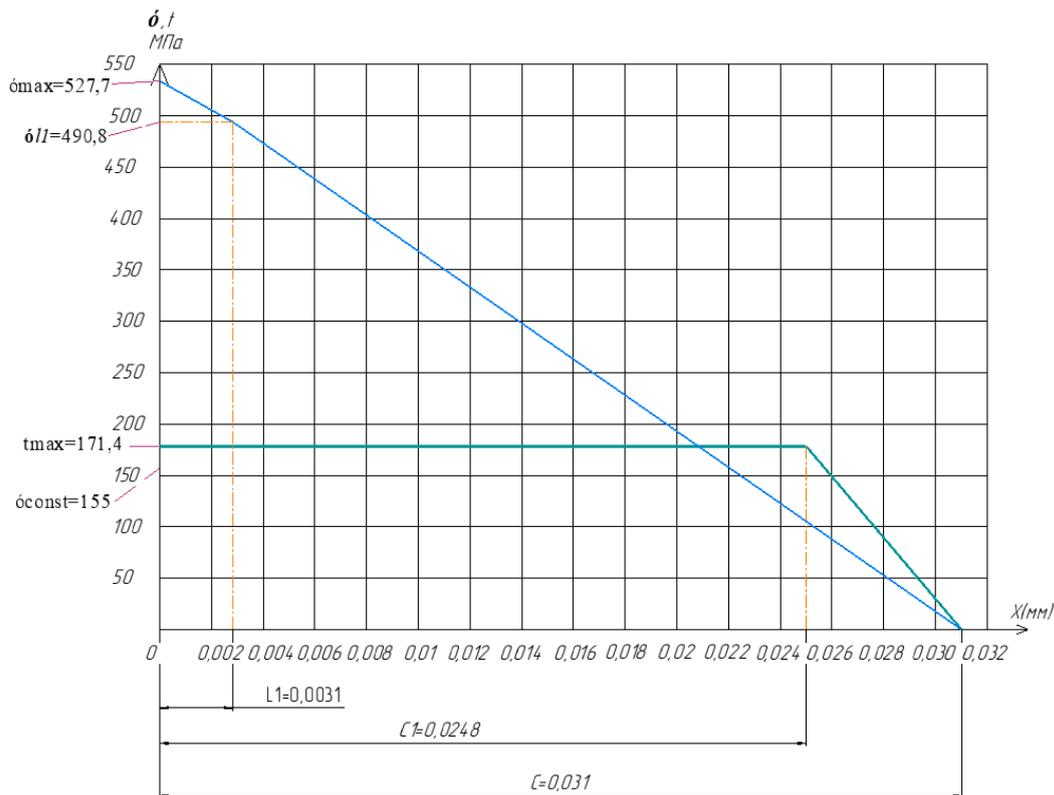


Рисунок 5.4 б – Эпюры контактных напряжений на передней поверхности фрезы при подаче $s_z = 0,022$ мм/зуб, $a_{cp} = 0,022$ мм, при $\gamma = +10^\circ$ при обработке чугуна СЧ20.

$$N = 11,44 \times 9,62 = 110,05 \text{ Н} \approx N_{\text{экснт}} = 112 \text{ Н};$$

$$\text{Площадь эпюры } \tau: S_\tau = 4,78 \text{ МПа/мм};$$

$$F = S_\tau \times b = 4,78 \times 9,62 = 45,98 \text{ Н} \approx F_{\text{экснт}} = 46 \text{ Н}.$$

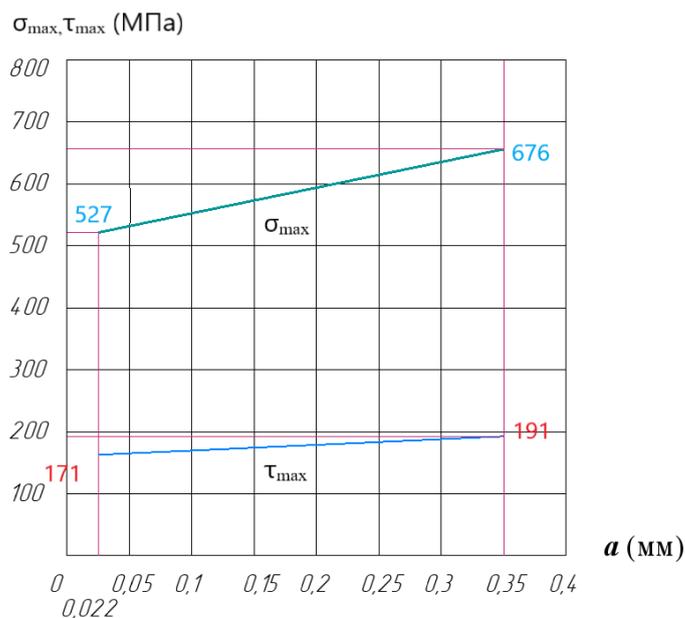
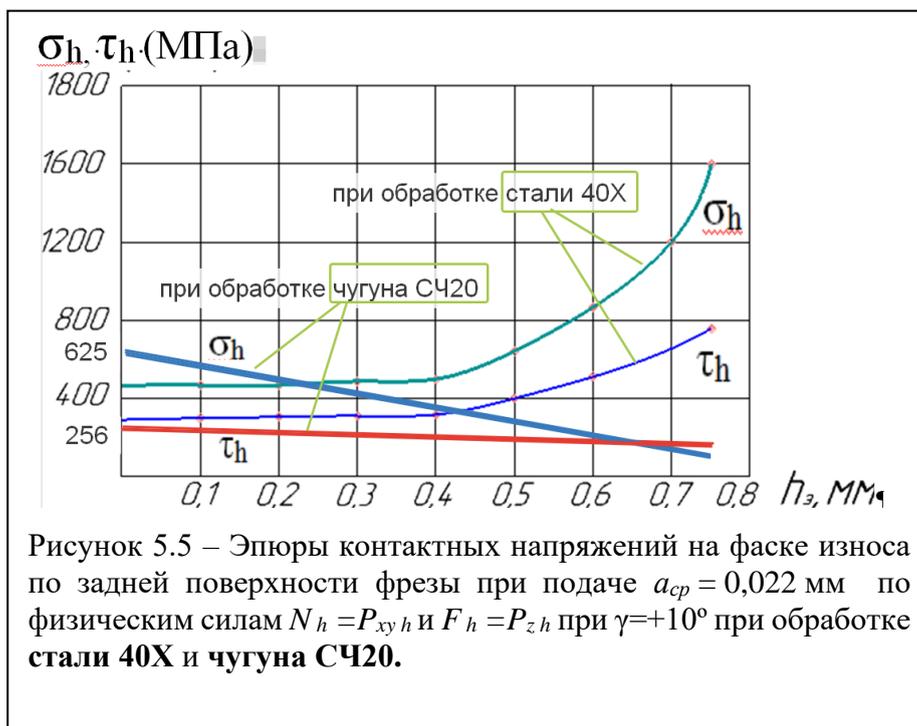


Рисунок 5.4 в – Влияние толщины среза a_{cp} на величину наибольших нормальных σ_{\max} и касательных τ_{\max} контактных напряжений на передней поверхности фрезы при фрезеровании чугуна СЧ20 при $\gamma = +10^\circ$.

Построение эпюр контактных напряжений на фаске задней поверхности при $h_3 = 0,75\text{мм}$

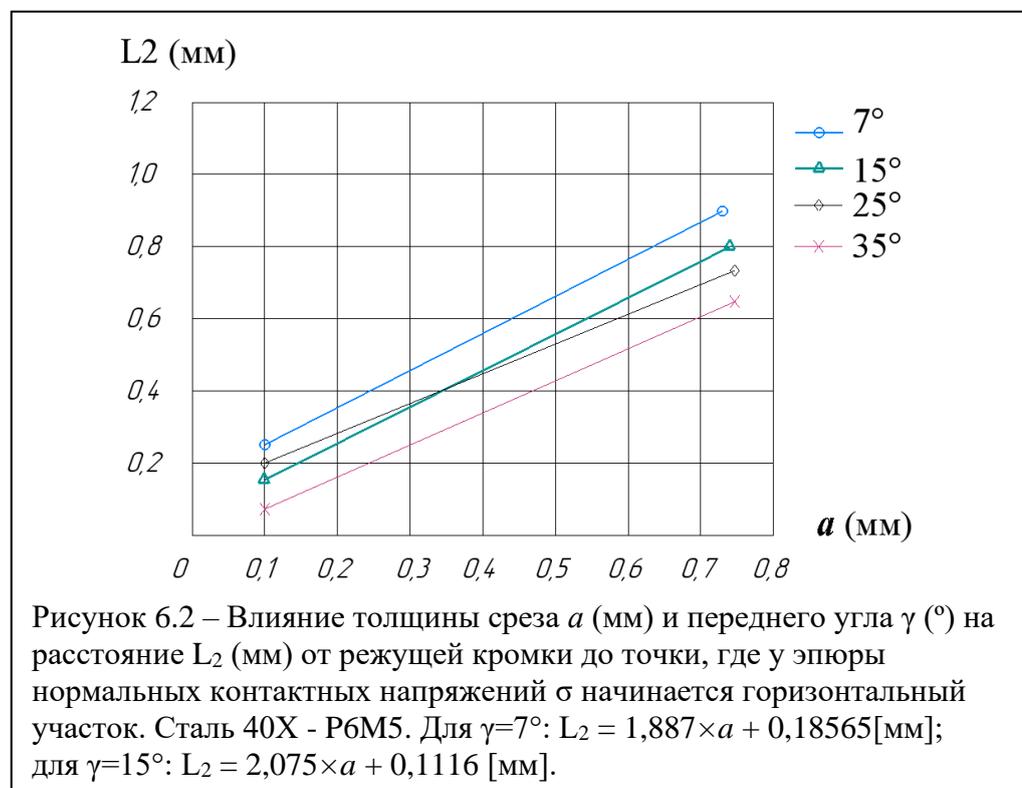
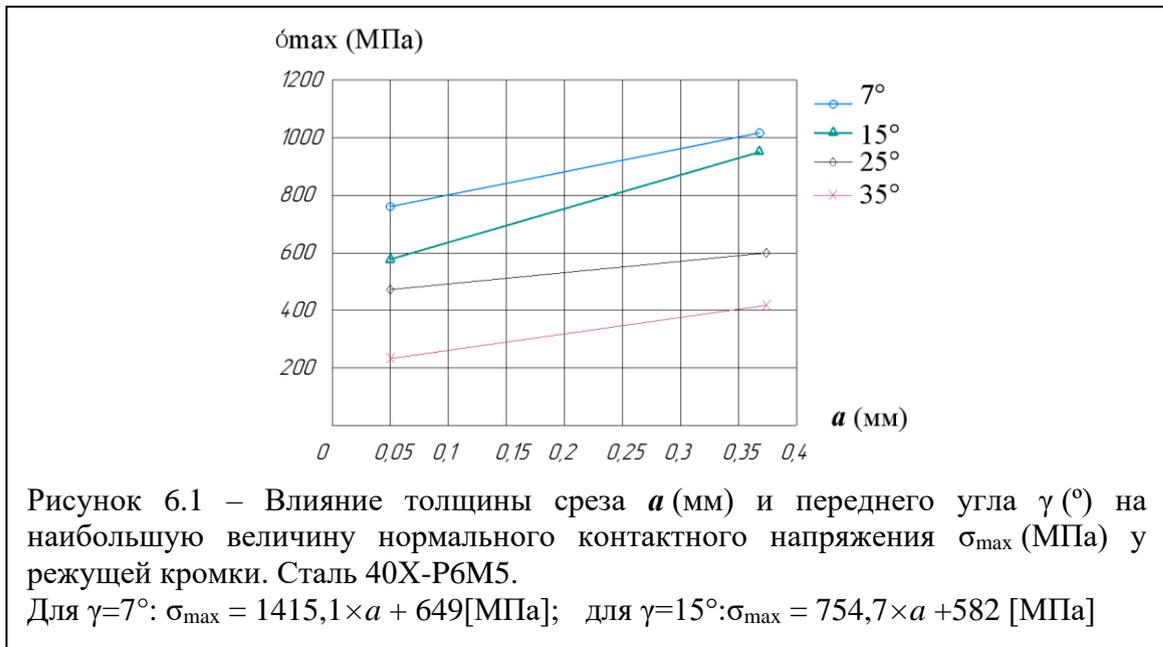
При обработке материалов, образующих сливную стружку (такие, как сталь 40Х), контактные напряжения на фаске задней поверхности увеличиваются при отдалении от режущей кромки (рис. 5.5) [14].

При обработке материалов, образующих элементную стружку (такие, как чугун СЧ20), контактные напряжения на фаске задней поверхности уменьшаются при отдалении от режущей кромки (рис. 5.5). Наибольшие напряжения в этом случае у режущей кромки из-за упругого восстановления поверхности резания после отделения сформированного элемента стружки и прекращения действия радиальной силы со стороны передней поверхности $P_{y\text{ п.п.}}$ [16].



6. Определение параметров эюр контактных напряжений

Для облегчения построения эюр контактных напряжений и анализа влияния переднего угла и толщины среза на эюры контактных напряжений были построены графики влияния толщины среза a на основные параметры эюр (рис. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4)



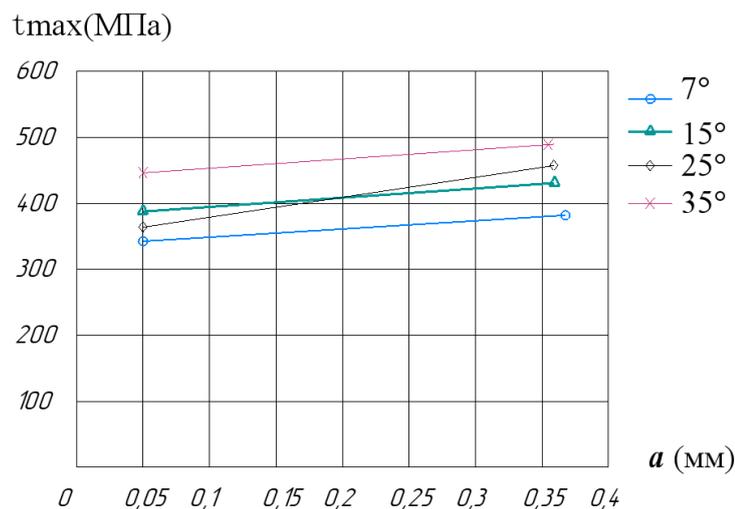


Рисунок 6.3 – Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) на наибольшую величину касательного контактного напряжения τ_{\max} (МПа) у режущей кромки. Сталь 40Х- Р6М5. Для $\gamma=7^\circ$: $\tau_{\text{const}} = 94,34 \times a + 335$ [МПа]; для $\gamma=15^\circ$: $\tau_{\text{const}} = 78,6 \times a + 381$ [МПа]

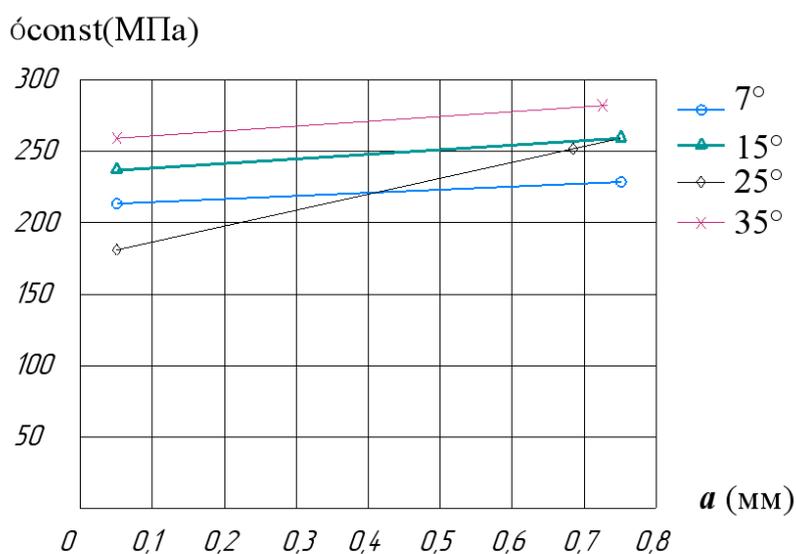
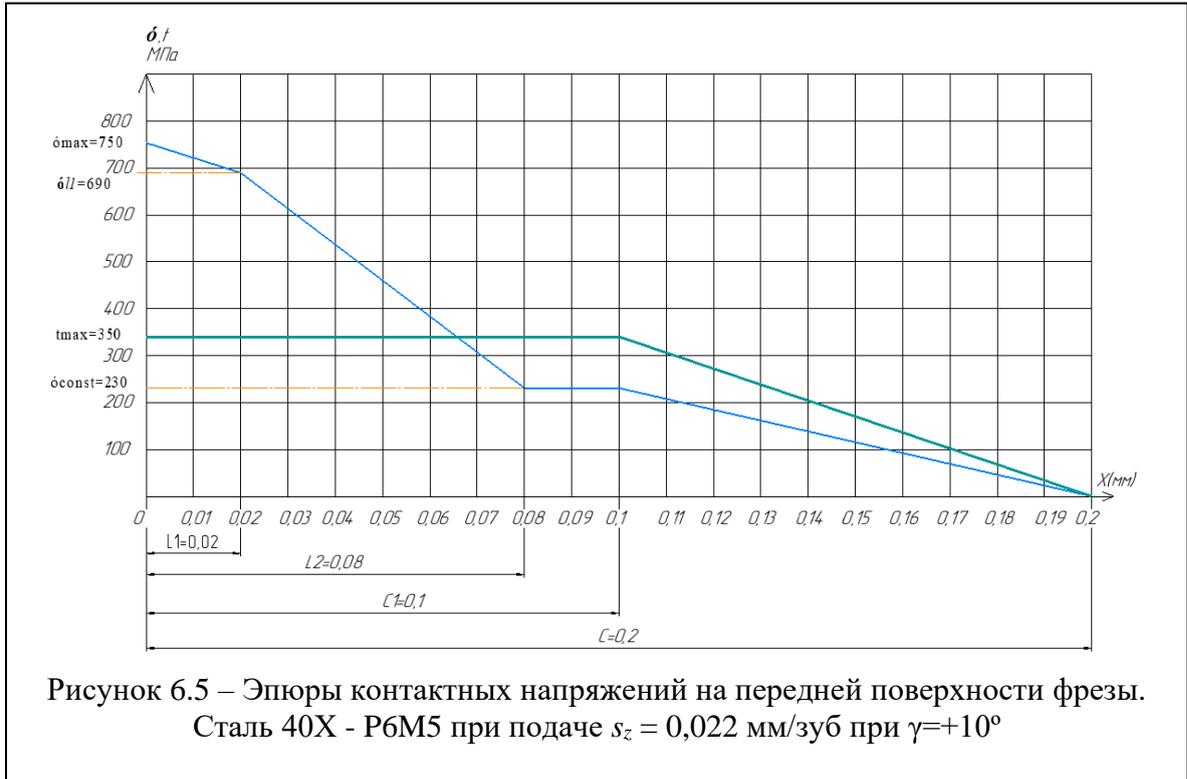


Рисунок 6.4 – Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) на величину нормального контактного напряжения σ_{const} (МПа) на горизонтальном участке эюры σ . Сталь 40Х- Р6М5. Для $\gamma=7^\circ$: $\sigma_{\text{const}} = 22 \times a + 213,9$ (МПа); для $\gamma=15^\circ$: $\sigma_{\text{const}} = 188,68 \times a + 200,57$ (МПа);

При обработке стали 40X режущим инструментом с передним углом $\gamma=10^\circ$ при подаче $s_z = 0,022$ мм/зуб при наибольшей толщине среза $a = 0,044$ мм: $\sigma_{\max} = 750$ МПа; $L_2 = 0,2$ мм; $\tau_{\text{const}} = 350$ МПа; $\sigma_{\text{const}} = 230$ МПа (рис. 6.5).



