Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование прочности токарного резца методом конечных элементов

УДК 621.941.1.02:539.4.001.5
Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Чжан Цзяюй		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Ю.И.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТАМП	Арляпов А.Ю.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Р2	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
Р3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать
Р5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа
Общекультурные компетенции	
Р6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства
Р7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ _____ _____
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ41	Чжан Цзяюй

Тема работы:

Исследование прочности токарного резца методом конечных элементов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 779/с от 05.02.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Тип токарного резца Обрабатываемые материалы: Сталь 45, ВТ3-1. Программа ANSYS Результаты исследований процесса резания и прочности режущих инструментов, выполненных в России и за рубежом
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Определить распределение контактных нагрузок при различной геометрии резца при обработке титанового сплава и незакалённой стали при действующих (измеренных) составляющих (Pz, Py, Px) силы резания. 2. Определить распределение внутренних напряжений в резце при различной его геометрии при обработке титанового сплава и незакалённой стали. 3. Определить оптимальную геометрию режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке титанового сплава.

	4. Выполнить задание для разделы финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение и социальная ответственность
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	**Консультант**
Исследовательский	Козлов В.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шулинина Ю.И.
Социальная ответственность	Пустовойтова М.И.
Исследовательский (на англ. яз.)	Степура С.Н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.09.2014

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Чжан Цзяюй		

Содержание

1. Титульные листы и задание на ВКР.....1

2. Введение.....6

3. Задачи исследования для выполнения литературного обзора.....7

4. Литературный обзор.....9

4.1. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях.....9

4.2. Исследование процесса стружкообразования.....12

4.3. Влияние обрабатываемого материла на силы и температуру резания.....14

4.4. Исследование распределения контактных напряжений на передней и задней поверхностях резца.....16

4.5. Исследование температуры резания и распределения температуры в режущем клине.....22

4.6. Вид эпюр контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента.....26

4.7. Исследование распределения внутренних напряжений в режущем клине.....27

4.8. Программное обеспечение, реализующее метод конечных элементов.....28

4.9. Оценка прочности режущего инструмента.....30

4.10. Постановка задач исследований на основе литературного обзора.....33

5. Методика выполнения работы.....35

5.1. Приложение внешней нагрузки на заднюю и переднюю поверхности.....35

5.2. Влияние вида распределения контактных нагрузок на передней поверхности на НДС режущего клина.....39

5.3. Создание модели режущего инструмента.....40

5.4. Задание физико-механических характеристик инструментального и обрабатываемого материалов.....42

5.5. Распределение температуры на рабочих поверхностях инструмента.....44

6. Результаты работы и обсуждение.....46

6.1. Исследование НДС инструмента при разной толщине режущих пластин.46

6.2. Исследование влияния характера распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента на НДС инструмента...51

6.3. Влияние переднего угла инструмента на НДС режущего клина.....62

6.4. Влияние округления режущей кромки инструмента на НДС режущего клина.....66

6.5. Влияние ширины фаски износа на задней поверхности резца на НДС режущего клина.....70

6.6. Влияние главного заднего угла режущей пластины на НДС режущего клина.....75

6.7. Влияние обрабатываемого материала на НДС режущего клина при оптимальных углах и режимах резания.....78

6.8. Влияние инструментального материала на НДС режущего клина.....80

6.9. Выводы.....85

7. Обзор научно-технической литературы на английском языке.....88

8. Финасовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....97

9. Социальная ответственность.....119

10. Литературы.....133

Введение

С развитием производства, применение титановых сплавов не ограничивается только к области авиации и вооружения, но все шире используется в гражданском производстве. Для того чтобы улучшить точность обработки и эффективность производства была выбрана тема "Расчёт на прочность токарного инструмента при обработке титанового сплава методом конечных элементов". Для научно-исследовательской работы было решено использовать программное обеспечение SolidWorks и ANSYS как аналитических платформ. Построение моделей механизмов и деталей, анализ прочности моделей методом конечных элементов позволяет обеспечить наиболее рациональную и надёжную конструкцию с наименьшими затратами. Анализ механических и термических напряжений, которые испытывает резец во время его работы, позволяют узнать наиболее слабые места резца, и таким образом обеспечить оптимальную его конструкцию и геометрию.

В данной магистерской диссертации применяется программное обеспечение ANSYS для изучения прочности токарного резца методом конечных элементов. Указав силу, действующую на резец во время резания, и распределение этой внешней нагрузки, можно узнать распределение напряжений в режущем клине и выявить опасные зоны. Полученные результаты имеют также справочное значение для оценки прочности резца и могут быть использованы для анализа прочности других видов режущих инструментов.

3. Задачи исследования для выполнения литературного обзора

Цель работы: исследовать прочность токарного резца при точении титанового сплава методом конечных элементов, его напряженно-деформированное состояние, выявить причины поломки инструмента, определить оптимальную геометрию режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке титанового сплава.

Задачи исследования:

1. Определить распределение контактных нагрузок при различной геометрии резца при обработке титанового сплава и незакалённой стали при действующих (измеренных) составляющих (Pz, Py, Px) силы резания.

2. Определить распределение внутренних напряжений в резце при различной его геометрии при обработке титанового сплава и незакалённой стали.

3. Найти программное обеспечение, обеспечивающее наиболее точное определение напряжённо-деформированного состояния режущего клина, имеющего малые размеры и большой градиент изменения напряжений и деформаций.

4. Освоить программное обеспечение.

5. Выполнить литературный анализ исследований характера износа инструмента при обработке титановых сплавов и других материалов.

6. Выполнить литературный анализ исследований распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях при обработке титановых сплавов и других материалов.

7. Выполнить литературный анализ исследований распределения напряжений в режущем клине при обработке титановых сплавов и других материалов.

8. Исследовать напряженно-деформированное состояние токарного резца при точении титанового сплава методом конечных элементов.

9. Выявить причины поломки инструмента при точении титанового сплава.

10. Определить оптимальную геометрию режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке титанового сплава

4. Литературный обзор

4.1. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях

При снятии стружки на резец действует сила резания P (рис. 4.1). Эта сила имеет как величину, так и направление. Сила резания оказывает непосредственное влияние на качество обрабатываемой детали, на требуемую мощность станка и срок службы инструмента. Для удобства анализа и измерения общую силу резания P раскладывают на три взаимно перпендикулярные составляющие P_z, P_y, P_x как проекции силы P на оси декартовых координат OZ, OY, OX (рис.4.1 и 4.2).

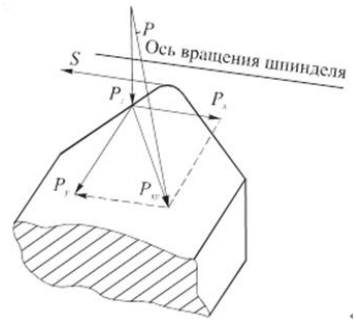
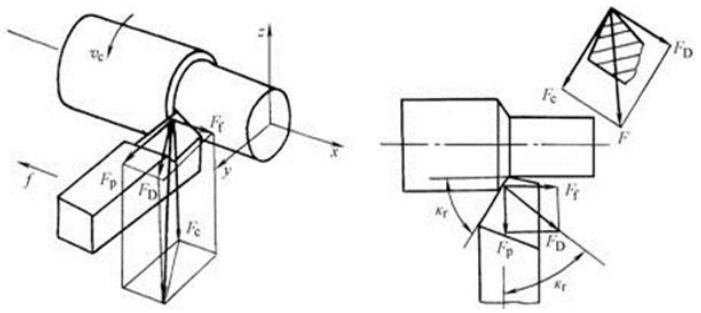


Рис. 4.1. Направления и обозначения составляющих силы резания, используемых в России



а б

Рис. 4.2. Направления и обозначения составляющих силы резания, используемых в англоязычной литературе

Тангенциальная составляющая силы резания P_z (F_c) совпадает по направлению с вектором скорости резания; радиальная составляющая P_y (F_p) отжимает резец от заготовки; осевая составляющая P_x (F_f) действует против направления подачи (рис.4.1 и 4.2). Численное значение составляющих силы резания может быть измерено с помощью токарного трёхкомпонентного динамометра (рис. 4.3).

Для выделения сил на передней поверхности может быть использовано два метода: экстраполяция сил на нулевую толщину среза и экстраполяция на нулевую фаску износа по задней поверхности.

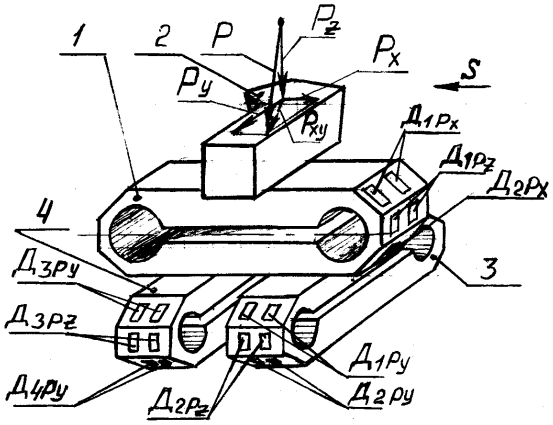


Рис. 4.3. Схема устройства трёхкомпонентного токарного динамометра. 1 – верхний упругий элемент для измерения составляющих силы резания P_x и P_z;2 – резец; 3 и 4 – нижние упругие элементы для измерения составляющих силы резания P_y и P_z; *Д1Px, Д2Px, Д1Pz, Д2Pz, Д1Py, Д2Py, Д3Py, Д4Py* – тензодатчики для измерения составляющих силы резания соответственно их индексам

В первом случае погрешность выделения связана с существенным увеличением силы на задней поверхности при малой толщине среза (a≤0,05 мм) из-за увеличения влияния округления режущей кромки. При малой толщине среза материал заготовки будет уходить не в стружку, а вдавливаться под округлённый участок главной режущей кромки. Даже на острозаточенном резце радиус округления ρ = 0,001-0,005 мм. Поэтому на графике зависимости технологических составляющих силы резания P_y, P_z и P_x от толщины среза a должны учитываться измерения сил при a > 0,2 мм.

Удобнее всего проводить такие эксперименты при прямоугольном свободном резании для упрощения расчёта физических составляющих нормальной N и касательной сил F на передней поверхности, связанного с отсутствием необходимости учёта главного угла в плане φ и влияния сил со стороны вспомогательной режущей кромки. Наиболее просто прямоугольное свободное резание реализуется при точении диска широким резцом (ширина резца должна быть больше ширины диска) с φ = 90° и с радиальной (поперечной) подачей $s_{поп}$. Толщина среза в этом случае будет равна поперечной подаче ($a = s_{поп}$). Толщина диска $b_д$ должна быть больше 2 мм во

избежания его деформации. Чтобы уменьшить влияние уширения диска в месте контакта с главной режущей кромкой толщина диска $b_д$ должна быть больше 4 мм, особенно при $h_з > 0,5$ мм.

При использовании метода экстраполяции сил на нулевую фаску износа по задней поверхности проводится ряд экспериментов с резанием с уменьшением каждый раз ширины фаски на задней поверхности $h_з$, например $h_з = 0,5$ мм, 0,3 мм, 0,2 мм, 0,1 мм, 0,05 мм, 0,01 мм. Точка пересечения графика $P_y = f(h_з)$ с осью P_y покажет нормальную силу N_1 на задней поверхности острого резца, а точка пересечения графика $P_z = f(h_з)$ с осью P_z покажет касательную силу F_1 на задней поверхности острого резца.

Для увеличения точности измерений используется искусственная фаска, моделирующая износ по задней поверхности. В большинстве случаем задний угол на этой фаске $\alpha_h = 0$ º. Однако при большом износе по задней поверхности ($h_з > 1,5$ мм) этот угол может быть отрицательным ($\alpha_h = -3$ º). Инструмент продолжает работать из-за появления нароста или застойной зоны в этой части.

Изменение ширины фаски износа на задней поверхности сказывается на процессах, протекающих на передней поверхности инструмента, только через изменение температуры резания. Т.к. изменение ширины фаски $h_з$ в области малых её величин ($h_з \leq 0,2$ мм) мало влияет на температуру резания, то метод экстраполяции сил на нулевую фаску износа по задней поверхности считается достаточно надёжным.

Для острозаточенного неизношенного резца контакт задней поверхности инструмента с поверхностью заготовки слишком мал, чтобы зафиксировать изменения нагрузки. В связи с этим нагрузки на задней поверхности острого инструмента считают пренебрежимо малыми по сравнению с силами на передней поверхности. Однако при износе инструмента фаска износа по задней поверхности увеличивается настолько, что нагрузки на ней становятся сопоставимыми с нагрузками на передней поверхности, а порой и превышать их. Исследования показали, что характер распределения и величина контактных

нагрузок на фаске износа по задней поверхности аналогичен нагрузкам на передней поверхности.

4.2. Исследование процесса стружкообразования

Качество обработанной поверхности заготовки, режим резания, стойкость инструмента, расход энергии на резание зависят от характера и степени деформирования металла, превращаемого в стружку. Поэтому изучению зоны стружкообразования всегда уделялось много внимания.

Для удобства анализа процесса стружкообразования лучше начать рассмотрение со случая прямоугольного свободного резания при строгании пластины резцом, ширина которого больше ширины строгаемой пластины. В этом случае все процессы будут одинаковы в любом сечении, перпендикулярном главной режущей кромке, независимо от расстояния до боковой поверхности резца.

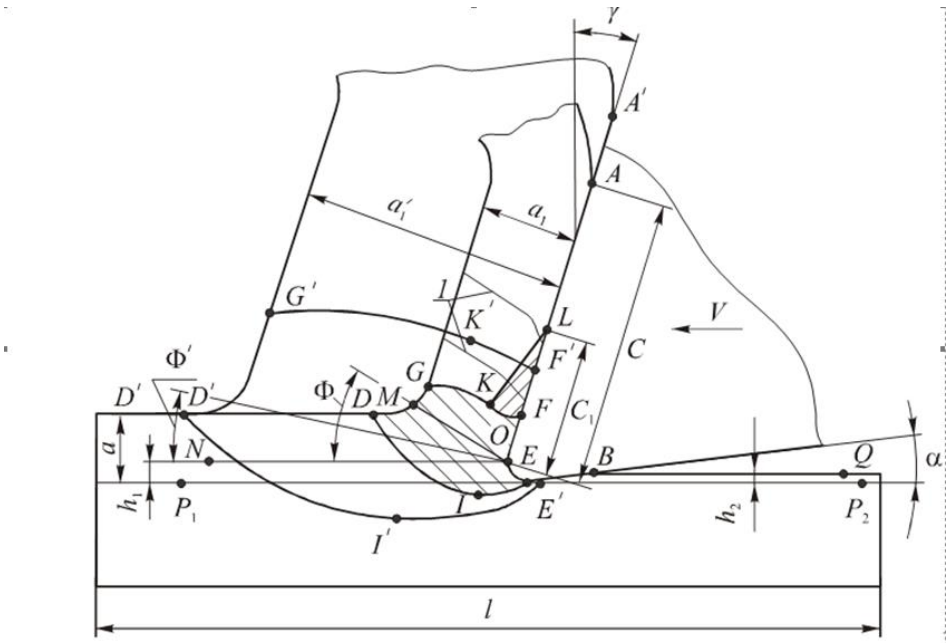


Рис.4.4. Схема пластической деформации в зоне сружкообразованияпри строгании пластины

При строгании резец движется со скоростью резания V (рис. 4.4). Толщина срезаемого слоя *a* при строгании равна глубине резания *t*. Линия среза P_1-P_2 теоретически касается вершины режущей кромки и параллельна направлению скорости резания. Практически всегда режущая кромка имеет округление радиусом ρ вследствие износа или неизбежно образуется в процессе обычной заточки инструмента.

При резании часть металла в точке *O* вдавливается под радиусный участок и проходит под задней поверхностью резца. Поэтому фактически линия среза определяется линией *N-O-E-B-Q*.

Для измерения длины контакта С стружки с передней поверхностью поверхность инструмента обычно омедняется медным купоросом (цвет на поверхности становится красноватым). После резания измеряют длину стёртого слоя на инструментальном микроскопе, измеряется также длина слоя обрабатываемого металла, налипшего на переднюю поверхность – C_1 (длина пластического контакта) (рис.4.5).

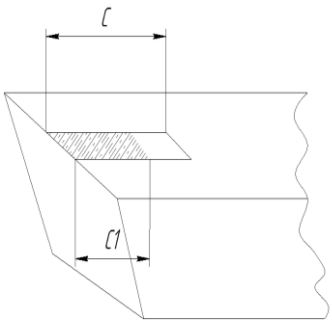


Рис.4.5. Схема измерения длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента

Сливная стружка (рис.4.6, а*)* представляет собой сплошную ленту с гладкой блестящей наружной (прирезцовой) поверхностью. Внутренняя сторона стружки матовая со слабо выраженными пилообразными зазубринами. Она образуется при резании пластичных материалов (незакалённая сталь, медь и т.п.) с большими скоростями резания, с малой толщиной срезаемого слоя и с большими передними углами инструмента. На обработанной поверхности заготовки не остаются надрезы и другие дефекты, поэтому при обработке стараются добиться этого вида стружки.

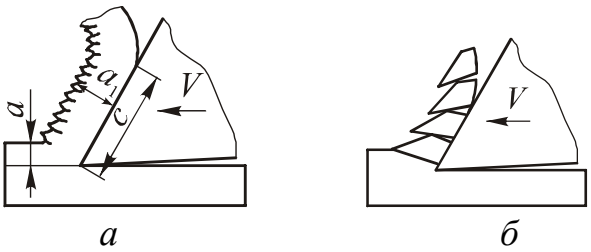


Рис. 4.6. Виды стружки: *а* – сливная, *б* – элементная.

При обработке хрупких материалов (чугуна) образуется типичная элементная стружка, у которой элементы не связаны друг с другом (рис. 4.6, б). Такая стружка может забиваться в приспособление, на направляющие поверхности станка, а на обработанной поверхности могут появляться надрезы, уменьшающие прочность детали.

При увеличении подачи и глубины резания сила и температура резания увеличивается, причём увеличение глубины резания меньше влияет на увеличение температуры. На температуру резания в наибольшей степени влияет скорость резания, что сказывается на интенсивности износа. Увеличение скорости резания в области отсутствия нароста приводит к уменьшению силы резания в связи с увеличением скорости деформации в области стружкообразования. Это приводит к уменьшению усадки стружки, а значит и уменьшению объёма зоны стружкообразования (см. рис. 4.4).

4.3. Влияние обрабатываемого материла на силы и температуру резания

При увеличении прочности материала увеличивается и сила резания. Большое влияние оказывает и усадка стружки. Усадка стружки по толщине рассчитывается по формуле $К_а = a_1/a$, где a_1 – толщина стружки, а – толщина среза ($a = s \cdot \sin\varphi$). При обработке пластичных материалов, образующих сливную стружку, $К_а$ = 5-8, при обработке хрупких материалов, образующих элементную стружку, $К_а$ = 1,1-1,5. Увеличение усадки стружки приводит к увеличению зоны стружкообразования, и это, в свою очередь, вызывает увеличение силы резания.

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

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

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

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

4.4. Исследование распределения контактных напряжений на передней и задней поверхностях резца

Контактных напряжения (нагрузки) на рабочих поверхностях инструмента могут быть измерены тремя методами: поляризационно-оптическим, интерференционным и методом разрезного резца. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки.

Поляризационно-оптический метод может быть использован при изготовлении резца из поляризационно-активного материала, например, из пластигласа, который изменяет свои оптические свойства при изменении внутреннего напряжения [4]. Такие материалы могут быть использованы для резания только мягкого материала, например, свинца при небольших скоростях резания v, чтобы не допустить размягчения пластигласа (обычно $v \leq 5$ м/мин). Небольшая твёрдость и прочность такого инструментального материала не позволяет измерять контактные нагрузки при обработке материалов, используемых в промышленности. При прохождении через прозрачный плоский резец из оптически активного материала поляризованный монохроматический свет образует на экране чередующиеся полосы вследствие интерференции света. Чем ближе полосы друг к другу, тем больше градиент изменения напряжений, чем больше полос в рассматриваемой зоне тем больше там напряжения.

Интерференционный метод позволяет измерять внутренние напряжения в инструменте по интерференционной картине полос на боковой поверхности инструмента вследствие её упругой деформации под действием силы резания [5, 6]. По внутренним напряжениям около рабочих поверхностях инструмента определяются контактные нагрузки на этих поверхностях. Боковая поверхность инструмента должна находиться на некотором удалении от места контакта обрабатываемого материала с инструментом, что вносит погрешности в определение действительных внутренних напряжений, а значит и контактных нагрузок.

Метод разрезного (составного) резца лишен этого недостатка, но требует создания высокожестких динамометров [7, 8].

Для изучения распределения контактных нагрузок на поверхностях резца используется метод разрезного резца.

При исследовании распределения контактных напряжений на **передней поверхности** инструмента методом разрезного резца используется специальный четырёхкомпонентный токарный динамометр (рис. 4.4). Нижний пояс этого динамометра с упругими элементами 4 используется для измерения общих технологических составляющих P_z и P_y силы резания. Это необходимо только для контроля постоянства этих составляющих силы резания в серии экспериментов, независимо от того, на каком участке режущей кромки выполняется резание.

Под серией понимается исследования при постоянных режимах резания (скорость резания v и радиальная подача s), при неизменной геометрии инструмента (передний угол γ и задний угол α) и неизменной ширине искусственной фаски по задней поверхности $h_з$, моделирующей износ по задней поверхности.

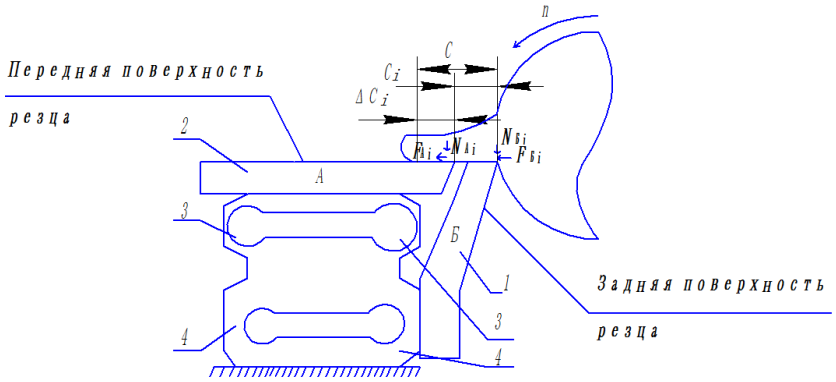


Рис. 4.7. Схема исследования распределения контактных напряжений на передней поверхности резца методом разрезного резца

Верхний пояс динамометра с упругими элементами 3 используется для исследования распределения контактных напряжения путём измерения

вертикальной составляющей силы резания Pz_{Ai} и радиальной составляющей Py_{Ai}, действующих на пластину А на участке ΔC_i, находящимся на расстоянии C_i от режущей кромки разрезного резца. Если передний угол $\gamma = 0$ °, то нормальная сила N_{Ai} на участке ΔC_i будет равна вертикальной составляющей силы резания Pz_{Ai} ($N_{Ai} = Pz_{Ai}$), а касательная сила $F_{Ai} = Py_{Ai}$.

При прямоугольном свободном резании диска из обрабатываемого материала измеряются силы, действующие на пластину А и на пластину Б. Последовательно увеличивая длину участка ΔC_i пластины А, измеряем нормальную N_{Ai} и касательную F_{Ai} силы резания, действующие на этом участке и рассчитываем контактные нагрузки как отношение приращения этих сил к приращению площади её поверхности.

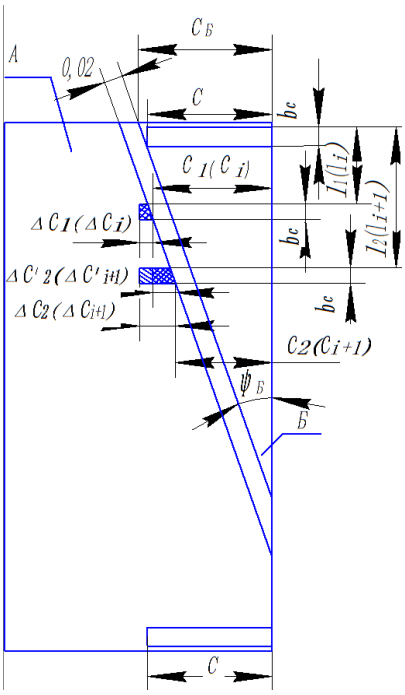


Рис. 4.8. Схема измерения контактных нагрузок на передней поверхности резца методом разрезного резца

Изготавливаются пластины А и Б таким образом, чтобы расстояние $C_Б$ от режущей кромки до косого зазора с углом $\psi_Б$ между пластинами было больше длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента С ($C_Б > C$) (рис. 4.8).

Вначале в резании участвует участок 0, где нет контакта стружки с пластиной А (на рис. 4.8 это верхняя часть пластины Б с длиной контакта стружки с передней поверхностью инструмента С и шириной контакта стружки b_c с передней поверхностью). В этом случае на пластине А силы резания будут равны нулю: $N_{Ai} = 0$ и $F_{Ai} = 0$.

Затем динамометр сдвигается вместе с разрезным резцом вдоль периферии диска на расстояние l_1 до положения 1. В этом случае на пластине А на участке ΔC_1 действуют силы резания $N_{Ai=1}$ и $F_{Ai=1}$. Отношение этих сил к

площади контакта есть удельная нормальная и касательная сила резания на участке ΔC_1.

$q_{N1} = N_{A1}/(\Delta C_1 \cdot b_c)$, $q_{F1} = F_{A1}/(\Delta C_1 \cdot b_c)$,

где b_c – ширина контакта стружки с передней поверхностью инструмента. В рассматриваемой серии эксперимента b_c=const, т.к. ширина диска и режимы резания неизменны.

Сдвигаем динамометр с разрезным резцом вдоль периферии диска на расстояние l_2 до положения 2.

На пластине А на участке ΔC_2 действуют силы резания $N_{A\ i=2}$ (в общем виде N_{Ai+1}) и $F_{A\ i=2}$ (в общем виде F_{Ai+1}).

Приращение площади участка 2 (i+1) происходит на длину $\Delta C'_2 = \Delta C_2 - \Delta C_1$.

Приращение нормальной силы на этом участке $\Delta C'_2$ рассчитывается по формуле $\Delta N'_{A2} = N_{A2} - N_{A1}$, или в общем виде $\Delta N'_{A\ i+1} = N_{A\ i+1} - N_{A\ i}$, т.е. сила на рассматриваемом участке минус сила на предыдущем участке.

Отношение приращения этой нормальной силы к приращению площади контакта есть удельная нормальная сила резания на участке $\Delta C'_2$ (в общем виде $\Delta C'_{i+1}$).

$q_{N'2} = \Delta_{N'A2} /(\Delta C'_2 \cdot b_c)$, или <u>в общем виде</u>:

$q_{N'i+1} = (N_{A\ i+1} - N_{A\ i})/[(\Delta C_{i+1} - \Delta C_i) \cdot b_c]$.

Удельная касательная сила резания на участке $\Delta C'_2$ (в общем виде $\Delta C'_{i+1}$).

$q_{F'i+1} = (F_{A\ i+1} - F_{A\ i})/[(\Delta C_{i+1} - \Delta C_i) \cdot b_c]$.

При смещении динамометра вместе с разрезным резцом вдоль периферии диска на небольшое расстояние li приращение длины контакта стружки с пластиной А ΔC_i будет небольшое ($\Delta C_i \to 0$), приращение площади будет небольшое, поэтому удельная нормальная сила на этом участке будет считаться как нормальное напряжение σN (σN i ≈ qNi).

Аналогично и для касательного напряжения τF (τF i ≈ qFi).

Для исследования распределения (эпюр) контактных нагрузок на передней поверхности инструмента при резании стали и других твёрдых материалов при высоких скоростях резания используется широкий резец (шириной 120 мм), который разрезается таким образом, чтобы размер η (расстояние от режущей кромки до поверхности разреза) (рис. 4.9) дискретно изменялся от 0 до величины, немного большей, чем длина контакта С стружки с передней поверхностью инструмента. Для увеличении прочности и жёсткости рабочей пластины А на её задней поверхности располагаются рёбра жёсткости (2).

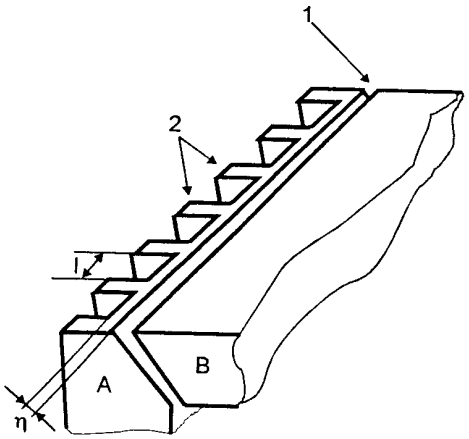


Рис. 4.9. Схема расположения рабочих пластин повышенной жёсткости при исследовании методом разрезного резца. 1 – щель между рабочими пластинами А и В; 2 – рёбра жёсткости

Ширина диска должна быть меньше на 2…3 мм, чем расстояния *I* между рёбрами жёсткости пластины А. При обработке стружка будет иметь одинаковую длину контакта с передней поверхностью резца, на какой бы секции ни проводилась обработка. Но на разных секциях длина контакта стружки с поверхностью пластины В будет разная (рис. 4.9).

Чем меньше разница $x_i = \eta$ (рис. 4.9) у соседних секций, тем выше точность исследований, но больше их трудоёмкость.

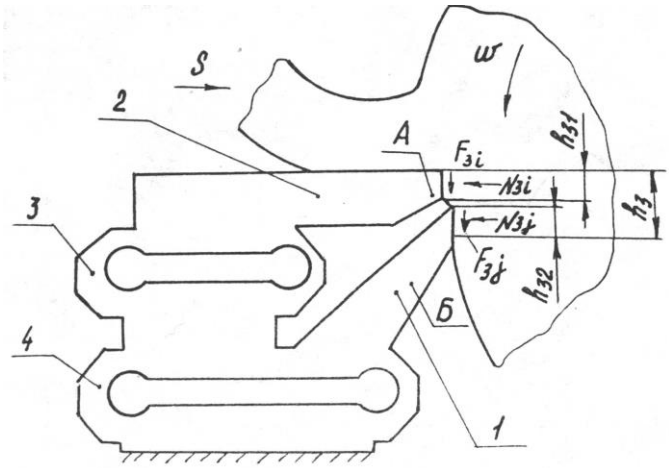


Рис.4.10. Схема работы динамометра при исследовании контактных нагрузок на задней поверхности резца на токарном станке

При измерении контактных нагрузок на задней

поверхности резца при прямоугольном свободном резании диска из обрабатываемого материала измеряются силы, действующие на пластину А и на пластину Б (рис. 4.10). Увеличивая последовательно длину участка $h_{з1}$ при неизменной длине фаски износа $h_з$, рассчитываем контактные нагрузки как отношение приращения силы к приращению площади контакта на пластине А.

При врезании на площадку длиной $h_{з1}$ пластины А действует сила больше, чем на площадку $h_{з2}$ пластины Б, что вызывает большую деформацию упругих измерительных элементов 3. Появившийся острый уступ начинает срезать дополнительную стружку с поверхности резания. Щель между пластинами забивается, что приводит к нарушению условий измерения сил.

Анализ вариантов различных схем измерений показывает, что для устранения указанных нежелательных явлений необходимо изменить либо конструкцию динамометра, либо схему резания. Второй путь менее трудоемкий. По этому варианту пластина Б должна измерять приращение сил на задней поверхности резца (рис. 4.11).

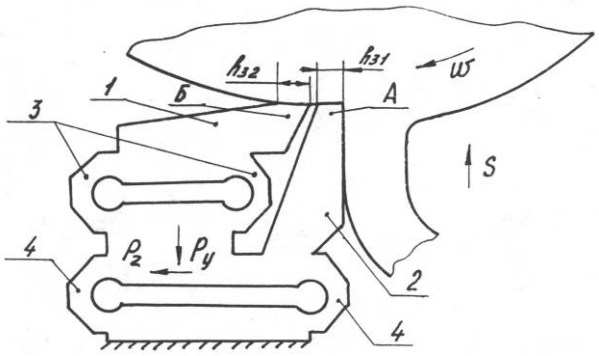


Рис. 4.11. Схема работы динамометра при исследовании контактных нагрузок на задней поверхности резца на горизонтально-фрезерном станке

При врезании под действием сил на площадке $h_{з1}$ пластина А переместится немного вниз и влево вследствии упругой деформации измерительных элементов 4. Пластина Б вместе с измерительными элементами 3, закрепленными на упругих элементах 4, тоже переместится в этом же направлении. Поэтому уступа не возникает. Суммарные составляющие силы резания P_y и P_z измеряются с помощью упругих измерительных элементов 4, а приращения сил на задней поверхности – элементами 3.

Зазор между пластинами А и Б контролируется пластинчатым щупом толщиной 0,02 мм. При меньшем зазоре возможно соприкосновение пластин, а значит нарушение процесса измерения, что проявляется в уменьшении сил,

регистрируемых на пластине А. Большая величина зазора приводит к попаданию обрабатываемого материала в щель, что приводит к выкрашиванию рабочих пластин. В ходе исследований отсутствие контакта пластин контролируется на просвет.

4.5. Исследование температуры резания и распределения температуры в режущем клине

Стойкость режущего инструмента во многом зависит от температуры рабочих поверхностей инструмента, поэтому её изучению уделяется много внимания. При расчёте на прочность увеличение температуры вызывает не только уменьшение предела прочности на сжатие, растяжение и сдвиг (отрицательные факторы), но и уменьшение хрупкости (за счёт повышения пластичности), что уменьшает вероятность развития микро- и макротрещин. При повышении температуры более 600 ºС происходит «самозалечивание» образовавшихся и образующихся микротрещин, что благоприятно сказывается на прочности инструмента.

