

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

Институт _____ Кибернетики _____
Направление подготовки _____ Машиностроение _____
Кафедра _____ ТМСПР _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Расчет на прочность сменных режущих пластин при токарной обработке
УДК <u>621.941.1.025.7.539.4</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Ключек Антон Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов В.Н.	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Доктор технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТМСПР	Вильнин А.Д.			

Томск – 2017 г.

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 машиностроения и промышленной робототехники»

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Вильнин А.Д.
 «_____» 06. 2017

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Клочек А.М.

Тема работы:

Расчет на прочность сменных режущих пластин при токарной обработке	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3144/с 15.05.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Тип СМП; Обрабатываемые материалы Сталь 40Х, ВТ 3 – 1; Физико-механические свойства инструментальных материалов; Теория метода конечных элементов; Исследования процесса стружкообразования, выполненные в России и за рубежом; Исследования прочности режущего инструмента, выполненные в России и за рубежом
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор научно-технической литературы; Создание 3D модели режущих инструментов; Определение распределения контактных нагрузок на рабочей поверхности; Исследование распределения внутренних напряжений в режущем клине; Исследование НДС инструмента при разном режиме резания; Исследование НДС инструмента при разных

	геометрических параметрах режущего клина. Исследование прочности инструмента при разных марках обрабатываемых материалов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Технологический и конструкторский	Козлов В.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
Английская часть	Шепетовский Д.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов В.Н.	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Клочек А.М.		

Содержание

1. Титульные листы и задание на ВКР.....	1
2. Введение.....	6
3. Литературный обзор.....	7
3.1. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях.....	7
3.2. Исследование процесса стружкообразования.....	9
3.3. Влияние обрабатываемого материала на силы и температуру резания.....	11
3.4. Исследование распределения контактных напряжений на передней и задней поверхностях резца.....	14
3.5. Исследование температуры резания и распределения температуры в режущем клине.....	18
3.6. Вид эпюр контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента.....	21
3.7. Исследование распределения внутренних напряжений в режущем клине.....	22
3.8. Программное обеспечение, реализующее метод конечных элементов.....	22
3.9. Оценка прочности режущего инструмента.....	24
3.10. Постановка задач исследований на основе литературного обзора.....	26
4. Методика выполнения работы.....	28
4.1. Приложение внешней нагрузки на заднюю и переднюю поверхности.....	28
4.2. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине.....	32
4.3. Создание модели режущего инструмента.....	35
4.4. Задание физико-механических характеристик инструментального и обрабатываемого материалов.....	37

4.5. Распределение температуры на рабочих поверхностях инструмента.....	38
5. Исследование НДС инструмента.....	39
5.1. Измерение сил резания при точении вала.....	39
5.2. Исследование НДС инструмента при разной толщине и ширине режущих пластин.....	51
5.3. Влияние переднего угла инструмента на НДС режущего клина....	57
5.4. Влияние ширины фаски износа на задней поверхности резца на НДС режущего клина.....	61
5.5. Исследование прочности режущих пластин с их механическим креплением на державке токарного резца.....	65
5.6. Литература.....	70
6. Обзор научно-технической литературы на английском языке.....	74
7. Социальная ответственность.....	86
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	108

Введение

Область применения титанового сплава очень широка, на данный момент применяется не только в авиации и вооружении, но и в гражданском производстве. Для улучшения точности обработки и эффективности производства была выбрана тема "Расчет на прочность сменных режущих пластин при токарной обработке". Для научно-исследовательской работы было решено использовать программное обеспечение КОМПАС 3D для моделирования и ANSYS как аналитическую платформу. 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 и СМП 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. Литературный обзор

3.1. Исследование сил резания на передней и задней поверхностях

В статье [1, «Силы и напряжения на поверхностях режущего лезвия при резании металлов», Отений Я.Н., Муравьев О.П., Эпов А.А., Туменов Т.Н., Жунусова А.Ш., Ткачева Ю.О., Плешакова Е.А., Ерахтина А.В.] наиболее кратко описано, как определяются силы резания на поверхностях режущего инструмента. Прежде всего, силы зависят от множества факторов при обработке, таких как режимы обработки детали, геометрическими параметрами режущего клина, физико-химических процессов в зоне резания. Существует множество способов определения сил резания, но все они находятся экспериментально; математические же методы дают приблизительные значения.