7. Расчёт прочности концевой фрезы

Требуется рассчитать напряжённое состояние у заделки консольной балки (фрезы) от P_h и $M_{рез}$.

Рассчитываем силу P_h , которая действует **против** продольной подачи $s_{прод} = s_{мин}$ (мм/мин) и изгибает фрезу при консольном её действии на вылете (длина консоли) $L_b = 156$ мм:

Необходимо рассчитать упругую деформацию фрезы, с учётом диаметра

удлинителя $d_{удл} = 7$ мм, длины консоли $L_b = 156$ мм по формулам из сопротивления материалов и по программе ANSYS.

Жёсткость фрезы зависит от способа её закрепления, её диаметра и длины. Наибольшее отжатие фрезы (отклонение от начального положения под действием составляющей силы резания P_h) $y_{фр max}$ (мм) при консольном закреплении в цанговом патроне имеется у нижнего торца, которое рассчитывается по формуле

$$y_{фр max} = P_h \cdot l^2 / (3 \cdot E \cdot I), \quad (7.1)$$

где: l – длина вылета (консоли) фрезы (мм) ($l = L_b = 156$ мм); E – модуль упругости (модуль Юнга) (МПа). Для стали $E = 210 \text{ ГПа} = 210 \cdot 10^9 \text{ Па (Н/м}^2) = 210 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$; I – момент инерции поперечного сечения заготовки (мм⁴). Для круглой заготовки $I = \pi \cdot d^4 / 64$ (мм⁴).

При фрезеровании специальной удлинённой фрезой $\varnothing d = 7$ мм.

$$y_{фр max} = P_h \cdot l^2 / (3 \cdot E \cdot I) = 220 \cdot 156^2 / (3 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 7^4 / 64) = 0,078 \text{ мм.}$$

$$M_{Ph} = P_h \cdot l / 2 = 220 \cdot 156 \cdot 10^{-3} / 2 = 17,16 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$$M_{Pz} = P_z \cdot d_{фр} / 2 = 220 \cdot 7 \cdot 10^{-3} / 2 = 0,77 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$$\sigma = M / W_h = M_{Ph} / W_h = 17,16 / (3,14 \cdot 0,007^3 / 32) = 527678223,24 \text{ Н/м}^2 = 527,7 \text{ МПа.}$$

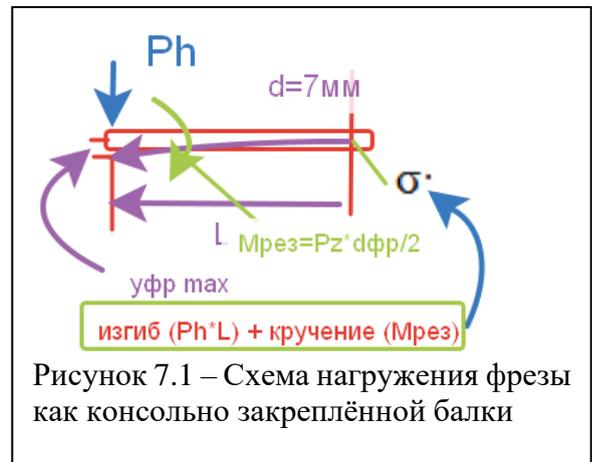


Рисунок 7.1 – Схема нагружения фрезы как консольно закреплённой балки

где – W – момент сопротивления для цельного круглого стержня (круглой балки), которой является хвостовик концевой цельной фрезы.

$$W = \pi \cdot d^3 / 32 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Касательные напряжения от кручения: $\tau = M \cdot \rho / I$

где: M – момент на поперечном сечении;

ρ – Расстояние от точки воздействия до центра круга.

$$\tau = M \cdot \rho / I = M_{Pz} \cdot \rho / I = 0,77 \cdot 0,0035 / (3,14 \cdot 0,007^4 / 64)$$

$$= 11438970,49 \text{ Па} = 11,44 \text{ МПа}$$

Максимально допустимое напряжение Р6М5: $\sigma = 548,6 \text{ МПа} \rightarrow$

$$P_{h \max} = 229 \text{ Н}$$

По результатам экспериментов на 7-й минуте $P_h = 229 \text{ Н}$, по истечении этого времени износ торца ножа составляет 0,12 мм.

С учётом коэффициента запаса прочности $K_s = 1,5$ рассчитываем допустимое напряжение у хвостовика фрезы у цанги: $[\sigma_B] = \sigma_B / K_s = 548 / 1,5 = 365 \text{ МПа} = 365 \text{ Н/мм}^2 = 365 \times 10^6 \text{ (Н/м}^2\text{)}.$

Рассчитываем наибольшую ширину фрезерования B (глубину паза h) при фрезеровании кармана:

$$[\sigma] = M / W_h = M_{Ph} / W_h. \rightarrow M_{Ph} = [\sigma] \times W_h = [\sigma] \times \pi \cdot d^3 / 32 = 365 \times 10^6 \times 3,14 \times 0,007^3 / 32 = 12,28 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$M_{Ph} = P_h \cdot l / 2 \leq 12,28 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$ Рассчитываем предельно допустимую силу $P_{h \max}$:

$$P_{h \max} = 12,28 \times 2 / l = 12,28 \times 2 / 0,156 = 157,4 \text{ Н} \approx 157 \text{ Н}.$$

Рассчитываем наибольшую ширину фрезерования B (глубину паза h) при фрезеровании кармана:

$$P_{h \max} = P_{z \max} \times 0,4 = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} \times 0,4 \text{ (Н)}.$$

$$B^u = P_{h \max} D^q n^w / (10 C_p t^x S_z^y z K_M \cdot 0,4) =$$

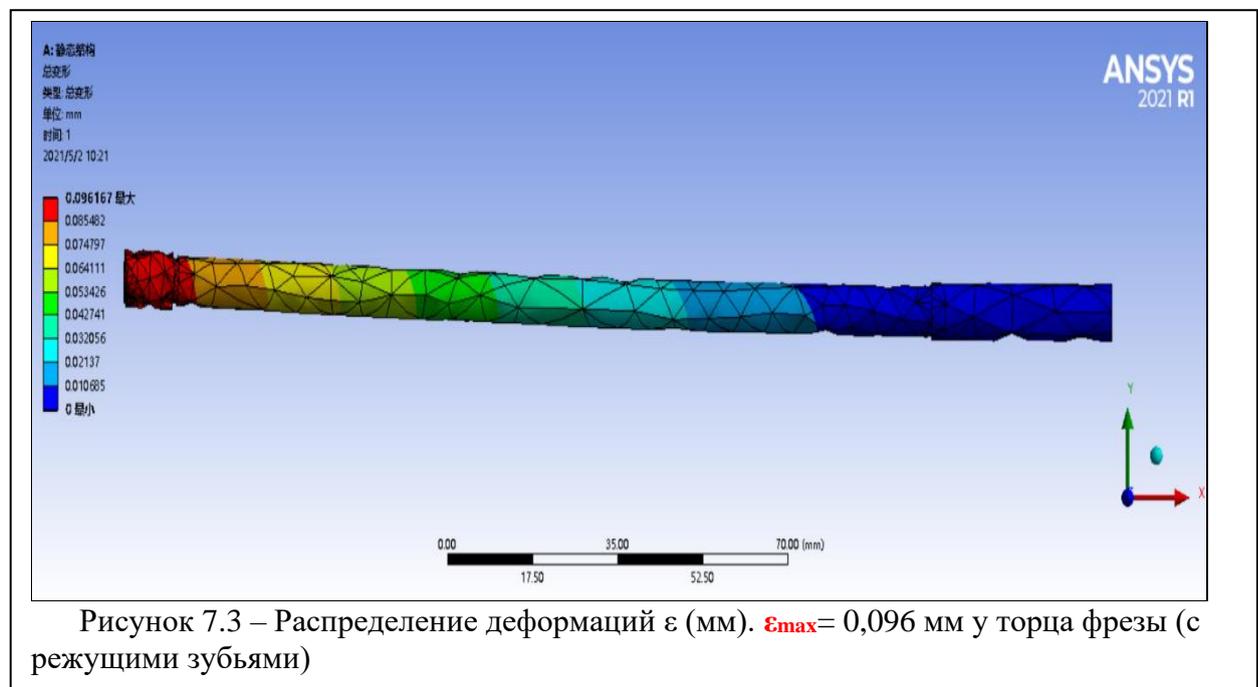
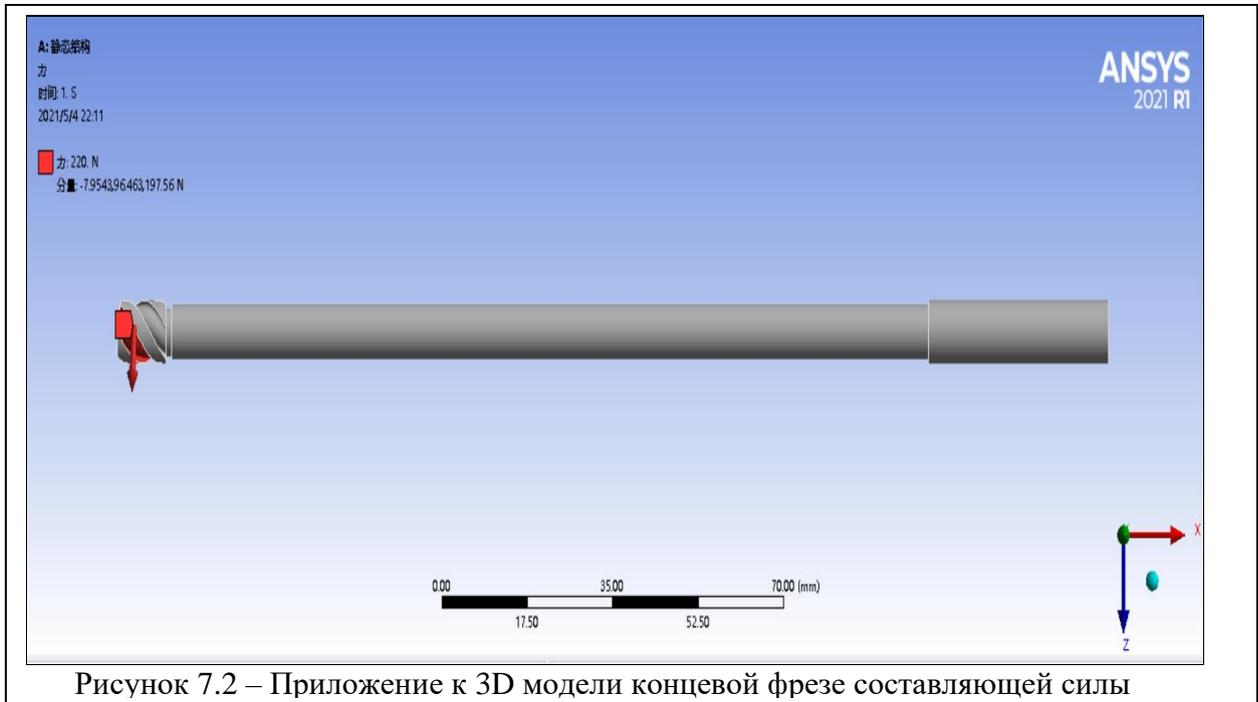
$$= 157 \cdot 8^{0,2} 1000^{0,1} / (10 \cdot 300 \cdot 0,022^{0,5} \cdot 3 \cdot 0,88 \cdot 0,4) =$$

$$= 157 \cdot 8^{0,2} \cdot 2 / 469,6 = 475,9 / 470 = 1,013.$$

$$B^u = B^{0,4} = 1,013; B = 1,013^{2,5} = 1,03 \text{ мм} \rightarrow \text{фрезерование фрезой}$$

$\varnothing 8 \text{ мм}$ с длиной вылета фрезы 156 мм **невозможно**, или придётся

обрабатывать слишком долго, более **8** проходов при углублении в заготовку на каждом проходе на 1 мм. Но если карман предварительно сформирован при литье, а минимальный припуск около 1 мм, то **расфрезеровывание** кармана возможно.



8. Расчёт строгального реза

Обработка поверхности кармана концевой фрезой является проблематичной из-за малой жёсткости длинной концевой фрезы и невозможности обработать поверхность под нависающей верхней частью заготовки (рис. 8.1 и 8.2), было предложено обрабатывать поверхность кармана **строгальным резцом**, шириной $b_p = b_n$, где b_n – ширина самой узкой части кармана. $b_n = 8$ мм (рис. 8.2 а и 8.3).

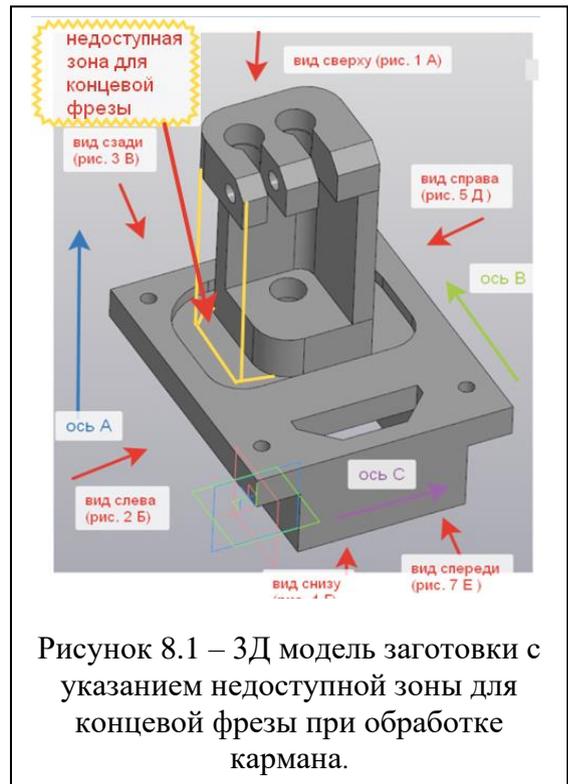


Рисунок 8.1 – 3Д модель заготовки с указанием недоступной зоны для концевой фрезы при обработке кармана.

На отливке уже имеется карман, но требуется удалить припуск для получения более высокого качества поверхности. Рассчитывается минимальный припуск, который будет равен минимальной глубине резания: $\tau \sigma$

$$Z_{\min i} = R_{z i-1} + T_{\text{def } i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i = 100 + 300 + 400 + 200 = 1000 \text{ мм.}$$

$$t_{\min} = Z_{\min i} = 1 \text{ мм.}$$

$$t_{\max} = t_{\min} + T = t_{\min} + IT16 = 1 + 0,9 = 1,9 \text{ мм.}$$

Врезание строгального реза должно осуществляться постепенно по мере продольной подачи, как для **отрезного** реза: 0,1 мм на 1 мм продольной подачи, т.е. $s_{\text{верт}} = 0,1 \text{ мм/1 мм прод. подачи}$, т.е. через 19 мм продольной подачи

произойдёт врезание даже на полную глубину $t = t_{\max} = 1,9 \text{ мм}$.

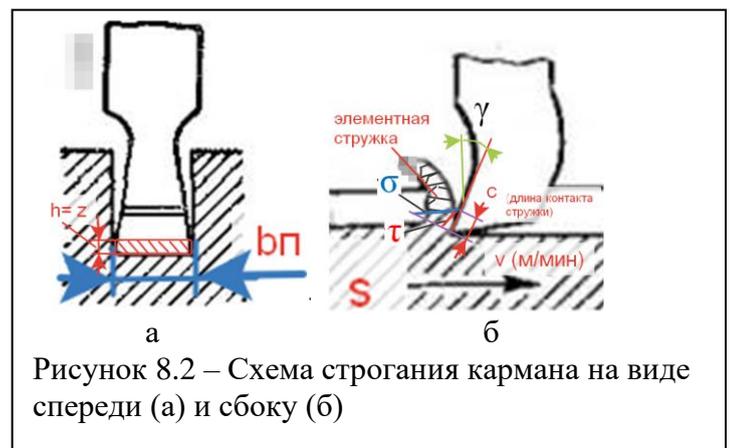
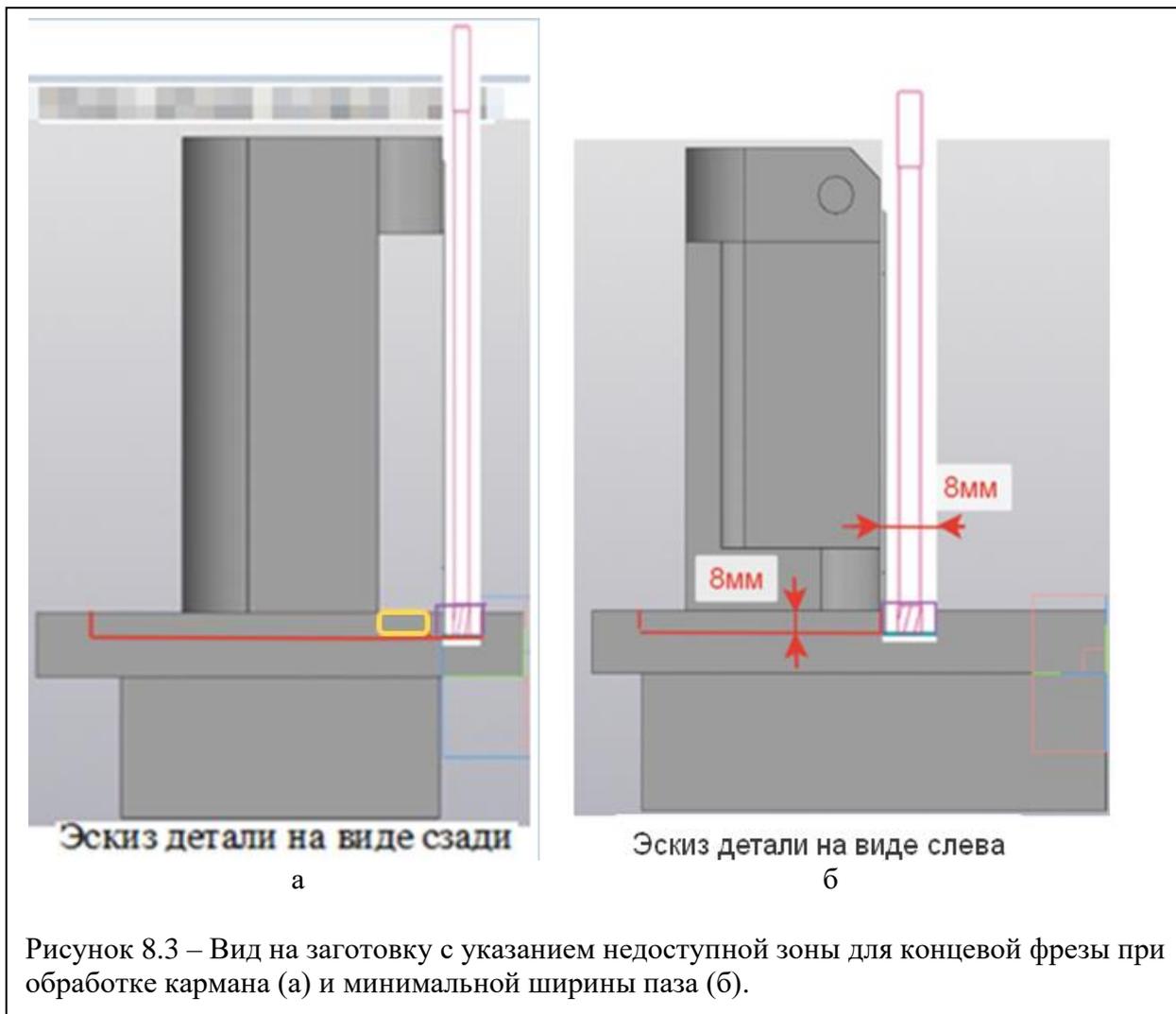


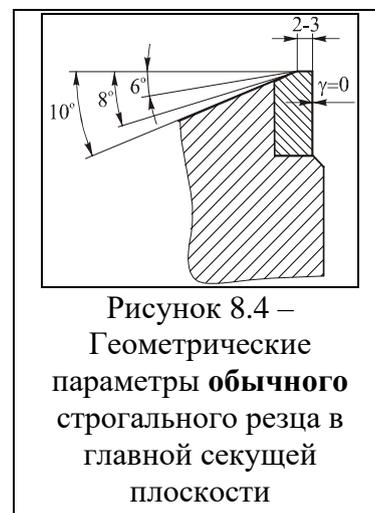
Рисунок 8.2 – Схема строгания кармана на виде спереди (а) и сбоку (б)

Для строгания пазов и канавок используют прорезные резцы. Глубиной резания t у **отрезного** резца считается ширина режущего лезвия резца, т.е. $t = b_{\text{п}}$.