Наиболее простым и легко реализуемым методом измерения средней температуры резания является метод естественной термо-ЭДС (рис. 4.12).

При этом способе роль естественной термопары играет контакт инструмента и стружки. В процессе резания в месте контакта разнородных материалов изделия и резца вследствие нагрева возникает электродвижущая сила. Термоток в этом случае направляется по обрабатываемой детали 1 через медное кольцо 2, а затем через ртуть в ванне 3, служащей для контакта вращающегося кольца 2 с проволокой 4. При этом милливольтметр покажет напряжение термотока, по которому можно судить о температуре резания. Обрабатываемое изделие изолировано от патрона и заднего центра, а резец от суппорта – при помощи

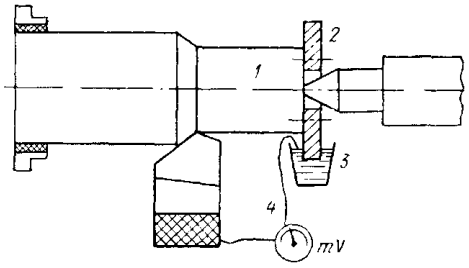


Рис. 4.12. Схема стественной термопары

диэлектрических прокладок, например, обычной бумаги. Для избежания вредного воздействия ртути можно использовать простой контакт медной пластины, которая крепится к проводу на миливольтметр или микроамперметр, с обработанной поверхностью заготовки. Для исследования влияния режимов резания или геометрии инструмента достаточно иметь данные об изменении силы тока или напряжения. Для количественного анализа необходимо протарировать термопару материал заготовки – материал инструмента в печи. Длинный пруток (400-500 мм) из материала заготовки сваривается на одном конце с параллельно расположенным прутком такой же длины из инструментального материла аргоновой сваркой. Прутки электрически изолируются друг от друга (кроме места сварки), место сварки помещается в печь. Противоположные концы прутков, выведенные из печи, подсоединяются проводами к микроамперметру. Температура в печи как можно быстро повышается до 800-1200 ºС, при этом измеряется сила тока в полученной термопаре. Чем выше скорость нагрева, тем меньше будет окисление места сварки и больше достоверность полученной тарировки. Особенно трудно получить такую искусственную термопару из твёрдого сплава, к тому же он очень быстро окисляется и превращается в порошок, поэтому после тарирования необходимо сразу же вынуть прутки из печи.

Распределение температуры в режущем клине может быть получено с помощью тепловизора путем наблюдения за боковой поверхностью инструмента. Инфракрасное излучение от наблюдаемого объекта преобразуется прибором в видимый человеческим глазом спектр. Проще всего этот метод можно реализовать при свободном точении диска. Основная проблема заключается в том, что область наблюдения очень мала – всего 2-5 мм, что необходимо учитывать при выборе прибора. Диапазон измеряемых температур желательно иметь от 300 до 1200 ºС.

Более дешёвым и достаточно легко реализуемым способом можно исследовать температурные поля с помощью термочувствительных покрытий (термокрасок), которые наносятся на боковую поверхность резца. Практически

все термочувствительные покрытия фиксируют наибольшую температуру в той или иной области за счёт изменения цвета. Большое значение имеет то, что скорость цветовых преобразований очень большая (несколько десятых долей секунды), что позволяет производить резание минимально короткое время (обычно 5-15 секунд для достижения установившегося теплообмена). Боковая поверхность с нанесённым покрытием изучается на инструментальном микроскопе, измеряются координаты линий цветовых переходов при соответствующих температурах.

На рис. 4.13 представлены результаты исследования Проскокова по измерению температурных полей на поверхностях СМП с помощью четырех термоиндикаторных красок с различными температурными переходами. Как показали эти опыты, температура на задних поверхностях вдоль режущей кромки имеет переменный характер. Температурные изменения цвета термокраски ТИК: 1) когда температура достигает 155 °С, цвет термокраски ТИК из цвета пурпурного изменяется в цвет глубой; 2) когда температура достигает 190 °С, цвета термокраски ТИК из цвета белого в цвет зел.-кор.; 3) когда температура достигает до 255 °С, цвета термокраски ТИК из цвета зеленого в цвет темно-кор.; 4) Когда температура достигает до 305°С, цвета термокраски ТИК из цвета желтого в цвет красно-кор.; 5) Когда температура достигает до 440°С, цвета термокраски ТИК из цвета фиолетов. в цвет белый.

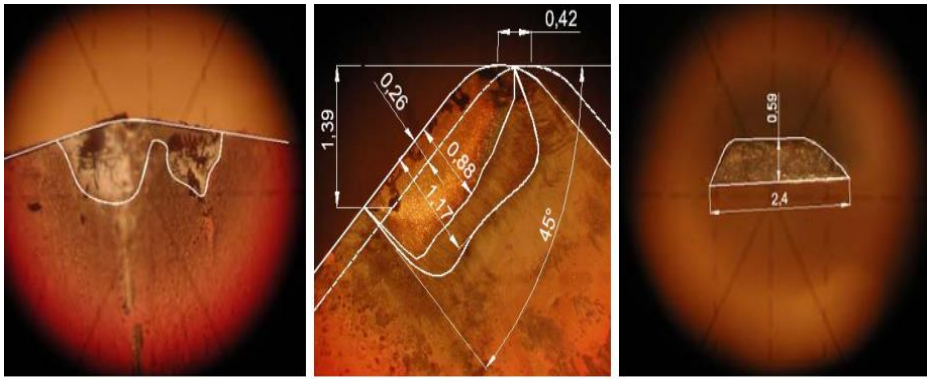


Рис. 4.13. Изотерма термоиндикаторной краски ТИК №14 ТУ 6-09-79-76 с температурой цветового перехода $T_{пер}$= 570°С.
Сталь 45 - Т5К10, φ=45˚, γ=0˚, α=10˚, r=0,8мм ; V=160 м/мин, t=1,3 мм, S=0,39 мм/об.

Для более полного сравнительного представления о температурных полях на поверхностях СМП были показаны изолинии температур 230°, 456°, 510°, 570° на одной модели (рис. 4.14). Из рисунка видно, что с уменьшением температуры градиент изменения температур уменьшается.

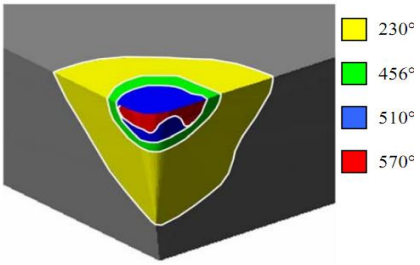


Рис. 4.14. Экспериментальное распределение температуры на поверхностях СМП для условий рис. 4.13

4.6. Вид эпюр контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента

Считается, что при использовании поляризационно-оптического метода выходящая на переднюю поверхность полоса в режущем клине свидетельствует о соответствующем напряжении и на передней поверхности. На основании этого строится кривая распределения нормальной контактной нагрузки на передней поверхности (рис. 4.15). Нормальная контактная нагрузка – это нагрузка, перпендикулярная к исследуемой поверхности.

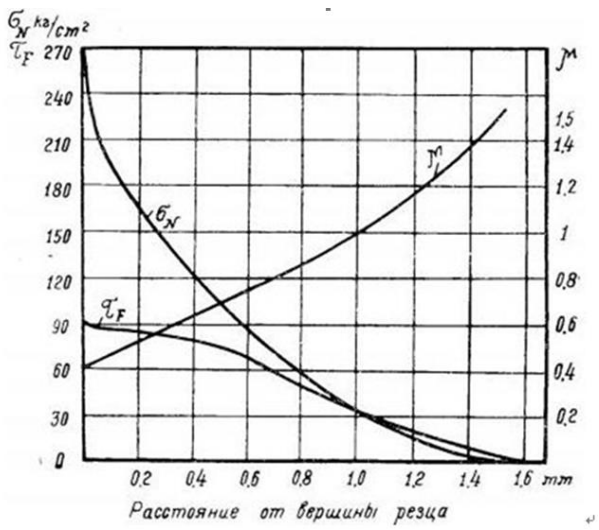


Рис.4.15. Распределение нормальных и касательных напряжений на передней поверхности, полученные поляризационно-оптическим методом, при резании свинца [4]

На рис. 4.16 приведены результаты экспериментального определения нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности, выполненного методом разрезного резца при свободном точении латуни Л63 в условиях сливного стружкообразования. Экстремальный характер зависимости четко обнаруживается во всех случаях.

По мнению авторов, Полетики М.Ф. и Козлова В.Н., это связано с прогибом поверхности резания под действием радиальной составляющей силы резания $P_{у\ п.п.}$, действующей на передней поверхности инструмента [1-2].

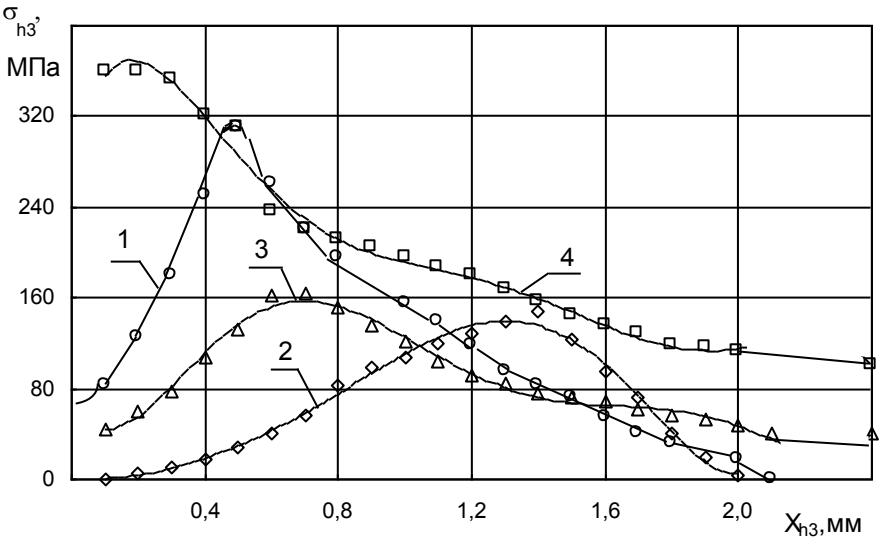


Рис. 4.16. Распределение нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности инструмента, $\gamma=0^0$, $\alpha_{\Phi}=0^0$. Л63-Р6М5: 1 - S=0,06 мм/об, V=100 м/мин; 2 – S=0,21 мм/об, V=100 м/мин; 3 – S=0,21 мм/об, V=217 м/мин. 4 - ЛМцА 57-3-1 – Р6М5, S=0,41 мм/об, V=100 м/мин.

4.7. Исследование распределения внутренних напряженийв режущем клине

При исследованиях напряжённого состояния поляризационно-оптическим методом применяют образцы из однородного, изотропного прозрачного материала, например, стекла, целлулоида, ксилолита, фенолита и бакелита. При действии напряжений эти материалы становятся двоякопреломляющими. Если пропустить пучок поляризованного света через прозрачную модель, находящуюся в напряженном состоянии, получается окрашенное изображение, по которому можно найти распределение напряжений (рис. 4.17).

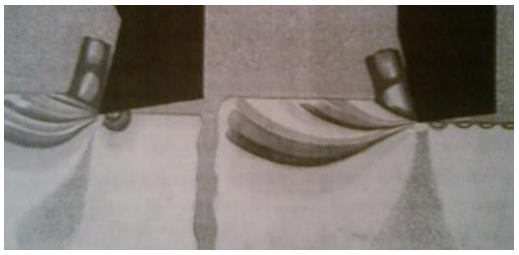


Рис. 4.17. Изохромы при резании целлулоида резцами с различными передними углами

Метод лазерной интерферометрии заключается в том, что на боковую поверхность заготовки и инструмента направляется поляризованный монохроматический луч лазера. Монохроматический свет используется для того, чтобы свет не разбивался на спектр, что уменьшает чёткость картин полос. Отражённый от резца и заготовки свет попадает на экран, где происходит интерференция волн света (наложение) базового и отражённого излучения. При деформации боковая поверхность резца и заготовки немного уширяется и расстояние до лазера уменьшается на сотые и тысячные доли микрометра, что и отражается на экране. Чем больше деформация объекта исследования, тем больше количество полос будет наблюдаться на экране.

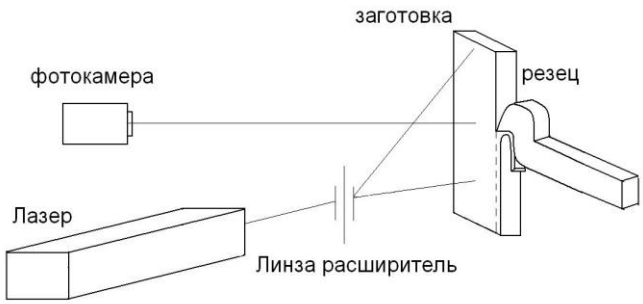


Рис. 4.18. Схема съемки спекл-фотографии

4.8. Программное обеспечение, реализующее метод конечных элементов

Распределение внутренних напряжений может быть рассчитано с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Сущность этого метода заключается в том, что рассматриваемая область разбивается на большое число отдельных элементов простой геометрической формы, связанных в узловых точках налагаемыми связями. Каждому элементу предписываются конкретные свойства, неизменные внутри каждого элемента.

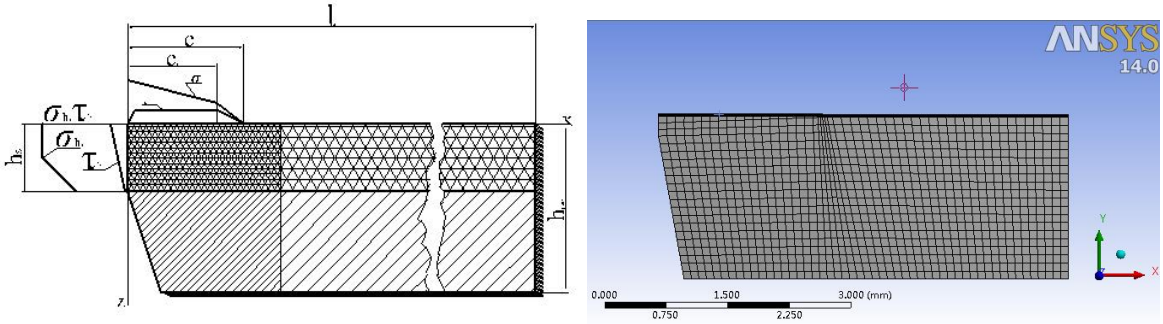


Рис. 4.19. Исходная схема расчёта напряжённо-деформированного состояния режущего клина изношенного инструмента с приложенными внешними неравномерно распределёнными нагрузками

Комплексы МКЭ (ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, COSMOS и др.) относятся к категории CAE-систем (Computer Aided Engineering), применяемых при проектировании машиностроительных, строительных и других конструкций.

Лидером комплексов МКЭ (FEA – Finite Element Analysis) (FEA-пакетов) является ANSYS. Детальное описание пакета ANSYS можно найти на официальном сайте компании ANSYS или (русский, сокращённый вариант) на сайте компании CAD-FEM-Russia. Достоинством этой системы является наиболее полная документация и система помощи (рис.4.20).

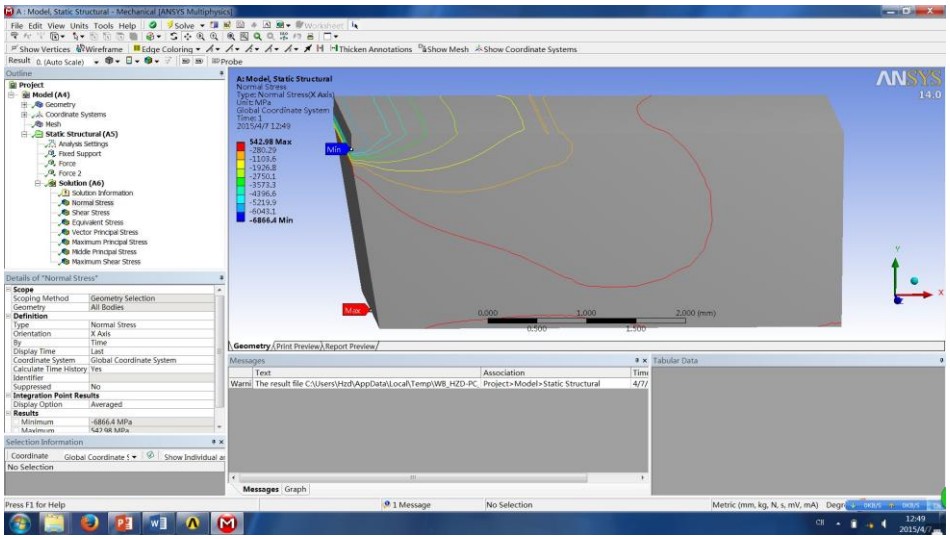


Рис.4.20. Программный интерфейс ANSYS

Имеются следующие конфигурации программы ANSYS, различающиеся своими возможностями.

- ANSYS Structural™ - статические и динамические расчёты в линейной и нелинейной постановках;
- ANSYS Mechanical™ (с модулем ANSYS Thermal) - расчёт полей температур из решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, конвекции, теплообмена излучением, расчёты фазовых превращений (замерзание, плавление, сварка и т.д.). Поля температур можно автоматически передать в ANSYS Structural для прочностных расчётов;
- ANSYS Professional™ - решение контактных задач, проведение геометрически нелинейные расчётов и оптимизации;
- ANSYS DesignSpace® - несложные прочностные, частотные или температурные расчёты, оптимизация, оценка в первом приближении правильности принятых конструктивных решений;
- ANSYS Workbench - многодисциплинарный анализ.

4.9. Оценка прочности режущего инструмента

Надёжность, стойкость и долговечность работы инструмента зависит не только от его геометрии, но и от действующих на него нагрузок и температуры его поверхностей. При использовании обычного трёх компонентного токарного динамометра измеряются технологические составляющие силы резания P_z, P_y и P_x. По их величине может быть рассчитана на прочность державка токарного резца.

Для расчёта на прочность режущей пластины необходимо оперировать физическими составляющими силы резания: нормальной N и касательной F силами на передней поверхности, нормальной N_1 (N_h) и касательной F_1 (F_h) силами на задней поверхности. Последние могут выделены экстраполяцией составляющих сил резания на нулевую фаску износа. Физические составляющие силы резания рассчитываются исходя из величины технологических составляющих с учётом величины главного угла в плане φ и главного переднего угла γ. Однако и они могут быть рассмотрены только как сосредоточенная нагрузка. Для оценки работоспособности режущей пластины резца гораздо большее значение имеет распределение контактных нагрузок на рабочих поверхностях инструмента, которое может быть получено с использованием метода разрезного резца.

Задав внешнюю нагрузку, рассчитываются внутренние напряжения с помощью метода конечных элементов (МКЭ). При этом можно рассчитать величину напряжений по осям σ_x , σ_y , τ_{xy}, а также и величину главных напряжений σ_1, σ_2, σ_3, действующих в режущей части инструмента. После этого можно оценить запас прочности режущего клина. Из результатов изучения разрушения материалов известно, что при всестороннем сжатии материал может выдерживать напряжения гораздо больше тех предельных, которые были получены при обычном одностороннем сжатии или растяжении (предел прочности на сжатие $\sigma_{-в}$ или предел прочности на растяжение $\sigma_в$). Поэтому необходимо выбрать определенный критерий прочности, т.е. надо рассчитать напряжение, учитывающее нагрузку на элемент и по другим осям. Это

эквивалентное напряжение будем затем сравнивать с предельно допустимыми напряжениями для материла режущей части рассматриваемого инструмента.

При расчётах на прочность режущего инструмента широко используется критерий предельного состояния, разработанный в институте проблем прочности АН УССР Г.С. Писаренко и А.А. Лебедевым [1]. Основанный на современных представлениях о кинетике деформирования и разрушения материалов, критерий Писаренко-Лебедева обладает высокой достоверностью (выше 92%) и описывается следующим выражением:

$$\sigma_{\eta} = \chi \times \sigma_{i} + (1-\chi) \times \sigma_1 \times p \le \sigma_{в}, \qquad (4.1)$$

где: $\chi = \sigma_{в} / \sigma_{-в}$ - константа материала при заданных условиях работы - её величина характеризует степень участия в микроразрушении сдвиговой деформации, создающей благоприятные условия для разрыхления материала и образования трещин;

$\sigma_{в}, \sigma_{-в}$ - величины предельного сопротивления материала при одноосном растяжении и сжатии;

σ_{i} - интенсивность напряжений в рассматриваемой точке:

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

$p = A^{1-j}$, здесь - A - константа материала, отражающая характер имеющихся в материале дефектов и размеры тела, т.е. отражающая статистическую сущность процесса разрушения;

$j = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / \sigma_{i}$, - параметр напряженного состояния, имеющий смысл жесткости нагружения.

Учитывая изменчивость свойств инструментальных материалов с ростом температуры, В.А.Остафьев [1] рекомендует следующие критерии предельного состояния для сплавов группы *WC-Co*, когда температура θ< 870 К:

$$\sigma_{\eta} = 0{,}24 \cdot \sigma_{i} + 0{,}76 \cdot \sigma_1 \cdot 0{,}8^{1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_1}} \le \sigma_{в}; \qquad (4.2)$$

Запас прочности инструментального материала:

$$n = \sigma_в / \sigma_\eta \quad . \qquad (4.3)$$

Для твердого сплава ВК8 с размером зерна от 1 до 2 мкм пределы прочности: при растяжении $\sigma_в$ = 780 МПа, при сжатии $\sigma_{-в}$ = 4200 МПа [2].

Критерий Писаренко-Лебедева имеет высокую достоверность в тех случаях, когда разрушение материала происходит от растягивающих напряжений. В областях сжимающих напряжений его применение не предусмотрено. Анализ напряженного состояния режущего клина показывает, что при обработке титанового сплава ВТ3-1, сопровождающееся значительным износом по главной задней поверхности, в области режущей кромки в большинстве случаев возникают напряжения сжатия, растягивающие напряжения отсутствуют. В связи с этим необходимо использовать критерий, удовлетворительно описывающий предельное состояние хрупкого материала при действии сжимающих напряжений. В соответствии с рекомендациями [1] в области сжимающих напряжений может быть использован критерий первой теории прочности, т.е. наибольшее по абсолютной величине главное напряжение σ_3 сравнивается с пределом прочности твердого сплава на сжатие. В отдельных случаях прочность инструмента дополнительно может оцениваться и по наибольшим касательным напряжениям.

4.10. Постановка задач исследований на основе литературного обзора

1) Из литературного обзора выяснили, что не исследовано влияние толщины режущей пластины (на распределение напряжений σ_1, σ_2, τ, $\sigma_т$ в режущем клине), необходимо провести исследования.

2) Из литературного обзора выяснили, что нет достоверных результатов влияния переднего угла на распределение внутрений напряжений (γ=0°, γ=+10°, γ=-10°, γ=-20°)

3) Из литературного обзора выяснили, что нет результатов влияния инструментального материала на напряжённо-деформированное состояние (НДС) режущего клина (твёрдый сплав ВК8 и Т15К6, быстрорежущая сталь Р6М5) при одних и тех же внешних нагрузках и геометрии.

4) Из литературного обзора выяснили, что при оценке прочности инструмента необходимо учитывать температуру. Поэтому должны быть проведены исследования распределения температуры в режущем клине.

5) Для оценки прочности режущего клина необходимо выбрать уравнение для расчёта эквивалентного напряжения, учитывающего одновременное действие напряжений по всем осям и температуру в рассматриваемой зоне.

5. Методика выполнения работы

5.1. Приложение внешней нагрузки на заднюю и переднюю поверхности

При использовании программы ANSIS задавать приложение внешней нагрузки надо на **всю** поверхность. При действии неравномерной нагрузки на участке контакта стружки с передней поверхностью возникает необходимость поверхность контакта инструмента со стружкой делить на множество поверхностей (ступенек), при этом перепад ступенек задаём небольшой, 0,001 мм, чтобы это не сказывалось на изменении геометрии передней поверхности резца.

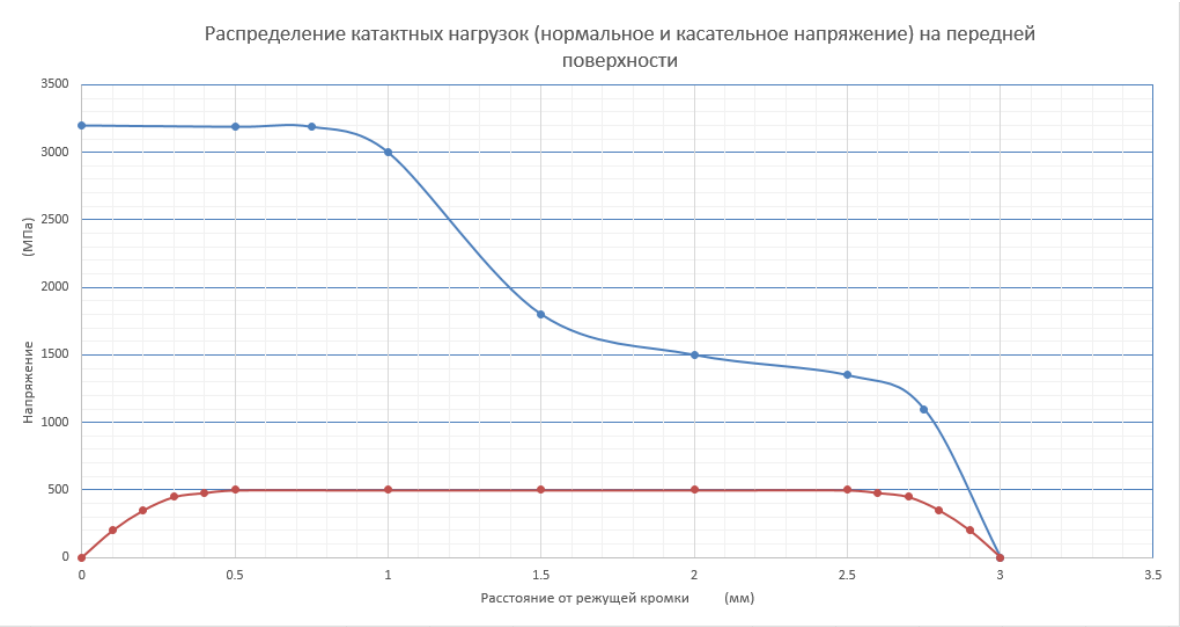


Рис.5.1. График распределения контактных нагрузок (эпюр) на передней поверхности. Ось абсцисс – расстояние от режущей кромки вдоль передней поверхности, ось ординат – величина контактного напряжения, МПа. Верхний график – распределение нормальных напряжений, нижний – касательных

На основе экспериментальных данных, полученных при обработке титанового сплава ВТ3-1 методом разрезного резца (рис. 5.1), рассчитываем среднее нормальное и касательное контактное напряжение на каждом участке

эпюр. Длина каждой ступеньки выбирается такой, чтобы в наибольшей степени соответствовать реальному распределению: на равномерном (горизонтальном) участке эпюр она может быть равна длине этого участка, а на крутом участке эпюр длина ступеньки может составлять 0,01 мм. Считаем, что на каждой выделенной ступеньке имеется равномерное распределение (табл. 5.1). Таким образом мы моделируем распределение контактных нагрузок на передней поверхности. Аналогично поступаем и с эпюрами контактных напряжений, действующих на задней поверхности инструмента.

Таблица 5.1 – Величина контактных напряжений на передней поверхности резца

№ п/п	Расстояние от режущей кромки до начала участка	Длина участка	Величина среднего напряжения на этом участке, МПа
Распределение нормального контактного напряжения σ			
1	0	0,5	3200
2	0,5	0,25	3190
3	0,75	0,25	3190
4	1	0,5	3000
5	1,5	0,5	1800
6	2	0,5	1500
7	2,5	0,25	1350
8	2,75	0,25	1100
9	3	0	0
Распределение касательного контактного напряжения τ			
1	0	0,1	0
2	0,1	0,1	200
3	0,2	0,1	350
4	0,3	0,1	450
5	0,4	0,1	480
6	0,5	0,1	500
7	1	0,5	500
8	1,5	0,5	500
9	2	0,5	500
10	2,5	0,1	500
11	2,6	0,1	480
12	2,7	0,1	450
13	2,8	0,1	350
14	2,9	0,1	200
15	3	0	0

При точении диска толщиной 4 мм из титанового сплава ВТ3-1 твёрдосплавным резцом из ВК8 с передним углом $\gamma = 0$ º, задним углом $\alpha = 0$ º,

на скорости резания $v = 60$ м/мин, с радиальной подачей $s = 0{,}21$ мм/об, наибольшее нормальное напряжение наблюдается у режущей кромки $\sigma = 3200$ МПа. Наибольшее касательное напряжение на передней поверхности $\tau = 500$ МПа.

При расчёте внутренних напряжений в режущем клине острого резца (ширина фаски на задней поверхности $h_з = 0$ мм) силы на задней поверхности пренебрежимо малы по сравнению с силами, действующими на передней поверхности. Но для того, чтобы результаты расчётов МКЭ были максимально приближены к реальным условиям, из экспериментальных данных мы выделяем силу на задней поверхности острозаточенного резца методом экстраполяции графика сил на нулевую фаску износа. Нормальная сила на задней поверхности неизношенного резца равна 640 Н, касательная – 100 Н.

Зная среднее напряжение на каждом участке (ступеньке) передней поверхности мы рассчитываем нормальную и касательную силы в узлах конечных элементов и силу, действующую на каждом участке (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Сила, действующая на каждом участке передней поверхности резца при точении титанового сплава ВТ3-1. ВТ3-1 - ВК8, $\gamma = 0$ º, $\alpha = 0$ º, v = 60 м/мин, s = 0,21 мм/об, b = 4 мм, $h_з = 0{,}24$ мм

№	Расстояние от режущей кромки, мм	Нормальная сила, Н	Касательная сила, Н
1	0,1	1280	40
2	0,2	1280	120
3	0,3	1280	160
4	0,4	1280	190
5	0,5	1280	196
6	0,6	1280	200
7	0,7	1280	200
8	0,8	1280	200
9	0,9	1260	200
10	1,0	1220	200
11	1,1	1160	200
12	1,2	1060	200
13	1,3	940	200
14	1,4	840	200
15	1,5	760	200
16	1,6	680	200
17	1,7	660	200
18	1,8	630	200
19	1,9	620	200
20	2,0	610	200
21	2,1	590	200
22	2,2	580	200
23	2,3	568	200
24	2,4	560	200
25	2,5	550	200
26	2,6	530	196
27	2,7	508	190
28	2,8	440	160
29	2,9	280	120
30	3,0	100	40
31	Сумма	25386	5412

Итог	Нормальная сила	Касательная сила
Передняя поверхность	25386	5412
Главная задняя поверхность	3072	768

При обработке титанового сплава ВТ3-1 при вышеперечисленных условиях резания длина контакта стружки с передней поверхностью резца $C \leq 3$ мм, поэтому принимаем длину режущей пластины равной 9 мм (рис. 5.2). Считаем, что при большем расстоянии от режущей кромки упругие деформации режущей пластины пренебрежимо малы. Это допущение позволит ограничить зону, в которой исследуется НДС режущего клина. Уменьшение зоны изучения НДС сократит время расчёта, позволит использовать малые размеры конечных элементов, что увеличит разрешающую способность в области режущей кромки, для которой характерны большие градиенты напряжений и деформаций.

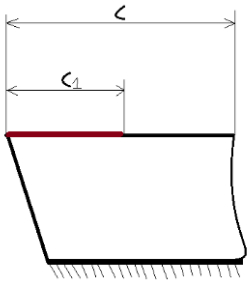


Рис.5.2. Обоснование размеров режущей пластины

Толщину режущей пластины будем принимать равной стандартной толщине напайных и сменных неперетачиваемых пластин. Считаем, что контакт режущей пластины с нижней плоскостью абсолютно жёсткий.

Ширину режущей пластины будем принимать 4,2 мм, т.е. на 0,2 мм больше ширины обрабатываемого диска. Такое незначительное увеличение ширины режущей пластины позволит рассматривать НДС режущего клина как плоское.

5.2. Влияние вида распределения контактных нагрузок на передней поверхности на НДС режущего клина

При исследовании НДС резца будем рассматривать три вида распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях.

1-й вид: сосредоточенная нагрузка на передней и задней поверхностях (рис.5.3, а);

2-й вид: равномерное распределение котактных нагрузок на передней и задней поверхностях (рис.5.3, б);

3-й вид: реальное распределение котактных нагрузок на передней и задней поверхностях, т.е. распределение по установленному (выявленному) закону (рис.5.3, в).

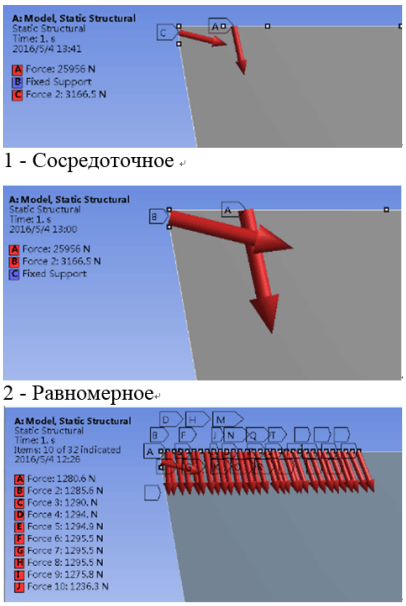


Рис. 5.3. Виды приложения контактных нагрузок на поверхностях режущей пластины

В любом из трёх видов на передней поверхности нормальная сила равна 25386 Н, касательная сила равна 5412 Н. При ширине фаски износа по задней поверхности h_3 = 0,24 мм на задней поверхности нормальная сила равна 3072 Н, касательная равна 768 Н.

5.3. Создание модели режущего инструмента

Для упрощения исследования НДС режущего клина, мы создали модель резца как маленькую часть режущего инструмента (рис.5.4), у которой можно изменять параметры (передний угол, задний угол, толщину режущей пластины, износ на задней поверхности, образование округления режущей кромки радиусом ρ и т.д.)

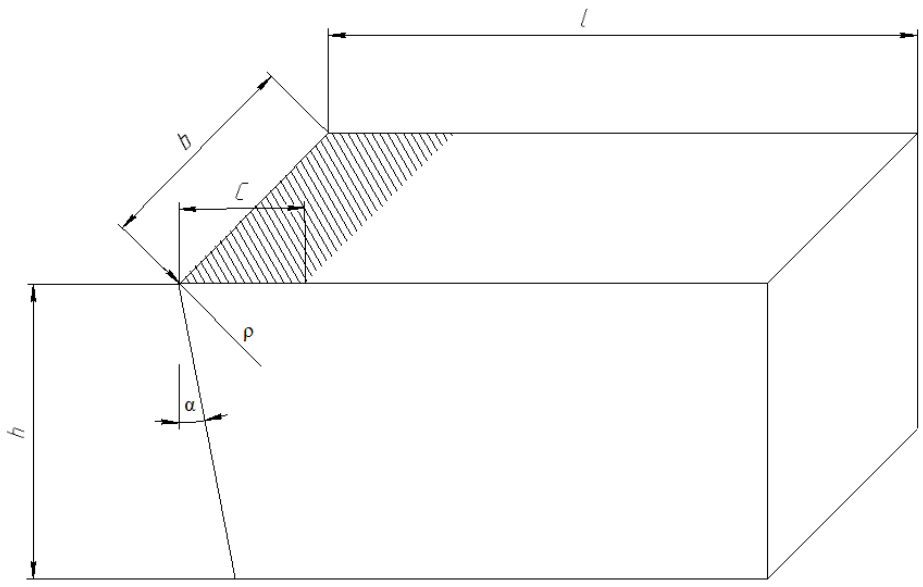
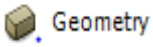
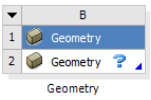


Рис. 5.4. Модель резца для исследования. а – ширина режущей пластины (режущего клина), ширина режущей пластины b = 4,2 мм; h – толщина модели резца, h = 6 мм; ρ – радиус округления режущей кромки, ρ = 0 мм; α — задний угол, α = 10°; γ – передний угол, γ= 0°; C – длина контакта стружки с передней поверхностью, C = 3 мм; *l* —длина модели резца, *l* = 9 мм

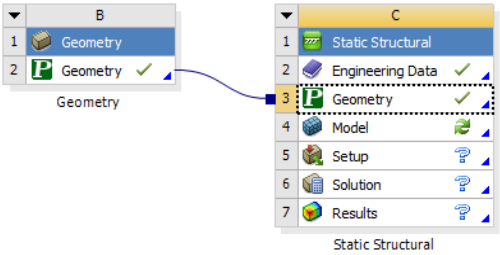
Моделирование резца в среде ANSYS в соответствие с выбранными параметрами.

Открываем программу ANSYS 14.0 (workbench).

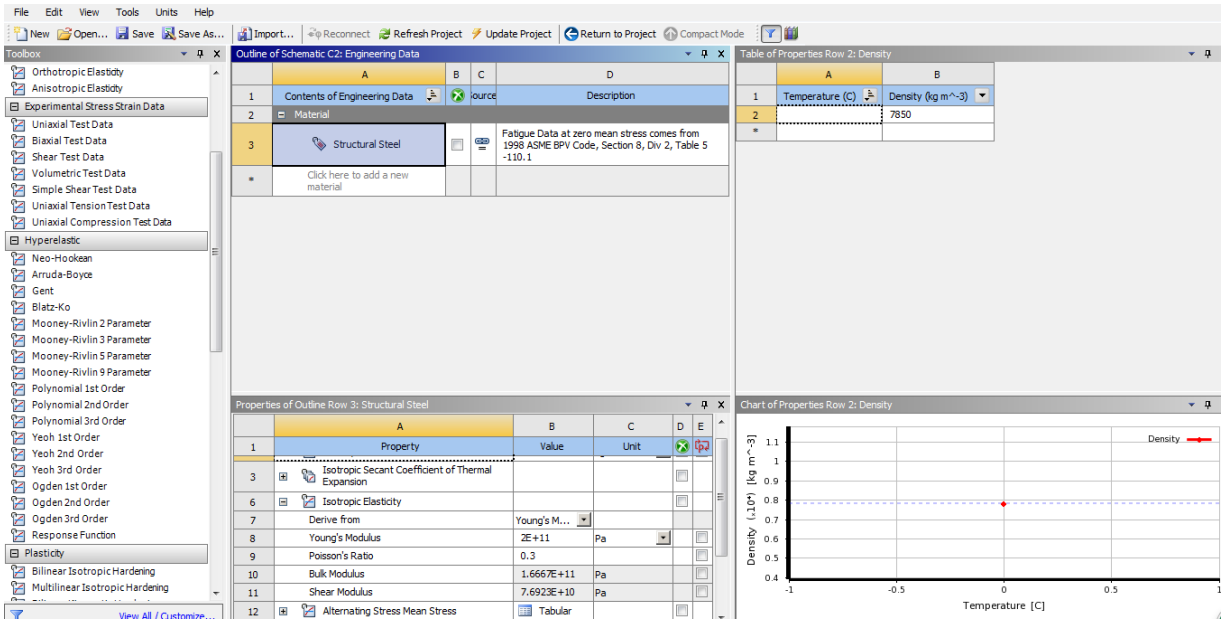
Выбираем 

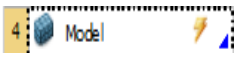
, появляется значок 

Щелкните правой кнопкой мыши **Geometry.** Импортируем файл **Резец проходной прямой x_t.** в ANSYS14.0 (workbench). Вызываем команду **Открыть.** Программа может потребовать выполнение диагностики импортирования детали: нажимаем **ОК.**

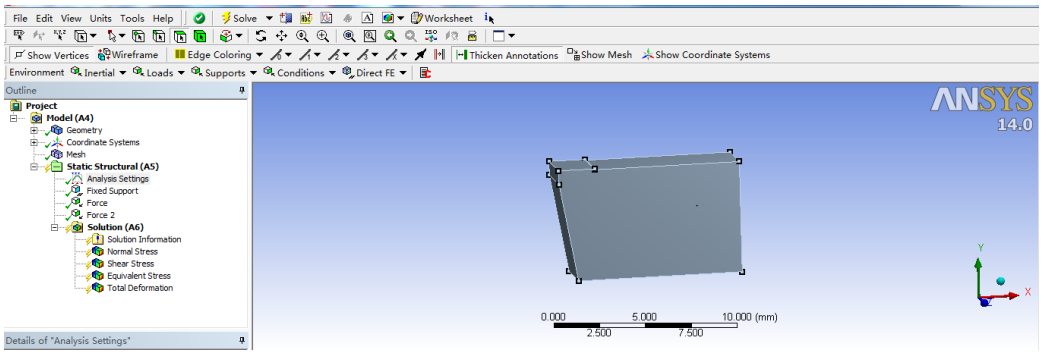


Шаг второй: пусть **Static Structural** и **Geometry** соединены. Появляется запрос: назначим материал резца, щелкнув клавишей мыши по **Engineering Data,** вводим модуль Юнга и коэффициент Пуассона, потом нажимаем Return to Project и Refresh Project .



После завершения этих операций, щелкнув клавишей мыши. 

После этого появляется окно:



В верхней части рабочего окна ANSYS 14.0 располагается основное меню и пиктограммы команд, слева браузер, а справа от браузера рабочая область, в которой происходит построение детали.

В основном меню вызываем команду **геометрия**

и делаем размещение параметров, которые были заданы выше.

5.4. Задание физико-механических характеристик инструментального и обрабатываемого материалов

Твёрдые сплавы, или так называемые металлокерамические сплавы, – это материалы, состоящие из карбидов вольфрама (однокарбидные), вольфрама и титана (двухкарбидные) и с добавлением тантала, ниобия и др. (трехкарбидные), связанных между собой связкой – кобальтом. Металлокерамическими их называют по способу изготовления из мелкодисперсных порощков прессованием с последующим спеканием при температуре 1 000...2 000˚С, что характерно для производства керамики.

Сплавы ВК8 из вольфрамовой группы применяется для обработки материалов резания:

1) для чернового точения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, строгании;

2) для чернового фрезерования, сверления, чернового рассверливания, чернового зенкерования серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов;

3) для обработки нержавеющих высокопрочных трудно обрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана.

Материал твердосплавной сменной пластины инструмента выбрается ВК8, его состав: каррбид вольфрама WC = 92% , Co = 8%. Предел прочности при изгибе, не менее 1700 Н/мм^2; плотность 14,5-14,8 $\times 10^3$ кгс/м^3; твёрдость не менее 88,0 HRA.

Для твердого сплава ВК8 с размером зерна от 1 до 2 мкм пределы прочности: при растяжении $\sigma_в$ = 780 МПа, при сжатии $\sigma_{-в}$ = 4200 МПа.

При создании модели в среде ANSYS, мы учитываем модуль Юнга равным 0,56e6 МПа (0,56$\times 10^6$ МПа), и коэффициент Пуассона равным 0,2.

Обрабатываемый материал, выберем титановый сплав ВТ3-1 (Ti-6Al-2Mo-2Cr), т.е. основной материал – титан Ti, добавлены: алюминий Al = 6%, молибден Mo = 2%, хром Cr = 2%.

Титановый сплав имеют хорошие физико-механические характеристики:

1) плотность титана обычно составляет около 4.51 г/см^3, что составляет 60% от плотности стали, некоторые высокопрочные титановые сплавы по прочности не уступают многим конструкционным сталям, поэтому соотношение прочности титана (прочность / плотность) гораздо больше, чем у других конструкционных сталей;

2) высокая термическая прочность: при умеренных температурах титановые сплавы могут сохранять высокую прочность, допускают длительную работу при температуре 450 ~ 500 ºC;

3) высокая устойчивость к коррозии, что позволяет их использовать во влажной атмосфере и в морской воде; стойкость к коррозии намного выше, чем у нержавеющей стали, обладают стресс-коррозионной стойкостью, стойкостью к щелочам, хлоридам, хлор-органических веществ, азотной и серной кислоте;

4) титановые сплавы на низкой и сверхнизкой температуре сохраняют свои механические свойства. Даже при -253 ºС может сохранять определенную степень пластичности.

Таким образом, титан также является важным конструкционным материалом.

5.5. Распределение температуры на рабочих поверхностях инструмента

Температура резания при обработке титановых сплавов выше, чем при обработке сталей на 100-200 ºС в связи с малой теплопроводностью титановых сплавов. Из экспериментальных данных, полученных В.Н. Козловым при изучении температурных полей в режущем клине методом термочувствительных покрытий при точении титанового сплава ВТ3-1, задаёмся температурой на рабочих поверхностях режущей пластины. Результаты расчёта распределения температуры с помощью программы ANSYS представлены на рис. 5.5. Результаты расчёта согласуются с результатами исследований распределения температуры при точении стали 45.

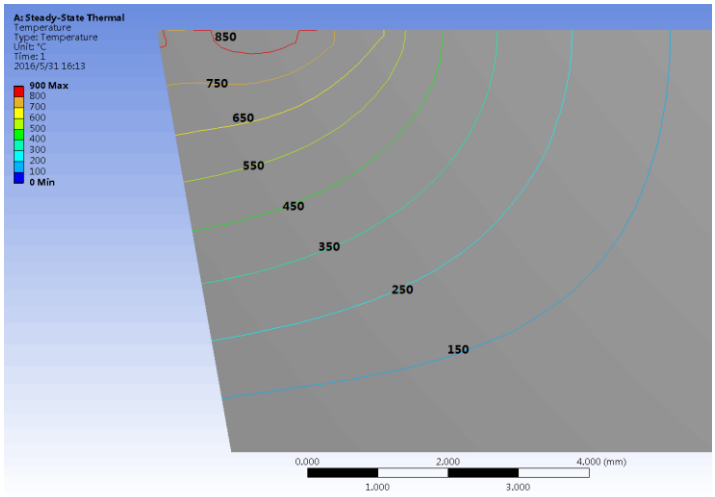


Рис.5.5. Распределение температуры в режущем клине, полученные расчётом по программе ANSYS при толщине пластины h=6 мм. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм

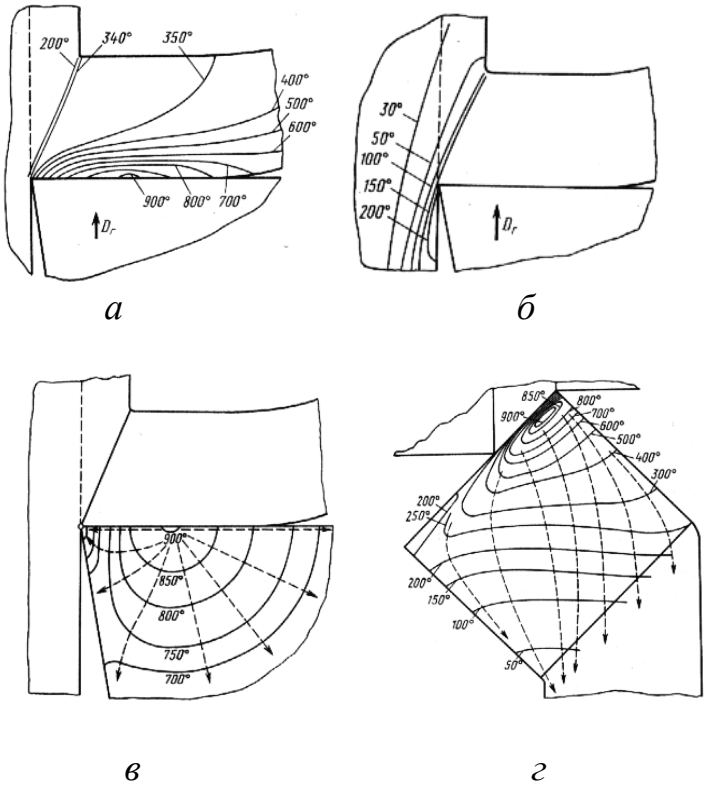


Рис. 5.6. Распределение температуры в стружке (*а*), заготовке (*б*), режущем клине (*в*) и на передней поверхности резца (*г*) при резании стали 45 резцом из Т15К6.

V=150 м/мин, S=0,3 мм/об, $\gamma=0^o$, $\alpha=10^o$, $\varphi=45^o$

6. Исследование НДС инструмента

6.1. Исследование НДС инструмента при разной толщине режущих пластин

Для исследования НДС (напряжённо-деформированного состояния), создаём модель, определяем внешние нагрузки и температуру резания из экспериментов при соответствующих режимах резания. Считаем, что с изменением толщины режущей пластины внешние нагрузки и температура на поверхности инструмента не меняется. Толщину h режущей пластины изменяем от 2 до 20 мм.

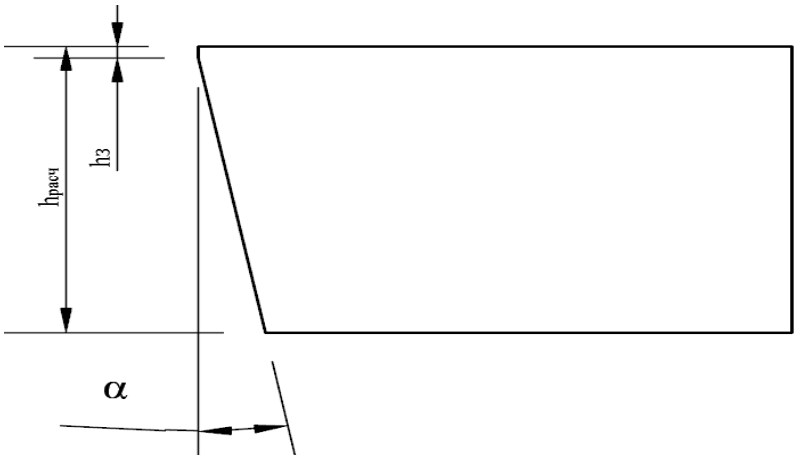
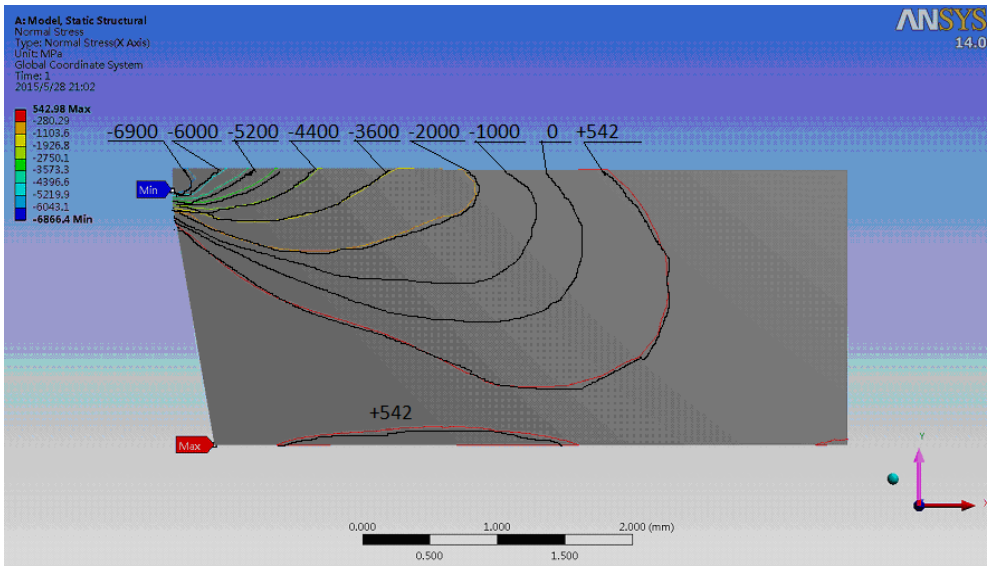


Рис.6.1. Геометрия режущей пластины

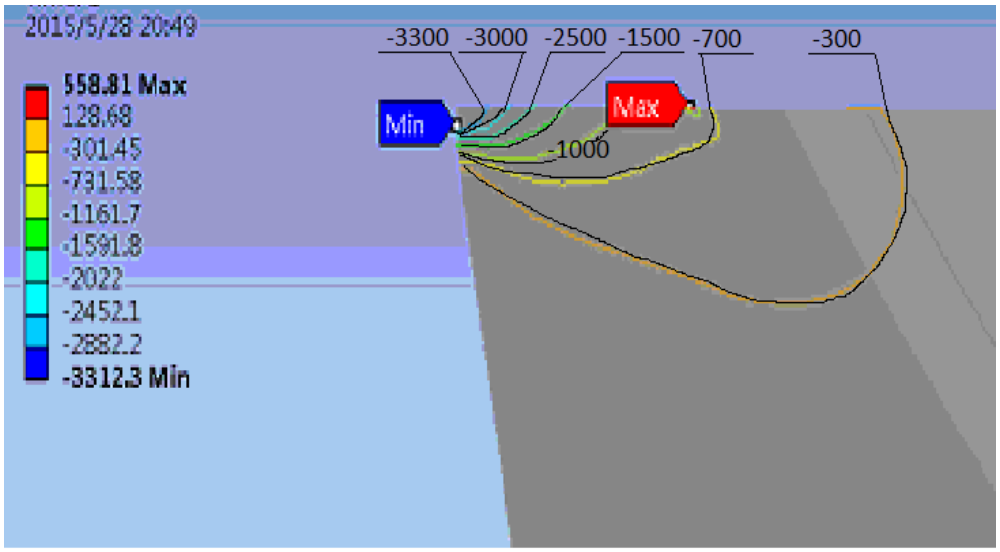
Моделируем свободное прямоугольное резание диска из титанового сплава ВТ3-1. ВТ3-1 – ВК8. Режим резания: скорость резания: v=1 м\с, радиальная подача s= 0,21 мм\об.

Геометрия режущей части: передний угол: $\gamma=0$ º, главный задний угол $\alpha=10$ º, фаска на задней поверхности, моделирующий износ $h_з=0{,}2$ мм, задний угол на этой фаске $\alpha_h=0$ º.

Результаты расчёта главных нормальных напряжений в режущем клине представлены на рис. 6.2.

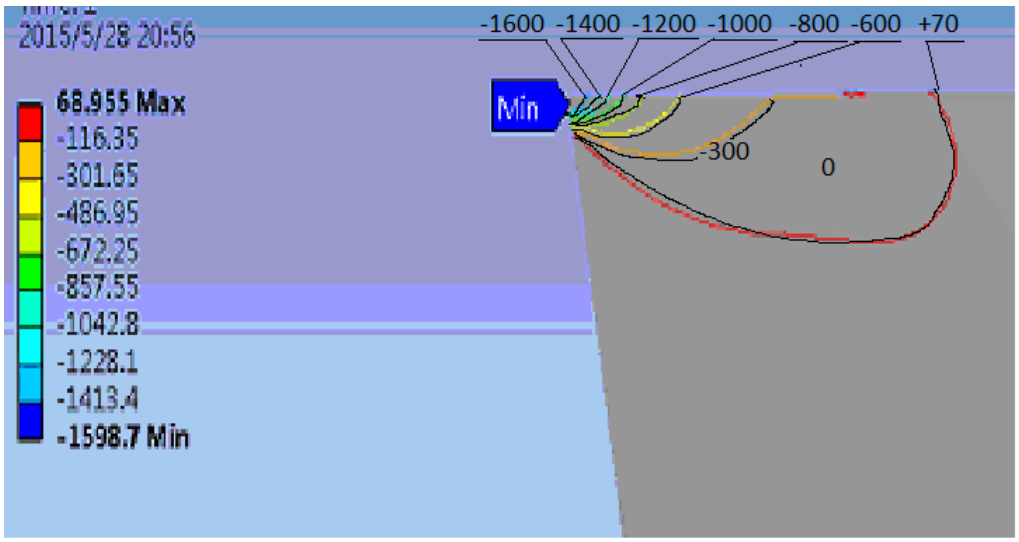


а) Распределение главного нормального напряжения σ (МПа) в режущем клине при толщине пластины **h=2 мм**. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

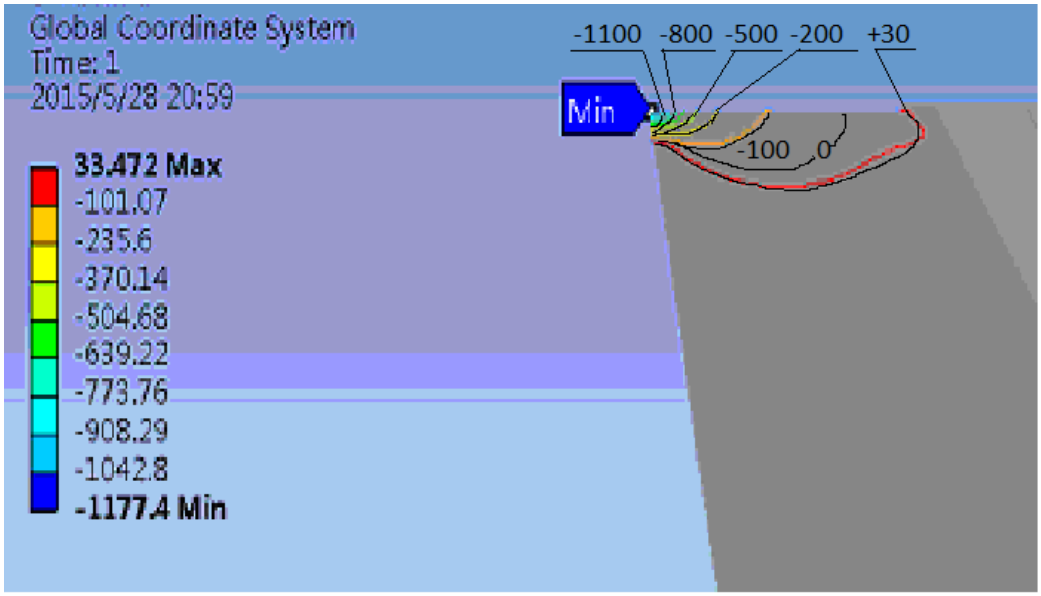


б) Распределение главного нормального напряжения σ (МПа) в режущем клине при толщине пластины **h=6 мм**. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

Рис.6.2. Распределение главного нормального напряжения σ (МПа) в режущем клине при разной толщине режущей пластины h (мм) при обработке титанового сплава. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.



в) Распределение главного нормального напряжения σ (МПа) в режущем клине при толщине пластины **h=12 мм**. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.



г) Распределение главного нормального напряжения σ (МПа) в режущем клине при толщине пластины **h=20 мм**. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

Продолжение рис.6.2. Распределение главного нормального напряжения σ (МПа) в режущем клине при разной толщине режущей пластины h (мм) при обработке титанового сплава. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

Анализ экспериментальных данных показывает что, толщина режущей пластины оказывает существенное влияние на наибольшие напряжения сжатия до h = 6 мм (рис.6.3).

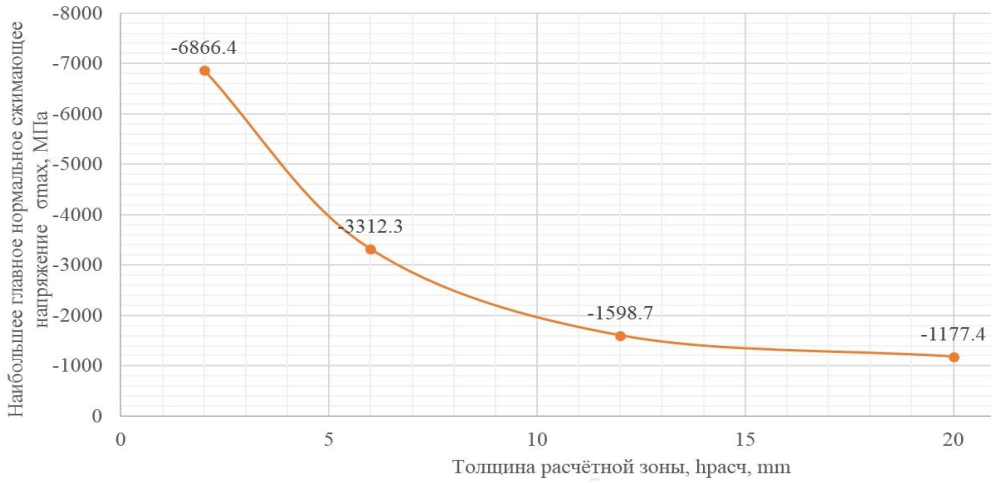


Рис.6.3. Влияние толщины режущей пластины $h_{расч}$ (мм) на величину наибольшего сжимающего нормального напряжения в режущем клине $\sigma_{3\,max}$ (МПа)

режущей пластины $h_{расч}$ (мм) на распределение нормального напряжения в режущем клине можно сделать следующие выводы:

1. При обработке титанового сплава ВТ3-1 режущей пластиной с толщиной менее 5 мм у главной режущей кромки возникают большие сжимающие напряжения, превышающие предел прочности твёрдого сплава на сжатие, что приводит к выкрашиванию главной режущей кромки.
2. При обработке титанового сплава ВТ3-1 режущей пластиной с толщиной менее 5 мм на передней и нижней (опорной) поверхности режущей пластины возникают растягивающие напряжения, приближающиеся к пределу прочности твёрдого сплава на растяжение, что увеличивает вероятность поломки режущей пластины.
3. В наибольшей степени толщина режущей пластины влияет на величину наибольшего сжимающего напряжения в режущем клине при толщине менее 7 мм.

6.2. Исследование влияния характера распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента на НДС инструмента

Для оценки точности расчётов при приложении сосредоточенной нагрузки, влияния характера распределения контактных напряжений на распределение внутренних напряжений в режущем клине выполним расчёт исходя из трёх видов распределения контактных нагрузок на передней поверхности:

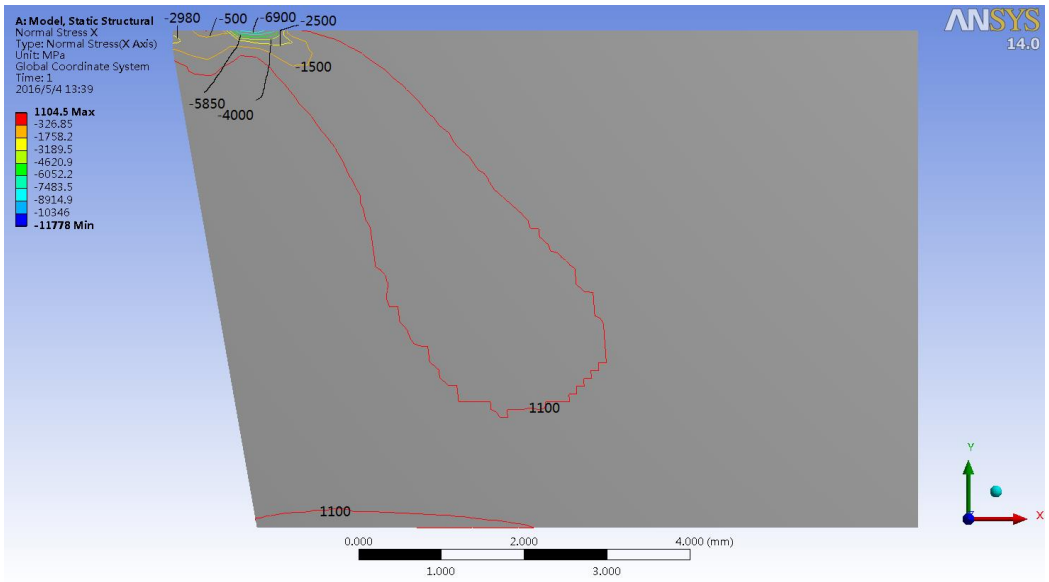
1-ый вид: сосредоточенное распределение контактных нагрузок на передней и задней поверхности.

2-ой вид: равномерное распределение котактных нагрузок на передней и задней поверхности.

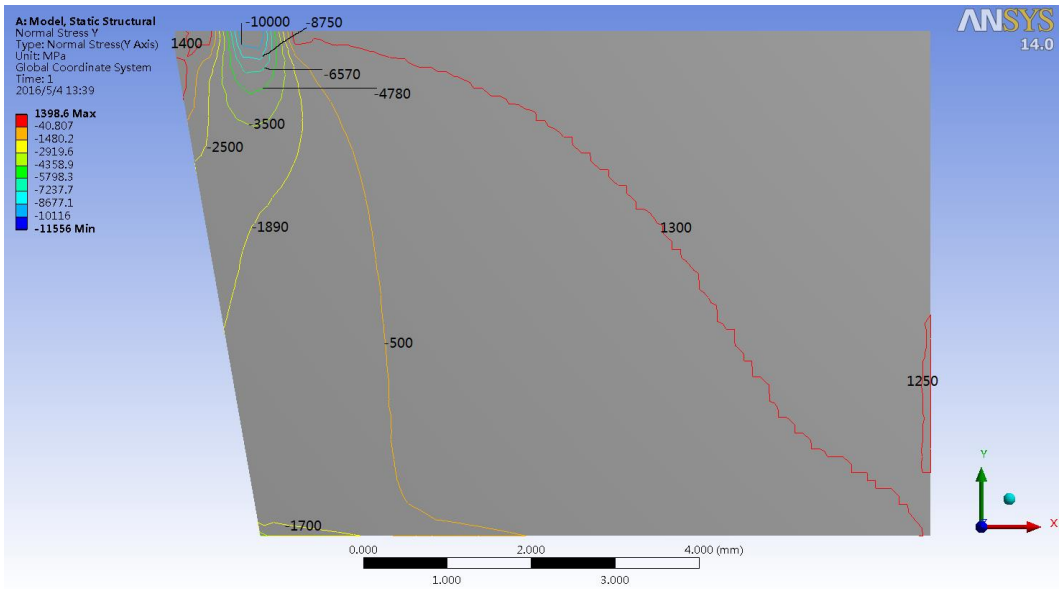
3-ий вид: реальное распределение котактных нагрузок на передней и задней поверхности (распределение по установленному (выявленному) закону).

Геометрию режущей части и режимы резания принимаем такие же, что и при исследовании влияния толщины режущей пластины (рис.6.1). ВТ3-1 – ВК8. Режим резания: скорость резания: v=1 м\с, радиальная подача s= 0,21 мм\об. Геометрия режущей части: передний угол: γ=0 º, главный задний угол α=10 º, фаска на задней поверхности, моделирующий износ $h_з$=0,2 мм, задний угол на этой фаске α_h=0 º, толщина режущей пластины h=6 мм.