Глубина резания. При всех видах строгания и долбления глубину резания назначают так же, как и при точении.

Подача. При черновом строгании подачу s , мм/дв. ход, выбирают максимальной из допустимых значений по табл. 24 [13] в соответствии с глубиной резания, сечением державки, прочностью пластинки; при чистовом, строгании – по табл. 14, при отрезании и прорезании пазов – по табл. 9.



Скорость резания. При строгании плоскостей проходными резцами, при прорезании пазов, отрезании скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам для точения с введением дополнительного поправочного коэффициента K_{yv} , учитывающего ударную нагрузку. В нашем случае ударной нагрузки не будет, т.к. резец будет плавно врезаться в поверхность предварительно отлитого кармана, но из-за врезания силы будут увеличены в этот период.

Таблица 8.1 – Режимы резания при обработке плоскостей на чугунных деталях широкими резцами из твёрдого сплава ВК8 на поперечно-строгальных и продольно-строгальных станках [13]

Характер обработки	Площадь обрабатываемой поверхности, м ²	Число проходов i	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/дв.ход	Скорость резания v , м/мин
Получистовая $Rz = 40 - 10$ МКМ	—	1	До 2	10-20	14-18

Примечания: 1. Прямолинейный участок лезвия контролировать по лекальной линейке.

2. Обрабатываемую поверхность смачивать керосином.

3. Значения коэффициента K_{yv} , в зависимости от типа станка приведены ниже:

Тип станка	продольно-строгальный	поперечно-строгальный	долбежный
K_{yv}	1,0	$K_{yv} = 0,8$	0,6

Рассчитываем силу P_z при строгании резцом: $P_z = 10C_p t^x s^y v^n K_p$ (Н).

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$$

Для серого чугуна СЧ20 (ГОСТ 1412 -85):

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n = \left(\frac{220}{190} \right)^{0,4} = 1,06. \quad s = 1 \text{ мм/дв.ход}; \quad t = b_{п} = 8 \text{ мм.}$$

Таблица 8.2 – Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих силы резания при точении и строгании														
Обрабатываемый материал	Резец	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Ковкий чугун, $HB 150$	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	81	1,0	0,75	0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
		Отрезание и прорезание	139	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 8.3 – Значение коэффициента C_v и показателей степеней в формулах расчёта скорости резания при обработке резцами

Вид обработки [↙]	Материал режущей части резца [↙]	Характеристика подачи, мм/об [↙]	Коэффициент и показатели степени [↙]			
			C_v [↙]	x [↙]	y [↙]	m [↙]
<i>Обработка серого чугуна, НВ 190[↙]</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами [↙]	ВК6 [↙]	$s \leq 0,40$ [↙]	292 [↙]	0,15 [↙]	0,20 [↙]	0,20 [↙]
		$s > 0,40$ [↙]	243 [↙]	0,15 [↙]	0,40 [↙]	0,20 [↙]

Скорость резания v : $v_{\text{стол}} = \frac{c_v}{T m_t x s y} \times K_v$.

$$V = \frac{c_v}{T m_t x s y} \times K_v = \frac{243}{120^{0,2} \times 8^{0,15} \times 1^{0,4}} \times 0,8 = 54,63 \text{ м/мин.}$$

Принимаем скорость резания $v = 50$ м/мин. Но при обеспечении скорости резания при строгании за счёт подачи стола необходимо уточнить максимально допустимую скорость подачи с обеспечением необходимого усилия подачи.

$$K_p = K_{mp} K_{qp} K_{rp} K_{lp} K_{rp} = 1,06 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,87 = 0,82$$

Принимаем при строгании, что в формуле расчёта силы резания подача $s = 1$ мм/об соответствует глубине резания при строгании (толщине припуска, удаляемого за один проход $z = 1$ мм).

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 139 \cdot 8^1 \cdot 1^1 \cdot 50^0 \cdot 0,82 = 11120 \text{ Н.}$$

В техническом паспорте станка (обрабатывающий центр ИС-800) находим наибольшее допускаемое усилие подачи стола $P_s = 12\,500$ Н, следовательно, строгание с назначенным режимом (ширина строгального резца 8 мм, глубина удаляемого припуска за один проход $h = z = 1$ мм) возможно. Скорость подачи (скорость резания при строгании) для создания усилия на столе станка $P_s = 12500$ Н назначаем $s_{\text{мин}} = 1000$ мм/мин, или $v = 1$ м/мин.

Многоцелевой станок ИС-800 с комбинированной системой числового программного управления, автоматической сменой инструмента и обрабатываемых деталей предназначен для обработки малогабаритных корпусных деталей особо сложной конфигурации.

Еще одна важная особенность многооперационных станков — наличие поворотного стола или делительного приспособления с периодическим или непрерывным (по программе) делением. Это обязательное условие для обработки заготовки с нескольких сторон без

переустановки. МС новых конструкций оснащают дополнительными столами и устройствами для автоматической смены заготовок. Заготовки предварительно закрепляют на столе-спутнике, и вместе с ним они попадают с дополнительного стола на основной. Установку заготовки в спутник и снятие обработанной детали производят во время работы станка. Таким образом, вспомогательное время, затрачиваемое на загрузку — разгрузку станка, сводится к минимуму.

Многооперационные станки имеют чаще всего контурную или универсальную систему управления, позволяющую обрабатывать разнообразные криволинейные поверхности, фрезеровать отверстия и т.д. МС отличаются широким диапазоном бесступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя (заготовки) и подач, высокими (8—12 м/мин) скоростями быстрых (вспомогательных) ходов, особо высокой жесткостью и надежностью.

Допускаемые усилия подачи: $P_s = P_x = 12\,500\text{ Н}$; $P_z = 15\,000\text{ Н}$; вертикальная подача шпинделя станка $P_y = 10\,000\text{ Н} - 5\,000\text{ Н}$

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

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

При рассмотрении нагружения СМП в главной секущей плоскости оперируют обычно осью OZ и дополнительной осью, проходящей в главной секущей плоскости параллельно основной плоскости. При этом часто принимается, что составляющая сила резания P_{xy} , рассчитываемая по формуле:

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

проходит в этой главной секущей плоскости $N-N$ или в секущей плоскости $NP_{xy} - NP_{xy}$, приблизительно совпадающей с $N-N$.

При таком небольшом допущении для расчёта **упрощенного** режущего клина в сечении $NP_{xy} - NP_{xy}$ по программе ANSYS

необходимо задавать нагрузку на каждом ограниченном участке поверхности контакта стружки с передней поверхностью инструмента в направлении технологических осей OZ и OY'. НДС **упрощенного** режущего клина в сечении $NP_{xy} - NP_{xy}$ сопоставимо с НДС резца при прямоугольном свободном резании.

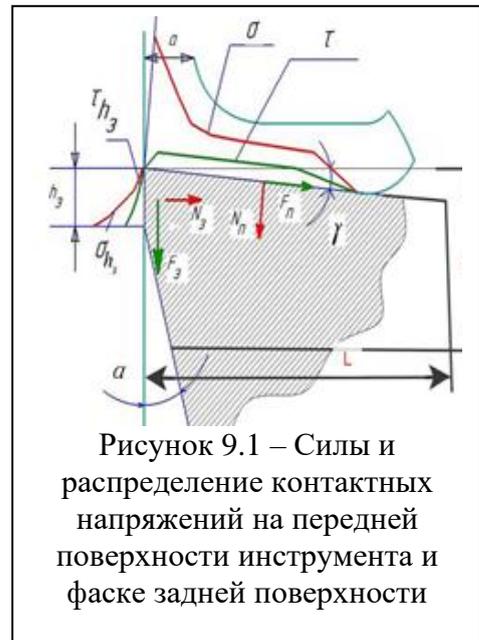


Рисунок 9.1 – Силы и распределение контактных напряжений на передней поверхности инструмента и фаске задней поверхности

Размеры h и L (рис. 9.1) устанавливаются при ограничении зоны расчёта НДС для уменьшения вероятности сбоя работы программы ANSYS при использовании компьютера недостаточной мощности.

При строгании чугуна СЧ20

При приложении внешней нагрузки в программе ANSYS переднюю поверхность модели режущего инструмента разбиваем на небольшие участки длиной $L_{\pi i} = 0,05-0,2$ мм и шириной b , равной ширине контакта

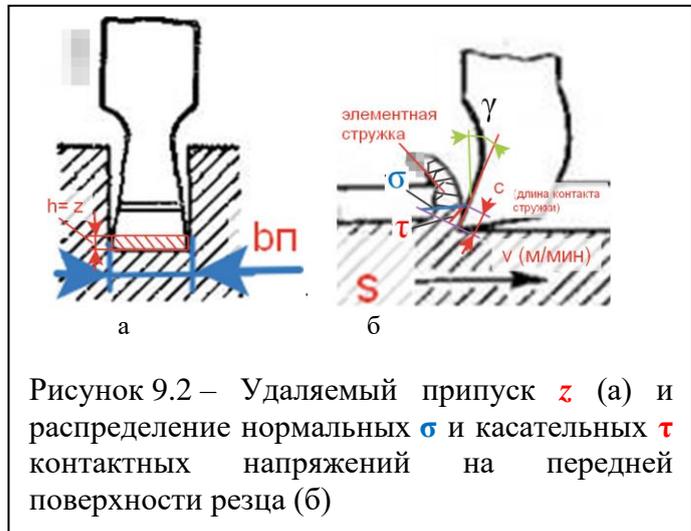


Рисунок 9.2 – Удаляемый припуск z (а) и распределение нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности резца (б)

стружки с передней поверхностью (рис. 9.2. На каждом i -том участке по эюграм контактных напряжений определяем физические силы N_i и F_i , которые прикладываем к соответствующему i -тому участку.

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

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

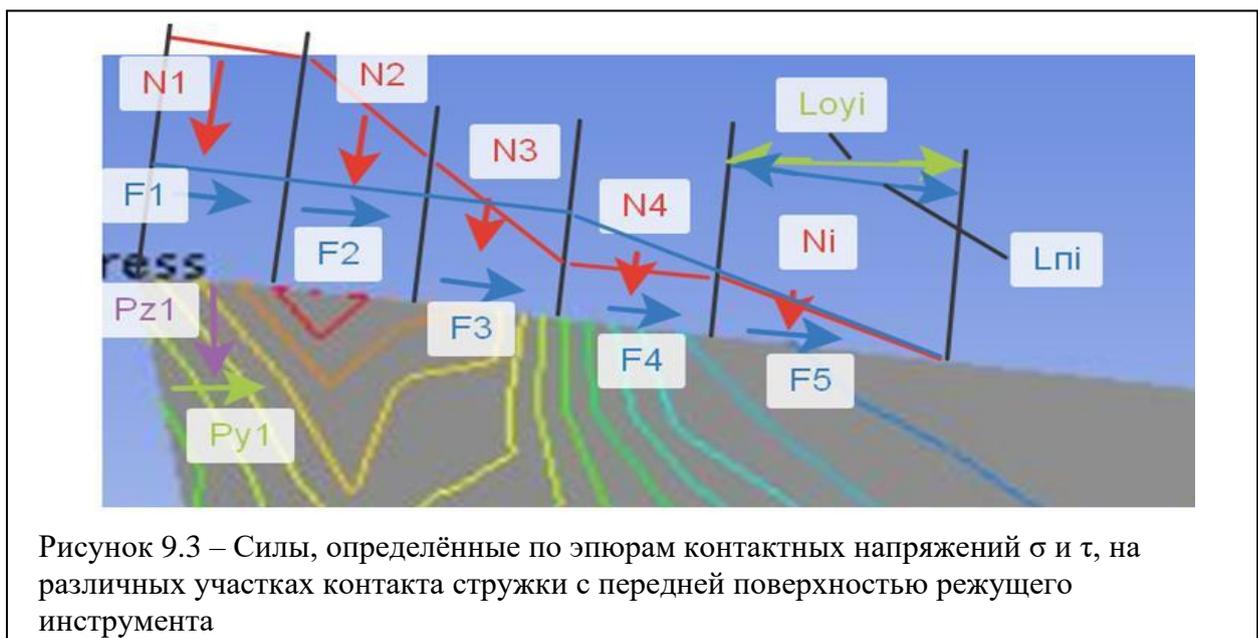


Рисунок 9.3 – Силы, определённые по эюграм контактных напряжений σ и τ , на различных участках контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента

В программе ANSYS задаются силы, направленные вдоль осей OZ, OY и OX (или OY'). Поэтому рассчитанные физические составляющие на каждом участке преобразуем в технологические по соответствующим формулам. При рассмотрении сил в главной секущей плоскости необходимо добавить ось OXY, которую будем обозначать для упрощения записи как OY, т.е. $P_y = P_{xy}$. От физической силы N_i будут действовать две технологические составляющие: $P_z N_i$ и $P_y N_i$; от физической силы F_i будут действовать тоже две технологические составляющие: $P_y F_i$ и $P_z F_i$. Рассчитываем их по формулам: $P_z N_i = N_i \times \cos \gamma$; $P_y N_i = N_i \times \sin \gamma$; $P_y F_i = F_i \times \cos \gamma$; $P_z F_i = F_i \times \sin \gamma$, и записываются в таблицу 9.1.

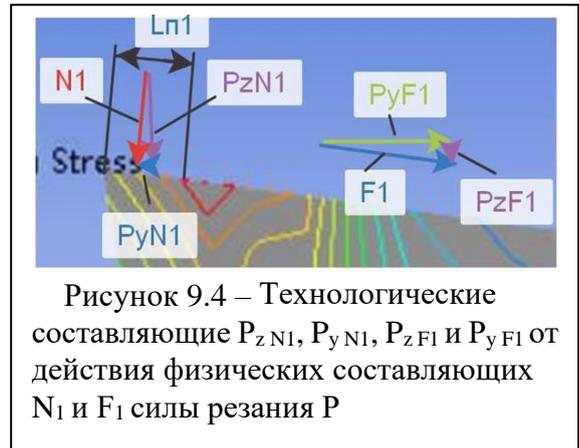


Таблица 9.1 – Составляющие силы резания при расчёте НДС резца с шириной $b=8$ мм ($\gamma=10^\circ$, $a=1$ мм, $c=1,2$ мм)

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка L_{ni} , мм	σ_i , МПа	N_i , Н	$P_z N_i$, Н	$P_y N_i$, Н	τ_i , МПа	F_i , Н	$P_y F_i$, Н	$P_z F_i$, Н	P_{zi} , Н	P_{yi} , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-0,2	1786	2858	2815	496	843	1349	1313	228	3043	817
2	0,2-0,4	1550	2505	2467	435	843	1349	1313	228	2695	878
3	0,4-0,6	1210	1937	1908	336	843	1349	1313	228	2136	977
4	0,6-0,8	868	1388	1367	241	843	1349	1313	228	1595	1072
5	0,8-1,0	588	940	926	163	843	1349	1313	228	1154	1150
6	1,0-1,2	425	680	670	118	697	1115	1078	187	857	960
7	1,2-1,4	309	493	486	86	496	794	762	132	618	676
8	1,4-1,6	194	311	306	54	311	498	480	83	389	426
			$\Sigma=11112$	$\Sigma=10943$			$\Sigma=9022$	$\Sigma=8885$			

$$P_y = P_z \times \mu_{cp} = 11120 \cdot 0,8 = 8896 \text{ Н.}$$

Результирующие P_{zi} и P_{yi} этих технологических составляющих прикладываются на передней поверхности режущего инструмента к рассматриваемому участку i длиной L_{Pi} :

$$P_{zi} = P_z N_i + P_z F_i; P_{yi} = P_y F_i - P_y N_i.$$

Рассчитываем $P_{y F_i}$ и $P_{z F_i}$ по формулам:

$$P_{z N_i} = N_i \times \cos \gamma; P_{y N_i} = N_i \times \sin \gamma; P_{y F_i} = F_i \times \cos \gamma; P_{z F_i} = F_i \times \sin \gamma.$$

Результирующие P_{zi} и P_{yi} : $P_{zi} = P_z N_i + P_z F_i; P_{yi} = P_y F_i - P_y N_i.$

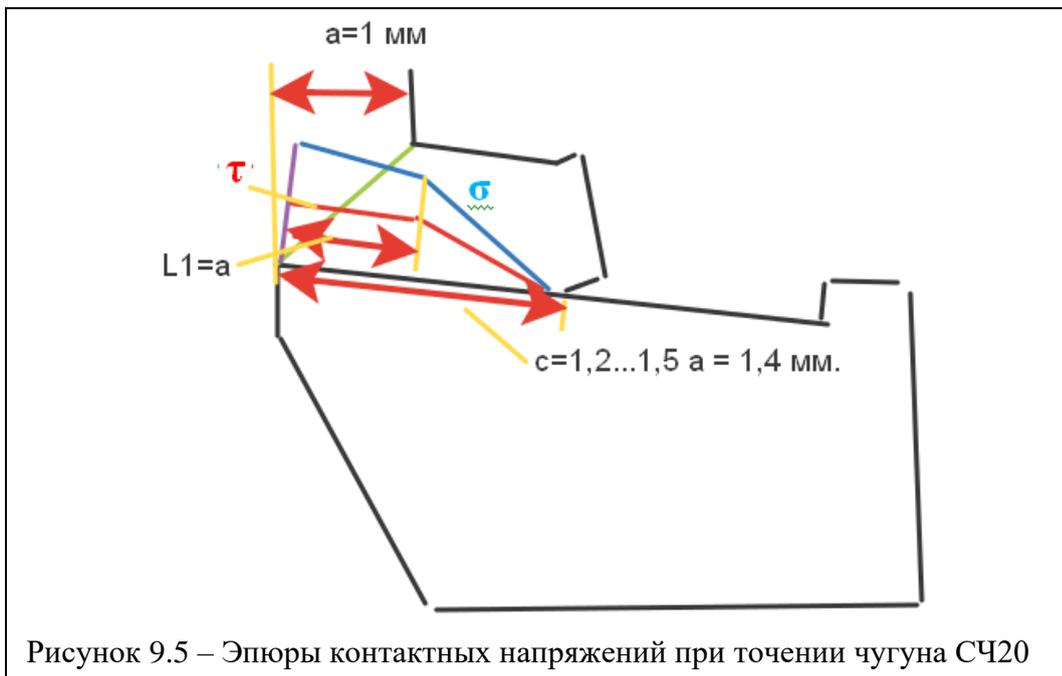


Рисунок 9.5 – Эпюры контактных напряжений при точении чугуна СЧ20

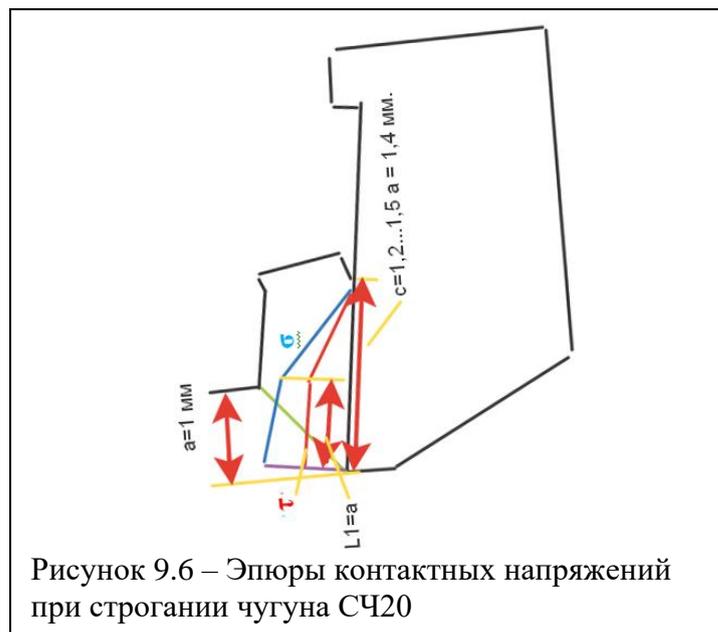


Рисунок 9.6 – Эпюры контактных напряжений при строгании чугуна СЧ20

Таблица 9.2 – Составляющие силы резания при расчёте НДС резца с шириной $b=8$ мм ($\gamma=10^\circ$, $s = 1$ мм ($a=1$ мм) $c=1,6$ мм)