1) При сосредоточенном действии нагрузок на передней и задней поверхностях получаем следующие результаты расчёта (рис.6.4, а,б,в,г,д):

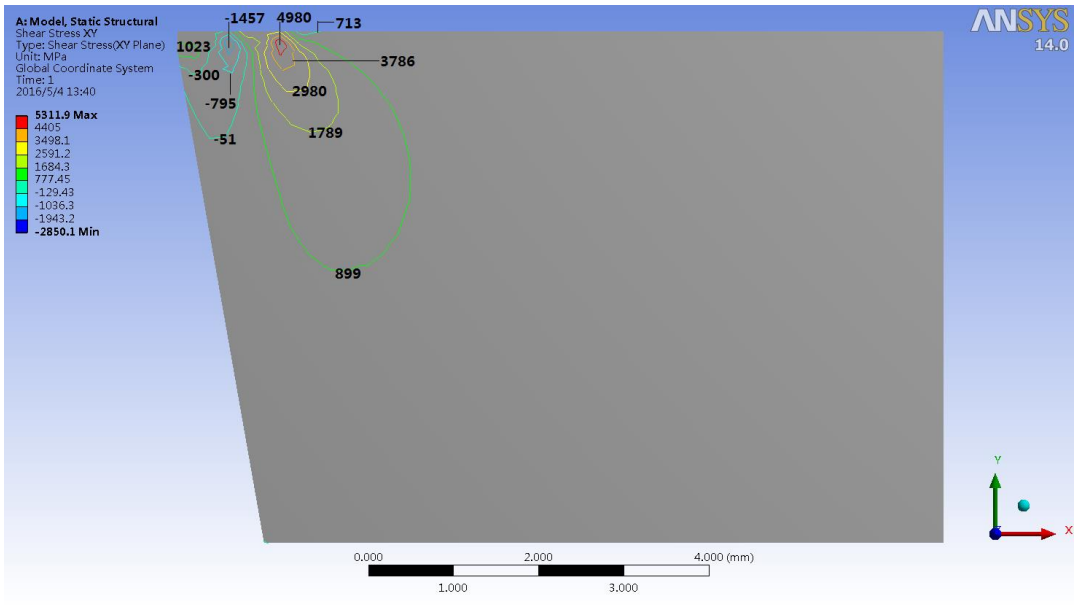


а) Распределение нормального напряжений по оси X при сосредоточенной нагрузке на передней и задней поверхностях, МПа.

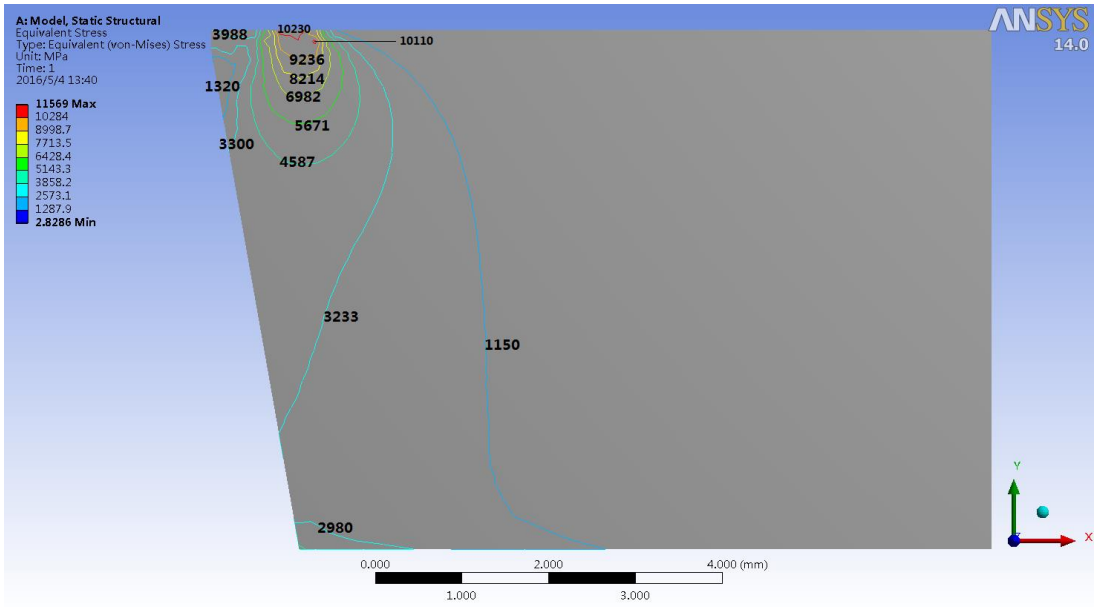


б) Распределение нормального напряжений по оси Y при сосредоточенной нагрузке на передней и задней поверхностях, МПа.

Рис.6.4. Нагружение режущей пластины сосредоточенными силами на передней и задней поверхностях при обработке титанового сплава ВТ3-1 твёрдосплавной режущей пластиной из ВК8.

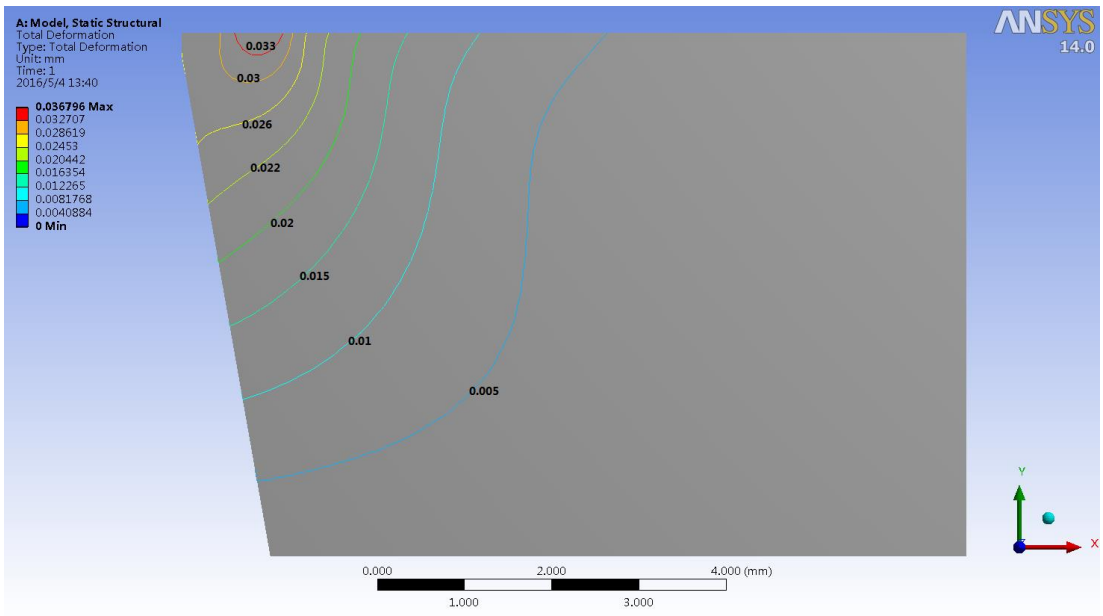


в) Распределение касательного напряжений по оси XY при сосредоточенной нагрузке на передней и задней поверхностях, МПа.



г) Распределение эквивалентного напряжения при сосредоточенной нагрузке на передней и задней поверхностях, МПа.

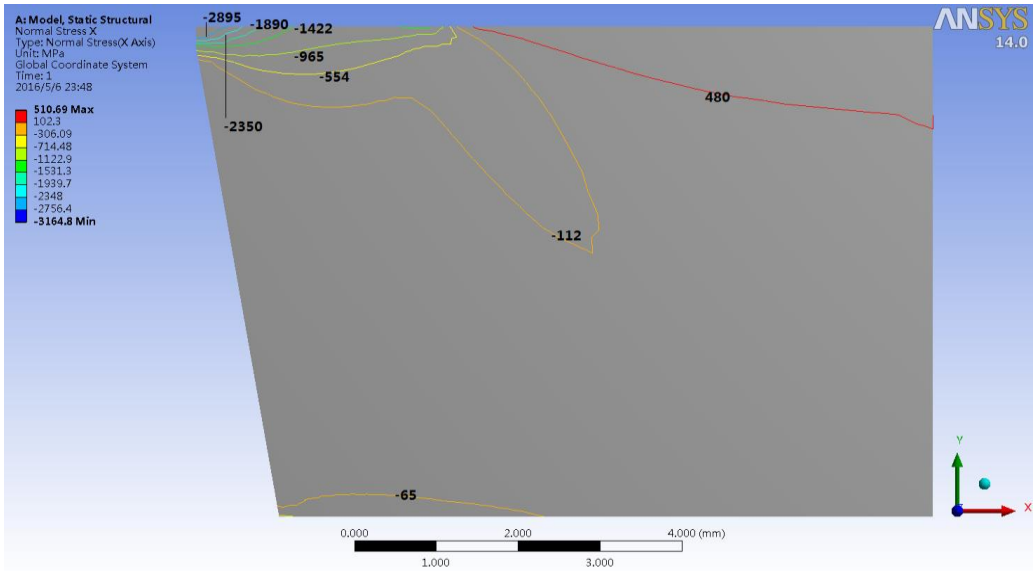
Продолжение Рис.6.4. Нагружение режущей пластины сосредоточенными силами на передней и задней поверхностях при обработке титанового сплава ВТ3-1 твёрдосплавной режущей пластиной из ВК8.



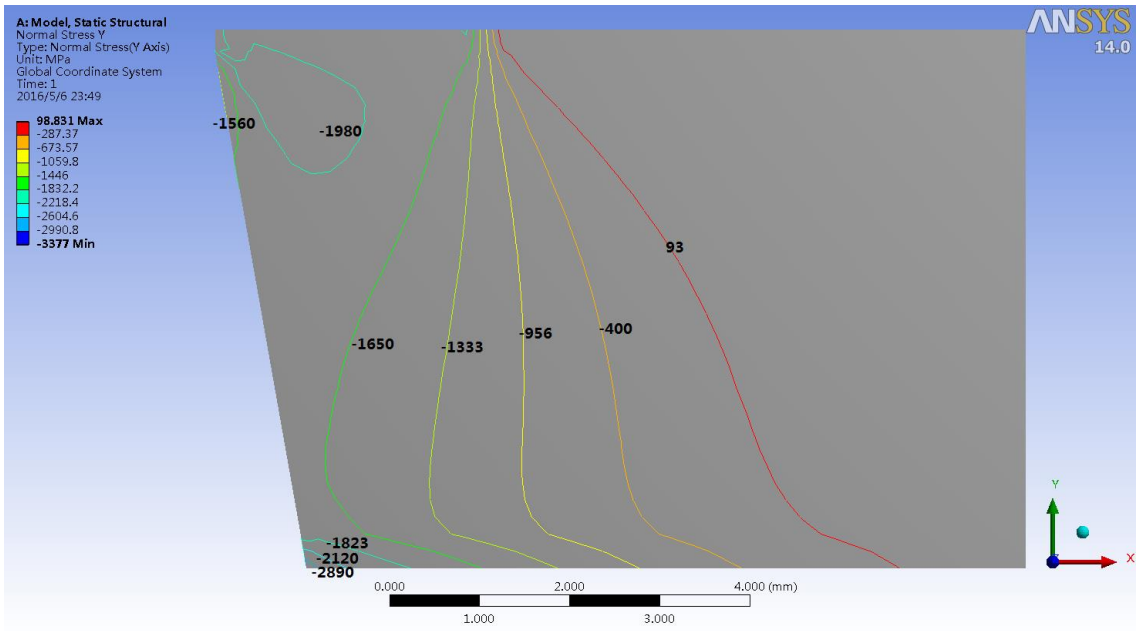
д) Распределение деформации при сосредоточенной нагрузке на передней и задней поверхности, мм.

Продолжение Рис.6.4. Нагружение режущей пластины сосредоточенными силами на передней и задней поверхностях при обработке титанового сплава ВТ3-1 твёрдосплавной режущей пластиной из ВК8.

2) При равномерном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях получаем результаты, представленные на рис.6.5, а,б,в,г,д.

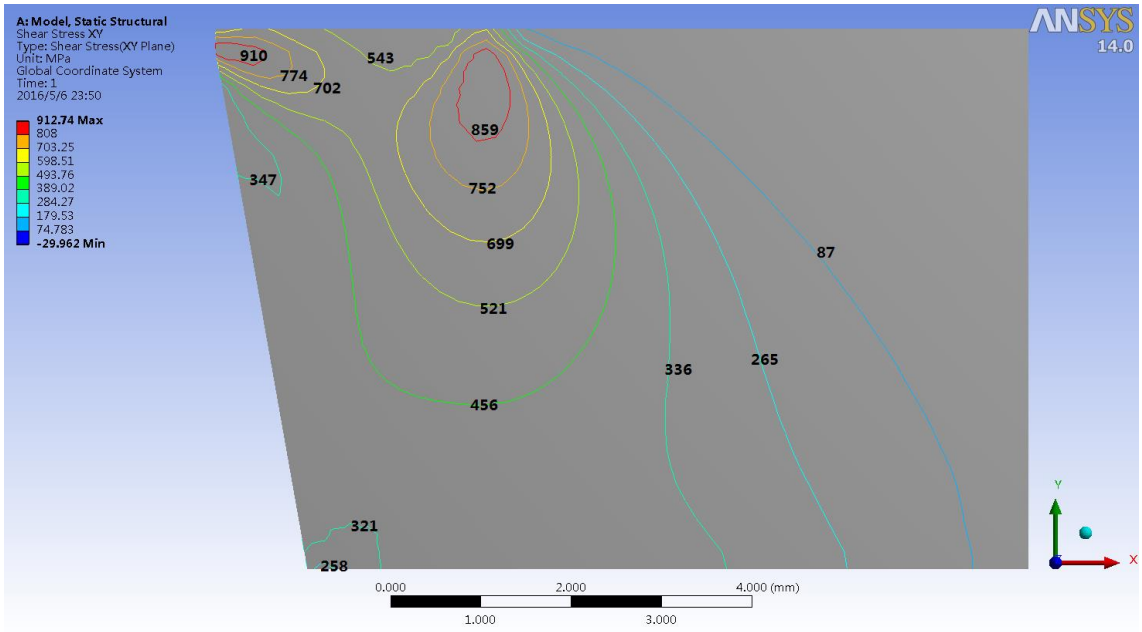


а) Распределение нормальных напряжений по оси X (радиальное) при равномерном распределение контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.

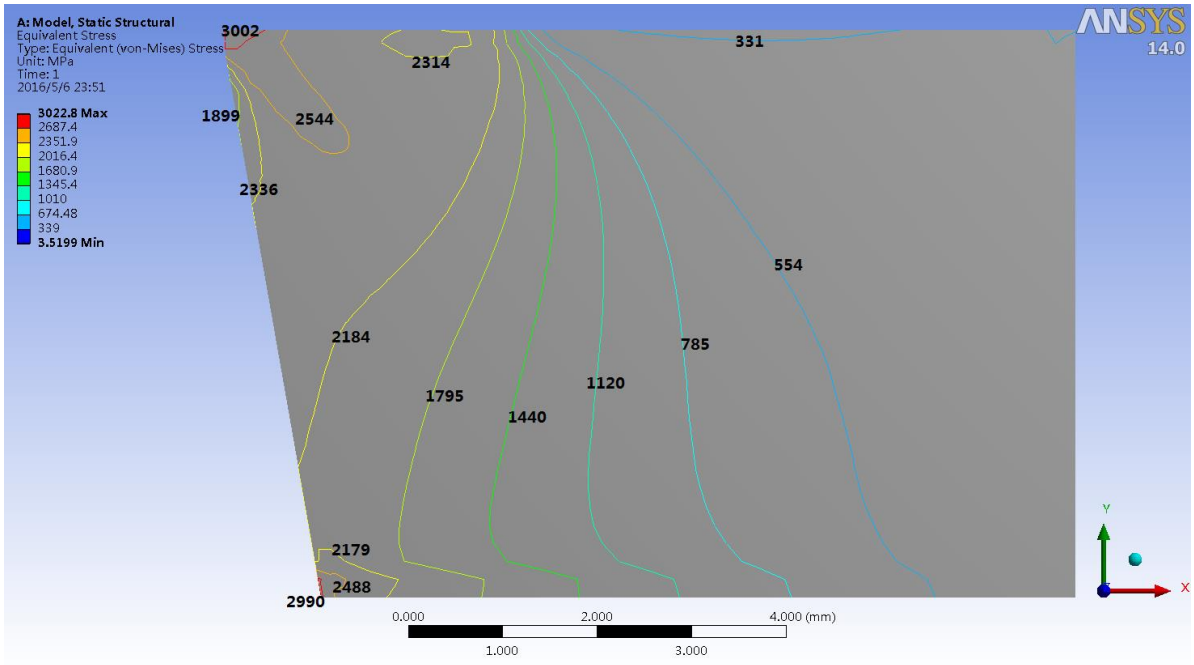


б) Распределение нормальных напряжений по оси Y (вертикальное) при равномерном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.

Рис.6.5. Нагружение равномерным распределением контактных нагрузок на передней и задней поверхностях

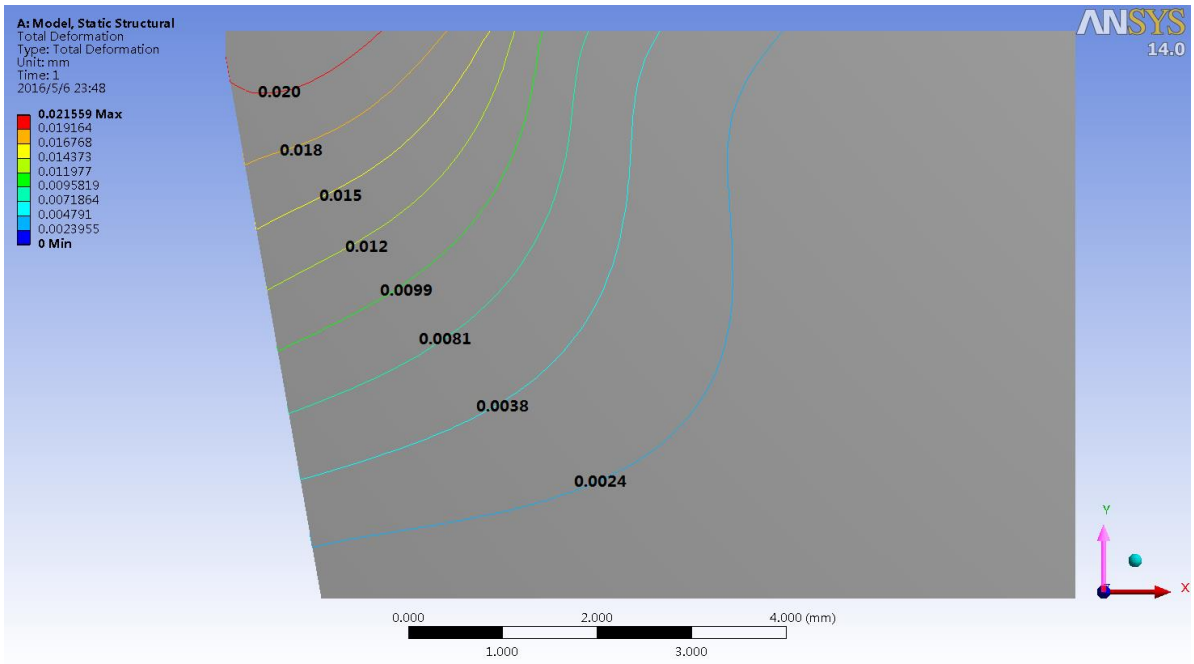


в) Распределение касательных напряжений по оси XY при равномерном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.



г) Распределение эквивалентных напряжений при равномерном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.

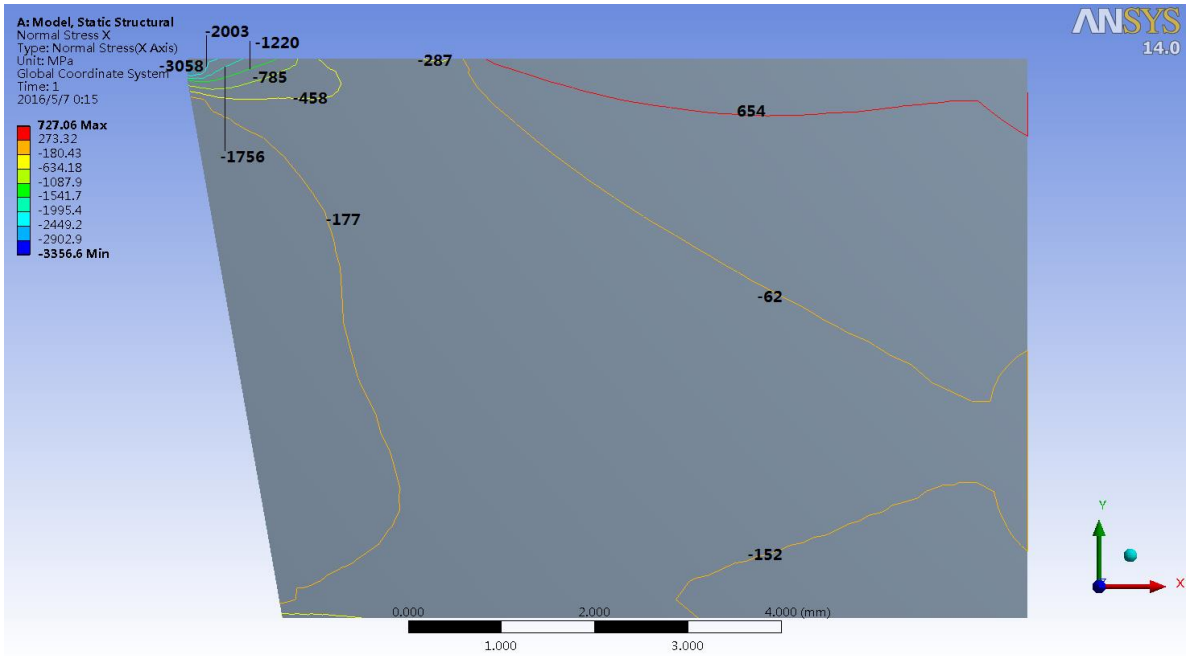
Продолжение рис.6.5. Нагружение равномерным распределением контактных нагрузок на передней и задней поверхностях. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.



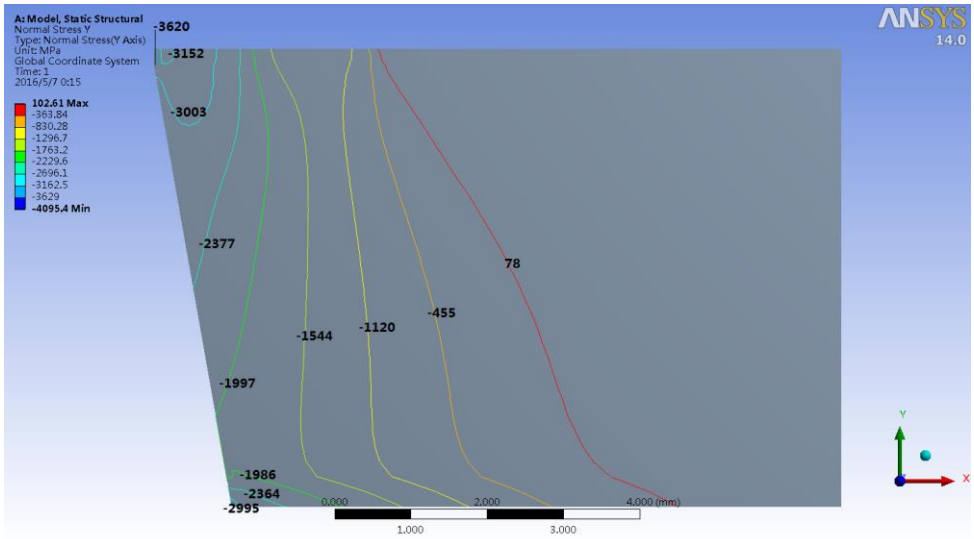
д) Распределение деформации при равномерное распределение котактных нагрузок на передней и задней поверхности, мм.

Продолжение рис.6.5. Нагружение равномерным распределением контактных нагрузок на передней и задней поверхностях. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

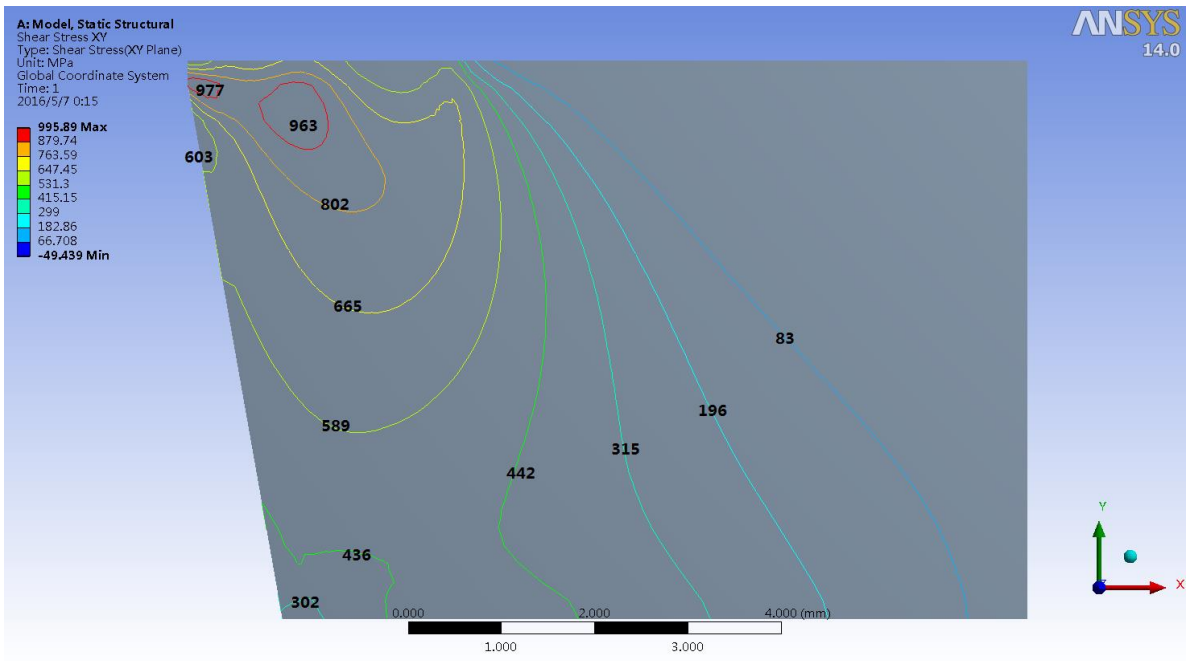
3) При реальном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях были получены результаты расчётов, представленные на рис.6.6, а,б,в,г,д:



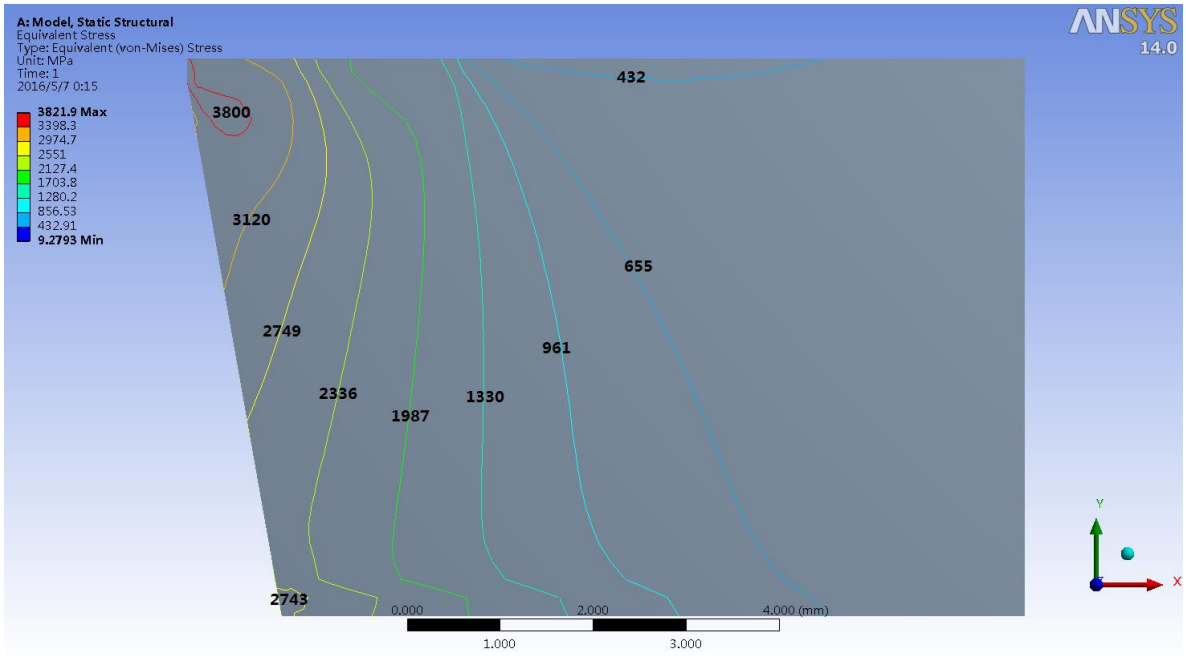
а) Распределение нормальных напряжений по оси X при реальном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.



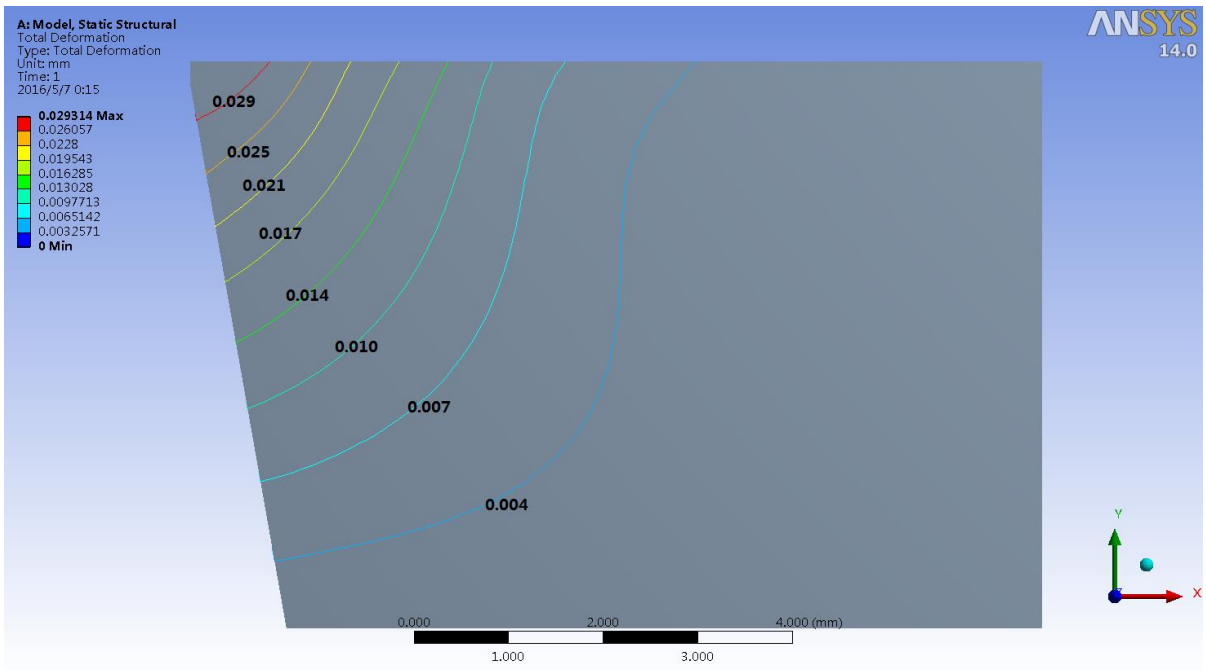
б) Распределение нормального напряжений по оси Y при реальном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.



в) Распределение касательного напряжений по оси XY при реальном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.



г) Распределение эквивалентного напряжений при реальном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, МПа.



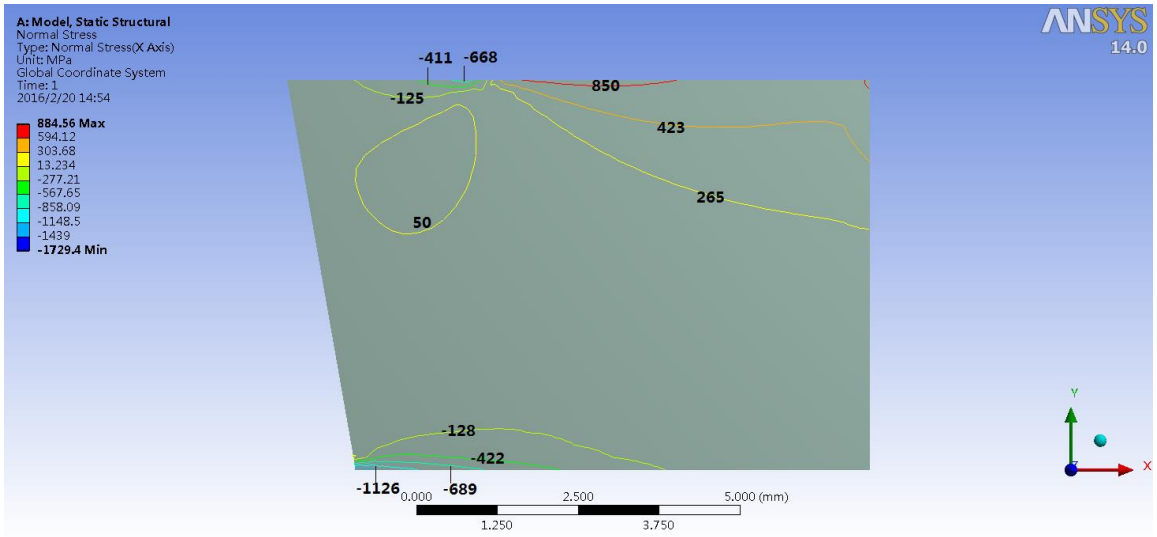
д) Распределение деформации при реальном распределении контактных нагрузок на передней и задней поверхностях, мм.

Рис.6.6. Нагружение реальным распределением контактных нагрузок на передней и задней поверхностях. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

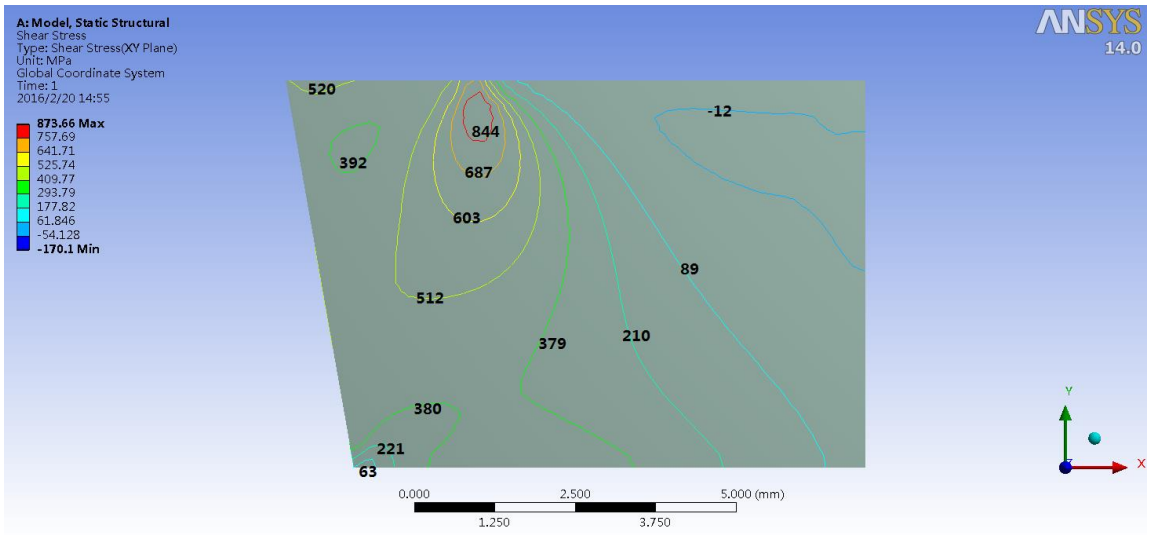
6.3. Влияние переднего угла инструмента на НДС режущего клина

Увеличение переднего угла уменьшает силу резания, но уменьшает и прочность режущего клина. Для исследования влияния переднего угла инструмента на НДС режущего клина, выполняем расчёты с передними углами от нуля до минус двадцать градусов. Резцы с γ= -20° применяются для черновой обработки титановых слябов.

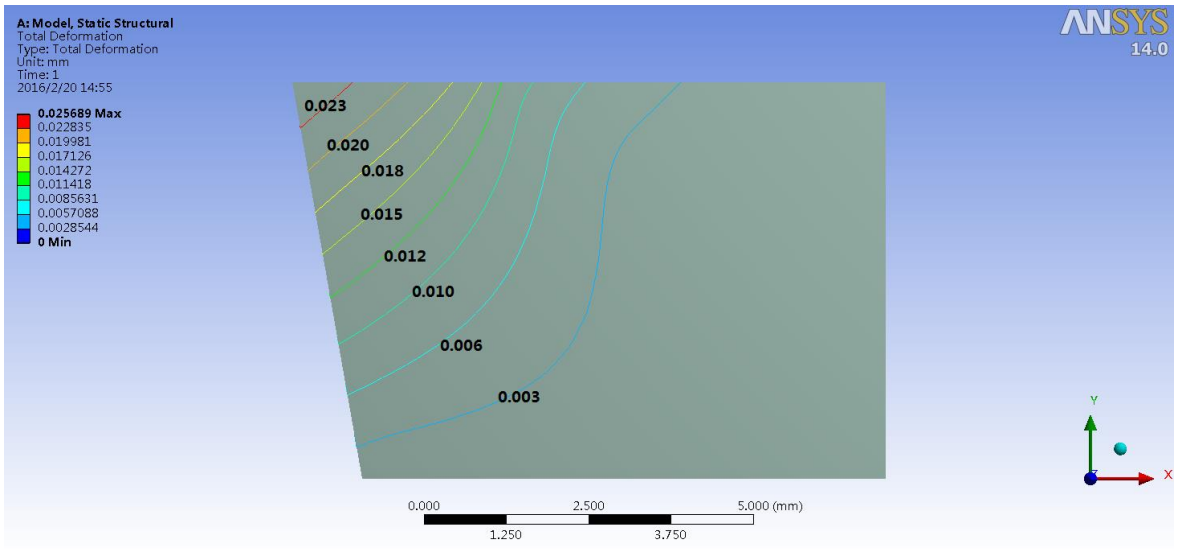
1) При переднем угле γ= 0° НДС режущего клина представлено на рис.6.7, а,б,в:



а) Распределение нормальных напряжений при переднем угле γ= 0°, МПа.



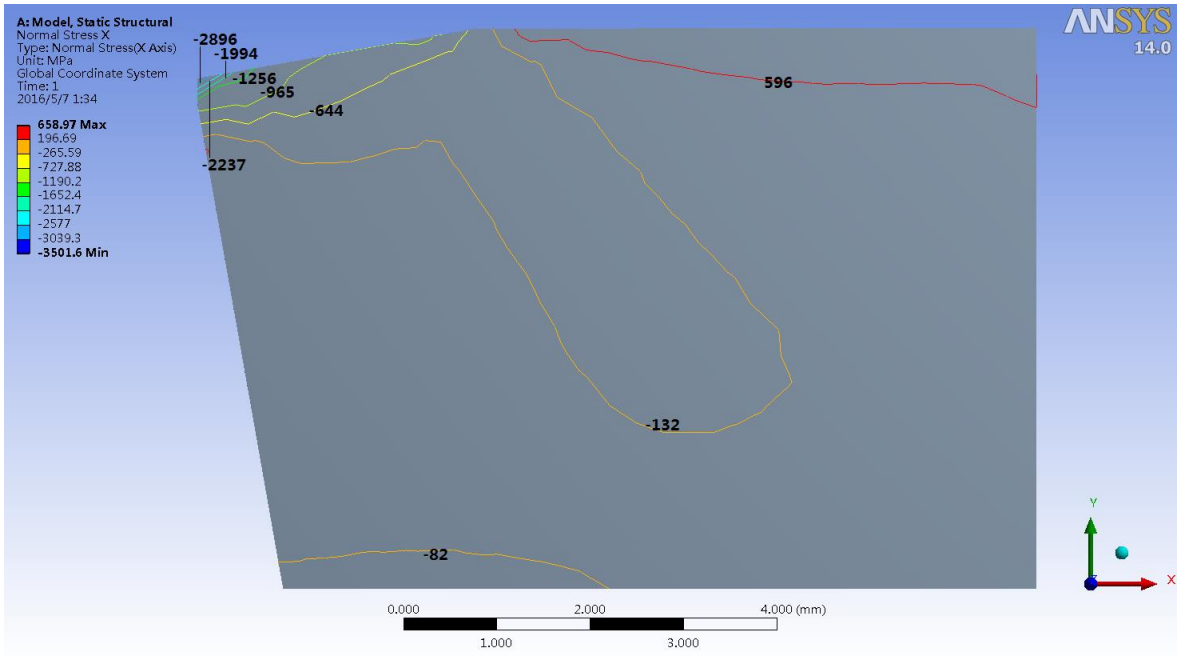
б) Распределение касательных напряжений при переднем угле γ= 0°, МПа.



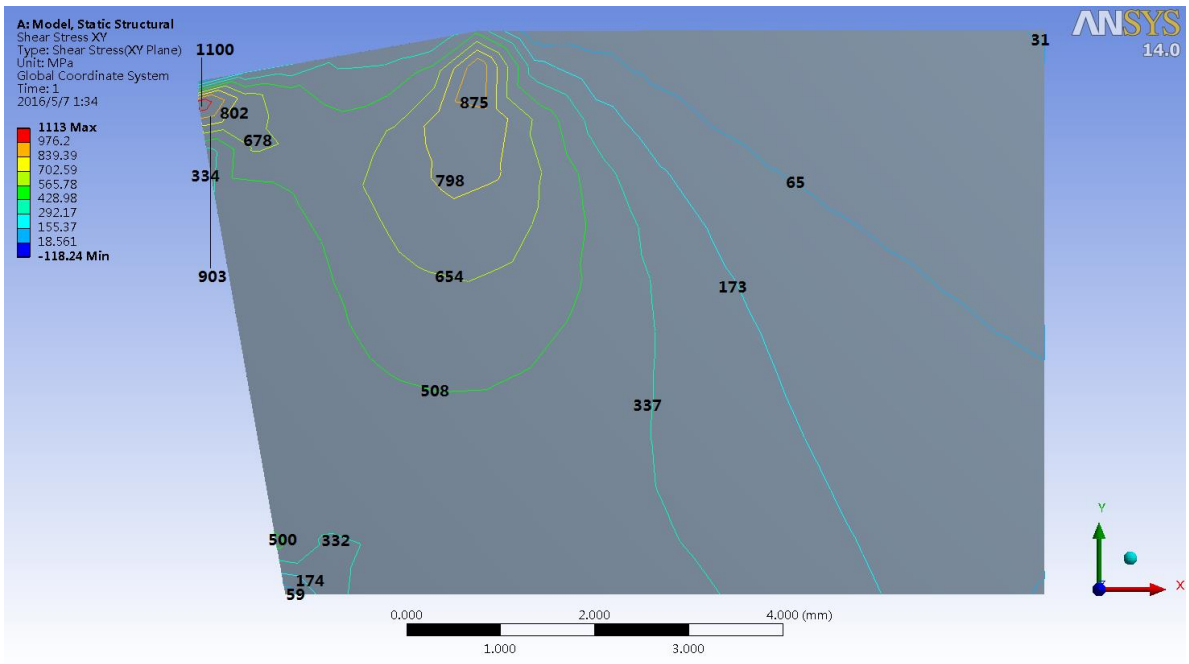
в) Распределение деформаций при переднем угле γ= 0°, мм.

Рис.6.7. Схема НДС инструмента с передним углом γ= 0°. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

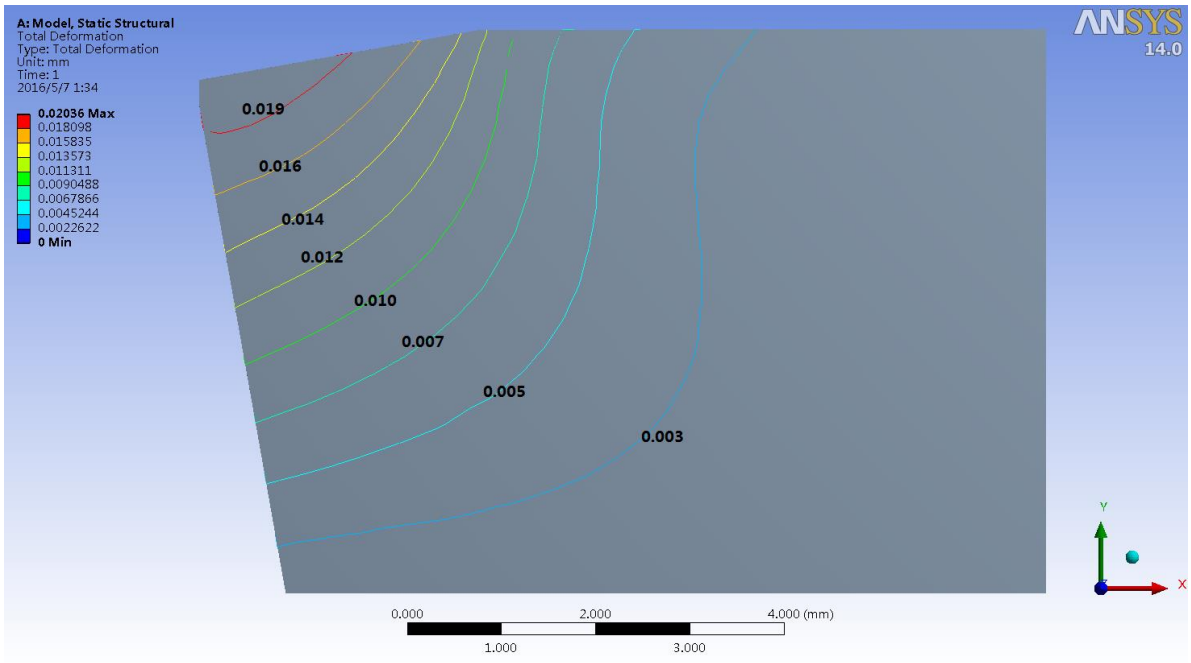
2) При переднем угле γ= -10° НДС режущего клина представлено на рис.6.8, а,б,в:



а) Распределение нормальных напряжений при переднем угле γ= -10°, МПа.



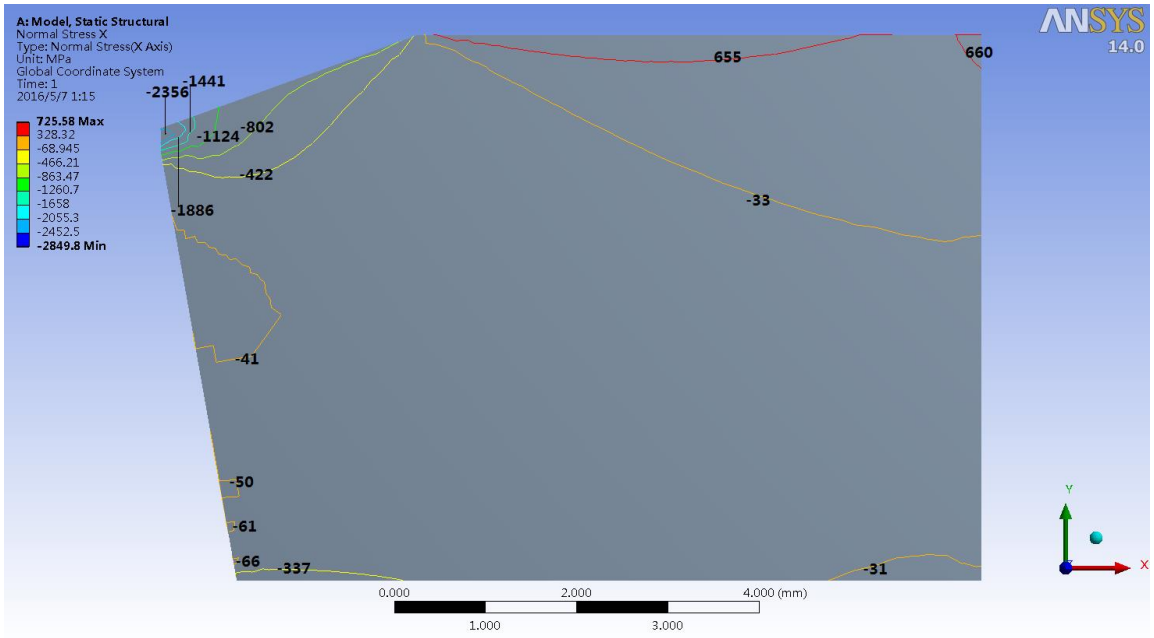
б) Распределение касательных напряжений при переднем угле γ= -10°, МПа.



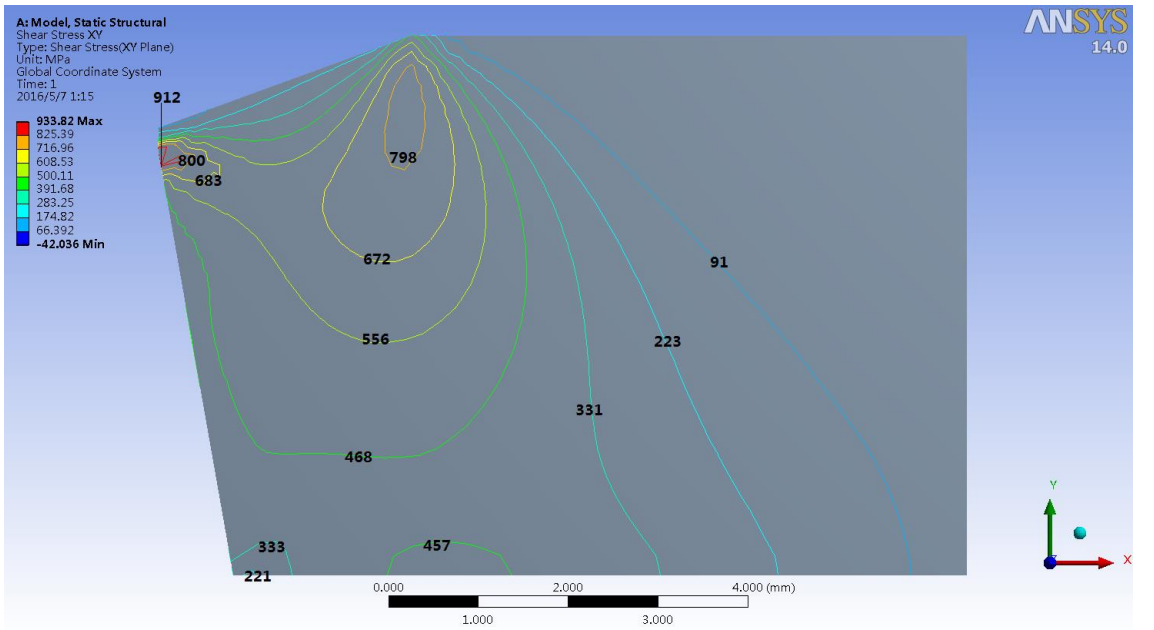
в) Распределение деформаций при переднем угле γ= -10°, мм.

Рис.6.8. Схема НДС инструмента с передним углом γ= -10°. ВТ3-1 – ВК8, γ= -10°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

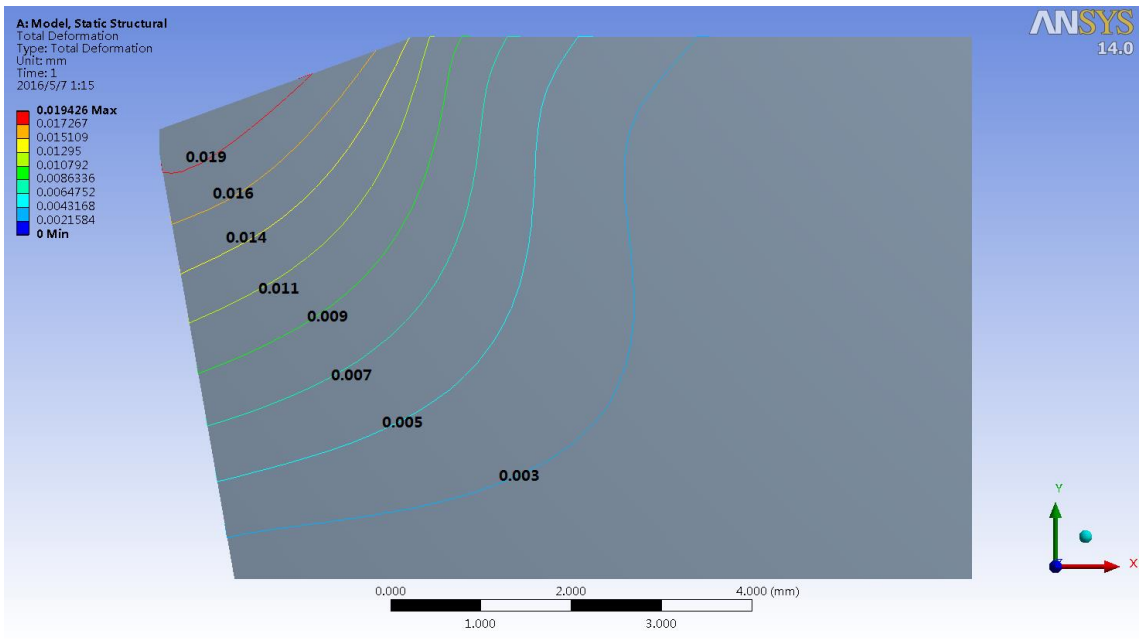
3) При переднем угле γ= -20°, НДС режущего клина представлено на рис.6.9, а,б,в:



а) Распределение нормальных напряжений при переднем угле γ= -20°, МПа.



б) Распределение касательных напряжений при переднем угле γ= -20°, МПа.



в) Распределение деформаций при переднем угле γ= -20°, мм.

Рис.6.9. Схема НДС инструмента с передним углом γ= -20°. ВТ3-1 – ВК8, γ= -20°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0,2 мм.

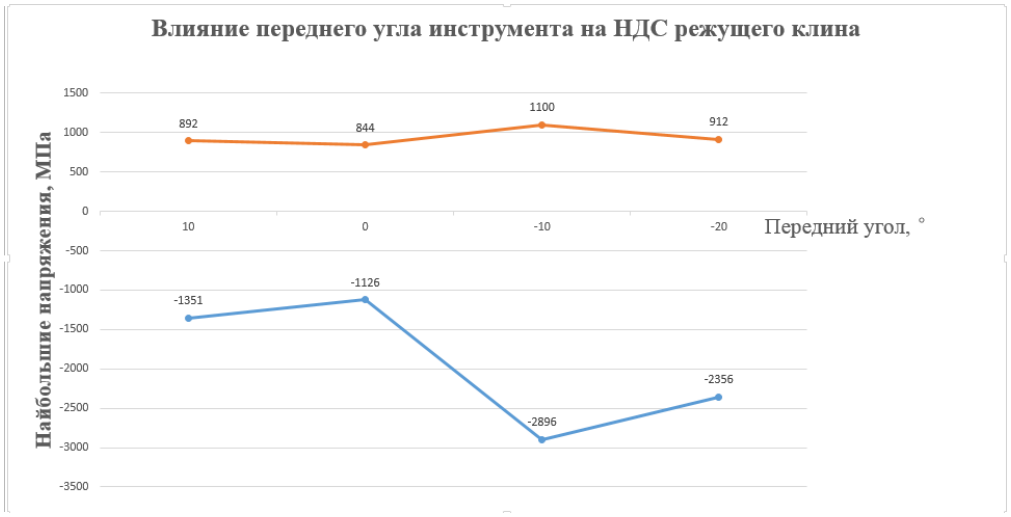
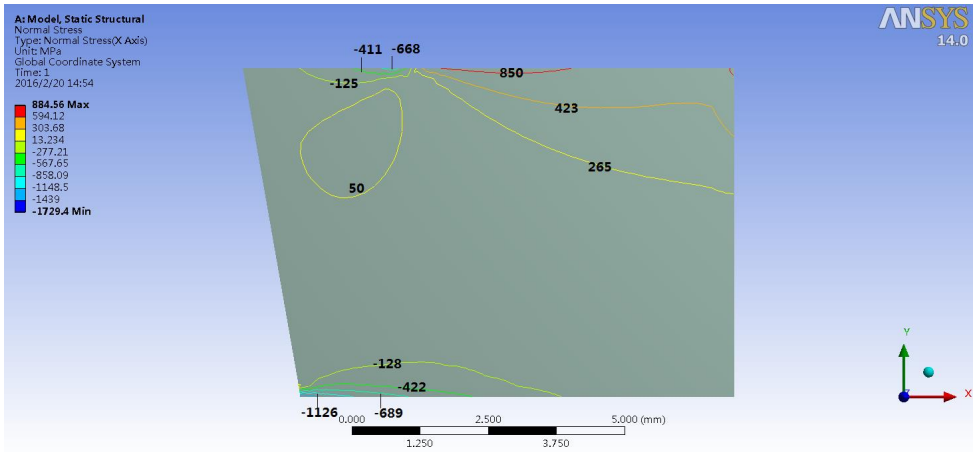


Рис.6.10. Влияние переднего угла инструмента на на величину наибольшего нормального(нижний) и касательного(верхной) напряжения в режущем клине, (МПа).

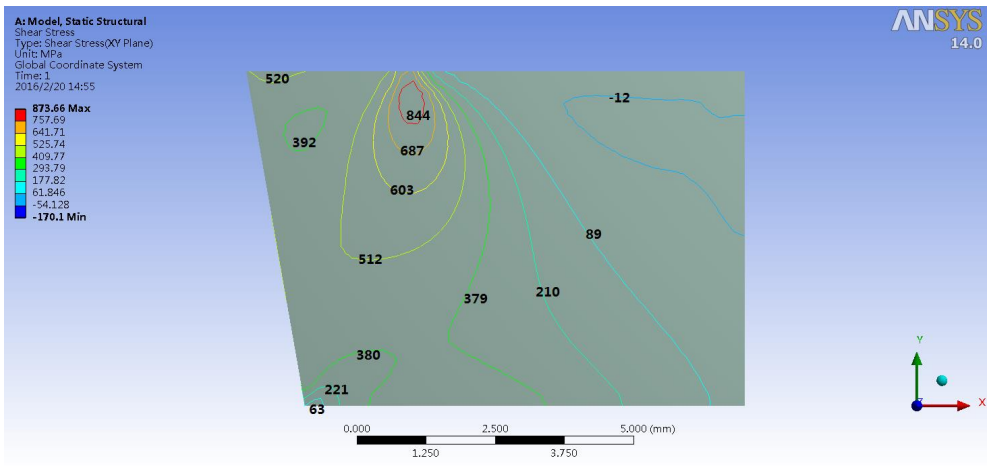
6.4. Влияние округления режущей кромки инструмента на НДС режущего клина

Округление режущей кромки инструмента увеличивает прочность режущего клина, но существенно увеличивает силу и температуру резания. Увеличение силы резания уменьшает точность обработки, а при точении маложёстких деталей приводит к образованию погрешностей формы (в продольном и поперечном сечении) и даже вырыванию заготовки из патрона или центров. Быстрое округление режущей кромки характерно при обработке труднообрабатываемых материалов, а при обработке обычных конструкционных сталей и чугунов износ по задней поверхности протекает быстрее, поэтому существенный радиус $\rho_w \geq 0{,}2$ мм наблюдается крайне редко.

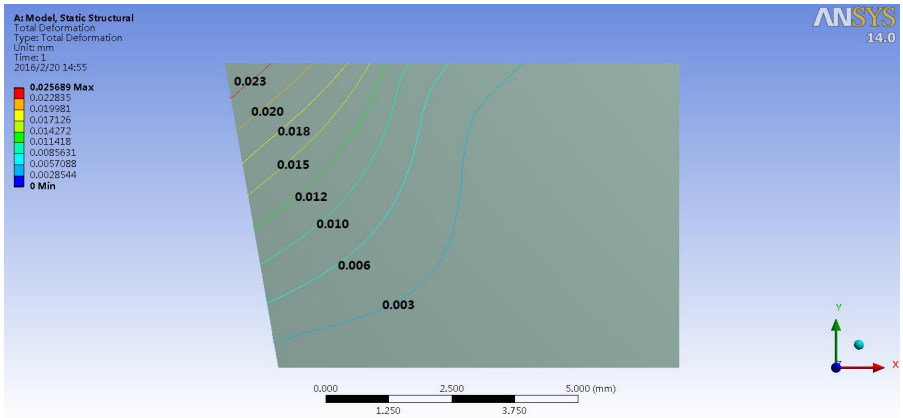
Выполняем расчёт НДС режущего клина по программе ANSYS с различными величинами радиуса округления режущей кромки ρ и одинаковыми режимами резания (рис. 6.10):



а) Распределение нормальных напряжений при радиусе округления режущей кромки ρ = 0 мм, МПа.

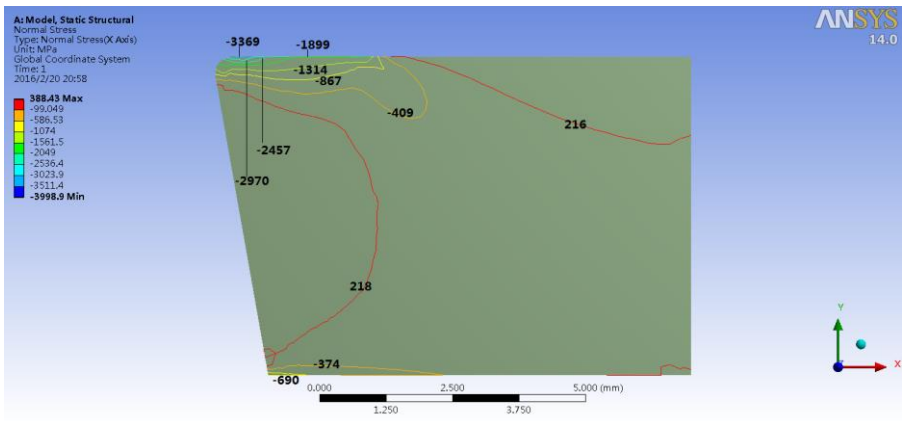


б) Распределение касательных напряжений при радиусе округления режущей кромки ρ = 0 мм, МПа.

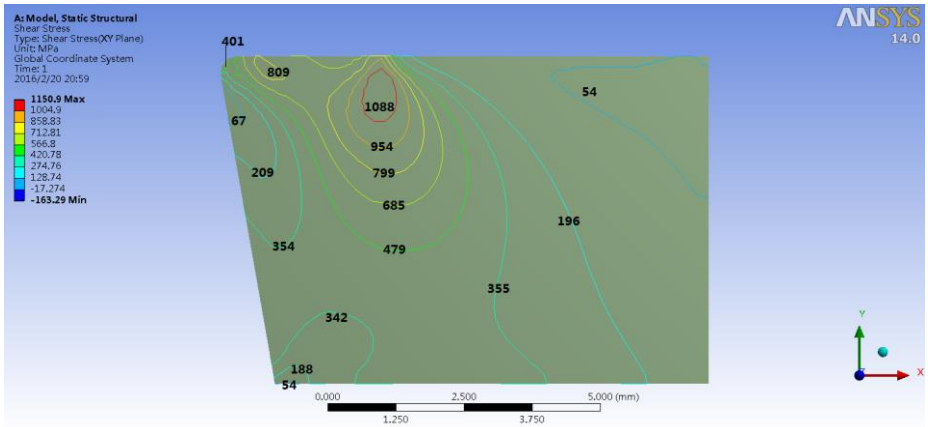


в) Распределение деформаций при радиусе округления режущей кромки ρ = 0 мм, мм

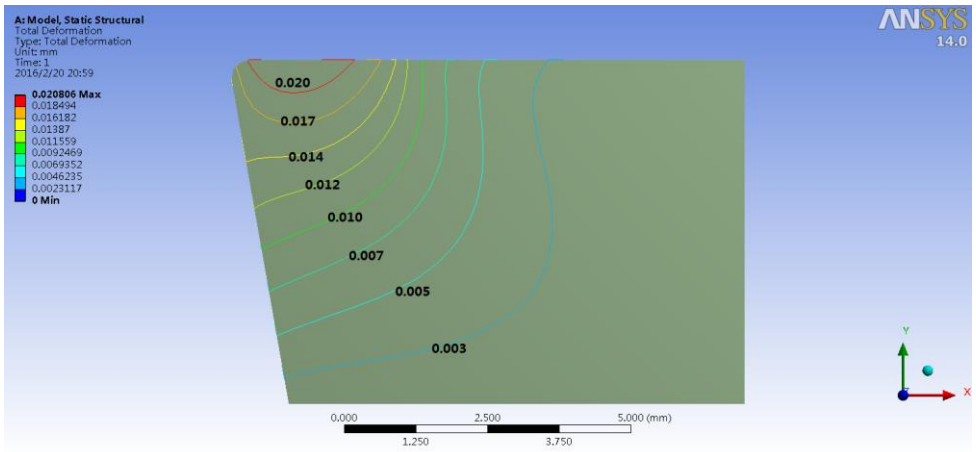
Рис. 6.10. НДС инструмента при радиусе округления режущей кромки ρ = 0 мм, ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об.



а) Распределение нормальных напряжений при радиусе округления режущей кромки ρ = 0,3 мм, МПа.



б) Распределение касательных напряжений при радиусе округления режущей кромки ρ = 0,3 мм, МПа.



в) Распределение деформаций при радиусе округления режущей кромки ρ = 0,3 мм, мм.

Рис. 6.10. НДС режущего клина при радиусе округления режущей кромки ρ = 0,3 мм, ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об.

6.5. Влияние ширины фаски износа на задней поверхности резца на НДС режущего клина

Фаска износа на задней поверхности появляется в первое же мгновение при касании инструмента поверхности заготовки из-за микровыкрашивания режущей кромки. В первые секунды резания фаска увеличивается интенсивно до ширины $h_з$ = 0,02…0,06 мм (приработочный износ), а затем интенсивность износа существенно уменьшается (рис. 6.11).

В период нормальной работы инструмента кривая износа по задней поверхности увеличивается по линейному закону и преобладает над износом в других зонах (на передней поверхности и округлении режущей кромки), особенно при обработке хрупких материалов, образующих элементную стружку.

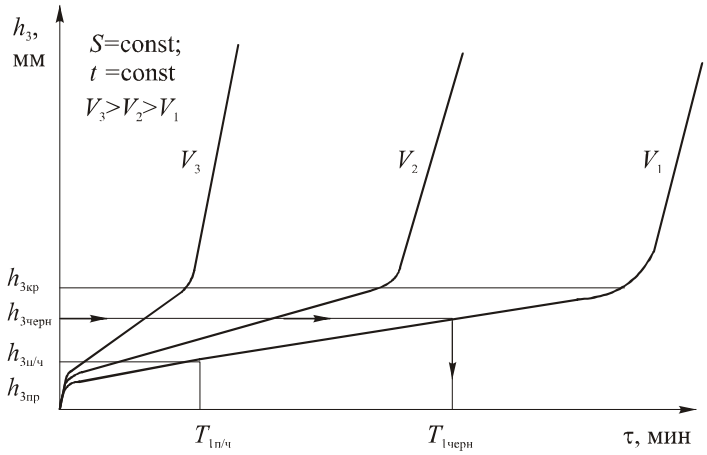


Рис. 6.11. Графики износа по задней поверхности *hз* токарного резца в зависимости от времени его непрерывной работы τ

По мере увеличения ширины износа $h_з$ увеличивается и температура резания, и сила на задней поверхности, которая может начать превышать силу резания на передней поверхности. Если прочность инструмента недостаточна, то происходит скол режущего клина. Ширину износа $h_з$ в этот момент называют критической по прочности $h_{з\ крит.пр}$ и стараются ни в коем случае не допускать.