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка L_{ni} , мм	σ_i , МПа	N_i , Н	Pz_{Ni} , Н	Py_{Ni} , Н	τ_i , МПа	F_i , Н	Py_{Fi} , Н	Pz_{Fi} , Н	P_{zi} , Н	P_{yi} , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-0,2	1090	1744	1718	303	872	1395	1374	242	1960	1071
2	0,2-0,4	1080	1728	1702	300	872	1395	1374	242	1944	1074
3	0,4-0,6	1070	1712	1686	297	872	1395	1374	242	1928	1077
4	0,6-0,8	1060	1696	1670	295	872	1395	1374	242	1912	1079
5	0,8-1,0	1050	1680	1654	292	872	1395	1374	242	1896	1082
6	1,0-1,2	500	800	788	139	400	640	630	111	899	491
7	1,2-1,4	200	320	315	56	160	256	252	44	359	196
8	1,4-1,6	100	160	158	28	80	128	126	22	180	98
			$\Sigma=$ 9840 Н	$\Sigma=$ 9690 Н			$\Sigma=$ 7999 Н	$\Sigma=$ 7878 Н			
				9840 д/б $\Sigma \approx 11120$ Н				7872 д/б $\Sigma \approx 88960$ Н			

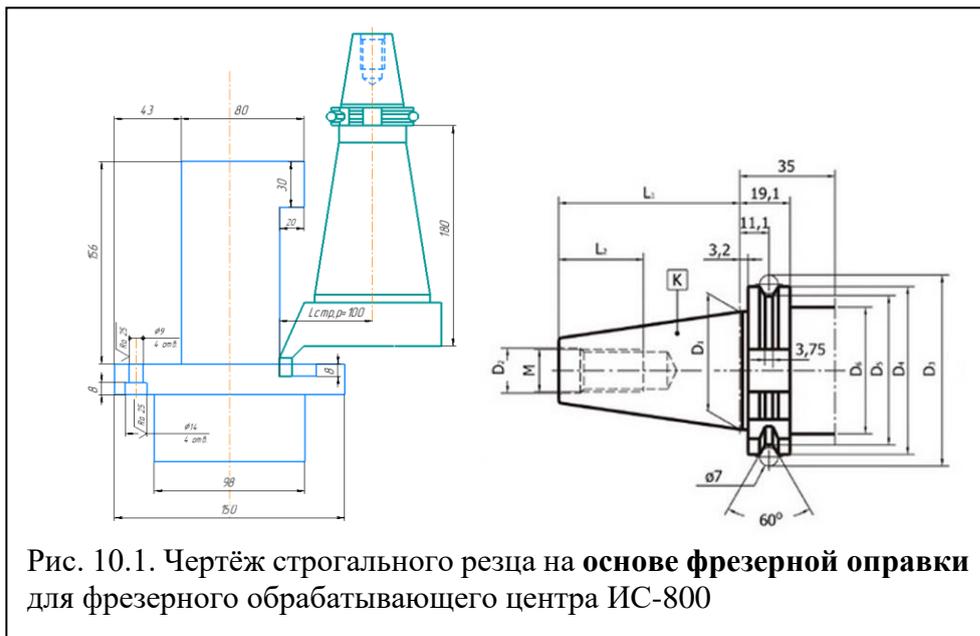
$$P_y = P_z \times \mu_{cp} = 9840 \cdot 0,8 = \mathbf{7872 \text{ Н.}}$$

Для уменьшения трудоёмкости подготовки к нагружению модели внешними нагрузками было предложено перед нагружением поворачивать модель так, чтобы передняя поверхность была горизонтальна, т.е. как бы передний угол γ равен нулю ($\gamma^*=10^\circ$).

10. Расчёт внутренних напряжений и деформаций в режущем клине при строгании

Из-за нависающей части «башни» детали (рис. 10.1) необходимо использовать специальную форму строгального резца, который лучше изготавливать на основе фрезерной оправки (рис. 10.1 и 10.2) или изготавливать только вставку (рис. 10.3), закрепляемую в специальном

цанговом патроне фрезерным посадочным конусом (рис. 10.4).



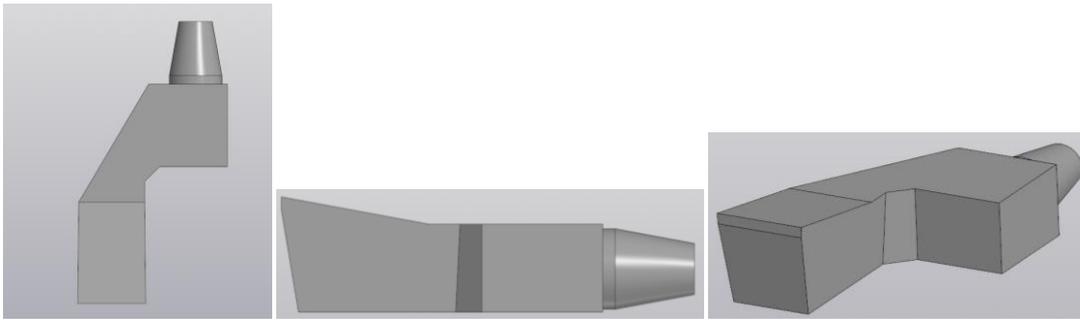
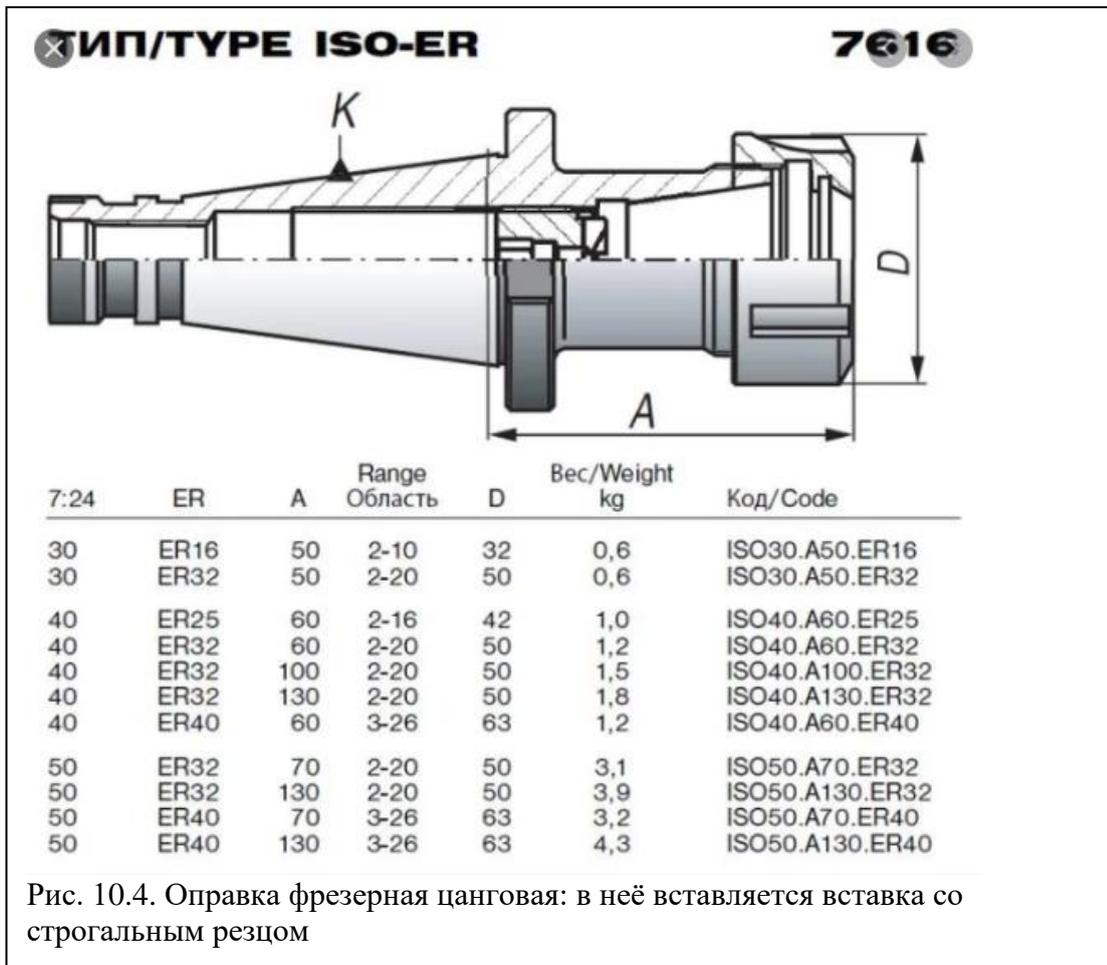


Рис. 10.3 3D модель вставки с режущей частью в виде прямоугольной пластины с шириной $b=8$ мм, $\gamma = +10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 0^\circ$, $\alpha_1 = 3^\circ$, $\alpha = 10^\circ$)



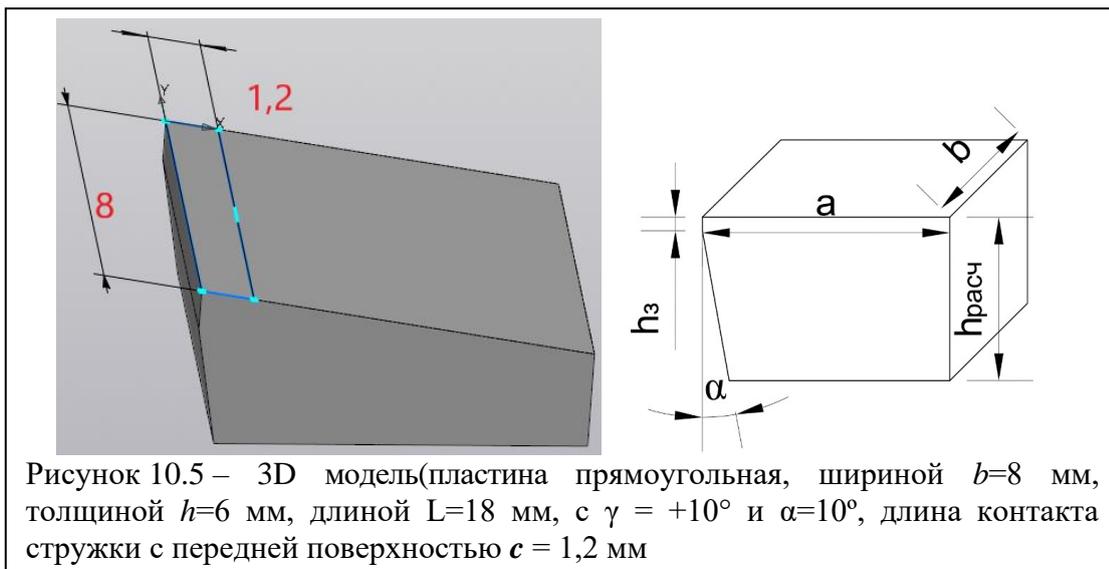
Последний вариант проще, чем цельный конус с резцом, но **вставка** может в ней **провернуться** под действием силы P_z из-за её большой величины и длинного плеча $L_{стр.резца.}$, поэтому необходимо обеспечить жёсткую фиксацию вставки относительно оси патрона и патрона относительно оси шпинделя.

Для создания осевого усилия при закреплении вставки на её

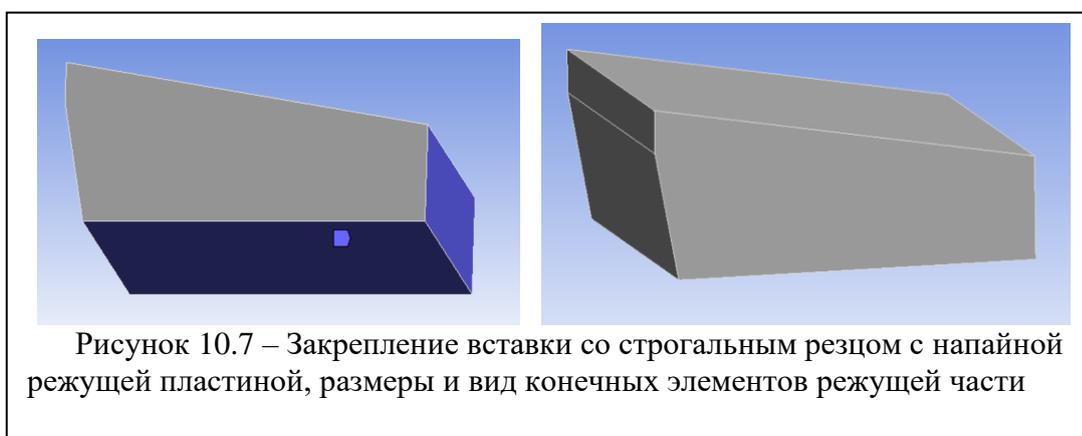
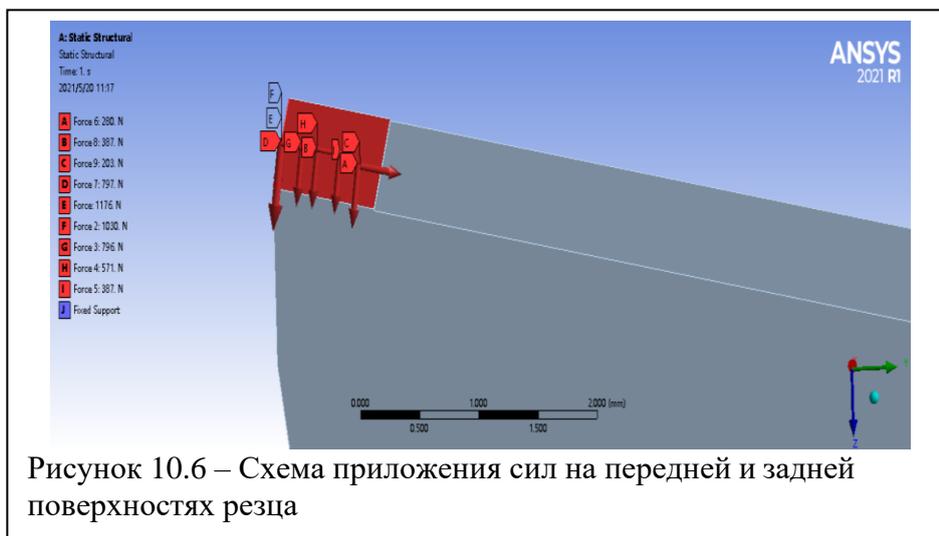
цилиндрической части необходимо проточить кольцевую канавку, в которую будет вставляться стопорное кольцо **после** одевания накидной гайки цангового патрона на цилиндрическую часть вставки. После этого вставка вместе со стопорным кольцом и накидной гайкой устанавливается в патрон, в боковое отверстие патрона и вставки вставляется шплинт (не показаны), и вставка окончательно закрепляется накидной гайкой.

Независимо от используемого варианта рассчитаем режущую часть строгального резца. Её можно изготавливать из быстрорежущей стали, но лучше будет использовать напайную твёрдосплавную пластину из ВК8. Ограничимся небольшой областью режущей части для увеличения точности расчёта НДС и уменьшения размеров конечных элементов.

Перед расчётом НДС необходимо создать 3D модель резца (рис.10.5).

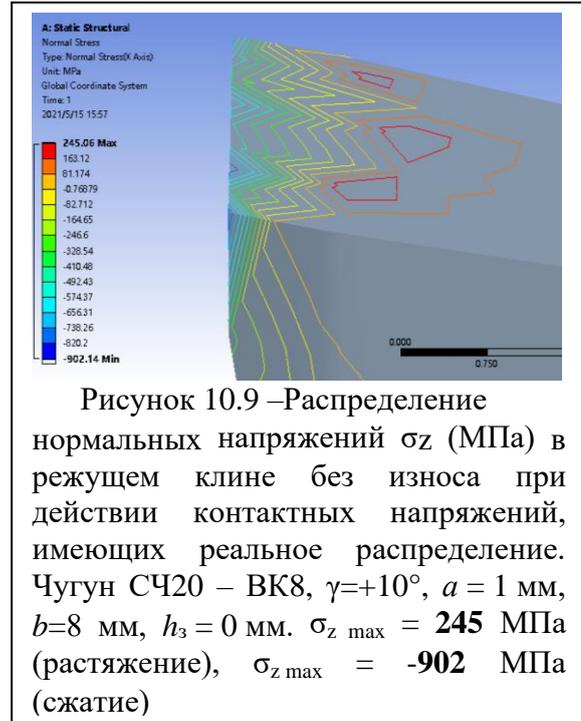
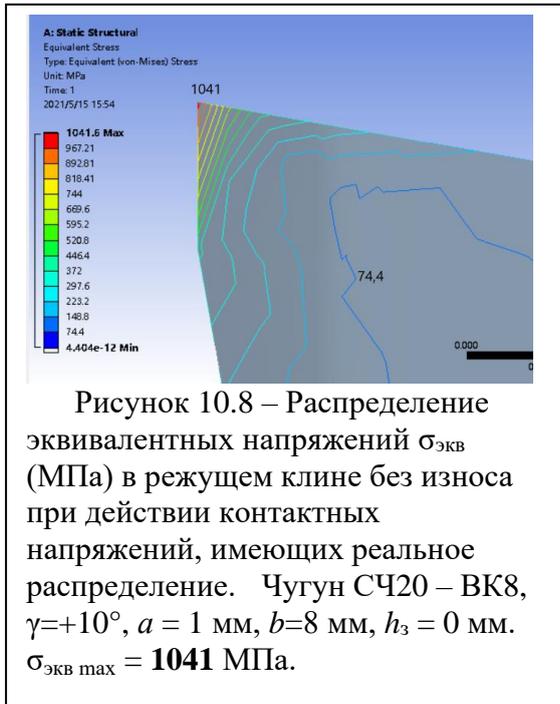


Для оценки прочности инструмента необходимо знать размеры и характер распределения нагрузки при контакте с поверхностью инструмента. На передней поверхности действует тангенциальная $P_{zп}$ и радиальная $P_{yп}$. На изношенном по задней поверхности резце на задней поверхности появляются дополнительно две силы: касательная к фаске $F_h = P_{zh}$ и нормальная к фаске $N_h = P_{yh}$.



Исследования НДС неизношенного инструмента

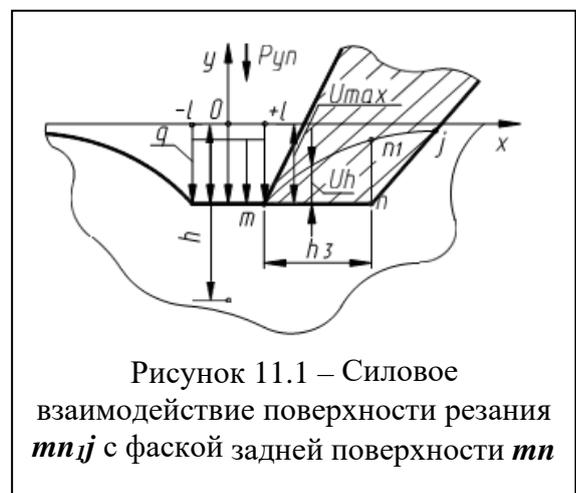
Расчёт внутренних напряжений в режущем клине выполнялся с использованием программного обеспечения ANSYS. При переднем угле $\gamma = +10^\circ$ и толщине среза $a = 1$ мм в неизношенном режущем клине наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1041$ МПа (рис. 10.8), а наибольшие напряжения вдоль оси OZ равны $\sigma_{z \text{ max}} = 245$ МПа (рис. 10.9).