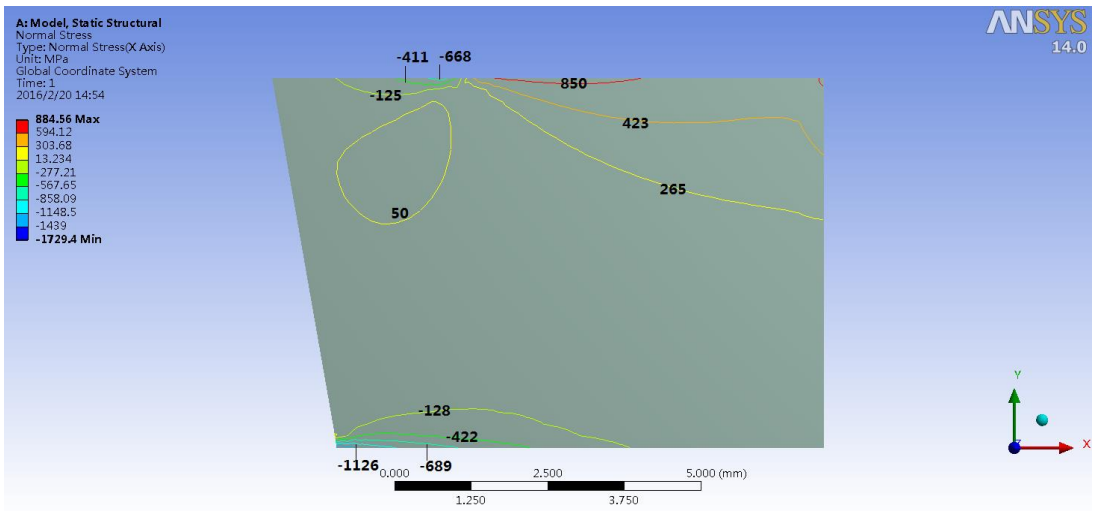
Если прочность инструмента ещё достаточна, то происходит дальнейшее увеличение ширины фаски $h_з$ пока не наступит момент, когда начнётся резкое увеличение интенсивности износа, или так называемый катастрофический износ. При использовании быстрорежущего инструмента это связано с наступлением температуры отпуска (приблизительно 620 ºС), после чего

твёрдость инструментального материала резко уменьшается, что вызывает ещё большее увеличение интенсивности износа.

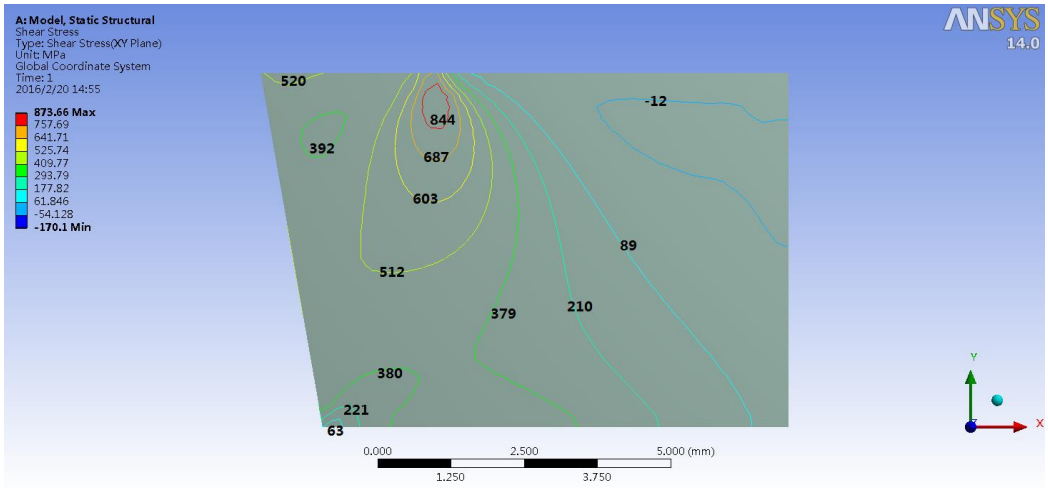
При использовании твёрдосплавного инструмента резкое увеличение интенсивности износа связано с наступлением температуры интенсивного окисления инструментального материала (приблизительно 880 ºС).

Ширина фаски на задней поверхности в момент резкого увеличения интенсивности износа приблизительно одинакова для данного материала, мало зависит от скорости резания и подачи, и называется критической по износу и обозначается $h_{з\ кр}$. Величина $h_{з\ кр}$ наступает существенно быстрее при увеличении скорости резания V (рис. 6.11) и менее существенно при увеличении подачи s. Износ до величины $h_{з\ кр}$ стараются не допускать, для чего перетачивают или заменяют инструмент заранее при достижении ширины фаски износа по задней поверхности $h_{з\ черн}$. При черновой обработке титановых сплавов износ по задней поверхности достигает 2…5 мм. При таких больших величинах $h_з$ угол наклона реальной фаски износа часто становится отрицательным $\alpha_h = -3^o$.

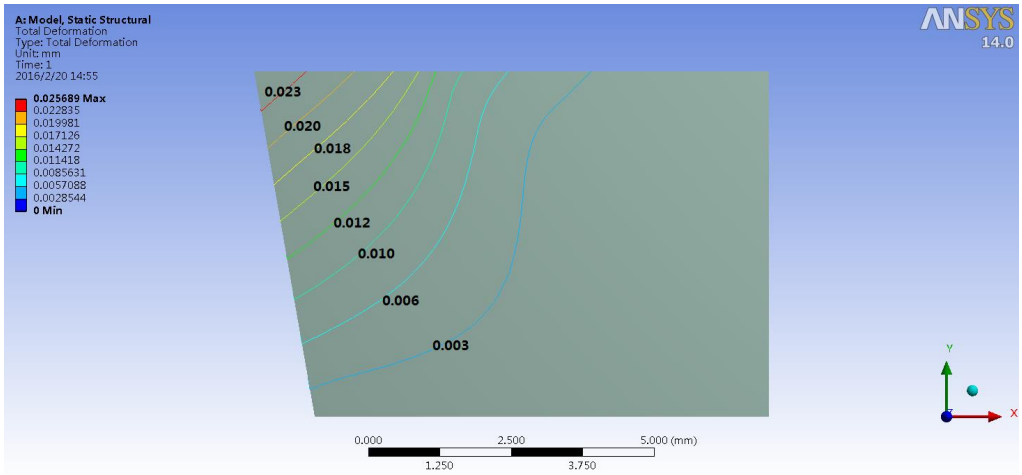
При исследовании влияния ширины искусственной фаски $h_з$ считаем, что угол фаски не изменяется и всегда равен нулю ($\alpha_h = 0^o$). Такое допущение позволяет не учитывать изменение угла фаски α_h при удалении от режущей кромки. Так было получено распределение контактных нагрузок на искусственной фаске износа, в противном случае исследование было бы выполнить невозможно.



а) Распределение нормальных напряжений при $h_з$ = 0 мм, МПа.

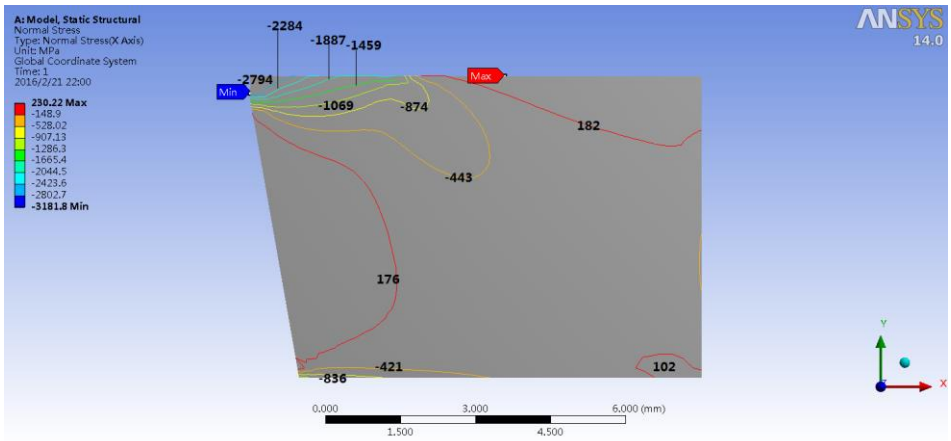


б) Распределение касательных напряжений при $h_з$ = 0 мм, МПа.

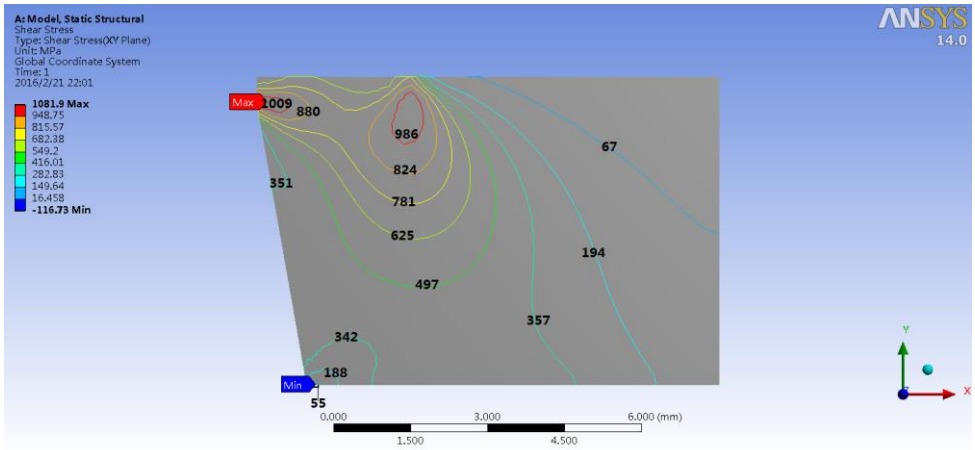


в) Распределение деформаций при $h_з$ = 0 мм, мм.

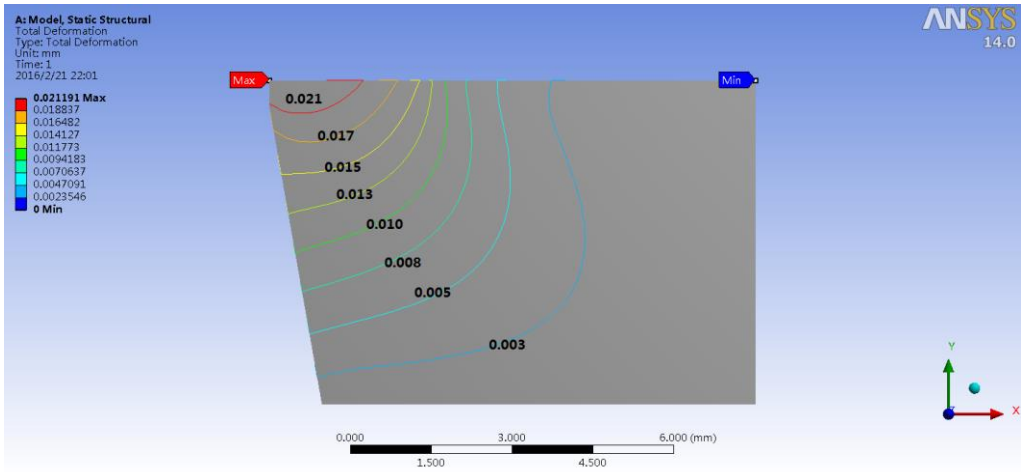
Рис. 6.12. НДС режущего клина при $h_з$ = 0 мм, ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об.



а) Распределение нормального напряжений при ширине искусственной фаски $h_з$ = 0,5мм, МПа.

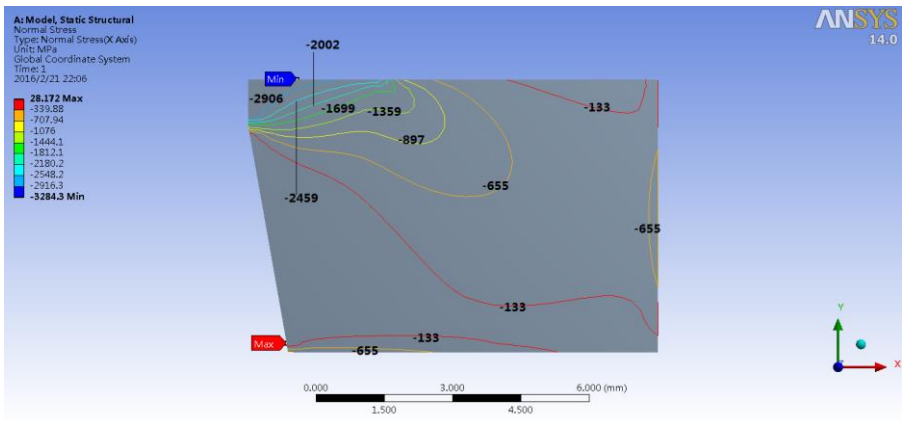


б) Распределение касательных напряжений при ширине искусственной фаски $h_з$ = 0,5мм, МПа.

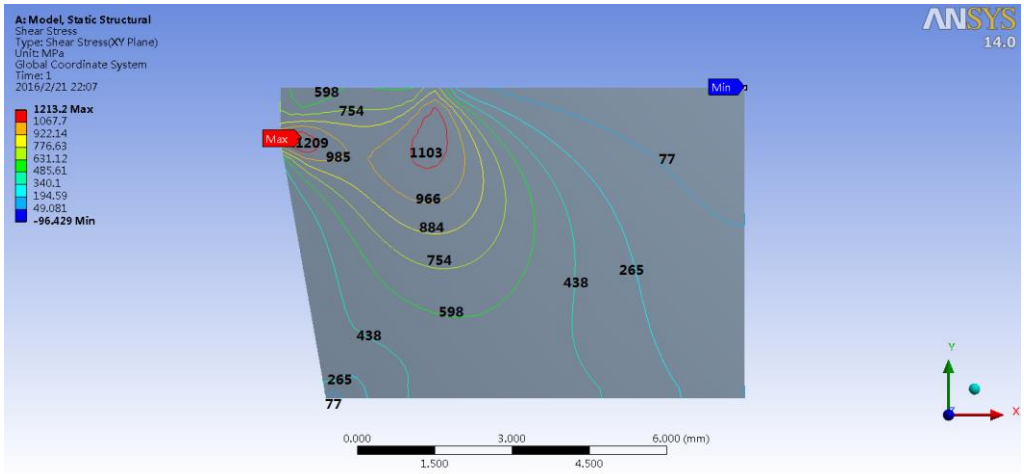


в) Распределение деформаций при ширине искусственной фаски $h_з$ = 0,5 мм, мм.

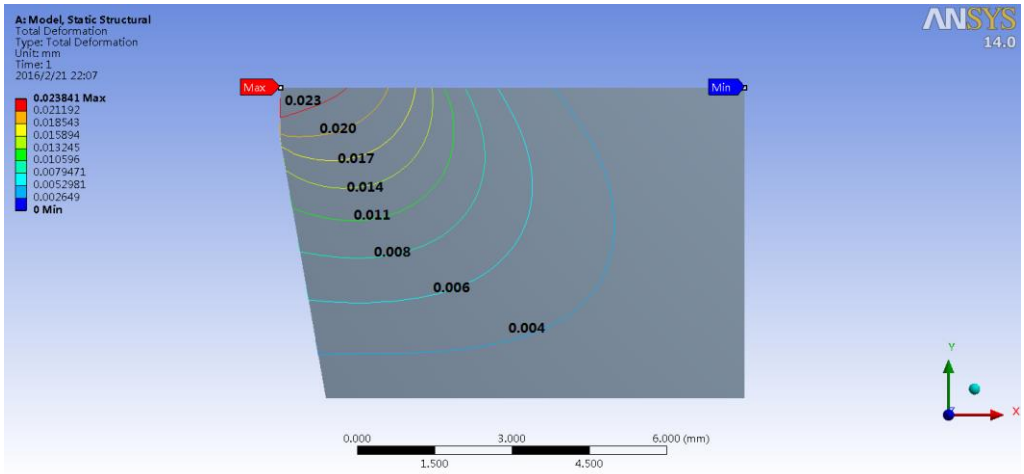
Рис. 6.13. НДС режущего клина при $h_з$ = 0,5 мм, ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об.



а) Распределение нормальных напряжений при ширине искусственной фаски



б) Распределение касательных напряжений при ширине искусственной фаски



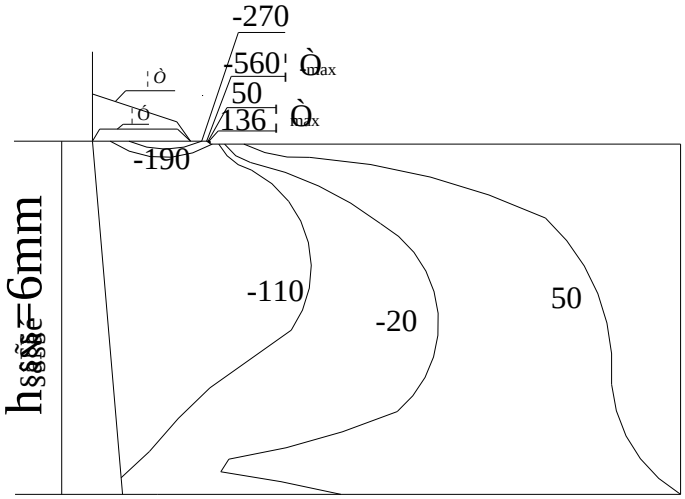
в) Распределение деформаций при ширине искусственной фаски $h_з$ = 1 мм, мм.

Рис. 6.14. НДС режущего клина при $h_з$ = 1 мм, ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об.

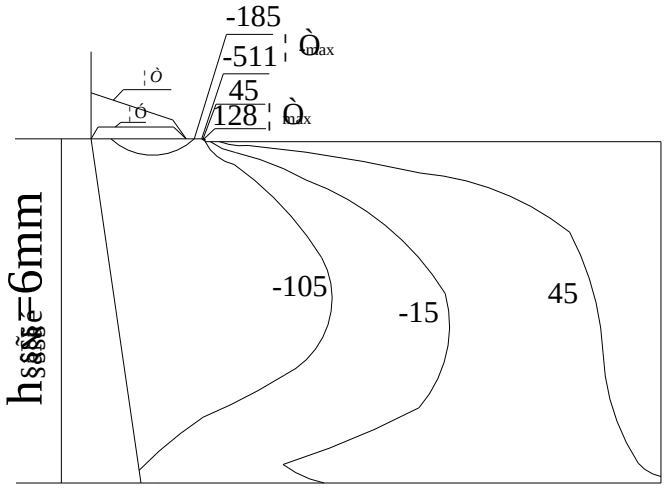
6.6. Влияние главного заднего угла режущей пластины на НДС режущего клина

При увеличении главного заднего угла инструмента прочность пластины уменьшается, но вместе с тем сила трения по задней поверхности тоже уменьшается, поэтому есть причины для исследования влияние главного заднего угла на НДС режущего клина.

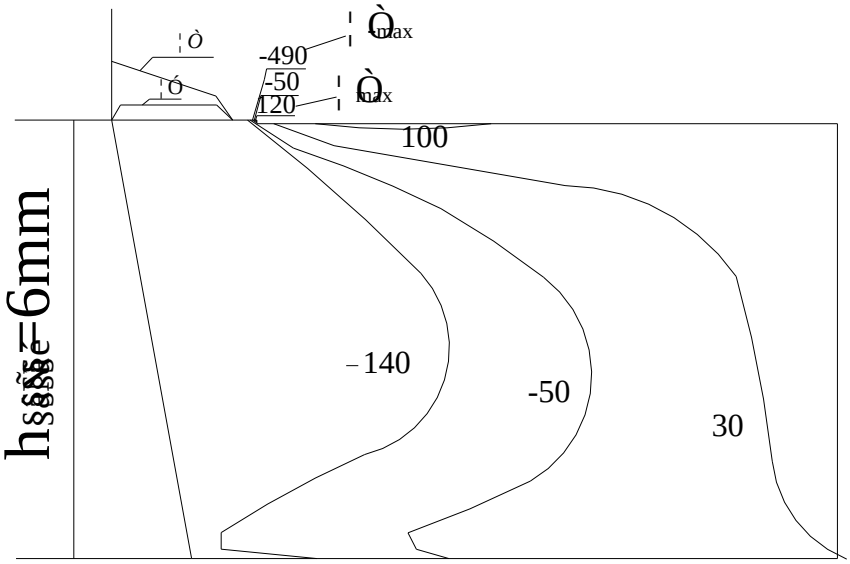
После моделирования в программе мы получали следующие результаты (рис.6.12, а,б,в,г):



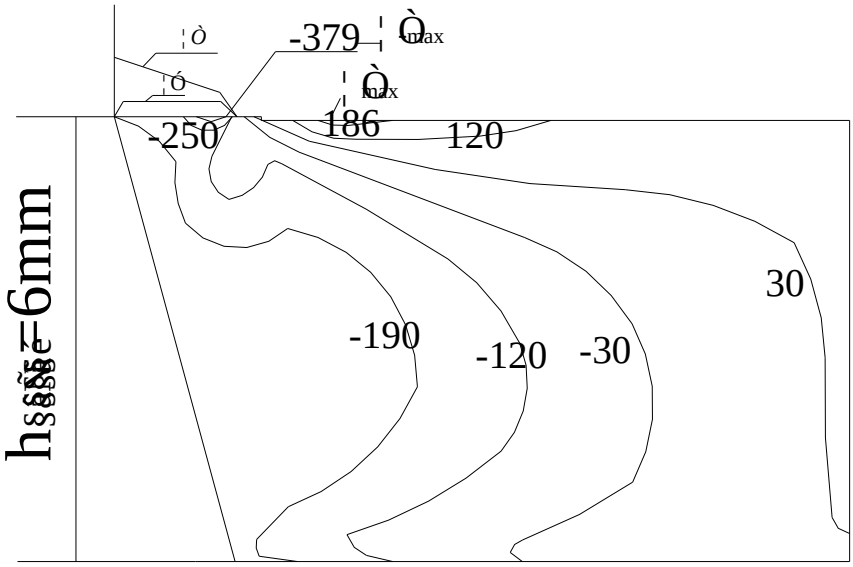
а) Распределение главного напряжения σ_3, МПа.
ВТ3-1 - ВК8, **α = 5°**, γ=0^0,V=60 м\мин, S= 0,21 м\об.



б) Распределение главного напряжения σ_3, МПа.
ВТ3-1 - ВК8, **α = 8°**, γ=0^0,V=60 м\мин, S= 0,21 м\об.



в) Распределение главного напряжения σ_3, МПа.
ВТ3-1 - ВК8, **α = 10°**, γ=0^0,V=60 м\мин, S= 0,21 м\об.



г) Распределение главного напряжения σ_3, МПа.
ВТ3-1 - ВК8, **α = 15°**, γ=0^0,V=60 м\мин, S= 0,21 м\об.

Рис.6.15, а,б,в,г. Распределение главного напряжения σ_3, МПа, при разных задних углах. ВТ3-1 – ВК8, γ=0°, v=1 м\с, s= 0,21 мм\об, $h_з$ =0 мм.

6.7. Влияние обрабатываемого материала на НДС режущего клина при оптимальных углах и режимах резания

При смене обрабатываемого материала, т.е. вместо титанового сплава ВТ3-1 будем обрабатывать сталь 45, то кроме силы и температура резания изменяются и каличества силы и температуры много по менише чем ранше, и также длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента изменяются, по измерение длину и выбираем средние, с1 = 1мм.

На основе нескольких экспериментов и просмотрем подробности мы можем расчтать и моделироавать распределение контактных нагрузок на переднй поверхности, как в следующий таблице 6-1 :

Таблица 6 - 1 распределения контактных нагрузок на переднй поверхности.

№ п/п	Расстояние от режущей кромки до начала участка, мм	Длина участка, мм	Величина среднего напряжения на этом участке, МПа
Распределение нормального контактного напряжения σ			
1	0	0,167	3200
2	0,167	0,083	3190
3	0,25	0,08	3190
4	0,33	0,17	3000
5	0,5	0,17	1800
6	0,67	0,16	1500
7	0,83	0,087	1350
8	0,917	0,083	1100
9	1	0	0
Распределение касательного контактного напряжения			
1	0	0,033	0
2	0,033	0,034	200
3	0,067	0,033	350
4	0,1	0,03	450
5	0,13	0,037	480
6	0,167	0,163	500
7	0,33	0,17	500
8	0,5	0,17	500
9	0,67	0,16	500
10	0,83	0,07	500
11	0,87	0,03	480
12	0,9	0,03	450
13	0,93	0,067	350
14	0,967	0,033	200
15	1	0	0

Потом создать изображение (рис.6.14) из группы данных точки, ось абсцисс является расстояние от режущей кромки (мм), а по оси ординат откладываем внешние напряжений (контактные нагрузки), МПа.

Рис.6.14. График распределения контактных нагрузок на передній поверхности

После расчету , мы получаем сил при заменить напряжений как в следующий таблице 6-2 :

Таблица 6 - 2 Выделение сил на задней и передней поверхности(единица: Ньютон).

	Передняя поверхность	Главная задняя поверхность
нормальная сила	8462	1536
Касательная сила	1804	384

Потом мы сдовали сил резания и делали моделирование с помощью программы ANSYS и получаем следующие результаты (рис.6.16):

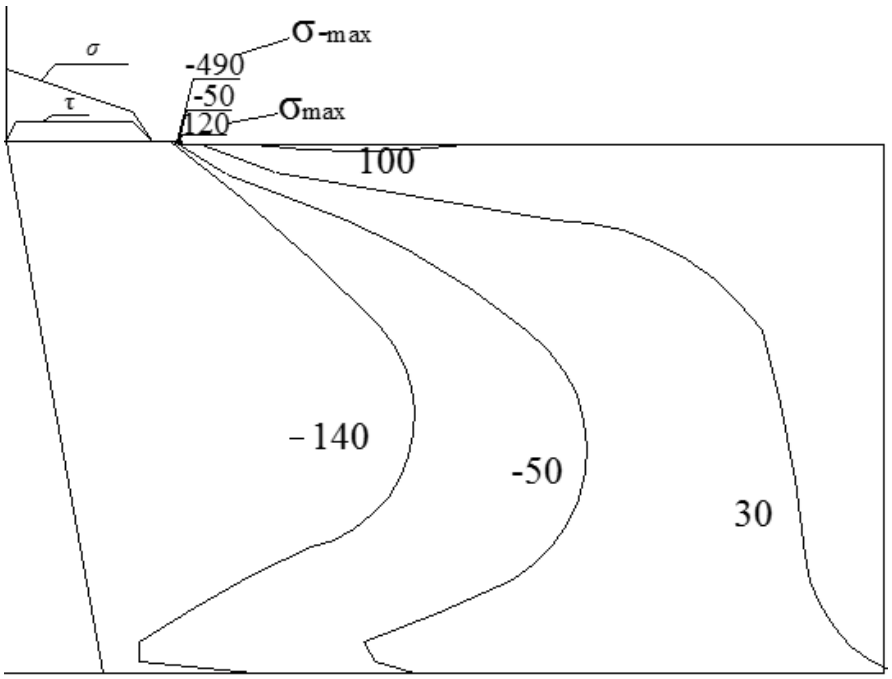


Рис.6.16. Распределение главного напряжения σ_3, МПа, в режущем клине. Сталь 45 - ВК8, h=6мм, $h_з$=0, α = 10°, γ=0^0,V=60 м\мин, S= 0,21 м\об.

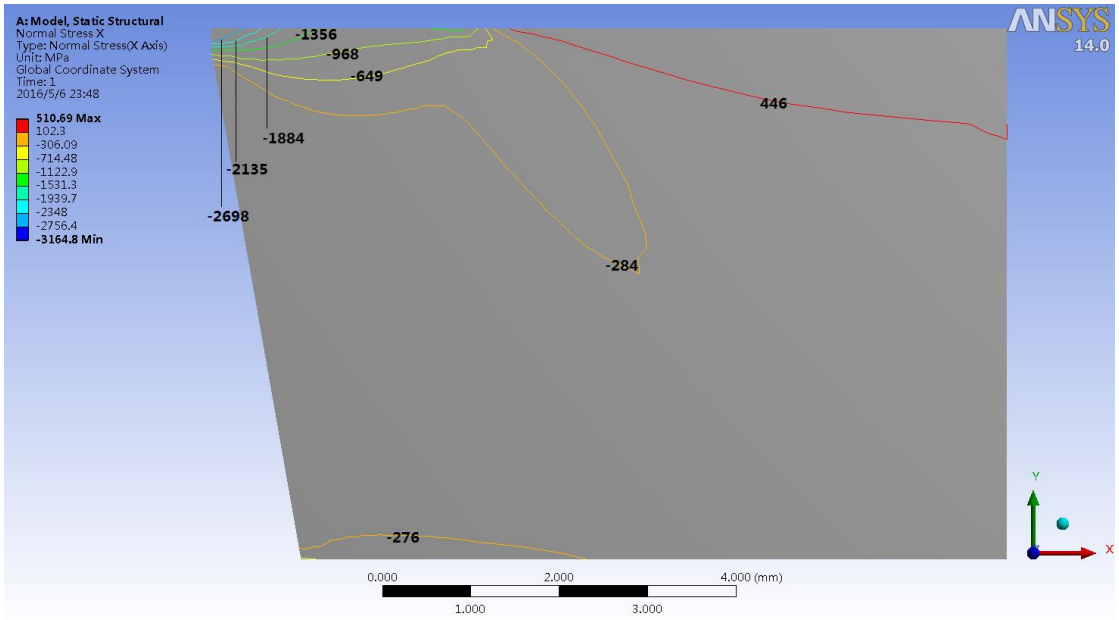
6.8. Влияние инструментального материала на НДС режущего клина

Для исследования влияния инструментального материала на НДС режущего клина мы можем в программе просто поменять величину модуля Юнга инструментального материала и его коэффициент Пуассона.

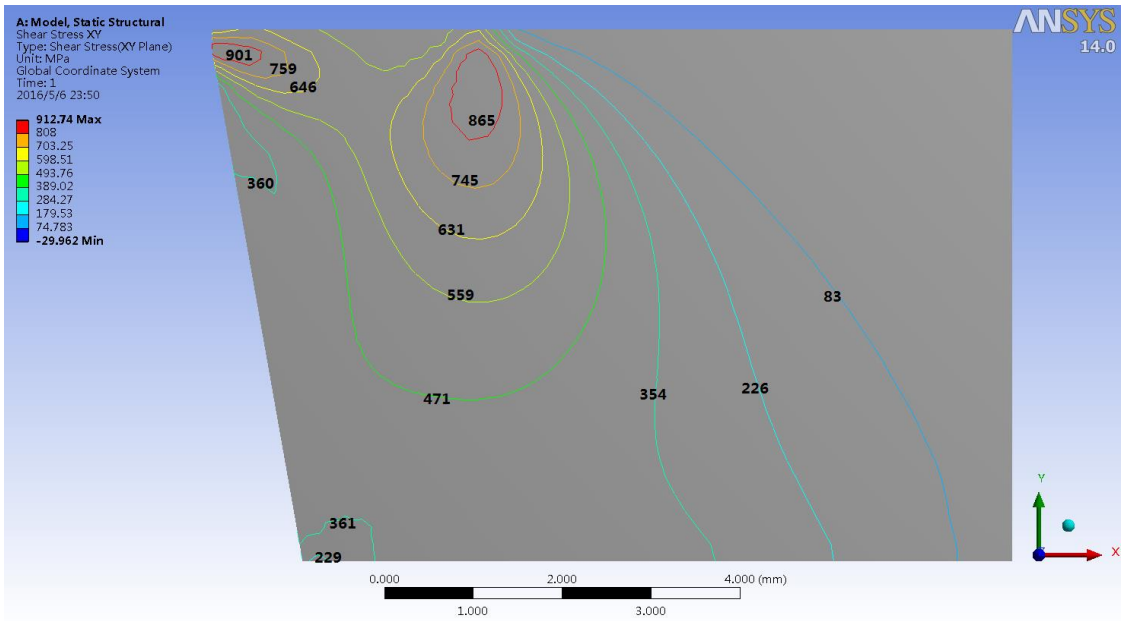
Для материала Р6М5 модуль Юнга E = 206 ГПа =$2\cdot10^{11}$ Па = 2e11 Па{2×10^11 Pa (N/m2)}, коэффициент Пуассона μ = 0,3. Предел прочности при растяжении $\sigma_в$=2780 МПа, предел прочности при сжатии $\sigma_{-в}$=5060 МПа, предел прочности при изгибе $\sigma_и$=3030 МПа, коэффициент теплопроводности λ=20 Вт/(м·К).

Для материала ВК8 модуль Юнга равен 5,3 - 6,05e11 Па, и коэффициент Пуассона μ = 0,2. Предел прочности при растяжении $\sigma_в$=780 МПа, предел прочности при сжатии $\sigma_{-в}$=3235-4380 МПа, предел прочности при изгибе $\sigma_и$ = =1320-1810 МПа, коэффициент теплопроводности λ=46-75 Вт/(м·К).

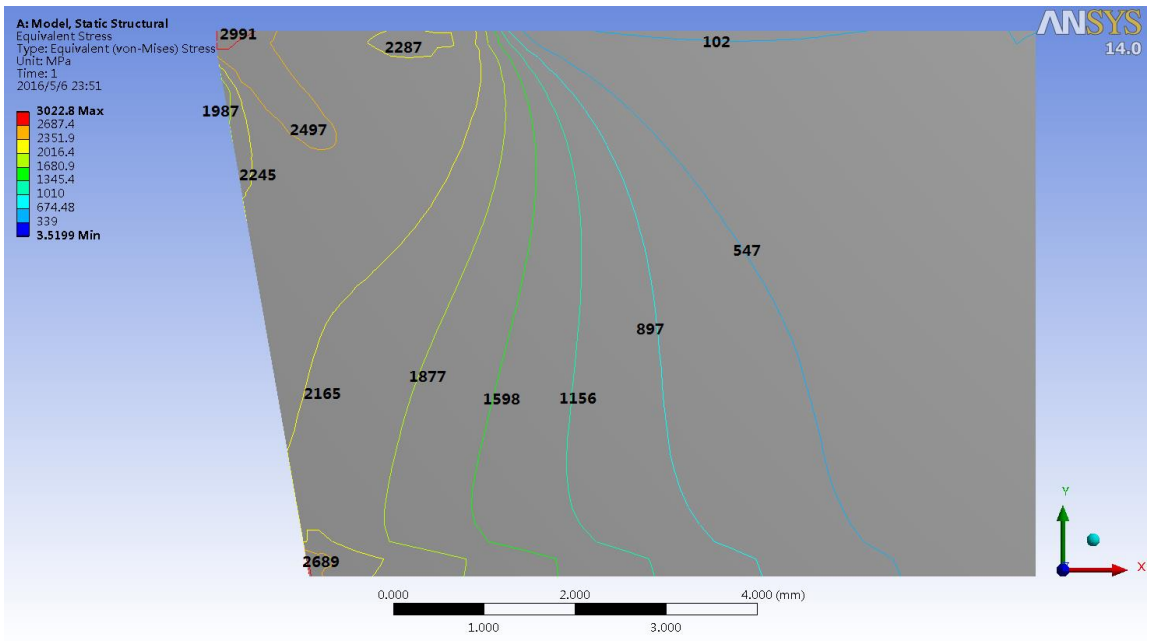
1) ВТ3-1 - ВК8, v = 60 м/мин, s = 0,21 мм/об, $\gamma = 0$ °, $h_з = 0{,}2$ мм.



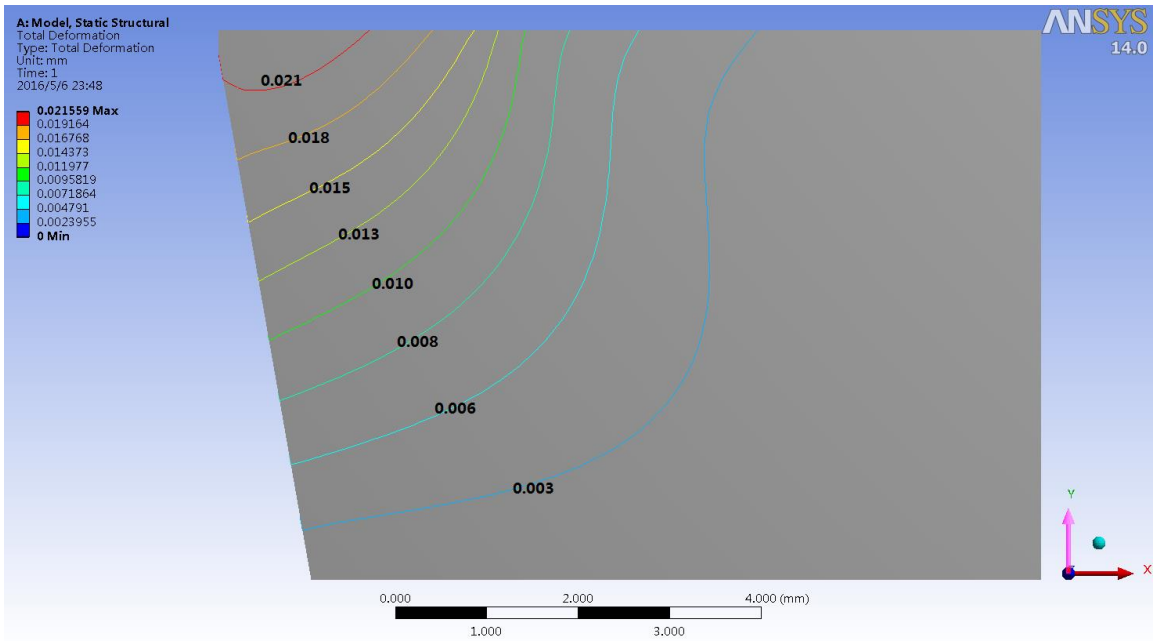
а) Распределение нормального напряжений, МПа.



б) Распределение касательного напряжений, МПа.



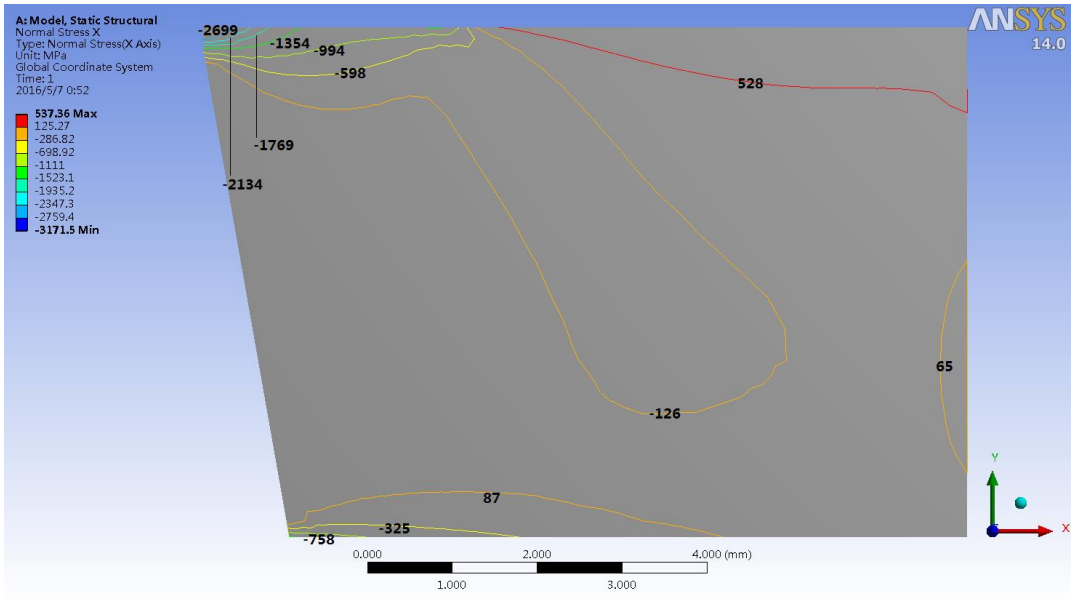
в) Распределение эквивалентного напряжений, МПа.



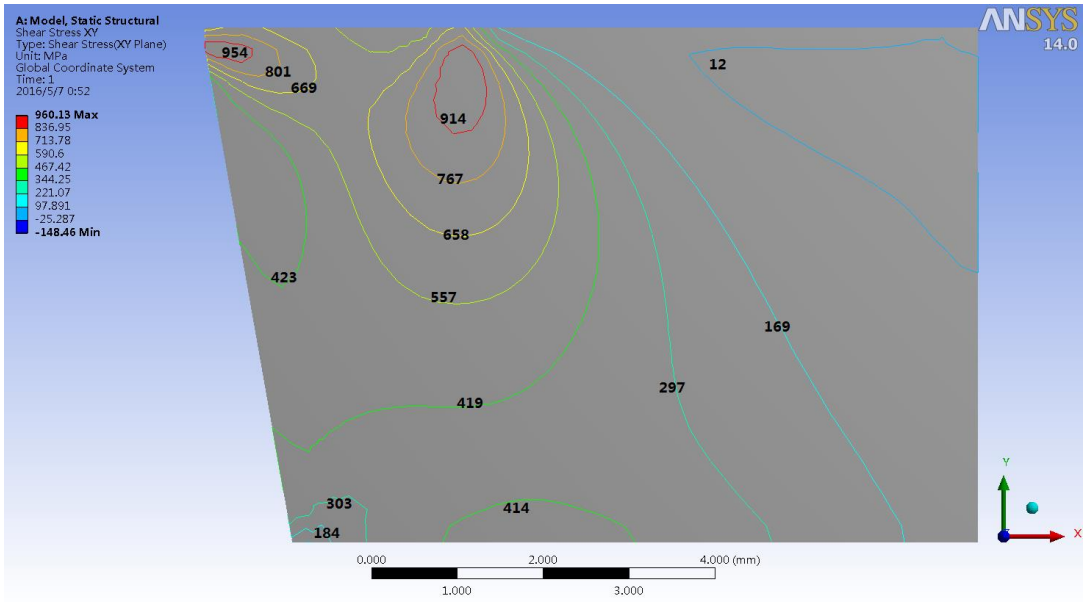
д) Распределение деформаций, мм.

Рис.6.17. Распределение главного напряжения σ_3, МПа, в режущем клине. ВТ3-1 - ВК8, h=6мм, $h_з$=0,2мм, α = 10°, $\gamma=0^0$,V=60 м\мин, S= 0,21 м\об.

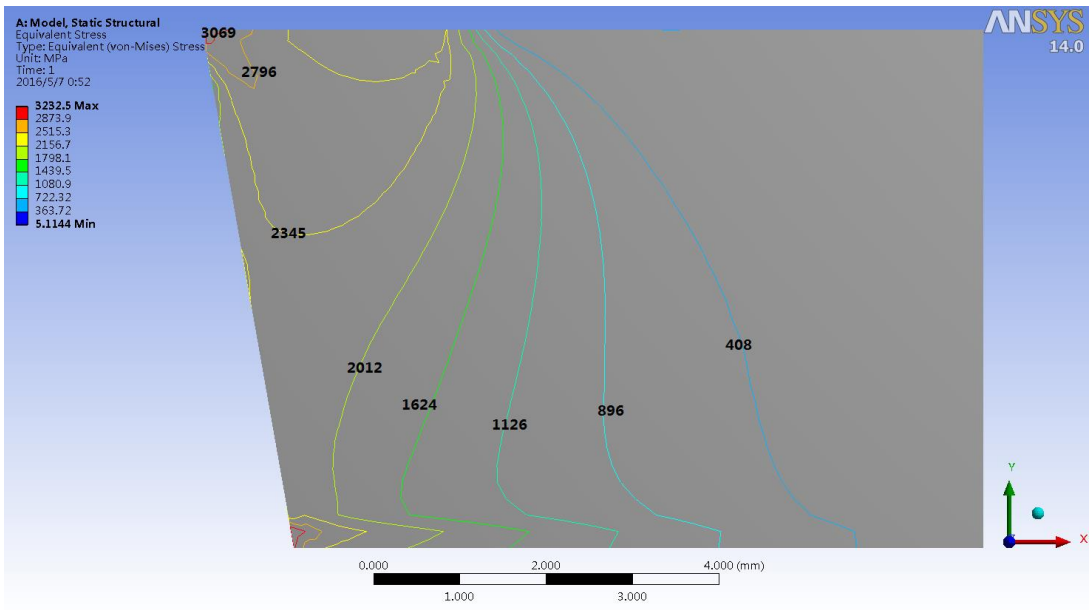
2) ВТ3-1 – Р6М5, h=6мм, $h_з$=0, α = 10°, γ=0^0, внешние нагрузки такие же, что и при обработке твёрдым сплавом



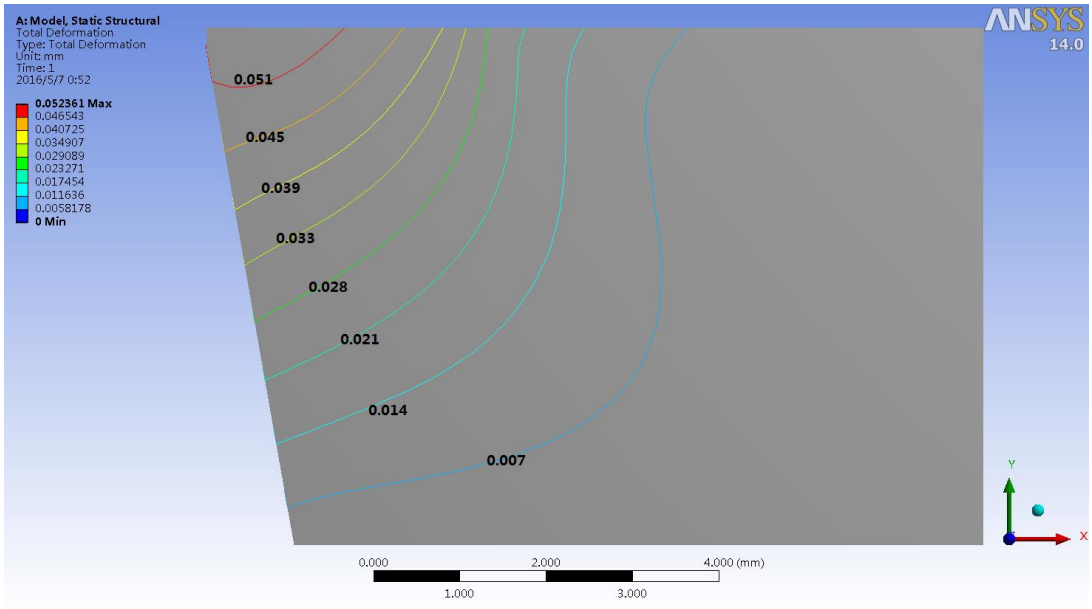
а) Распределение нормального напряжений, МПа.



б) Распределение касательного напряжений, МПа.



в) Распределение эквивалентного напряжений, МПа.



г) Распределение деформаций, мм.

Рис.6.18. Распределение главного напряжения σ_3, МПа, в режущем клине. ВТ3-1 – Р6М5, h=6мм, $h_з$=0,2мм, α = 10°, $\gamma=0^0$, внешние нагрузки такие же, что и при обработке твёрдым сплавом

6.9. Выводы.

1. Для моделирования внешних нагрузок можно использовать равномерное распределение контактных нагрузок.

2. При обработке титанового сплава ВТ3-1 режущей пластиной с толщиной менее 5 мм у главной режущей кромки возникают большие сжимающие напряжения, превышающие предел прочности твёрдого сплава на сжатие, что приводит к выкрашиванию главной режущей кромки.

3. При обработке титанового сплава ВТ3-1 режущей пластиной с толщиной менее 5 мм на передней и нижней (опорной) поверхности режущей пластины возникают растягивающие напряжения, приближающиеся к пределу прочности твёрдого сплава на растяжение, что увеличивает вероятность поломки режущей пластины.

4. В наибольшей степени толщина режущей пластины влияет на величину наибольшего сжимающего напряжения в режущем клине при толщине менее 7 мм.

5. Округление режущей кромки сопровождается появлением на задней поверхности непосредственно у режущей кромки зоны с растягивающими напряжениями, превышающими предельно допустимые. Выкрашивание в этой области приводит к появлению отрицательного угла наклона фаски задней поверхности. В остальном округление режущей кромки благоприятно сказывается на напряженном состоянии режущего клина, т.е. σ_3 уменьшается по абсолютной величине.

6. Оптимальной геометрией инструмента для обработки титановых сплавов следует считать: передний угол $\gamma = -10^0$, задний угол $\alpha = 15$ °, режущая пластина толщиной 6 мм, приработка по задней поверхности $h_з$=0,01-0,05 мм, инструментальный материал – ВК8.

По теме работы опубликованы статьи и тезисы докладов на конференциях

1. Хуан Ч., Чжан Ц., Лещинер Е.Г., Козлов В.Н. Прочность режущих пластин при обработке титанового сплава / Профессиональное образование: проблемы и достижения: Материалы V Международной научно-практической конференции (15–17 декабря 2015 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2015, с. 59-65.

2. Zhang J., Kozlov V.N. Strength of Cutting Tool in Titanium Alloy Machining / Key Engineering Materials Submitted: 2015-07-03,ISSN: 1662-9795, Vol. 685, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.685.427, Trans Tech Publications, Switzerland, 2016, p. 427-431.

3. Хуан Ч., Чжан Ц., Лещинер Е.Г., Козлов В.Н. Расчёт прочности режущих пластин при обработке титанового сплава / Актуальные проблемы в машиностроении: Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении» (30 марта 2016 г.) – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2016, с. 59-65.

4. Цуй Ц., Хуан Ч., Чжан Ц., Козлов В.Н. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента / Наука и образование: Материалы XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (18-22 апреля 2016 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2016, с. 69-75.

Участие в конференциях с докладом:

- The 4-th International scientific and technical conference “High Technology: Research and Applications 2015” (HTRA-2015), HTRA conference, April 21-24. 2015, Томск. Доклад «Strength of Cutting Tool at Titanium Alloy Machining». Kozlov Victor, Zhang Jiayu
- IX International scientific and practical conference “Mechanical Engineering, Automation and Control Systems” (MEACS-2015), MEACS conference,

December 1-2. 2015. Томск. Доклад: “Strength of inserts in titanium alloy machining”. V. Kozlov, Z. Huang, J. Zhang

- XX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование», 18-22 апреля 2016 г., ТГПУ, г. Томск. Диплом 2 степени**.** Доклад Цуй Ц., Хуан Ч., Чжан Ц. (научный руководитель Козлов В.Н.) «Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента».

Приложение в:

Обзор научно-технической литературы на английском языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Чжан Цзяюй		

Консультант кафедры ТАМП:

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Степура С.Н.	к.ф.н.		

7.Strength of Cutting Tool in Titanium Alloy Machining

Abstract: In this paper contact conditions between cutting tool and work material, strength of cutting tool are analyzed. Experimental and theoretical studies of contact load distribution on the artificial flank wear-land that appears on the cutter in a free orthogonal turning disk of titanium alloy (Ti-6Al-2Mo-2Cr) are described. Calculations of internal stresses by the method of finite elements show that for the sharp cutter, the main stresses into cutting wedge (near to the cutting edge) belong to the compression stresses, which have a large amount (10 000 MPa) and exceed ultimate compression stress for cemented carbide. Increase the main stress with appearance of wear on the flank explains ability working of cutter even at large wear on the flank. Increase the cutter's break off probability with appearance of large wear on the flank is explained by reducing zone where the internal stresses are large enough (more or equal 3 000 MPa) and increase of defects probability into this zone, which serves as source of cracks.

Abbreviation and symbols: m/s – meter per second (cutting speed v); mm/r – millimeter per revolution (feed rate f); MPa – mega Pascal (specific contact load as stress σ or τ); h_f – the width of the flank wear land (chamfer) of the cutting tool, flank wear land can be natural or artificial like in this paper [mm]; x_h – distance from the cutting edge on the surface of the flank wear land [mm]; σ_h – normal specific contact load on the flank land [MPa]; τ_h – shear (tangential) specific contact load on the flank land [MPa]; HSS – high speed steel (material of cutting tool); $P_{y\,r}$ – radial component of cutting force on the rake face [N]; P_z – tangential component of cutting force [N]; γ – rake angle of the cutting tool [°]; α – clearance angle of the sharp cutting tool [°]; α_h – clearance angle of the flank wear land [°]; b – width of a machined plate or disk [mm]; σ_{-UTS} - ultimate compression stress [MPa]; σ_{UTS} - ultimate tensile stress [MPa].

Introduction:

The wear of cutting tool is the wear of the cutting wedge, and takes place: 1) on the face near the cutting edge, 2) on the cutting edge, 3) on the flank (Fig. 1). A wear with a groove of a length c_c and a depth h_c (Fig. 1) on the face of the tool causes the chip to coil up tightly and break off readily but the wear extends the groove and can cause the destruction of the cutting edge. Generally a wear groove is not dangerous and even reduces cutting force.

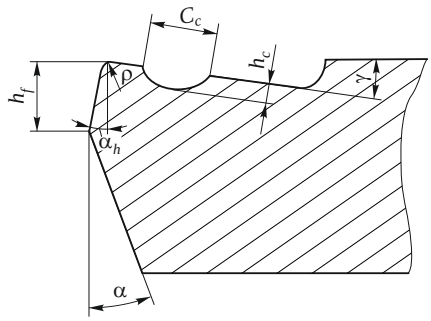


Fig. 1. Cutting wedge wear

The wear on a cutting edge causes the roundness ρ of the cutting edge and increases the cutting force which results in the increase of heat, which in turn leads to the destruction of the cutting edge. The wear on the flank h_f has the same results but it increases faster than the wear of the cutting edge and that is why it is more dangerous. Generally, the wear on the flank is estimated by the length of the wear h_f and with clearance angle α_h (ordinary $\alpha_h \approx 0$ °) which limits the wear for cemented carbide tool about 0.25 mm for a finishing cut and 0.75 mm for a heavy cut. The machining of titanium alloy parts causes very intensive wear on the flank h_f due to very small heat conductivity of titanium alloys and h_f reaches 2.5…5 mm [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] but even with this great value, it is not understandable that cutting tools can still work.

Research Methods of Contact Load Distribution

The rational use of cutting tools is impossible without the knowledge of some physical phenomena which occur in cutting. Contact processes which take place on the contact surfaces between tool, chip and work material are the most important. Data obtained could be considered as the basis for both determining cutting wedge strength and analyzing tool wear.

Most of the investigations on contact load distribution have been made using the optical polarization method. The limits in the usage of the optical polarization method are as follows.

1. Low strength of the tool made of optically-active plastics does not allow to perform experiments with materials of higher strength than lead.

2. Low thermal durability of plastics put significant limit to the accessibility of the cutting temperature range.

3. The properties of lead as the material for simulating cutting process differ much from those of the industrial tool material.

Essentially, greater opportunities are provided with the "sectional tool" method. This method involves to use of the composite tool (Fig. 2) for the research of contact load distribution on the rake surface of a cutter: parts A and B of this tool are separated within tool-chip contact length with the slit *1* thus preventing their force interaction. The forces N_B and F_B are separated by the part B independently on the part A of the dynamometer and are recorded in a computer.

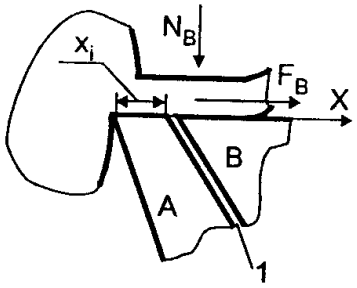


Fig. 2. "Sectional tool" principle of action for research of contact load distribution on the rake surface of a cutter

By measuring the distance between slit and cutting edge, one could obtain the functions $N_B(x)$ and $F_B(x)$. Then, the simple derivative of these functions will produce the equation of contact loads:

$$\sigma_N(x) = \frac{1}{b_1}\frac{dN_B}{dx}; \qquad \tau_F(x) = \frac{1}{b_1}\frac{dF_B}{dx}.$$

Where x is a distance from the cutting edge to the area of measurement on the rake surface, b_1 – is a width of chip contact with the rake surface.

Similar to the above described research of contact load distribution on the flank-land of the cutter is carried out again. In this case, the problems in performing the measurements in the points near the cutting edge are detected due to the

insufficient rigidity of the part A. As previously noticed, these problems could be overcome by measuring the total forces *N* and *F* acting on the tool. In this case the method of variable flank wear width has been applied. It involves analyzing the relationships between flank wear width and forces acting on the flank wear including their further derivation.

Preparation for Experimental Study of Contact Load Distribution

To study the reasons of intensive wear of the cutting tool on the flank surface in the machining of titanium alloys, an experimental research of normal σ_h and tangential τ_h contact loads distribution on the artificial flank wear-land of the cutter (as a model of a natural flank wear land) were executed in free orthogonal turning of a disk from an intractable (difficult-to-machine) titanium alloy BT3-1 (Ti-6Al-3Mo-2Cr-0.3Si) with radial feed rate f by the method of “sectional tool” and by the method of variable width of the artificial flank land near the cutting edge [1].

The width b of the disk was equal to 4 [mm], the diameter of the disk was changed from 250 to 180 [mm] in the process of turning. We tried to use the inconsiderable change of the disk diameter (no more than 10 [mm]) in the same series of experiments. The material of the cutter was cemented carbide BK8 (WC-8Co), rake angle γ was equal to 0 °, clearance angle α=10 º. The artificial flank- land (chamfer) was with width h_f = 1.8 mm and with clearance angle α_h = 0 ° which was provided by its grinding (sharpening). Radial feed rate f [mm/r], for free orthogonal cutting of the disk was equal to the thickness of the layer being removed a, mm; that is a= f [mm].

The width of the artificial flank wear-land (chamfer) of the cutter h_f was measured by means of a toolhouse microscope. The length of the artificial flank wear land was accepted as equal to the width of the disk b, since ordinary wear of a cutting tool occurs along the cutting edge of the work part and it is usually longer than in a cross directional position.

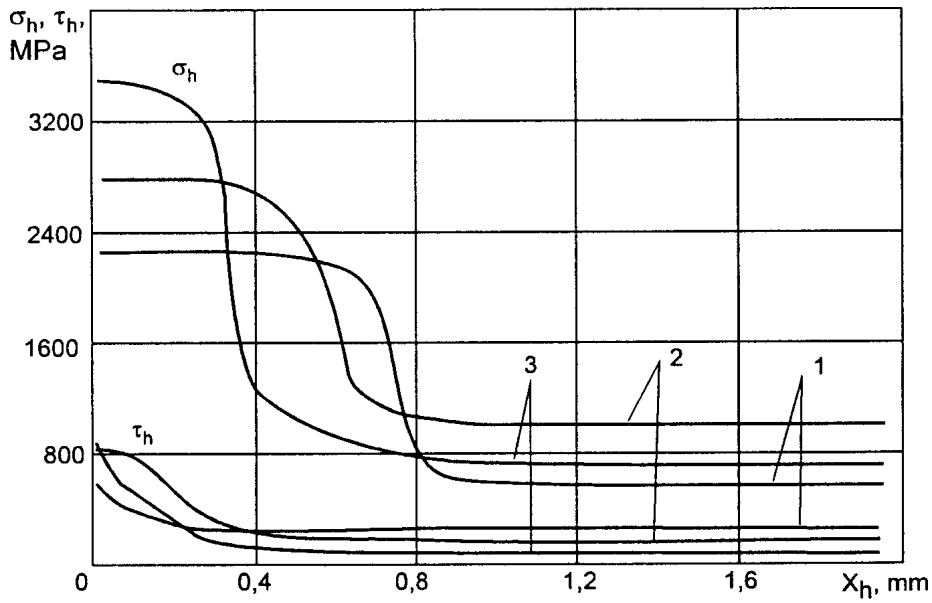


Fig. 3. The distribution (epures) of normal σ_h and tangential τ_h contact loads on an artificial wear flank land of the cutter in titanium alloy cutting. Ordinate – normal specific contact load σ_h [MPa] and tangential specific contact load on a flank land τ_h [MPa]; abscissa – distance from the cutting edge on the surface of flank land x_h [mm]. BT3-1 - BK8, γ=0 º, α_h = 0 º, α = 10 º, v=1 [m/s]: 1 - f=0.11 [mm/r]; 2 - f=0.21 [mm/r]; 3 - f=0.41 [mm/r]

Results of Experiments

Investigations of flank contact load distribution in turning of a titanium alloy show the greatest value of a normal specific load ($\sigma_{h\,max}$) near the cutting edge (Fig. 3, left hand) due to the elastic recovery of the transient surface at the moment of chip elements separating from the work piece, but then σ_h is decreased far from the cutting edge. It may be due to the contact layer softening.

Distribution of Internal Stresses into Cutting Wedge

Calculations of internal stresses by the method of finite elements show decreasing of main stress σ_3 into cutting wedge far from cutting edge (Fig. 4).

For the sharp cutter the main stresses σ_3 in the cutting wedge near to the cutting edge (Fig. 4, *a*) are compression stresses, very large and exceed ultimate compression stress for cemented carbide BK8

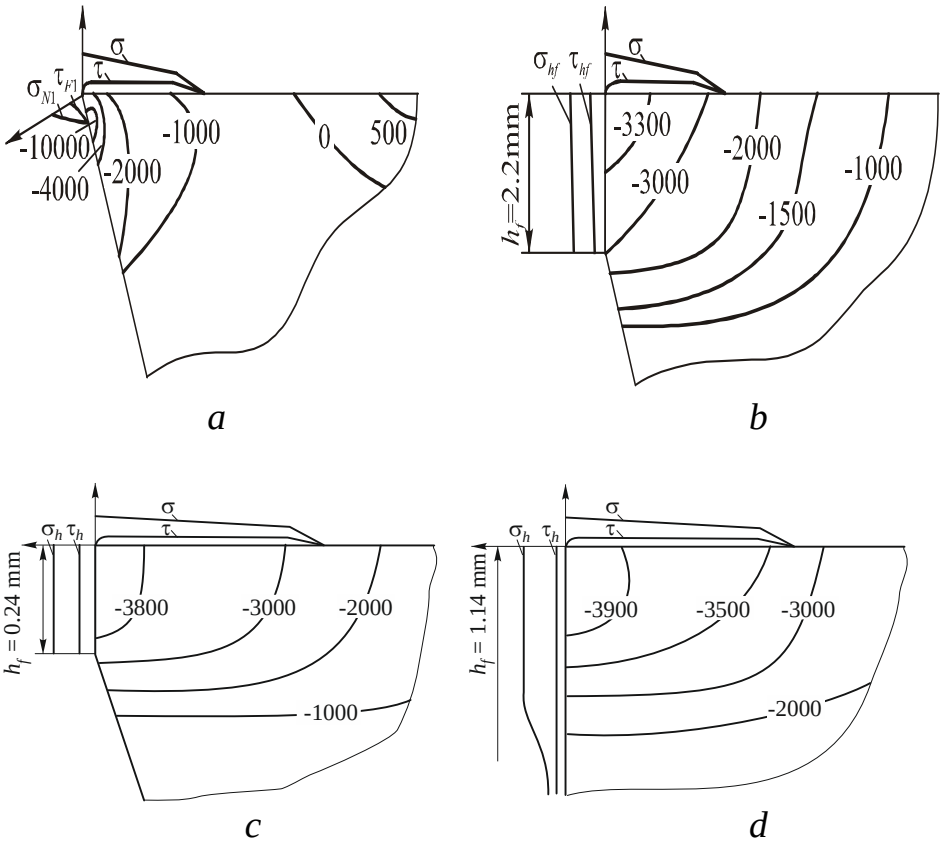


Fig. 4. Distribution of internal stresses σ into cutting wedge in turning the titanium alloy disk BT3-1 by the cemented carbide cutter BK8. BT3-1 - BK8, γ=0 º, α_h = 0 º, α = 10 º, v=1 [m/s]: *a* – without flank wear-land; *b* – h_f = 2.2 [mm], f = 0.21 [mm/r]; *c* – h_f = 0.24 mm, f = 0,41 [mm/r]; *d* – h_f = 1.14 [mm], f = 0,41 [mm/r]

(σ_3 =10 000 MPa > σ_{-UTS} = 4 200 MPa) that explains the intensive increasing of cutting edge and appearance of wear on the flank. Tensile stresses are observed in the cutting wedge on the distance three-length of contact chip with rake surface from the cutting edge, they are large enough and approach the ultimate tensile stress for cemented carbide BK8 (σ_1 =500 MPa → σ_{UTS} = 780 MPa) that explains the break off of the sharp cutters.

Increase of main stress σ_3 (σ_3 = 3300-3 900 MPa) (Fig. 4, *b*, *c*, *d*) with appearance of wear on the flank explains the ability of the workability of the cutter even at a large wear on the flank (h_f = 1.14 mm) (Fig. 4, *d*). Due to the additional

pressure from the flank-land, the tensile stresses on the rake surface are disappeared in comparison with the sharp cutter (Fig. 4, *a*) that explains the increase in reliability of cutters, working after small wear out on the flank land ($h_f \leq 0.25$ mm) [6].

Increase of the probability of the tool breakage with appearance of large wear on the flank ($h_f > 0.75$ mm) ,we achieve this by increasing of zone where the internal stresses are large enough ($\sigma_3 > 3\ 000$ MPa). That results to increasing of defects probability into cutting wedge, which serve as source of cracks.

Increase of main stress σ_3 ($\sigma_3 = 3300\text{-}3\ 900$ MPa) (Fig. 4, *b, c, d*) with appearance of wear on the flank explains the ability of the workability of the cutter even at a large wear on the flank ($h_f = 1.14$ mm) (Fig. 4, *d*). Due to the additional pressure from the flank-land, the tensile stresses on the rake surface are disappeared in comparison with the sharp cutter (Fig. 4, *a*) that explains the increased in reliability of cutters, working after small wear out on the flank land ($h_f \leq 0.25$ mm) [6].

Increase of cutter's break off probability with appearance of large wear on the flank ($h_f > 0.75$ mm) we explain this by increasing of zone where the internal stresses are large enough ($\sigma_3 > 3\ 000$ MPa). That results to increasing of defects probability into cutting wedge, which serve as source of cracks.

Conclusion

1. The character of normal contact load on the flank wear land depends on type of chip and it is connected with a sag of the transient surface under the action of rake face force P_{yr} .

2. For discontinuous chip the greatest value of normal contact load on the flank land is near the cutting edge because of the transient surface recovery in the cutting edge region at the moment of chip elements separating from a workpiece.

3. For the sharp cutter the main stresses into cutting wedge near to the cutting edge are compression stresses, very large (10 000 MPa) and exceed ultimate compression stress for cemented carbide.