11. Исследования НДС изношенного по задней поверхности инструмента

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

Исследования распределения контактных напряжений на искусственной фаске задней поверхности с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$ показали, что при обработке стали у режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются.



Это объясняется тем фактом, что в

процессе образования стружки на передней поверхности инструмента радиальная составляющая $P_{yп}$ (рис. 11.1) оказывает давление на поверхность резания, что приводит к небольшому опусканию поверхности резания. Упругое восстановление поверхности резания происходит не сразу же после прохождения режущей кромки, а постепенно, по линии, или более правильно, по поверхности mnj . Фаска износа по задней поверхности (поверхность mn) длиной h_3 не позволяет восстанавливаться этой поверхности, и чем больше расстояние Uh от поверхности фаски до упруго восстанавливающейся поверхности, тем больше будет нормальное контактное напряжение σ_i в этой точке.

Непосредственно у режущей кромки Uh_i мало, поэтому контактное напряжение в этой части очень маленькое. По мере того, как расстояние от режущей кромки увеличивается, прогиб поверхности резания увеличивается, поэтому контактное напряжение увеличивается.

Чем меньше толщина резания a , тем меньше длина волны прогиба, и тем быстрее происходит восстановление поверхности резания, тем более интенсивно увеличивается нормальное контактное напряжение σ .

При обработке чугуна образуется элементная стружка, поэтому при отделении сформировавшегося элемента стружки происходит упругое восстановление прогиба поверхности резания, в результате чего наибольшие контактные напряжения находятся у режущей кромки (рис. 11.2).

Для оценки влияния длины фаски на задней поверхности на НДС было предложено рассчитать НДС с фаской износа по задней поверхности, т.е. создать новые модели с фаской $h_3 = 0,2$ мм, $0,5$ мм, $0,7$ мм.

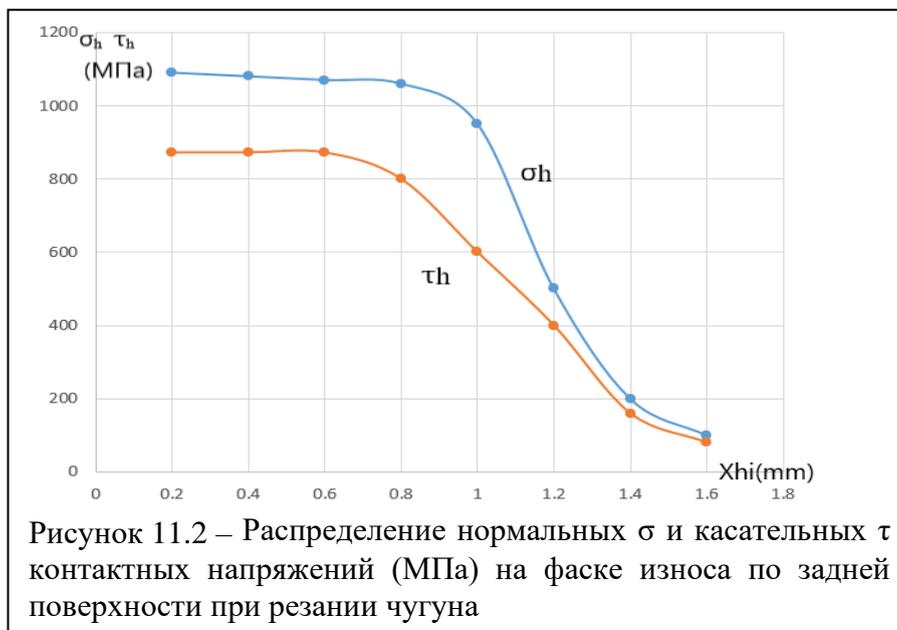


Рисунок 11.2 – Распределение нормальных σ и касательных τ контактных напряжений (МПа) на фаске износа по задней поверхности при резании чугуна

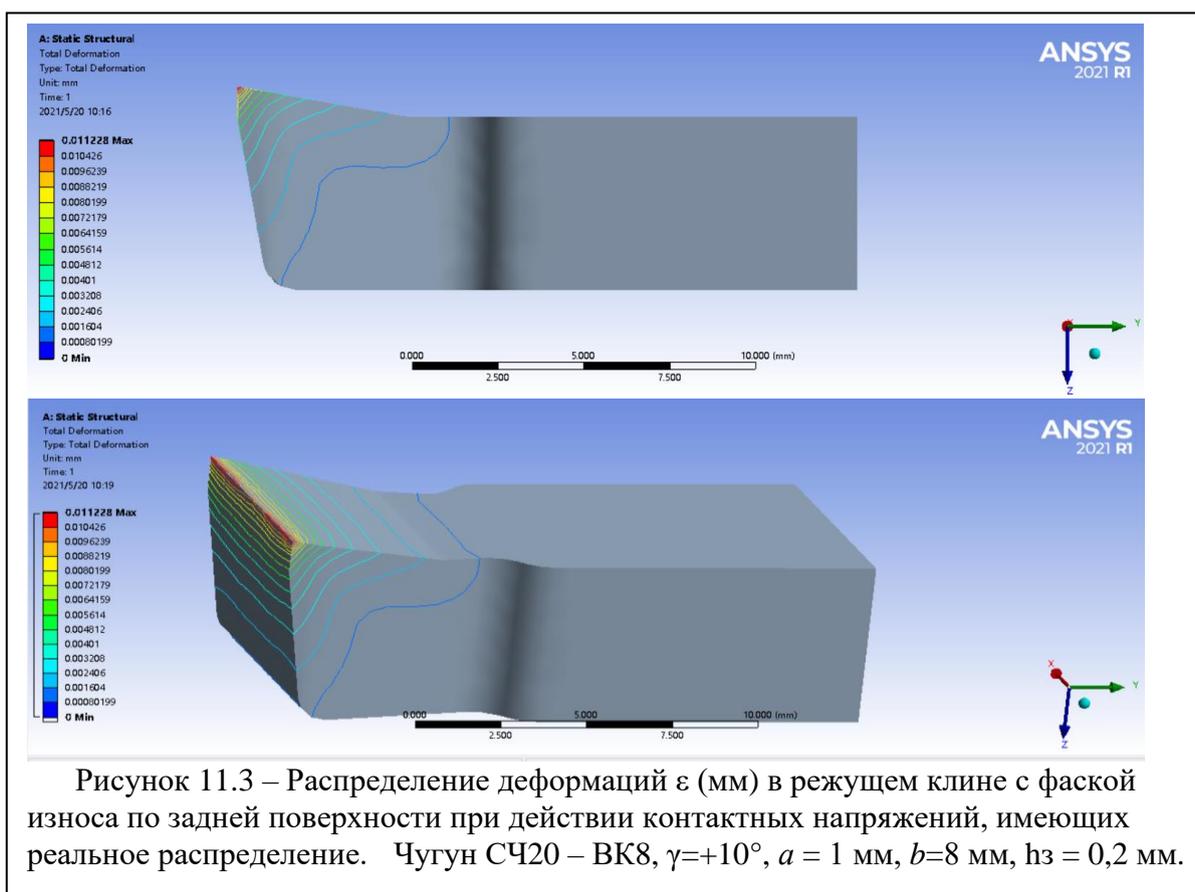
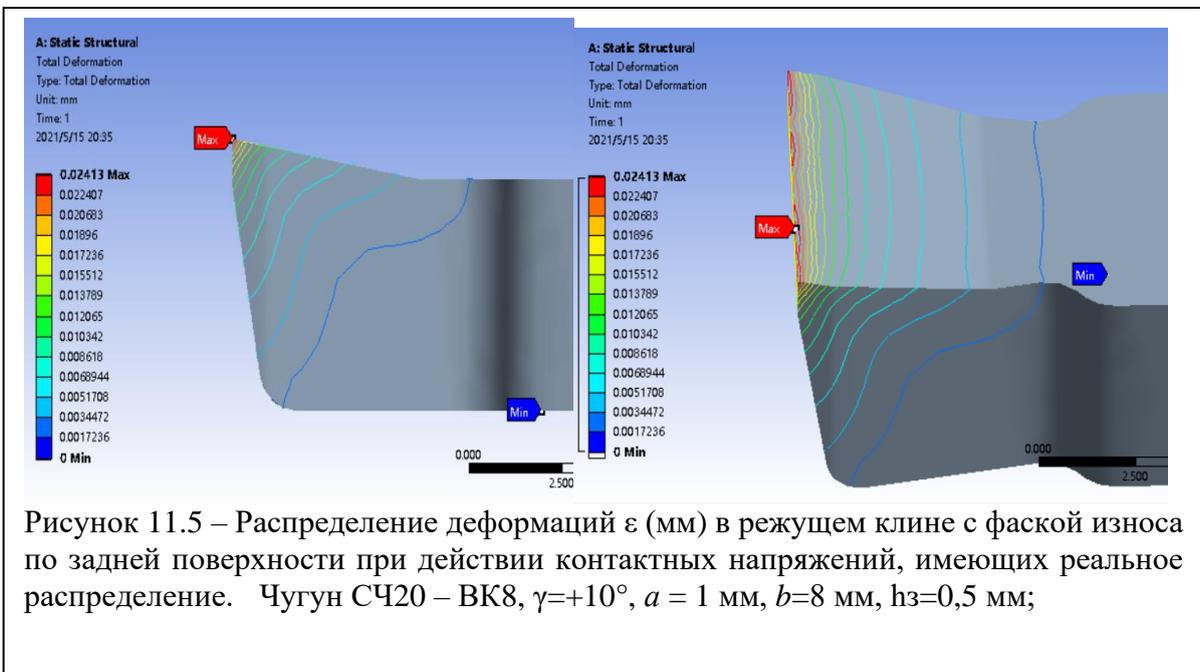
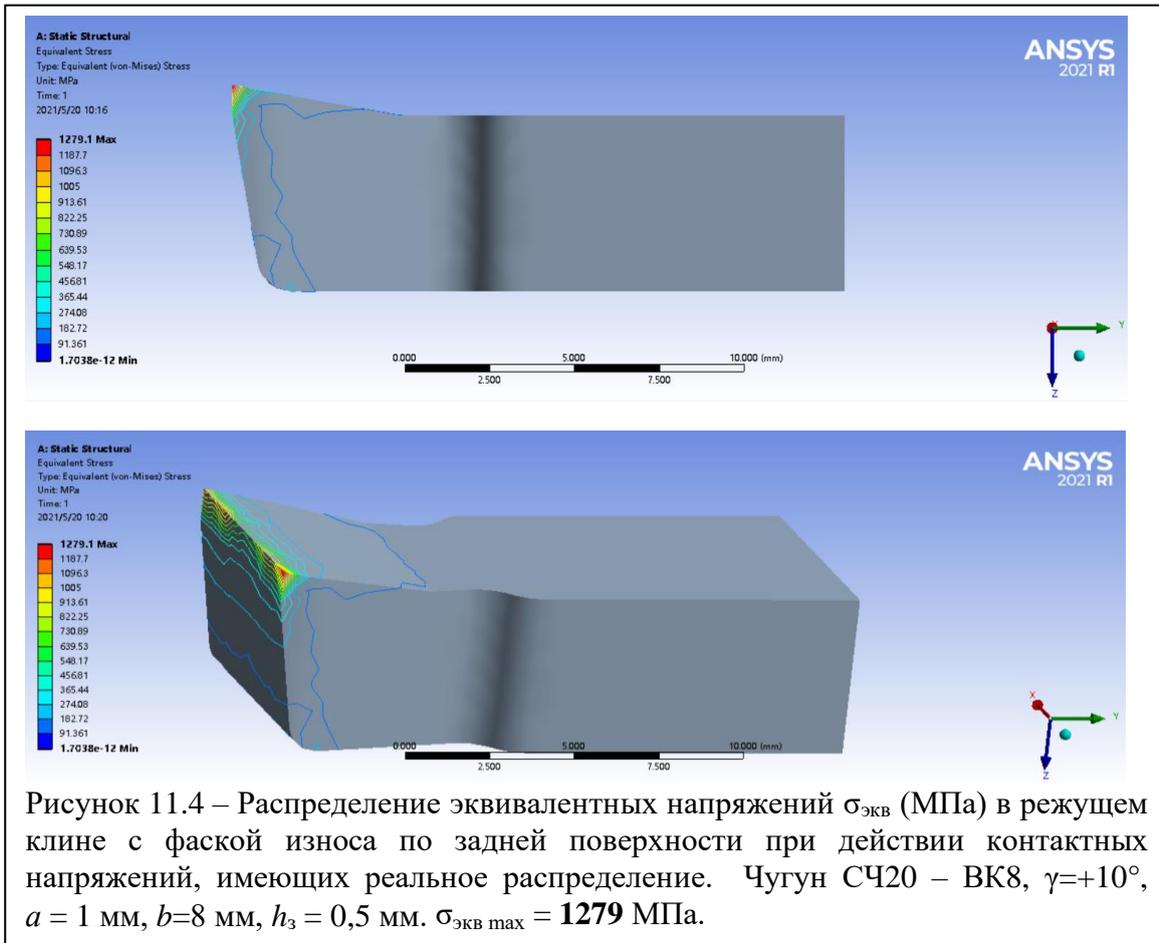


Рисунок 11.3 – Распределение деформаций ϵ (мм) в режущем клине с фаской износа по задней поверхности при действии контактных напряжений, имеющих реальное распределение. Чугун СЧ20 – ВК8, $\gamma=+10^\circ$, $a = 1$ мм, $b=8$ мм, $h_3 = 0,2$ мм.



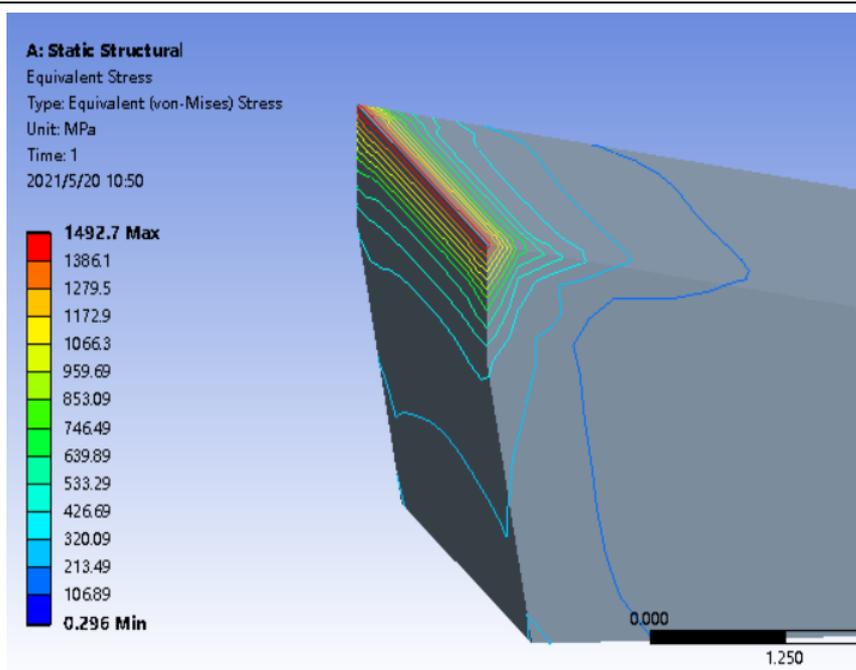


Рисунок 11.6 – Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа) в режущем клине с фаской износа. Чугун СЧ20 – ВК8, $\gamma=+10^\circ$, $a = 1$ мм, $b=8$ мм, $h_3 = 0,6$ мм. $\sigma_{\text{экв max}} = 1492$ МПа

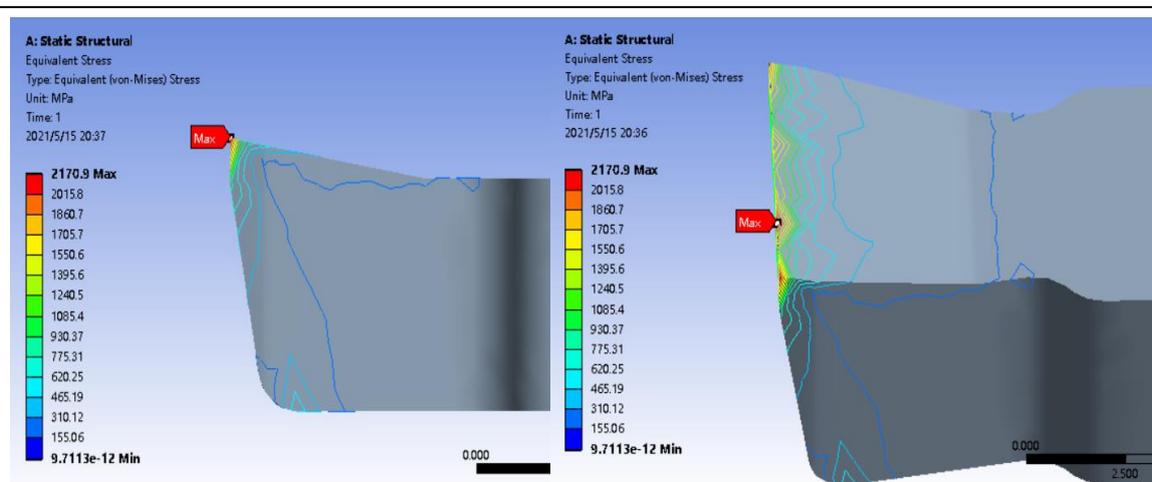


Рисунок 11.7 – Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа) в режущем клине с фаской износа. Чугун СЧ20 – ВК8, $\gamma=+10^\circ$, $a = 1$ мм, $b=8$ мм, $h_3=0,7$ мм. $\sigma_{\text{экв max}} = 2170$ МПа

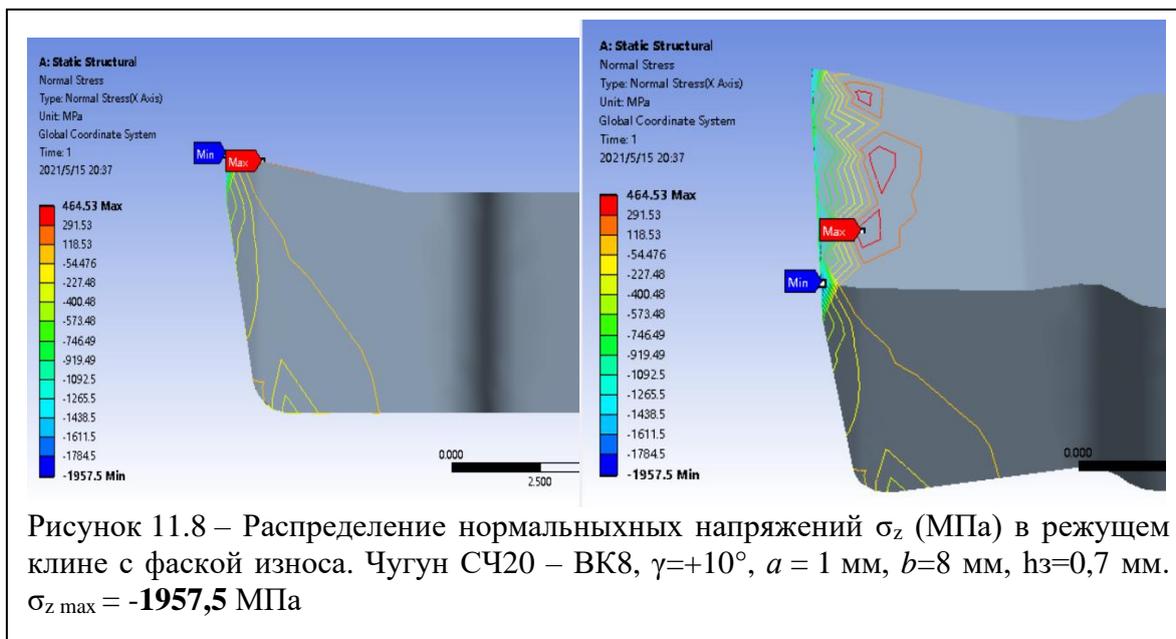


Таблица 11.1 – Наибольшие напряжения σ (МПа) и деформации ε (мм) в режущем клине с передним углом $\gamma = 10^\circ$ в зависимости от длины фаски задней поверхности h_3 (мм)

γ	h_3 , мм	a , мм	$\sigma_{\text{ЭКВ max}}$, МПа	$\sigma_{z \max}$, МПа	ε_{max} , мм
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
$\gamma = 10^\circ$	$h_3=0$	$a=1$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1041$	$\sigma_{z \max} = -902$	0,0007
$\gamma = 10^\circ$	$h_3=0,2$	$a=1$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1085,05$	$\sigma_{z \max} = -1035,63$	0,0011
$\gamma = 10^\circ$	$h_3=0,5$	$a=1$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1279$	$\sigma_{z \max} = -1182,7$	0,0024
$\gamma = 10^\circ$	$h_3=0,6$	$a=1$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1492$	$\sigma_{z \max} = -1387$	0,0031

По результатам расчета установлена зависимость между внутренним напряжением и длиной фаски задней поверхности h_3 (мм).

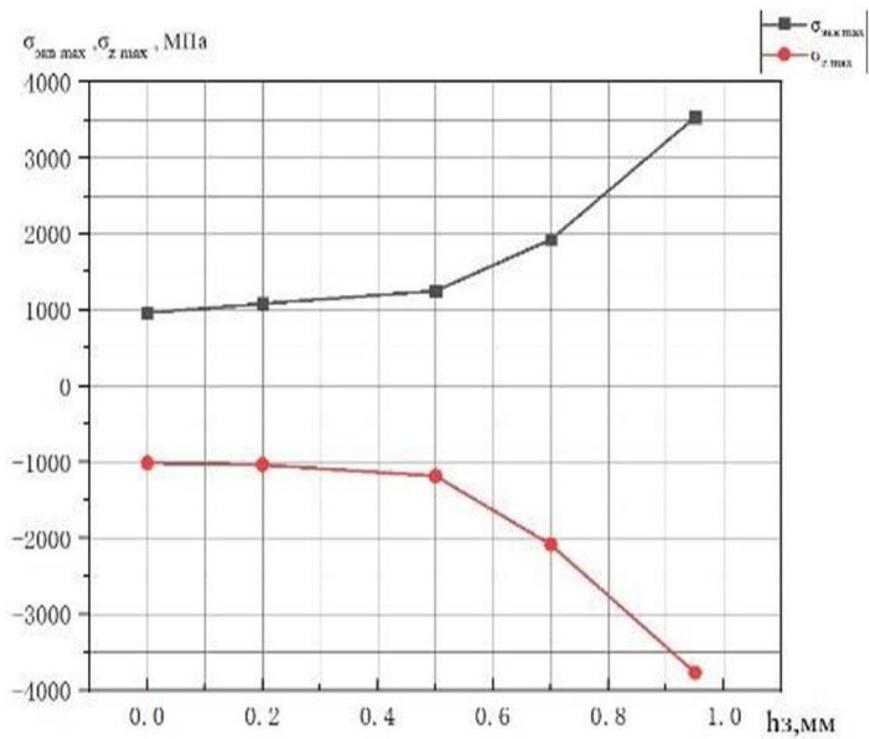


Рисунок 11.9 – Влияние длины фаски на задней поверхности h_3 (мм) на наибольшие напряжения σ (МПа) при $\gamma = 10^\circ$ и $a = 1$ мм, $b = 8$ мм

Выводы

1. При проектировании детали конструктор должен учитывать технологические проблемы, которые могут возникнуть при обработке детали, и не допускать чрезмерного усложнения конструкции детали.
2. Для уменьшения трудоёмкости обработки и увеличения её точности было предложено вести обработку в две операции на многоцелевом фрезерном станке с ЧПУ. Заготовка должна базироваться на первой операции с установкой на нижнюю поверхность (плоскость), контактом с торцевой поверхностью и с закреплением в тисках с двумя одновременно сходящимися губками, обеспечивающих базирование по мнимой базе – плоскости симметрии двух параллельных нижних поверхностей. На второй операции базирование должно быть аналогичным, но с базированием по уже обработанным поверхностям.
3. Обработку кармана в первой операции лучше выполнять строганием с подачей стола, обеспечивающей скорость резания. Сила резания P_z должна быть в 1,5 раза меньше допустимого усилия подачи стола.
4. В основе построения эпюр контактных напряжений на передней поверхности лежит определение физических составляющих N и F силы резания, длины контакта стружки с инструментом, стабильность характера эпюры касательных контактных напряжений и изменение коэффициента трения на передней поверхности.
5. После построения эпюр обязательно должна быть выполнена проверка равенства физических составляющих силы резания, рассчитанных по эпюрам, с физическими составляющими силы резания, измеренными при резании.
6. С увеличением длины фаски задней поверхности h_3 и толщины среза a внутренние напряжения в СМП значительно увеличиваются.

Раздел ВКР на иностранном языке

Solve the problem of casting process

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Чжоу Вэньсюань		06.05.21

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		06.05.21

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Т. Ю.	к.ф.н.		06.05.21

INTRODUCTION

The development of an improved technological process for machining the body part ensures the accuracy and productivity of processing, and the study of the milling process with a low-stiff long end mill.

Machining of body parts is often difficult due to their inconvenient shape for machining: protruding parts of the workpiece impede access to the machined surfaces, and when milling narrow surfaces at great depths, problems arise associated with the low rigidity of the end mill (mills break and poor quality of machined surfaces is obtained).

Wear on the side, chamfering on the side (chamfer), and the largest contact load will cause tool failure, which is the most dangerous.

Due to the difficulty of material processing, the following tasks need to be completed:

1. Calculate the stress-strain state of a low-stiff cutter and give recommendations on the choice of the cutting mode.
2. The stress-strain state of the cutting part of the cutter was calculated taking into account its low rigidity; the dependences of the highest equivalent stresses on the geometric parameters of the end mill were obtained.

1. Materials and methods

The study of force dependences was carried out during turning with a cutter on the penetration of a workpiece made of steel 40X (steel 5140 according to ASTM-SAE) with hardness HB 190 ... 210 and ultimate tensile strength $\sigma_w = 560$ MPa with a through passage with a manufactured cutting plate made of hard alloy P6M5 with hardness HRA 95 and ultimate bending strength $\sigma = 1200$ MPa with an angle of the main edge in the plan $\varphi = 45^\circ$, the angle of the end edge (angle of the auxiliary edge in the plan) $\varphi_1 = 45^\circ$, nose radius $r = 0.1$ mm (Fig. 1), side-rake angle $\gamma = +10^\circ$, the side-relief angle (the principal clearance angle) $\alpha = 10^\circ$, the angle of the principal cutting edge inclination $\lambda = 0^\circ$.

2. Calculation of the diagram of contact stresses when cutting steel

1) Determination of technological components of cutting forces (experimentally on a Kistler dynamometer)

Calculation of the physical components of the cutting force based on the technological components of the cutting force is very important for plotting contact stress diagrams.

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

The tangential component P_z is directed vertically downward (Fig. 1);
The radial component P_y is directed from the workpiece rotation axis to the operator in the main plane (horizontally);

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

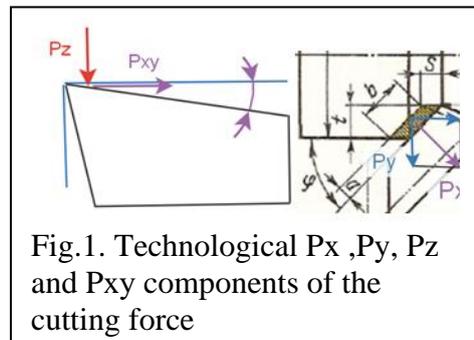


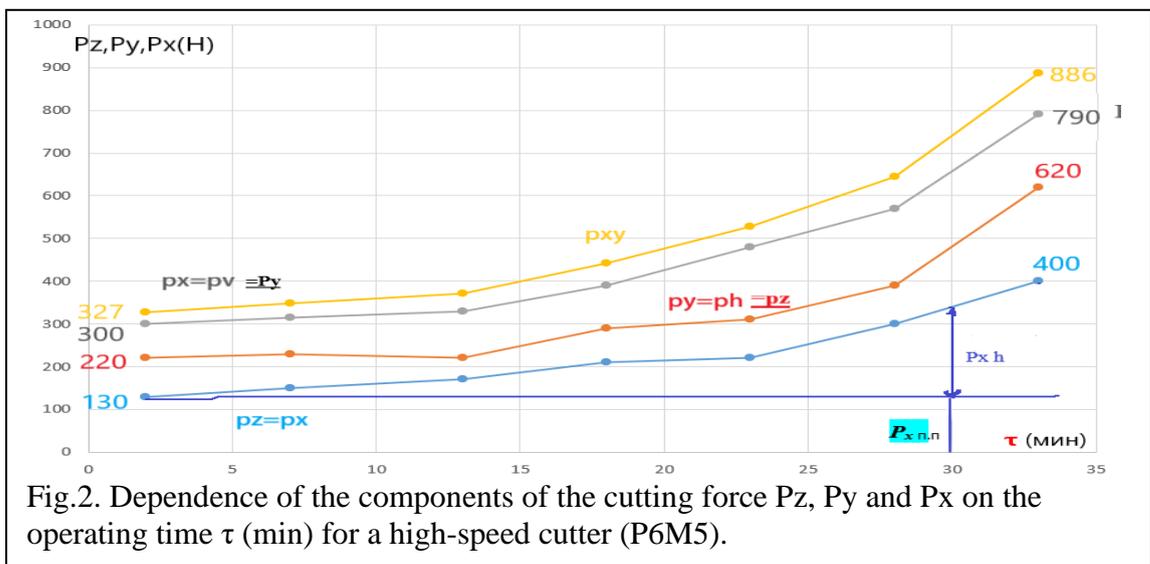
Fig.1. Technological P_x , P_y , P_z and P_{xy} components of the cutting force

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

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

2) Calculation of the components of the cutting force P_z , P_y and P_x , acting on the cutter tooth, the release of forces on the front and rear surfaces

The resulting experimental image of the change in the components of the cutting force P_z , P_y and P_x over time. At the very beginning, when the cut was sharp, we had small forces, and then they began to increase, this increase is associated only with the forces on the rear surface, the release of forces from horizontal start to end points, this will be the force at large chamfer wear.



3. Machining grooves with a milling cutter, calculating cutting force

We calculate the force P_h , which acts against the longitudinal feed $s_{prod} = s_{min}$ (mm / min) and bends the cutter during its cantilever

action at the overhang (cantilever length) $L_w = 156$ mm:

The main component of the cutting force during milling is the circumferential force P_z , N. is calculated by the formula:

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

Calculate the maximum milling width B (groove depth h) when milling a pocket:

$$P_{h \max} = P_{z \max} \times 0,4 = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} \times 0,4 \text{ (H).}$$

$$B^u = P_{h \max} D^q n^w / (10C_p t^x S_z^y z K_M \cdot 0,4)$$

4. Calculation of the physical components of the cutting force

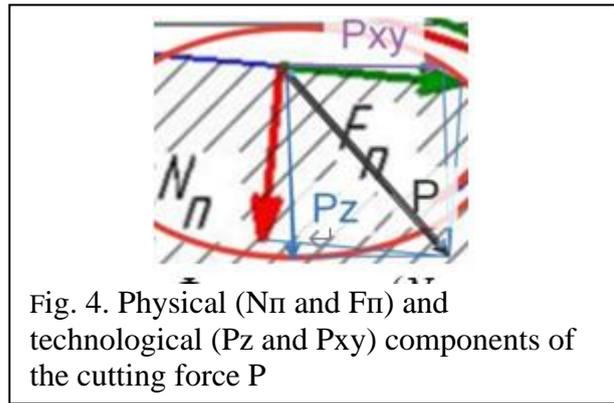
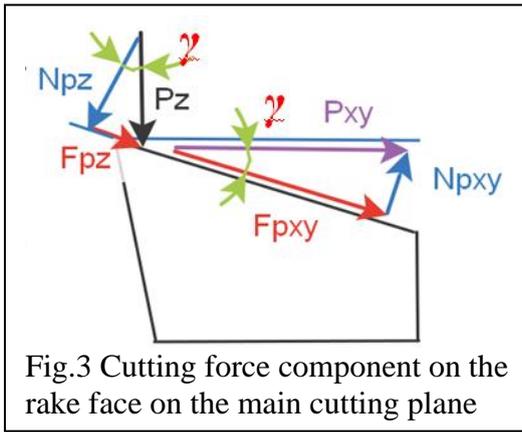
The calculation of the physical components of the cutting force N and F by the technological components P_z and P_{xy} at a rake angle $\gamma \neq 0^\circ$ is carried out according to the formulas obtained from the vector sums (Fig. 3):

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

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

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

The calculation of the physical components of the cutting force N and F from the technological components P_z and P_{xy} at a rake angle $\gamma \neq 0^\circ$ is performed by the formulas that we obtain from the sum of the vectors (Fig. 4)

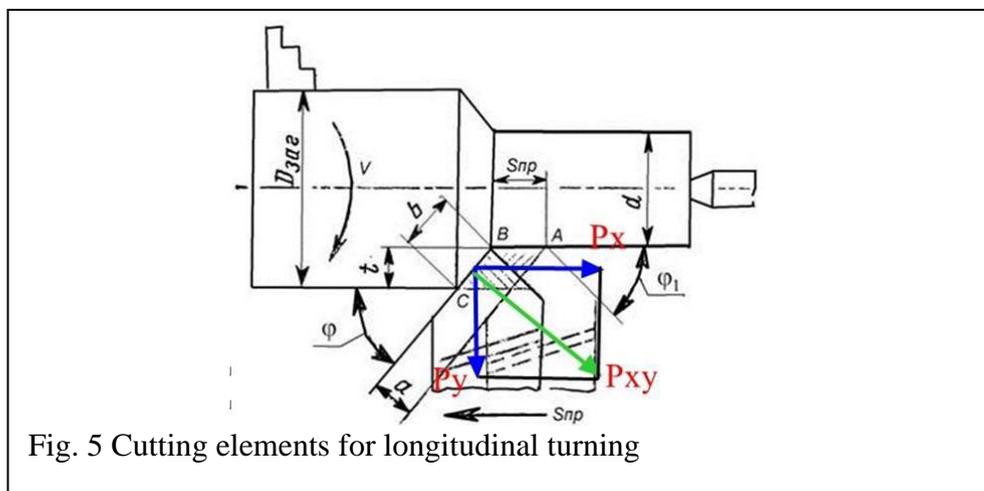


5. Calculation of shear contact stress diagram

1). After the experiment, the length of contact with the chip with the front surface of the tool c is measured at different rake angles γ .

2). Based on the experiments carried out, graphs of the change in the contact length c versus the cut thickness a are plotted

$a = s \times \sin\phi$, where s is the feed (mm / rev) (Fig. 6.); ϕ is the main angle in the plan. (Fig. 5)

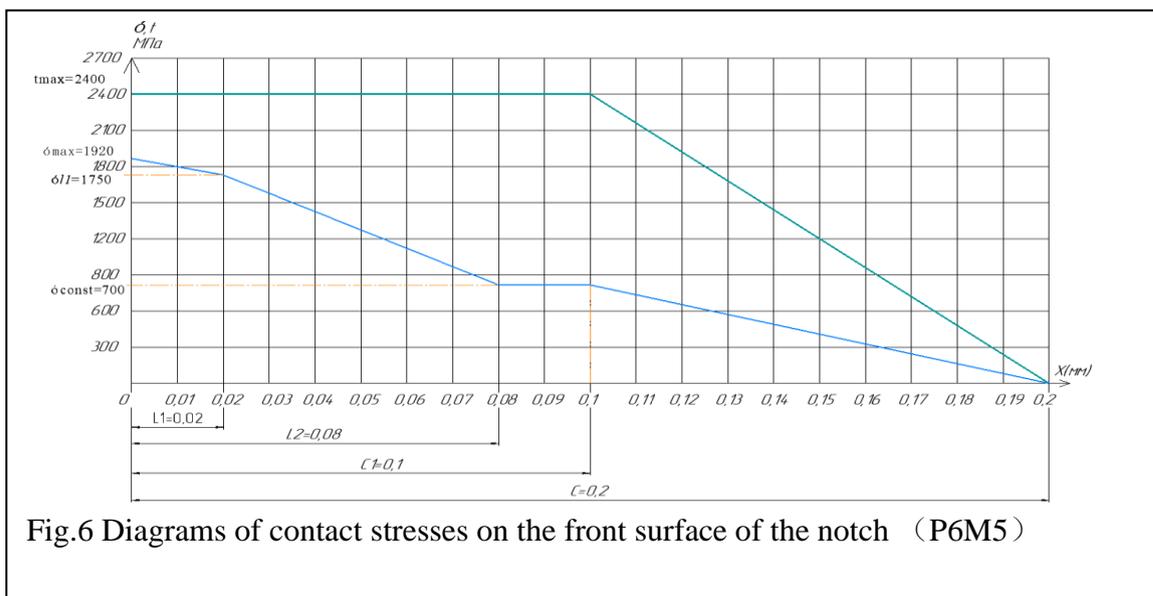


3). From the experimental points of the graphs of the change in the contact length c (mm) versus the slice thickness a (mm) using the OriginLab software, the functional relationship between c and a is determined at different rake angles γ [ie $c = f(a)$]:

for example, at $\gamma=7^\circ$ $c=0,026+8,955a-10,903a^2$ (MM).

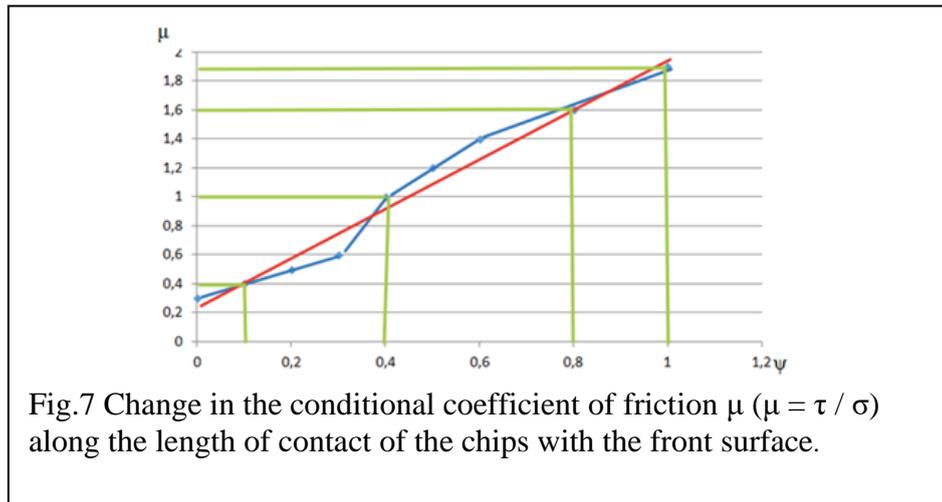
$\gamma=15^\circ$: $c=-0,1028+9,564a-12,483a^2$

4). With a further distance from the cutting edge, the plot τ has a rectilinear decrease to zero at the point $x_i = c$. This nature allows, after simple transformations, to use the formula $\tau_{\max} = \tau_{\text{const}} = F / (c \times 0,75 \times b)$



6. Determination of parameters of diagrams of normal contact stresses relative to shear stresses.

1). Construct a graph of the normal contact stress σ (MPa), which is based on the regularity of the ratio τ/σ , that is, the change in the conditional friction coefficient $\mu=\tau/\sigma$ along the front surface. It can be known that the change in the friction coefficient is related to the cutting conditions and the front. The angle γ is almost irrelevant (Fig. 7).