4. Appearance of wear land on the flank of cutter decreases the main stresses near the cutting edge and explains ability working of cutter even at large wear on the flank.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ41	Чжан Цзяюй

Институт	Кибернетики	**Кафедра**	ТАМП
Уровень образования	Магистратура	**Направление/специальность**	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Стоимость материалов 2.Заработная плата руководителя проекта 3.Заработная плата исполнителя проекта 4.Отчисления во внебюджетные фонды 5.Прочие расходы
Нормы и нормативы расходования ресурсов	1.Нормы рабочего времени выполнения проекта
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1.Отчисления во внебюджетные фонды 30%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1.Оценка конкурентоспособности проекта
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1.Планирование и расчет бюджета проекта
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1.Определение эффективности и перспектив научного исследования
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей):*	
1. Сегментирование рынка 2. Оценка конкурентоспособности технических решений 3. График проведения и бюджет НТИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Ю.И.	——		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Чжан Цзяюй		

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

Задачи раздела:

– Оценить конкурентоспособности проекта

– Составить план реализации проекта

– Рассчитать затраты на проект

– Оценить эффективность проекта

Предпроектный анализ

8.1.1.Потенциальные потребители результатов исследования

Режущий инструмент является самым важным фактором в повышении производительности обработки, от его качества будет зависеть экономическая эффективность производства, точность и качество обработки деталей.

Сегментирование приложения резца можно смотреть по следующие направлениям:

1) Мелкие заводы
2) Большие заводы
3) Институт
4) Домашнее хозяйство
5) Колледжей и ВУЗов

Тема исследования это прочности резца при резание обработки титанового сплава. Поэтому сегментирование рынка услуг по области прменения разделяется на следующих частях,как в таблице 1.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка услуг по области применения резца

		Область применения резца				
		Мелкие заводы	**Большие заводы**	**Институт**	**Домашнее хозяйство**	**Колледжей и ВУЗов**
Размер потребителей	Крупные	A	C	C	A	C
	Средние	B	D	AB	B	B
	Мелкие	C	AB	D	C	D

Где: A - целые; B - варочные ; C - сборочные; D - фасоные.

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг по области применения типов резца заняты конкурентами или где уровень конкуренции высок.

8.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Технология *QuaD* (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 1.2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 1.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Макси-мальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3х2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Уровень шума и температуры выполненной работа	0.2	100	100	1	20
2. Уровень безопасности исследования	0.1	80	100	0.8	8
3. Потребность в ресурсах памяти ПО ANSYS	0.05	60	100	0.6	3
4. Функциональная исполнение неопределенности	0.1	60	100	0.6	6
5. Простота эксплуатации метода неопределенность	0.1	75	100	0.75	7.5
6. Возможность использования с любым другим ПО на базе еопределенности	0.05	90	100	0.9	4.5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Перспективность рынка	0.05	60	100	0.6	3
8. Цена	0.05	70	100	0.7	3.5
9. Финансовая эффективность научной разработки	0.15	80	100	0.8	12
10. заплат развития научных исследования	0.15	75	100	0,75	11,25
Итого	1				77,45

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum В_i \cdot Б_i , \qquad (2)$$

где $П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$В_i$ – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – средневзвешенное значение *i*-го показателя.

$$П_{ср} = 77.45$$

8.1.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 1.3

Таблица 1.3 – Оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

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

12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	53	50

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

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

$$Б_{сум} = \sum Б_i \ , \qquad (2)$$

где $Б_{сум}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$Б_i$ – балл по i-му показателю.

Значение $Б_{сум}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $Б_{сум}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность

средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки делается вывод: исследования прочности резца при резания обработки титанового сплава имеет перспективность выше среднего.

8.2. Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

8.2.1. Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научный руководитель	Выявить причины поломки инструмента при точении титанового сплава
Инженер	Определить оптимальную геометрию режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке титанового сплава

В табл. 2.2 необходимо представить информацию об иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 2.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Определить напряженно-деформированное состояние токарного резца при точении титанового сплава методом конечных элементов
Ожидаемые результаты проекта:	Исследовать прочность токарного резца при точении титанового сплава методом конечных элементов, его напряженно-деформированное состояние, выявить причины поломки инструмента, определить оптимальную геометрию режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке титанового сплава

Критерии приемки результата проекта:	Получение и проверяние результаты работы и обсуждение по исследованию инструментов при разном характере распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента (сосредоточенная нагрузка, равномерно распределённая, распределённая по установленному (выявленному) закону
Требования к результату проекта:	**Требование:**
	1) Сил резания на передней и задней поверхностях
	2) Температуры резания и распределения температуры в режущем клине
	3) Распределения контактных нагрузок (напряжений) на рабочих поверхностях инструмента
	4) Распределения внутренних напряжений в режущем клине
	5) Оценка прочности режущего инструмента

8.2.2. Ограничения и допущения проекта

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

Таблица 2.3 – Ограничения проекта

Фактор	**Ограничения/ допущения**
1. Бюджет проекта	Не более 120000 руб.
2.Источник финансирования	Кофедра ТАМП
3. Сроки проекта:	2 года
4.Дата утверждения плана управления проектом	16.09.2014
5. Дата завершения проекта	10.06.2016
6.Прочие ограничения и допущения	Современное оборудование и аппаратура

8.3. Планирование управления научно-техническим проектом

8.3.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения

хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже.

Таблица 3.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения (пример)

Этапы работы	**Исполнители**	**Загрузка исполнителей**
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 70% И – 30%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 70%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 90% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 70%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 30% И – 70%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 20% И – 80%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 40%

8.3.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами,

то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \qquad (3.1\text{-а})$$

$$t_{ож} = \frac{t_{\min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{\max}}{6} \qquad (3.1\text{-б})$$

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

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

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 3.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

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

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \qquad (3.2)$$

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

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

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \qquad (3.3)$$

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

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

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \qquad (3.4)$$

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

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

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

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

В таблице 3.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3−5) реализован экспертный способ по формуле (3.1-а), при использовании формулы (3.1-б) необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob}. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_{Д} = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее

значение $t_{ож}*K_{Д}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $Т_К$ (здесь оно равно 1,212). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $Т_{КД}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в табл. 3.3.

Таблица 3.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Постановка задачи	НР	1	3	1.8	2.16	–	2.6028	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,4	2,88	0,29	3,5	0,35
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7	10	8.2	2.95	9.84	3.56	11.86
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	2.4	2.88	0.29	3.47	0,35
Обсуждение литературы	НР, И	3	5	3.8	1.37	4.56	1.65	5.49
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	6	12	8.4	10.08	7.056	12.15	8.50
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	6	10	7.6	9.12	7.296	10.99	8.792
Расчет принципиальной схемы устройства	И	7	12	9	–	10.8	–	13.01
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	5	8	6.2	–	7.44	–	8.97
Оформление графического материала	И	3	6	4.2	–	5.04	–	6.07
Подведение итогов	НР, И	6	8	6.8	4.896	8.16	5.90	9.83
Итого:				**60.8**	**36.336**	**60.772**	**43.823**	**73.22**

Таблица 3.3 – Линейный график работ (пример)

Этап	**НР**	**И**	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**
1	2.603	–											
2	3.5	0.35											
3	3.56	11.86											
4	3.47	0.35											
5	1.65	5.49											
6	12.15	8.5											
7	10.99	8.792											
8	–	13.01											
9	–	8.97											
10	–	6.07											
11	5.90	9.83											

НР – ;

8.3.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- ТРобщ. – общая трудоемкость проекта;
- ТРi (ТРk) − трудоемкость i-го (k-го) этапа проекта, $i = \overline{1,I}$;
- ТРiН − накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;
- ТРij (ТРkj) − трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь $j = \overline{1,m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере m = 2.

Степень готовности определяется формулой (3.5)

$$\text{СГ}_i = \frac{\text{ТР}_i^{\text{Н}}}{\text{ТР}_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^{i} \text{ТР}_k}{\text{ТР}_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^{i}\sum_{j=1}^{m} \text{ТР}_{km}}{\sum_{k=1}^{I}\sum_{j=1}^{m} \text{ТР}_{km}}. \qquad (3.5)$$

Применительно к таблице (3.2) величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, j = 1) и (7, j = 2). $\text{ТР}_{\text{общ.}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета ТР_i (%) и СГ_i (%) на основе этих данных содержится в таблице (3.4).

Таблица 3.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	ТР_i, %	СГ_i, %
Постановка задачи	2.22	2.22
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	3.26	5.48
Подбор и изучение материалов по тематике	13.17	18.65
Разработка календарного плана	3.26	21.91
Обсуждение литературы	6.11	28.02

Выбор структурной схемы устройства	17.65	45.67
Выбор принципиальной схемы устройства	16.90	62.57
Расчет принципиальной схемы устройства	11.12	73.69
Оформление расчетно-пояснительной записки	7.66	81.35
Оформление графического материала	5.19	86.54
Подведение итогов	13.46	100.00

8.3.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

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

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- страховые взносы;
- амортизация;
- прочие расходы.

8.3.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приближенно они оцениваются в

процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Пример см. в табл. 3.5

Таблица 3.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	**Цена за ед., руб.**	**Кол-во**	**Сумма, руб.**
Фотобумага для принтера 170 гр 127*8*50,8	270	3 ролика	810
Бумага для принтера формата А1	60	10 уп.	600
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Лицензия ППП G Data TotalProtection	2000	1 экз.	2000
Итого:			4960

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $С_{мат}$ = 4960 * 1,05 = 5208руб.

8.3.2.2 Расчет заработной платы

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

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

$$ЗП_{дн-т} = МО/21 \qquad (3.6)$$

Расчет затрат на основную заработную плату приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.3 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	22052	735	36,34	1,3	34722,87
И	13824	461	60,77	1,3	36419,46
Итого:					71142,33

8.3.2.3 Расчет затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы, включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $С_{соц.} = С_{зп}*0,3$. Итак, в нашем случае $С_{соц.} = 71142,33 * 0,3 = 21342,7$ руб.

8.3.2.4 Расчет амортизационных расходов

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

Используется формула:

$$С_{АМ} = \frac{Н_А * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_Д}, \quad (3.10)$$

где $Н_А$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_Д$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $С_{АМ}$. Например, для ПК в 2015 г. (252 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_Д = 252 * 8 = 2016$часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Стоимость проекта 40000 руб., $Н_А$ = 0,4, время использования 488 часа, тогда для него $С_{АМ}$(ПК) = (0,4*40000*488*1)/2016= 3873,02 руб.

8.3.2.5 Расчет прочих расходов

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

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

Для нашего примера это:

$С_{проч.}$ = (5208 + 71142,33 + 21342,7 + 3873,02) · 0,1 = 10156,605 руб.

8.3.2.6 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ».

Таблица 3.4 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$С_{мат}$	5208
Основная заработная плата	$С_{зп}$	71142,33
Отчисления в социальные фонды	$С_{соц}$	21342,7
Амортизационные отчисления	$С_{ам}$	3873,02
Прочие расходы	$С_{проч}$	10156,605
Итого:		111722,655

Таким образом, затраты на разработку составили $С$ = 111722,655 руб.

8.3.3 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят

по сумме баллов по всем показателям. На ее основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^{3} R_i \cdot n_i, \qquad (3.14)$$

где $I_{\text{НТУ}}$ – интегральный индекс научно-технического уровня;

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

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

Таблица 3.11 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признаки научно-технического эффекта НИР	**Характеристика признака НИР**	**Ri**
Уровень новизны	Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований	0,4
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,1
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,5

Таблица 3.12 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	**Характеристика уровня новизны – n_1**	**Баллы**
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4

Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 3.13 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов – n_2	**Баллы**
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 3.14 – Возможность реализации результатов по времени

Время реализации – n_3	**Баллы**
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Так как все частные признаки научно-технического уровня оцениваются по 10-балльной шкале, а сумма весов Ri равна единице, то величина интегрального показателя также принадлежит интервалу [0, 10].

В таблице 3.15 указано соответствие качественных уровней НИР значениям показателя, рассчитываемого по формуле (3.14).

Таблица 3.15 – Соответствие уровня НТЭ и показателя НТЭ

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

Для используемого в пособии примера частные оценки уровня n_i и их краткое обоснование даны в таблице (3.16).

Таблица 3.5 – Оценки научно-технического уровня НИР

Значимость	**Фактор НТУ**	**Уровень фактора**	**Выбранный балл**	**Обоснование выбранного балла**
0,4	Уровень новизны	Относительно новая	4	Облегчит выбор товаров и услуг для пользователей, даст возможность выхода на рынок новым компаниям
0,1	Теоретический уровень	Разработка способа	1	Описание более широкого использования лазерных диодов
0,5	Возможность реализации	В течение первых лет	10	Быстрое наполнение базы клиентов

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для нашего проекта составляет:

$$I_{\text{нту}} = 0{,}4*4 + 0{,}1*1 + 0{,}5*10 = 1{,}6 + 0{,}1 + 5 = 6{,}7$$

Таким образом, исходя из данных таблицы 3.15, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ41	Чжан Цзяюй

Институт	ИК	**Кафедра**	ТАМП
Уровень образования	Магистр	**Направление/специальность**	Машиностроеине

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	*Характеристика объекта исследования:* *Анализ робастного качества САУ с неопределенностью коэффициентов характеристического полинома* *Области применения:* *промышленное производство*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	– *Анализ требований и рекомендаций к уровню электромагнитных и электростатических полей, шума, отклонений показателей микроклимата, освещения рабочей зоны и вредных психофизиологических факторов.*
2. Экологическая безопасность	– *Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы), гидросферу (сбросы), литосферу (отходы).*
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– *Выбор наиболее типичной ЧС;* – *Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;* – *Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.*
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	– *Правовые нормы трудового законодательства, организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Чжан Цзяюй		

9. Социальная ответственность

Введение

В данной дипломной работе представлена разработка интерактивного учебного пособия по дисциплине «ТАУ».

Рабочим местом является комната в общежитии №11, параметры которого: высота – 2,5м, длина – 6м, ширина – 3м. В комнате имеется одно окно. Кроме того комната освещается двумя лампами накаливания. Основная работа производится сидя за персональным компьютером.

На рабочем месте возможно возникновение вредных факторов, таких как:, недостаточная освещенность рабочего места, повышение уровня шума, повышенная либо пониженная температура воздуха

Также на данном рабочем месте могут иметь место проявления опасных факторов среды, например, поражение электрическим током. Возможной чрезвычайной ситуацией на рабочем месте является лишь возникновение пожара.

9.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Основным оборудованием для выполнения ВКР является компьютер. При этом, опасным для разработчика фактором является высокое напряжение в электрической сети и как следствие, опасность поражения электрическим током. Напряжение в сети составляет 220В при частоте 50Гц, что является смертельно опасным в случае поражения работающего электрическим током.

К вредным производственным факторам, при работе с компьютером следует отнести:

1) статическое электричество, которое может накапливаться на отдельных блоках ЭВМ (монитор, корпус и т.д.);

2) электромагнитное и ионизирующее излучения, основными источниками которых является электроннолучевая трубка монитора компьютера;

3) шум, источниками которого являются вентиляторы внутри системного блока и блока питания компьютера, накопители на жестких и магнитных дисках, светильники люминесцентных ламп и др.

9.2 Техногенная безопасность

Под техникой безопасности понимается система организационных мероприятий и технических средств направленная на предотвращения воздействия на работника вредных и опасных производственных факторов.

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с компьютером, стендом пневмотахографа в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Таким образом, работа может проводиться только в помещениях без повышенной опасности, при этом существует опасность электропоражения:

1) при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ, стенда пневмотахографа;

2) при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ, стенда пневмотахографа);

3) при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

4) имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Согласно [14] комната 309–№.11(общежитие), в которой проводились работы, по опасности электропоражения относится к помещениям без повышенной опасности, то есть отсутствуют условия, создающие повышенную опасность.

В лаборатории используются приборы, потребляющие напряжение 220В переменного тока с частотой 50Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

1) перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;

2) при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо не делая никаких самостоятельных исправлений сообщить ответственному за оборудование;

3) запрещается загромождать рабочее место лишними предметами. При возникновении несчастного случая следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и, вызвав врача, оказать ему необходимую помощь.

9.3 Региональная безопасность.

Одним из выявленным опасных факторов является поражение электрическим током, так как напряжение считается безопасным при U < 42 В, а вычислительная техника питается от сети 220 В 50 Гц. Ток является опасным, так как 20 – 100 Гц – ток наиболее опасен. Поэтому результатом воздействия на организм человека электрического тока могут быть электрические травмы, электрические удары, и даже смерть. [ссылку на ГОСТ Р 12.1.009-2009].

Виды электротравм: местные электротравмы, к ним относятся: электрический ожог, электрические знаки, металлизация кожи, механические

повреждения). Особую опасность представляют электрические травмы, которые выглядят в виде ожогов.

Электрический ожог возникает на том месте тела человека, в котором контакт происходит с токоведущей частью электроустановки. Электроожоги сопровождаются кровотечениями, омертвением отдельных участков тела. Лечатся они гораздо труднее и медленнее обычных термических.

В результате механического повреждения могут разорваться кровеносные сосуды, нервные ткани, а также случаются вывихи суставов и даже переломы костей. Такие повреждения могут возникнуть в результате сокращений мышц под действием тока, который проходит через тело человека.

Электрические знаки в основном безболезненны, они могут возникнуть у 20% пострадавших от тока. Иногда электрические знаки выглядят в виде царапин, ушибов, бородавок, мозолей, также они представляют собой серые или бледно-желтые пятна круглоовальной формы с углублением в центре.

Чтобы защититься от поражения током, необходимо:

- обеспечить недоступность токоведущих частей от случайных прикосновений;
- электрическое разделение цепи;
- устранять опасности поражения при проявлении напряжения на разных частях;
- применять специальные средства защиты.

При работе с компьютером прикосновения к его элементам могут возникнуть токи статического электричества, которые в свою очередь имеют свойство притягивать пыль и мелкие частицы к экрану. Пыль на экране ухудшает видимость, а при подвижности воздуха может попасть на кожу лица и в легкие, что вызывает заболевание кожи и дыхательных путей.

Есть специальные шнуры питания с заземлением и экраны для снятия статического электричества, это поможет защититься от статического

электричества, а также необходимо проводить регулярную влажную уборку рабочего помещения.

Мониторы являются источниками интенсивных электромагнитных полей. Электромагнитные поля могут вызывать изменения в клетках. Длительное воздействие низких частот ЭВМ вызывает нарушения сердечнососудистой и центральной нервной системы, небольшие изменения в составе крови. Возможно возникновение катаракты глаз, злокачественных опухолей при интенсивном длительном воздействии.

Степень воздействия зависит от продолжительности работы и индивидуальных особенностей организма.

Для снижения уровня воздействия, необходимо:

- экранирование экрана монитора;
- соблюдать оптимально расстояние от экрана;
- рационально размещать оборудование (если имеется несколько компьютеров, то расстояние между боковыми и задними стенками компьютеров должно быть 1,22 м);
- организовывать перерывы 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы. [ссылку на СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Также для безопасной работы необходимо соблюдать показатели микроклимата, в этом случае приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96 (Таблица1) [ссылку на СанПиН 2.2.4.548-96]

Таблица 1

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Большинство ученых считают, что как кратковременное, так и длительное воздействие всех видов излучения от экрана монитора не опасно для

здоровья персонала, обслуживающего компьютеры. Однако исчерпывающих данных относительно опасности воздействия излучения от мониторов на работающих с компьютерами не существует и исследования в этом направлении продолжаются.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование параметра Допустимые значения

Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора 10В/м

Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора 0,3А/м

Напряженность электростатического поля не должна превышать:

– для взрослых пользователей 20 кВ/м

– для детей дошкольных учреждений и учащихся 15 кВ/м

– средних специальных и высших учебных заведений 15 кВ/м

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы является шум. Шум ухудшает условия труда оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Длительное

воздействие интенсивного шума (выше 80 дБ(А)) на слух человека приводит к его частичной или полной потере.

Вредное воздействие шума вызывает патологические изменения органа слуха, ухудшает состояние нервной системы и всего организма в целом. Для снижения воздействия шума применяются методы звукопоглощения и звукоизоляции.

В таблице 3 указаны предельные уровни звука в зависимости от категории тяжести и напряженности труда, являющиеся безопасными в отношении сохранения здоровья и работоспособности.

Таблица 3

Категория напряженности труда	Категория тяжести труда			
	I. Легкая	II. Средняя	III. Тяжелая	IV. Очень тяжелая
I. Мало напряженный	80	80	75	75
II. Умеренно напряженный	70	70	65	65
III. Напряженный	60	60	–	–
IV. Очень напряженный	50	50	–	–

Для работы за компьютером важное значение имеет освещение кабинета. Недостаточная освещенность приводит к снижению контрастной чувствительности, понижению остроты зрения.

Освещение должно включать в себя как естественное, так и искусственное. Для источников искусственного освещения применяют люминесцентные лампы типа ЛБ.

Минимальный размер объект различия входит в диапазон 0,5 до 1,0, следовательно, работа относится к разряду IV. Подразряд Г, т.к. контраст объектов различия с фоном большой, сам фон светлый. В соответствии с СП 52.13330.2011 норма освещенности в кабинете должна быть Ен= 200 лк. [ссылку на СП 52.13330.2011]

Пульсация при работе с компьютером не должна превышать 5% [ссылка СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Увлечение коэффициента пульсации освещенности снижает зрительную работоспособность, повышает утомляемость, воздействует на нервные элементы коры головного мозга и фоторецепторные элементы сетчатки глаз.

Для снижения пульсации необходимо использовать светильники, в которых лампы работают от переменного тока частотой 400 Гц и выше.

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

К возможным ЧС на рабочем месте можно отнести внезапное обрушение здания, взрывы и пожары.

Наиболее вероятны – пожары вследствие замыкания электрической проводки, возгорания неисправного компьютера, несоблюдения правил пожарной безопасности.

К мерам пожарной профилактики относятся:

– повышение огнестойкости здания;

– использование исключительно исправного оборудования;

– проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

– отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;

– курение в строго отведенном месте;

– содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для оповещения о возникшем пожаре в общежитии №14 установлены пожарные речевые системы оповещения, с требуемыми параметрами: уровень развиваемого давления 70 – 110дБА, равномерность частотной характеристики не более 16 дБ. Также на каждом этаже в коридорах общежития есть

огнетушитель ОП-4 и вывешен план эвакуации, расположенный на видном месте. В случаях, когда не удается ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

В общежитии имеются схемы эвакуации людейи указатели выхода.

9.4.1 Пожарная безопасность

Пожарная профилактика

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным относятся установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

9.4.2 Оценка пожарной безопасности помещения

Согласно нормам технологического проектирования, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Наличие в лабораторной аудитории 110-№16 множества деревянных изделий (столы, шкафы), электропроводов напряжением 220В, а также применение электронагревательных приборов с открытыми нагревательными

элементами – паяльниками дает право отнести помещение по степени пожаро и взрывобезопасности к категории Д. Для категории Д характерно наличие в помещении:

1) жидкости с температурой вспышки выше 610;
2) твердых сгораемых веществ и материалов.

При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической сети может произойти возгорание, которое грозит уничтожением ЭВМ, документов и другого имеющегося оборудования. Система вентиляции может стать источником распространения возгорания.

Так как помещение оператора по степени пожаровзрывоопасности относится к категории Д, т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

В качестве возможных причин пожара можно указать следующие:

1) наличие горючей пыли (некоторые осевшие частицы пыли способны к самовозгоранию);
2) короткие замыкания;
3) опасная перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции;
4) нередко пожары происходят при пуске оборудования после ремонта.

Для предупреждения пожаров от коротких замыканий и перегрузок необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей, дисплеев и других электрических средств автоматизации.

Следовательно, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

9.4.3 Мероприятия по устранению и предупреждению пожаров

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

1) исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

2) применение при строительстве и отделке зданий несгораемых или трудно сгораемых материалов.

Необходимо в аудитории проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

1) организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;

2) эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;

3) технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1) противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;

2) обучение персонала правилам техники безопасности;

3) издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1) соблюдение эксплутационных норм оборудования;

2) обеспечение свободного подхода к оборудованию;

3) содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

Технические мероприятия:

1) соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В аудитории 110 имеется углекислотный огнетушитель типа ОУ–2, установлен рубильник, обесточивающий всю аудиторию, на двери аудитории приведен план эвакуации в случае пожара, и на досягаемом расстоянии находится пожарный щит (1 этаж 10 корпус). Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться углекислотные огнетушители типа ОУ–2.

2) профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Кроме устранения самого очага пожара, нужно своевременно организовать эвакуацию людей.

9.4.4 Анализ возможных причин загорания

Причиной загорания может быть:

1) неисправность токоведущих частей установок;
2) работа с открытой электроаппаратурой;
3) короткие замыкания в блоке питания или высоковольтном блоке дисплейной развертки;
4) несоблюдение правил пожарной безопасности;
5) наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

9.5 Охрана окружающей среды

Вследствие развития научно-технического прогресса, постоянно увеличивается возможность воздействия на окружающую среду, создаются предпосылки для возникновения экологических кризисов. В то же время прогресс расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природной среды.

Под окружающей нас средой понимается совокупность «чистой» природы и среды созданной человеком.

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

9.5.1 Загрязнение атмосферного воздуха

Атмосфера всегда содержит определенное количество примесей, поступающих от естественных и антропогенных источников. К числу примесей, выделяемых естественными источниками, относят: пыль (растительного и вулканического, космического происхождения), туман, дымы, газы от лесных и степных пожаров и др.

Основное антропогенное загрязнение атмосферного воздуха создают ряд отраслей промышленности.

Выполнение ВКР не осуществляет выбросов вредных веществ в атмосферу. Загрязнение атмосферного воздуха может возникнуть в случае возникновения пожара в учебном корпусе, в этом случае дым и газы от пожара будут являться антропогенным загрязнением атмосферного воздуха.

9.5.2 Загрязнение гидросферы

Загрязнение гидросферы огромны и происходят довольно давно. Основными источниками загрязнений являются промышленность и сельское хозяйство. Внутренние водоемы загрязняются сточными водами различных отраслей промышленности.

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом или производственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию.

В ходе выполнения ВКР образовывались хозяйственно – бытовые воды.

Бытовые сточные воды учебного корпуса №16 ТПУ образовываются при эксплуатации туалетов, столовой, а также при мытье рук, полов и т.п. Данные воды отправляются на городскую станцию очистки.

9.5.3 Отходы

Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы.

В ходе выполнения ВКР, образовывались различные твердые отходы. К ним можно отнести: бумагу, батарейки, лампочки, использованные картриджи,

отходы от продуктов питания и личной гигиены, отходы от канцелярских принадлежностей и т.д.

Защита почвенного покрова и недр от твердых отходов реализуется за счет сбора, сортирования и утилизации отходов и их организованного захоронения.

10. Литература.

1. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. -304 с.

2. Кожевиников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.В., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. Ред. С.В. Кирсанов а.М.: Машиностроение, 2014. -520 с.

3. Силин, С.С. Метод подобия при резании материалов / С.С. Силин. - М. : Машиностроение, 1979. -152 с.

4. Подгорков, В.В. Резание металлов. Электронный конспект лекций / В.В. Подгорков. - Ивановский государственный энергетический университет.

5. http: //elib.ispu/ru/library/lessons/Podgorkov/index.html.

6. http://www.masters. donntu.edu.ua/2000/mehf/miroshn/nirs.htm.

7. Грановский, Г.И. Резание металлов : учебник для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов /Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. - М. : Высшая школа, 1985. - 304 с.

8. Якобс, Г.Ю. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации / Г.Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. - М.: Машиностроение, 1981. - 279 с.

9. Welcome to ANSYS, Inc. - Corporate Homepage. http:// www.ansys.com.

10. ANSYS, Inc. Products. http://www.ansys.com/products/default.asp.

11. SolidWorks:: http://www.solidworks.com/sw/products/details.htm? productid=514.

12. SolidWorks:: 3D CAD Design Engeniring Software Tools. http://www.solidworks.com/sw/3d-caddesign-software.htm.

13. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение-1, 2001. - Т. 2. - 912 с.

14. Розенберг А.М. Определение сил на задней грани резца. Сб. статей “Вопросы машиноведения и машиностроения“. АН СССР. Зап. Сиб. Филиал, 1951, с. 39 - 41.

15. Зорев Н.Н. Исследование элементов механики процесса резания. М.: Машгиз, 1952.-363 с.

16. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. -М.: Машиностроение, 1969.-150 с.

17. Байкалов А.К. Оптимальная геометрия резцов при скоростном резании чугуна. Автореф. Дис. Канд. Техн. Наук. - Томск, 1952. -19 с.

18. Утешев М.Х., Сенюков В.А. Некоторые результаты исследования напряженного состояния режущей части инструмента при помощи лазера. -В кн. “Прочность режущего инструмента“. М. , 1969, с. 38 - 50.

19. Мелихов В.В. Исследование контактных нагрузок на задней поверхности резца и их влияние на прочность режущей части. Автореф. Дис. Канд. Техн. Наук. - Тула, 1971. - 21 с.

20. Наумов В.А. Особенности процесса резания изношенным инструментом. Автореф. Дис. Канд. Техн. Наук. - Томск, 1966. -24 с.

21. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1979. -168 с.

22. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца. Сб. статей “Вопросы оптимального резания металлов”. Вып. 1. -Уфа, 1976, с. 98-104.

23. Красильников В.А. Исследование контактных напряжений на передней поверхности резца при высоких скоростях резания: Автореф. Дис. Канд. Техн. Наук.. - Томск, 1973, 24 с.

24. Полетика М.Ф., Бутенко В.А., Козлов В.Н. Механика контактного взаимодействия инструмента со стружкой и заготовкой в

связи с его прочностью. Сб. статей “Исследования процесса резания и режущих инструментов”. -Томск, 1984, с. 3-32.

25. Полетика М.Ф., Афонасов А.И. Контактные условия на задней грани инструмента при элементном стружкообразовании. Сб. статей "Прогрессивные технологические процессы в машиностроении”. -Томск, 1997, с. 14-17.

26. Красильников В.А., Козлов В.Н., Подворчан А.И. Методика измерения контактных нагрузок на задней грани резца. Сб. статей “Исследования процесса резания и режущих инструментов”. -Томск, 1984, с. 130-133.

27. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей

28. среды: учебник для вузов. – М.: Изд- во Юрайт, 2013. – 671с.

29. Безопасность жизнедеятельности: учебник для высших учебных

30. заведений Министерства образования и науки РФ /В.Н.Азаров,

31. А.И.Ажгиревич, В.А.Грачёв и др.; под общ. ред. В.В.Гутенёва. – М. – Волгоград: ПринТерра, 2009. – 512с.

32. Васин В.К., Кириллова Г.В., Звигинцева Е.А. Защита от электромагнитных и лазерных излучений: учеб. Пособие. Ч.1. Электромагнитные поля. – М.: РГОТУПС, 2002. – 48с.

33. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.-М.: Высшая школа, 1999. – 318с.

34. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие.-Томск: Изд – во ТПУ, 2001. – 83с.

35. Голикон В.Я., Короленко И.П. Радиационная защита при использовании ионизирующих излучений. – М.: Недра, 1987. – 187с.

36. Грачёв Н.Н. Защита человека от опасных излучений.– БИНОМ, 2005

37. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установ- ках. – М.: Энергия, 1990. – 312с.

38. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химической в химических лабораториях. – Л: Химия. – 1985. -98с.
39. Охрана труда в вычислительных центрах. Учеб. пос. для студентов// Ю.Г.Сибаров и др. – М.: МАЛИКО, 1990. – 192с.
40. Правила устройства и безопасности эксплоатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10-115-96). – ПИООБТ, 1996. – 156
41. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера:// под ред. проф. В.Ф.Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000.-284с.
42. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера, Учеб. / Под. ред. А.И.Попова . Саратов: Сар. гос. тех. ун-т, 2000. – 124с.
43. Дашковский А.Г., Романцов И.Г. Безопасность жизнедеятельности.
44. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2008 – 19с.
45. ПБ 10 – 115 – 96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов под давлением. М.: Госгортехнадзор России: ИПО ОБТ, 1994
46. Р 2.2.2006 – 05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация усло- вий труда. – М.: Минздрав России, 2006.
47. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
48. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200 – 03. Санитарно – защитные зоны и санитартарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003.
49. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы « Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

50. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
51. СанПиН 2.2.4.1191 – 03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Минздрав России, 2003.
52. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
53. СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 1997.
54. СНиП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
55. СНиП 21 – 01 – 97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12.
56. СНиП П – 12 – 77. Защита от шума.
57. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусст – венное освещение. М.: Минстрой России, 1995.
58. 2.6.1 – 758 – 99. Нормы радиационной безопасности, НРБ – 99. М.: Центр санитарно – эпидемиологического нормирования, гигие – нической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999.
59. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. 123 – ФЗ. 2013.
60. Кнышова Е. Н. Экономика организации : учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.
61. Бочаров В. В. Инвестиции : учебник для вузов / В. В. Бочаров. – 2-е изд. – СПб: Питер, 2009. – 381 с. – Учебник для вузов.
62. Староверова Г. С. Экономическая оценка инвестиций : учебное пособие / Г. С. Староверова, А. Ю. Медведев, И. В. Сорокина. – 2-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2009. – 312 с
63. Несветаев Ю. А. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Ю. А. Несветаев; Московский Государственный индустриальный

университет; Институт дистанционного образования. – 3-е изд., стер. – Москва: Изд-во МГИУ, 2006. – 162 с.
64. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах : учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.
65. Голосовский С. И. Эффективность научных исследований в промышленности / С. И. Голосовский. – Москва: Экономика, 1986. – 159 с.
66. Мигуренко Р. А. Научно-исследовательская работа: учебно-методическое пособие / Р. А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.