2). In the area within $x \approx 0.5c$, there is a horizontal line on the normal sequel. For example, σ , and at a greater distance from the cutting edge, the graph σ decreases to zero in a straight line at the point $x = c$.

3). At the end of the chip and the cutting point $\psi \approx 0.8$ (that is, at $x \approx 0.8c$)

There should be $\sigma_i \approx \tau_i / 1.6$.

4). At a distance from the cutting edge $l_1 \approx a$, $\sigma_{l_1} \approx (0.92 \dots 0.93) \times \sigma_{\max}$, because there is no chips yet, it is just forming, the pressure from the cutter goes to the workpiece, therefore, an approximately uniform distribution of normal stresses σ occurs.

5). First, set the value σ_{\max} . $\sigma_{\max} \approx 2\sigma_B$ (σ_B is the time to resist fracture (MPa), we look up the hardness HB of this material in the reference material. For example, for 40X steel

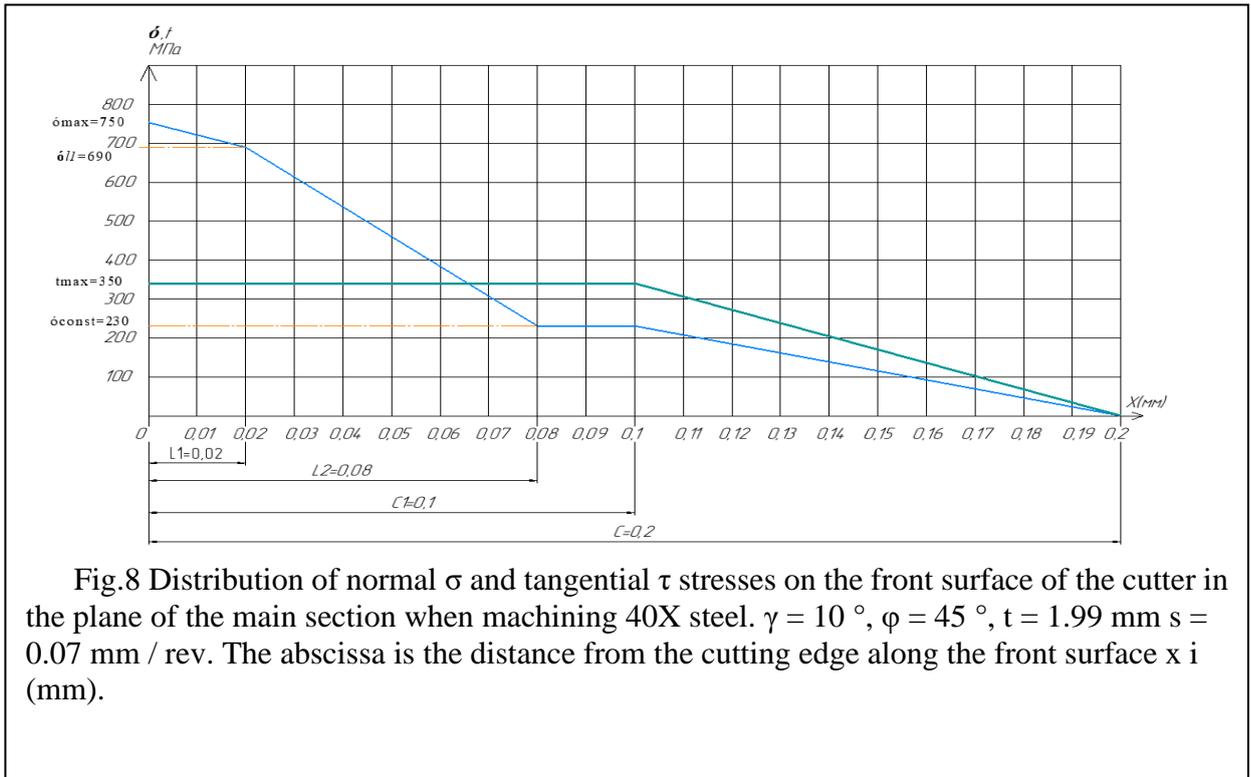
(No additional heat treatment required) $\sigma^* = 560$ MPa).

7. Checking the correct distribution of normal σ and tangential τ stresses on the front surface of the cutter

1) Build a graph of σ and correct (correct) so that the equality $N = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx$, where x_i changes from 0 (coordinate at the cutting edge, i.e. at $x_i = 0$ mm) to $x_i = c$ (coordinate of the chip separation point from the front surface, i.e., at $x_i = c$). For this, we calculate the area of the site σ : $S_\sigma = \sum \sigma_i$ (MPa / mm).

2) The normal force on the drawing $\sigma N_\sigma = S_\sigma \times b(H)$, where b is the width of the contact between the chip and the cutting edge, $b = t / \sin \phi$. If N_{digram} increases, σ_{\max} increases.

3). The shear force according to the graph is $\tau F\tau = S\tau \times b$ (H)



8. Determination of the parameters of the diagrams of contact stresses relative to the distribution of normal and tangential contact stresses.

In order to draw the contact stress diagram and analyze the influence of rake angle and shear thickness on the contact stress diagram, the influence diagram of shear thickness is drawn. Main parameters of the graph(Fig.9, Fig.10, Fig.11, Fig.12)

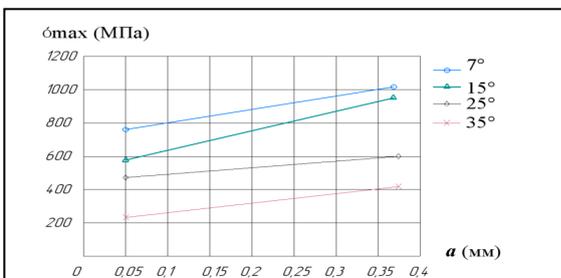


Fig.9 Influence of the depth of cut a (mm) on the value of the highest normal contact stress at the cutting edge when machining 40X steel.

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: \sigma_{\max} &= 1415,1 \times a + 649 [\text{MPa}]; \\ \gamma=15^\circ: \sigma_{\max} &= 754,7 \times a + 582 [\text{MPa}]; \\ \gamma=25^\circ: \sigma_{\max} &= 377,36 \times a + 481 [\text{MPa}]; \\ \gamma=35^\circ: \sigma_{\max} &= 267,3 \times a + 316,64 [\text{MPa}] \end{aligned}$$

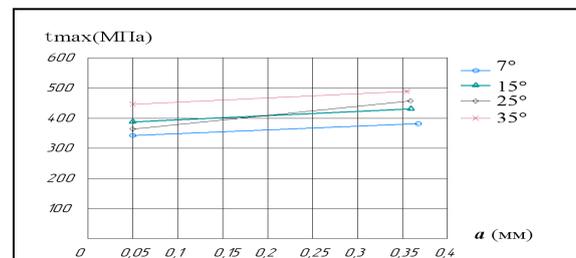


Fig.10 Influence of the depth of cut a (mm) on the value of the highest tangential contact stress at the cutting edge when machining 40X steel.

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: \tau_{\text{const}} &= 94,34 \times a + 335 [\text{MPa}]; \\ \gamma=15^\circ: \tau_{\text{const}} &= 78,6 \times a + 381 [\text{MPa}]; \\ \gamma=25^\circ: \tau_{\text{const}} &= 298,74 \times a + 315 [\text{MPa}]; \\ \gamma=35^\circ: \tau_{\text{const}} &= 62,89 \times a + 416,86 [\text{MPa}] \end{aligned}$$

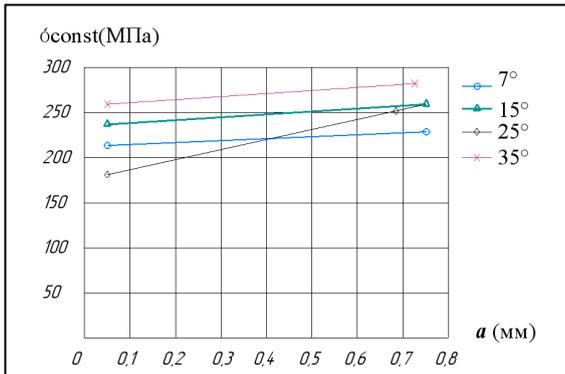


Fig.11 The cutting depth a (mm) affects the normal contact stress in the horizontal section of 40X steel processing.

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

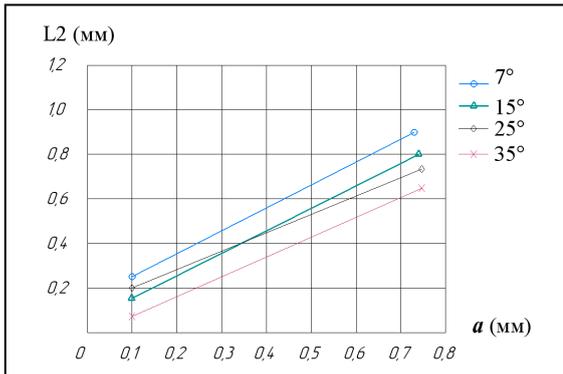


Fig. 12 Influence of the depth of cut a (mm) on the distance from the cutting edge to the beginning of the horizontal area of the diagram of normal contact stress on the horizontal area of the diagram l2 (mm) when machining steel.

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: L_2 &= 1,887 \times a + 0,18565 [\text{MM}]; \\ \gamma=15^\circ: L_2 &= 2,075 \times a + 0,1116 [\text{MM}]; \\ \gamma=25^\circ: L_2 &= 1,635 \times a + 0,118 [\text{MM}]; \\ \gamma=35^\circ: L_2 &= 1,855 \times a + 0,0011 [\text{MM}] \end{aligned}$$

Conclusion

1. When machining steel on the first half of the contact of the shavings with the front surface of the cutter, uniform shear stresses $\tau_{\max} \approx P_{xy} / c \times 0.75 \times b$ MPa act, which indicates the plastic nature of the contact in this area.
2. When machining grooves, because the milling cutter has a large length and a small diameter, a large cutting force will be generated, resulting in deformation.
3. The contact length between the chip and the rake face $c = f(a)$, where a is the thickness of the uncut chip (mm);
4. The contact stress distribution of tangent σ and tangential τ on the tool front is established, and it is concluded that the contact between the chip and the tool front can be divided into two parts: internal friction area and external contact area. Among them, plastic deformation occurs in the internal friction area, and elastic deformation occurs in the external friction area;
5. According to the formula and experimental data, the component force of the cutting tool and the contact stress of the turning rake face can be calculated.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Чжоу Вэньсюань

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		22.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжоу Вэньсюань		22.02.21

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Целью данной работы является моделирование состояния оболочки под нагрузкой и выбор материала с хорошими характеристиками для изготовления и механической обработки оболочки.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие работы

1) Метод конечных элементов в программном пакете ANSYS используется для расчета напряженно-деформированного состояния детали «оболочки».

2) Проанализировать распределение нагрузок в детали и сравнить с реальными данными.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Энергоэкономичность	0,15	4	4	4	0,65	0,65	0,39
3. Время расчёты в ansys	0,08	5	5	3	0,4	0,39	0,24
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,07	4	5	4	0,28	0,28	0,21
5. Надёжность	0,1	4	4	5	0,48	0,48	0,62
6. Эффективность работы	0,13	5	5	3	0,65	0,65	0,39
7. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,11	5	4	3	0,53	0,52	0,37
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,08	4	3	3	0,46	0,38	0,43
3. Финансирование научного исследования	0,09	5	4	4	0,42	0,33	0,32
Итого	1	46	42	37	4,82	4,94	3,73

Расчет конкурентоспособности, на примере надёжности второго конкурента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i = 0,1 \times 5 = 0,5 \quad (4.1)$$

где: K – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя;

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

4.1.2 SWOT-анализ

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

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

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Установить ANSYS на компьютер сложнее
C2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Длительное время выполнения отливки чернового моделирования.
C3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.
C4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
C5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Долгое время для определения нагрузки
Возможности	Угрозы
V1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.	У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
V2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
V3. Использование в сфере машиностроения	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации.

Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3 – 4.6:

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

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

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

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	-	-	-	-	-
	В2	-	-	-	-	-
	В3	-	+	+	-	+

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

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

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

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

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Установить ANSYS на компьютер сложнее</p> <p>Сл2. Длительные сроки поставки для моделей с механической оболочкой.</p> <p>Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл5. Долгое время для определения нагрузки.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что соответствует дополнительному спросу на полученные результаты исследования в учебной</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В3Сл2Сл3Сл5. Внедрение технологии в машиностроительной области требует долгого времени к подготовке моделирования и высококвалифицированных</p>

<p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.</p> <p>В3. Использование в сфере машиностроения</p>	<p>сфере.</p> <p>В2В3С1С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии и перспективный способ изучения соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие технологии машиностроения и внедрению технологии в аэрокосмической области.</p>	<p>знаний о программе ANSYS</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С4. Несмотря на отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях, наши исследования обладают высокой перспективностью в данной сфере.</p> <p>У2С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями и более свежие результаты по сравнению с зарубежными аналогами.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У2Сл4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок угрожает полученным результатам исследования за счёт их погрешности и неопределенности в некоторых случаях.</p>

В результате SWOT - анализа показано, что высокие точности полученных результатов при правильной установке программы ANSYS данной работы и её перспективы преобладают над её недостатками, которые невозможно все устранены на практике и в теории. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

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

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение тема диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические исследования	3	Изучение литературы	Инженер
	4	Изучение программного обеспечения ANSYS.	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Добавьте материалы и создайте 3D-модель механической оболочки, поддержите ее и загрузите в ANSYS для экспериментов.	Инженер
	6	Настроить программу по реальным условиям и введение целесообразных критерий исследования.	Инженер, Научный руководитель
	7	Проведение компьютерного эксперимента.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных.	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов.	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки.	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение

трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.2)$$

Где:

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

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

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i} \quad (4.3)$$

Где: T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

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

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

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

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

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

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

k – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 88 - 30} = 1,48 \quad (4.5)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 4.9:

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{Pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini} , чел-дни		t_{maxi} , чел-дни		$t_{\text{ожи}}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Календарное планирование выполнения диссертации.	1	2	3	4	1,8	2,8	2,8	4,14
3. Чтение литературы	-	30	-	45	-	36	36	53,28
4. Изучение программного обеспечения для моделирования обработки ANSYS.	-	20	-	40	-	28	28	41,44
5. Добавьте материалы и создайте 3D-модель оболочки, поддержите ее и загрузите в ANSYS для экспериментов.	-	5	-	8	-	6,2	6,2	9

6. Настроить программу по реальным условиям и введение целесообразных критерий исследования.	30	60	40	80	34	68	68	100,64
7. Проведение компьютерного эксперимента.	-	10	-	15	-	12	12	17,76
8. Обработка полученных данных.	-	20	-	30	-	24	24	35,52
9. Оценка правильности полученных результатов.	3	8	5	10	3,8	8,8	8,8	13
10. Составление пояснительной записки.	-	20	-	40	-	28	28	41
Итого:	35	175	50	273	41	213,8	215,2	317,78

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Виды работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				август – октябрь			ноябрь – январь			февраль – апрель			Май-июнь		
				8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Исп 1	2	█											
2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Исп 1 Исп 2	4,14	█											
3	Чтение литературы	Исп 2	53,28	█	█										
4	Изучение программного обеспечения для моделирования обработки ANSYS	Исп 2	41,44			█									
5	Добавление материалов и создание 3D модели пружины, составление опоры и нагрузка в программу ANSYS для эксперимента.	Исп 2	9				█								
6	Настроить программу по реальным условиям и введение целесообразных критерий	Исп 1 Исп 2	100,64						█	█	█	█	█	█	█

№	Виды работ	Исп	T_{ki} . кал. дн.	Продолжительность работ											
				август – октябрь			ноябрь –январь			февраль – апрель			Май-июн ь		
				8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
	исследования.														
7	Проведение компьютерного эксперимента.	Исп 2	17,7 6									■			
8	Обработка полученных данных.	Исп 2	35,5 2									■			
9	Оценка правильности полученных результатов.	Исп 1 Исп 2	13									▣	■		
10	Составление пояснительной записки.	Исп 2	41											■	

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель);



– Исп. 2 (инженер);

4.3 Бюджет научно-технического исследования.

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

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

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Таблица 4.11 – Материальные затраты

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

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

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

Где: n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

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

Где:

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	4	65	65
Итого		65 тыс. руб.			

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года (по формуле 4.6):

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

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 4.7):

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t = \frac{0,25 \times 65000}{12} \times 9 = 12187 \text{ руб}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

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

Где:

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней.

(по таблице 4.9 для инженера: $T_{p2} = 219$ дней, для руководителя: $T_{p1} = 38$ дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \times M}{F_d} \quad (4.9)$$

Где:

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Должностной оклад работника за месяц по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{m1} = Z_{mc1} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \times k_p = 28600 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 55770 \text{ руб} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_{м2} = Z_{мс2} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 15000 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 29250 \text{ руб} \quad (4.11)$$

Где:

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

$Z_{мс1} = 28600$ руб, а для инженера $Z_{мс2} = 15000$ руб);

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

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

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

Среднедневная заработная плата у руководителя рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{дн1} = \frac{Z_{м} \times M}{F_{д}} = \frac{55770 \times 10,3}{247} = 2325,63 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата у инженера рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{дн2} = \frac{Z_{м} \times M}{F_{д}} = \frac{29250 \times 11,2}{247} = 1538 \text{ руб}$$

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	256	213

Таблица 4.14 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дн	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	28600	0,3	0,2	1,3	55770	2325,63	41	95350,83
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1538	213,8	328824,4
Итого:								424175,23

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн} = 0,15 \times 95350,83 = 14302,63 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн} = 0,15 \times 328824,4 = 49323,66 \text{ руб.}$$

Где:

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

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

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

– для руководителя:

$$\begin{aligned} Z_{внеб1} &= k_{внеб} \times (Z_{осн1} + Z_{доп1}) = 0,3 \times (95350,83 + 14302,63) \\ &= 32896,04 \text{ руб} \end{aligned}$$

– для инженера:

$$\begin{aligned} Z_{внеб2} &= k_{внеб} \times (Z_{осн2} + Z_{доп2}) = 0,3 \times (328824,4 + 49323,66) \\ &= 113444,42 \text{ руб} \end{aligned}$$

Где:

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

4.3.6 Накладные расходы.

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

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

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

Где:

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

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.15:

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям.

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
5190	1287	424175,23	63626,29	146340,46	640618,98	102499,04	743118,02

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Исследование состояния пружины при нагрузке» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также

представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	5190	6300	4750
2	Затраты на специальное оборудование	1287	2475	2600
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	424175,23	425230	376520
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	63626,29	64650	51260
5	Отчисления во внебюджетные фонды	146340,46	156275	135850
6	Накладные расходы	102499,04	105635	101265
Бюджет затрат НИР		743118,02	750565	672245

Где: Исп.2 – Аналог 1, Исп.3- Аналог 2;

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

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

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший

интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1) Метод конечных элементов в программном пакете ANSYS используется для расчета напряженно-деформированного состояния детали «оболочки».

2) Проанализировать распределение нагрузок в детали и сравнить с реальными данными.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 4.14:

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

Где:

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

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

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

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 743118,02 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 750565 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 672245 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.1}} = 750565 \text{ руб}$$

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{743118,02}{750565} = 0,99$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{750565}{750565} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{672245}{750565} = 0,896$$

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

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

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

Объекты исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	5	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,15	5	4	4
4. Механические свойства	0,25	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,8	4,4	3,95

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

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

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

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

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

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

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

Где:

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

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

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

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_p^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}}} = \frac{4,8}{0,99} = 4,848$$

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

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

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

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3,95}{0,848} = 4,66$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального

показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительные эффективности разработки.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1	0,896
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,4	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	4,848	4,4	4,66
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,876	0.861

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

Выводы по разделу:

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

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общие количества календарных дней для выполнения работ составляет 317,78 дней. Общие количества рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 213,8 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 41 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет **743118,02** рублей. (требуемый затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

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

1) Значение интегрального финансового показателя текущего проекта составляет 0,99, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;

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

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 4,848, по сравнению с 4,4 (первого конкурента) и 4,66 (второго конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Раздел «Социальная ответственность»

Социальная ответственность

Введение

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

Заготовка получается методом литья, что решает проблему технологии обработки литого корпуса. Используемое оборудование и материалы имеют следующие виды: 1) Токарный обрабатывающий Станок 1К62; 2) Координатно-измерительная машина Coord3 модель EOS.

Путем измерения размера заготовки выбирается заготовка, соответствующая обрабатываемому размеру, и квалифицированный продукт обрабатывается на токарном станке путем расчета размерной цепочки.

При выполнении работы большая часть времени проводилась в 16А корпусе ТПУ. В лаборатории 101 изучали силы резания..

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Чжоу Вэньсюань

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

Тема выпускной квалификационной работы: «Решение технологических проблем при обработке литого корпуса»

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Чжоу Вэньсюань		09.03.21

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На рисунке 1 показано спроектированное рабочее место.

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

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

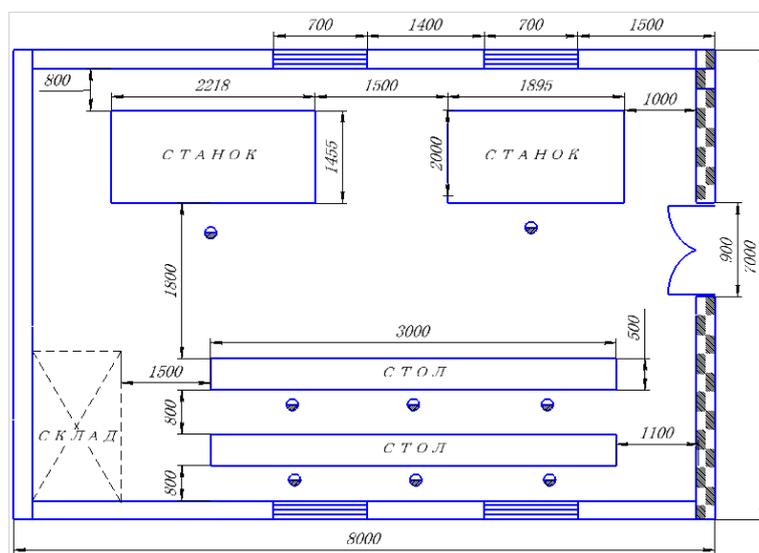


Рис.1.1 Рабочее место (Аудитория101А в 16А корпусе ТПУ)

2. Производственная безопасность

а) Анализ условий труда на рабочем месте

Эксперименты проводились на металлообрабатывающем оборудовании, а по измерению – на координатно-измерительной машине:

- 1) Токарный обрабатывающий Станок 1К62;
- 2) Координатно-измерительная машина Coord3 модель EOS.

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

Таблица 2.1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2.Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ.
6.Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся заготовки и материалы;	+	+	+	

б) Анализ показателей шума и вибрации

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

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

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

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

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Шум от источников аэродинамического шума можно уменьшить применением виброизолирующих прокладок, установленных между основанием машины, прибора и опорной поверхностью. В качестве прокладок используют резину, войлок, пробку, амортизаторы.

Настольные шумящие аппараты, счетные, перфорационные машины можно устанавливать на мягкие коврики из синтетических материалов,

а под ножки столов - прокладки из резины, войлока толщиной 6-8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям. Замена - через 4-5 лет (из резины) и через 2-2,5 года (из войлока).

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

в) Анализ показателей микроклимата

Состояние микроклимата на механическом участке должна соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88. Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами:

- температура воздуха t , °С;
- относительная влажность воздуха φ , %;
- скорость движения воздуха на рабочем месте v , м/с.

Движение воздуха в помещениях – это важный фактор, влияющий на тепловое самочувствие человека. Движение воздуха оказывает различное действие на организм в тёплый и холодный период года. Так, в жарком помещении оно улучшает состояние организма, так как способствует увеличению отдачи теплоты, но при низкой температуре оказывает неблагоприятное воздействие. Можно сделать вывод, что для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам к операторам, относится к категории средних работ, 2б – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся

умеренным физическим напряжением. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты замеров микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, С°		Влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Фактич.	Допуст.	Фактич.	Допуст.	Фактич.	Допуст.
Теплый	2б	21	18-27	62	65	0,16	0,2
Холодный	2б	18	17-23	53	<75	0,1	0,2

Для обеспечения комфортных условий используются как организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства: в холодный период года – применение водяного отопления; в теплый период года – искусственная вентиляция, изоляция нагретых поверхностей оборудования.

г) Анализ освещенности рабочей зоны

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 150 Лк.

Помещения имеют как естественное, так и искусственное освещение. Вследствие того, что работа оператора по обслуживанию пульта управления радиостанцией соответствует разряду зрительной работы III б, следует соблюдать следующие требования, предъявляемые рабочему месту.

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

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

Освещенность системы общего освещения на рабочем месте оператора составляет не менее 200 лк, а комбинированная система

освещения - не менее 750 лк. Для освещения помещения чаще всего используются светильники серии ЛБ 036 с зеркальными решетками, оснащенные высокочастотными балластами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

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

Расчет искусственное освещение в помещении

Проектирование искусственного освещения рабочего места будет сводиться к следующему:

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

Размещение светильников в помещении

определяется следующими размерами, [м]:

H – высота помещения =4;

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

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

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

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

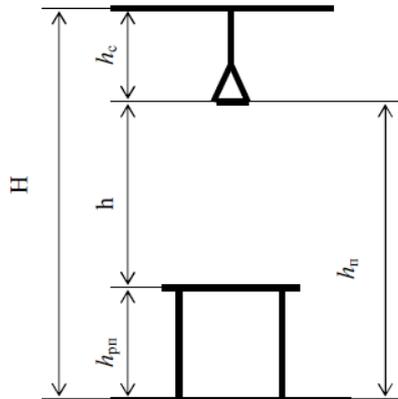


Рис 2.3 Основные расчетные параметры

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

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

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

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

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$L/3 = 3,78/3 = 1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составит 52 см. Изображаем в

масштабе план помещения и размещения в нем светильников (рис.2.3).

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее

число ламп в помещении $n=8*1*2=16$ ламп.

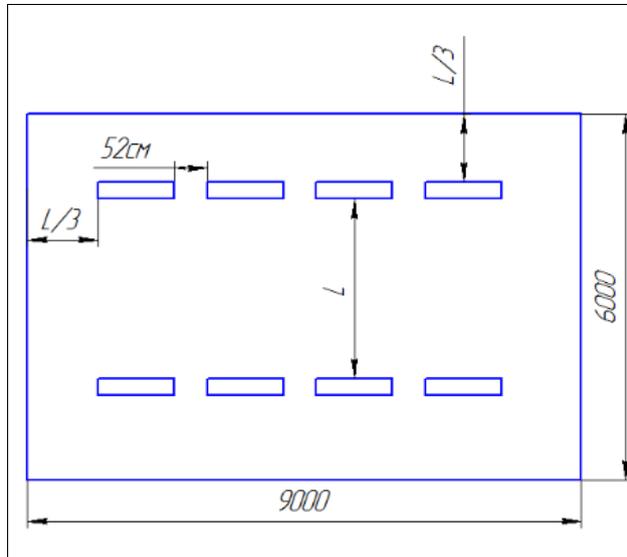


Рис.2.4 План размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}$$

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

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

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

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

$$\Phi = \frac{E_i \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta^{\epsilon}}$$

E_i – нормируемая минимальная освещённость по СНиП

23-05-95 лк;

s – площадь освещаемого помещения, м²;

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

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

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 * 54 * 1,5 * 1,1}{16 * 0,54} = \frac{26730}{8,64} = 3094 \text{ Лм}$$

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

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

$$10\% \quad \frac{2850 - 3094}{3094} * 100\% \quad 20\%$$

Получаем

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

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

Определим электрическую мощность осветительной установки:

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

Тогда мощность каждой лампы:

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

Определим электрическую мощность осветительной установки

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт.}$$

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

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

д) Анализ электробезопасности

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

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

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

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

По электрической опасности помещение относится к категории без повышенной опасности.

При эксплуатации электрического оборудования необходимо помнить о возможности случайного прикосновения или приближения к

токоведущим частям и прикосновения к металлическим нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, о переходе в трансформаторе высокого напряжения на низкое, о переходе тока низкой частоты в цепь высокой, об образовании электроискр, дуг или о нагреве токоведущих частей.

е) Анализ пожарной безопасности

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

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

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Исключая образование горючих сред и источников зажигания и поддерживая параметры окружающей среды в пределах негорючего диапазона, можно обеспечить противопожарную защиту. В комнате, в зависимости от размера комнаты, необходимо оборудовать 2 огнетушителя ОП-5 и силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение.

3. Анализ экологической безопасности.

Охрана окружающей среды является сложной проблемой, и наиболее

активной формой её решения является снижение вредных выбросов промышленных предприятий путем полного перехода на безотходную или малоотходную технологию производства.

3.1 Защита селитебной зоны

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

3.2 Анализ воздействия объекта на атмосферу

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

3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу

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

3.4. Анализ воздействия объекта на литосферу

В моем эксперименте не влияет состояние литосферы.

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

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

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

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

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

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

-Электросетях: следует обеспечить генератором (бензиновым или дизельным), который сможет производить ток требуемой мощности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надёжной системой связи, а также исключить распространение информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

Должностные лица проводит обучение каждые шесть месяцев, чтобы

сформулировать действия в чрезвычайных ситуациях.

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

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



Заключение:

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

Предоставлены сведения об опасных веществах, обращающихся на эксперименте.

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

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

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

Вывод:

Благодаря анализу безопасности, он анализирует различные вопросы безопасности во время диплома и обеспечивает успех исследования диплома. Практическая значимость заключается в повышении осведомленности о безопасности и понимании знаний о безопасности, чтобы их можно было использовать в случае внезапных и опасных ситуаций в будущем.

Список литературы

1. Энциклопедия машиностроению XXI
2. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с..
3. Получение и свойства чугуна с шаровидным графитом. Под редакцией Гиршовича Н.Г. - М.,Л.: Ленинградское отделение Машгиза, 1962, - 351 с.
4. 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, 520с.
5. Внепечная обработка литейных сплавов и экология литейного производства. /Под. ред. Немененка Б.М. Минск; БНТУ, 2004. - 96 с. /УДК 669.74, 621.745, 621.746
6. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. –Москва: Машиностроение, 1967. –416 с.
7. Кузнецов Б.Л. Введение в литейное металловедение чугуна. М: Машиностроение, 1995. - 168 с.: ил. /ISBN 5-217-02742-8
8. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. –Москва: Машиностроение, 1969. –148 с.
9. Армареги И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326с.
10. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
11. Каталог инструментов. Твёрдосплавный инструмент российского производства. АО «Кировоградский завод твёрдых сплавов» 2019, открытый доступ www.kzts.ru.
12. Чэнь Юэчжоу. Особенности исследования контактных напряжений на поверхностях резца / Чэнь Юэчжоу, Чжао Цзялунь, В.Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 24-26 апреля 2019 г.: / Национальный

исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) .
—Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . —[С. 59-66] .

13. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т.2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. –М.: Машиностроение, 1985. 496с., ил.

14. Zhang J., Kozlov V.N., Guo Y., Sabavath S.K. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V.N.Kozlov// Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов: сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). —Томск: Изд-во ТПУ, 2018. —[С. 39-45].

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

16. V.N.Kozlov, Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear, Proc. 7th Int. Forum on Strategic Technology (2012) 2147-151.

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

18. 77-48211/492011, 10 октябрь 2012 г, УДК621.914, Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков, Утенков В. М., Быков П. А

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

20. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца// Вопросы оптимального резания металлов. –Уфа, Изд-во УФАИ, 1976. –С.76-78.
21. Справочник конструктора-инструментальщика./ под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542с.
22. Чжан, Ц. Влияние вида износостойкого покрытия на стойкость режущего инструмента [Электронный ресурс] /Ц. Чжан, В.Н. Козлов, Ш. Лю // Современные проблемы машиностроения сборник научных трудов XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября -1 ноября 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Ю. Арляпова [и др.] . —Томск: Изд-во ТПУ, 2019. —[С. 160-163]. —Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.
23. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М.: Машгиз, 1962. 152 с.
24. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.Н., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Под ред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352с.
25. 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. 448с.
23. Kirsanov S.V., BabaevA. S. Study of Accuracy and Surface Roughness of Holes in Comparative Testing of Small Diameters Gun Drills// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. –2014. –V.66. –I.1. –P.1-5.
24. «Мир Станочника» / Д. В. Тренёв, генеральный директор компании «Мир Станочника».

Операция 1, переход 3:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 8^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 4,4^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (119/2,02) \times 0,72 = 42,41 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 40$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 8} = 1592 \approx 1500 \text{ об/мин.}$$

На обрабатывающем фрезерном центре обеспечить частоту вращения фрезы можно до 5 000 об/мин, но стойкость фрезы будет меньше, а она специальная, поэтому дорогая.

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_e}{190}\right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190}\right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 72 \times 8^{0,7} \times 0,022^{0,5} \times 4,4^{0,2} \times 3}{80^{0,3} \times 1500^{0,3}} \times 0,88 = (1847/16,74) \times 0,88 = 110 \times 0,88 = 96,8 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{96,8 \times 8}{2000} = 0,39 \approx 0,4 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{96,8 \times 40}{1020 \times 60} = 0,03 \text{ кВт.}$$

Операция 1, переход 4:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 9^{0,45}}{80^{0,3} \times 8^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 20^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = 51 \times 0,72 = 36,43 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 35$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 9} = 1393 \approx 1250 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_e}{190}\right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190}\right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 9^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 20^{0,4} \times 3}{9^{0,2} \times 1250^{0,1}} \times 0,88 = (686/3,17) \times 0,88 = 216 \times 0,88 = 190 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{190 \times 8}{2000} = 0,76 \approx 0,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{190 \times 35}{1020 \times 60} = 0,11 \text{ кВт.}$$

Операция 1, переход 5:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев** фрезы – 3 шт.

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 20^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 30^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 =$$

$$= (119/3,87) \times 0,72 = 22,14 \text{ м/мин;}$$

Принимаем скорость резания $v = 20$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 8} = 796 \approx 750 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 20^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 30^{0,4} \times 3}{20^{0,2} \times 750^{0,1}} \times 0,88 =$$

$$= (947/3,53) \times 0,88 = 268 \times 0,88 = 236 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{236 \times 20}{2000} = 2,36 \approx 2,4 \text{ Н·м;}$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{236 \times 20}{1020 \times 60} = 0,07 \text{ кВт.}$$

Операция 1, переход 6:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев** фрезы – 3 шт.

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 21,5^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 15^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (119/3,75) \times 0,72 =$$

$$= 22,85 \text{ м/мин;}$$

Принимаем скорость резания $v = 20$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 8} = 796 \approx 750 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 21,5^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 15^{0,4} \times 3}{21,5^{0,2} \times 750^{0,1}} \times 0,88 =$$

$$= (728/3,58) \times 0,88 = 203 \times 0,88 = 179 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{179 \times 21,5}{2000} = 1,92 \approx 2 \text{ Н·м;}$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{179 \times 20}{1020 \times 60} = 0,06 \text{ кВт.}$$

Операция 1, переход 7:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 11^{0,45}}{80^{0,3} \times 11^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 30^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (137/2,87) \times 0,72 = 34,36 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 30$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 11} = 869 \approx 850 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 11^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 30^{0,4} \times 3}{11^{0,2} \times 850^{0,1}} \times 0,88 = (841/3,17) \times 0,88 = 265 \times 0,88 = 233 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{233 \times 11}{2000} = 1,28 \approx 1,3 \text{ Н·м;}$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{233 \times 30}{1020 \times 60} = 0,11 \text{ кВт.}$$

Операция 2, переход 1:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 2,19^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 46^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (119/1,34) \times 0,72 = 63,94 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 60$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{3,14 \cdot 8} = 2388 \approx 2000 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 2,19^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 46^{0,4} \times 3}{8^{0,2} \times 2000^{0,1}} \times 0,885 = 223 \times 0,88 = 196 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{196 \times 8}{2000} = 0,784 \approx 0,8 \text{ Н·м;}$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{196 \times 60}{1020 \times 60} = 0,19 \text{ кВт.}$$

Операция 2, переход 2:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 8^{0,45}}{80^{0,3} \times 8^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 2,2^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (119/1,89) \times 0,72 = 45,33 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 45$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 8} = 1791 \approx 1500 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 72 \times 8^{0,7} \times 0,022^{0,5} \times 2,2^{0,2} \times 3}{8^{0,3} \times 1500^{0,3}} \times 0,88 = (1847/16,74) \times 0,88 = 110 \times 0,88 = 96,8 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{96,8 \times 8}{2000} = 0,39 \approx 0,4 \text{ Н·м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{96,8 \times 45}{1020 \times 60} = 0,07 \text{ кВт.}$$

Операция 2, переход 4:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 52^{0,45}}{80^{0,3} \times 52^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 9^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (276/5,54) \times 0,72 = 35,92 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 35$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 8} = 1393 \approx 1250 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{190} \right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190} \right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z^p}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 52^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 9^{0,4} \times 3}{52^{0,2} \times 1250^{0,1}} \times 0,88 = 158 \times 0,88 = 139 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{139 \times 52}{2000} = 3,61 \approx 3,6 \text{ Н·м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{139 \times 35}{1020 \times 60} = 0,08 \text{ кВт.}$$

Операция 2, переход 5:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 30^{0,45}}{80^{0,3} \times 30^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 14^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (216/4,4) \times 0,72 = 35,31 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 35$ м/мин.

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 30} = 371 \approx 350 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_a}{190}\right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190}\right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 30^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 14^{0,4} \times 3}{30^{0,2} \times 350^{0,1}} \times 0,88 = 188 \times 0,88 = 165 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{165 \times 30}{2000} = 2,48 \approx 2,5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{165 \times 35}{1020 \times 60} = 0,09 \text{ кВт.}$$

Операция 2, переход 7:

Материал фрезы : Р6М5

Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.**

Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 14^{0,45}}{80^{0,3} \times 14^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 8^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (153/2,84) \times 0,72 = 38,8 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 35 \text{ м/мин.}$

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 14} = 796 \approx 750 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_a}{190}\right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190}\right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 14^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 8^{0,4} \times 3}{14^{0,2} \times 750^{0,1}} \times 0,88 = 136 \times 0,88 = 120 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{120 \times 14}{2000} = 0,84 \approx 0,8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{120 \times 35}{1020 \times 60} = 0,07 \text{ кВт.}$$

Операция 2, переход 8:

Материал фрезы : Р6М5; Вид обработки: Черновая, **число зубьев фрезы – 3 шт.** Обрабатываемый материал: чугун СЧ20

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

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46,7 \times 20^{0,45}}{80^{0,3} \times 20^{0,5} \times 0,022^{0,5} \times 0,5^{0,1} \times 3^{0,1}} \times 0,72 = (180/2,57) \times 0,72 = 50,37 \text{ м/мин};$$

Принимаем скорость резания $v = 50 \text{ м/мин.}$

$$\rightarrow n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 20} = 796 \approx 750 \text{ об/мин.}$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_a}{190}\right)^{n_v} = \left(\frac{150}{190}\right)^{0,55} = 0,88$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} = \frac{10 \times 30 \times 20^{0,2} \times 0,022^{0,5} \times 0,5^{0,4} \times 3}{20^{0,2} \times 750^{0,1}} \times 0,88 = 52 \times 0,88 = 46 \text{ Н.}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000} = \frac{46 \times 20}{2000} = 0,46 \approx 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{46 \times 50}{1020 \times 60} = 0,04 \text{ кВт.}$$