Сила P , действующая на резец при снятии стружки, имеет и величину, и направление. Для измерения силу резания P раскладывают на три перпендикулярные составляющие: P_z , P_y , P_x . Эти составляющие являются проекциями силы P на оси декартовых координат.

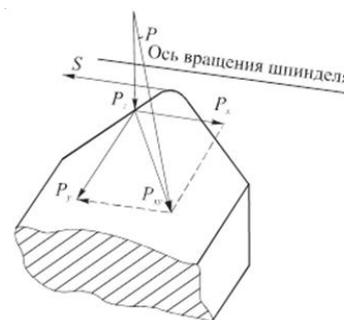


Рис. 3.1. Направления обозначения составляющих

Составляющая P_z совпадает по направлению с вектором скорости резания; P_y отжимает резец от заготовки; P_x действует против направления подачи. Величины составляющих сил резания могут быть измерены с помощью трехкомпонентного динамометра (рис. 3.2).

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.

В первом случае погрешность выделения связана с существенным увеличением силы на задней поверхности при малой толщине среза ($a \leq 0,05$ мм) из-за увеличения влияния округления режущей кромки. При малой толщине среза материал заготовки будет уходить не в стружку, а вдавливаясь под округлённый участок главной режущей кромки. Даже на острозаточенном резце радиус округления $\rho = 0,001-0,005$ 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 $\varphi = 90^\circ$ и с радиальной (поперечной) подачей $s_{\text{поп}}$. Толщина среза в этом случае будет равна поперечной подаче ($a = s_{\text{поп}}$). Толщина диска b_d должна быть больше 2 мм во избежание его деформации. Чтобы уменьшить влияние уширения диска в месте контакта с главной режущей кромкой толщина диска b_d должна быть больше 4 мм, особенно при $h_3 > 0,5$ 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_3 , например, $h_3 = 0,5$ мм, $0,3$ мм, $0,2$ мм, $0,1$ мм, $0,05$ мм, $0,01$ мм. Точка пересечения графика $P_y = f(h_3)$ с осью P_y покажет нормальную силу N_1 на задней поверхности острого резца, а точка пересечения графика $P_z = f(h_3)$ 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 случаев задний угол на этой фаске $\alpha_h = 0^\circ$. Однако при большом износе по задней поверхности ($h_3 > 1,5$ мм) этот угол может быть отрицательным ($\alpha_h = -3^\circ$). Инструмент продолжает работать из-за появления нароста или застойной зоны в этой части.

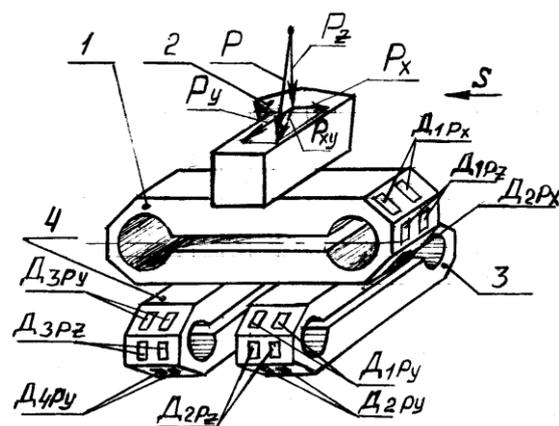


Рис. 3.2. Схема устройства трёхкомпонентного токарного динамометра. 1 – верхний упругий элемент для измерения составляющих силы резания P_x и P_z ; 2 – резец; 3 и 4 – нижние упругие элементы для измерения составляющих силы резания P_y и P_z ; D_{1P_x} , D_{2P_x} , D_{1P_z} , D_{2P_z} , D_{1P_y} , D_{2P_y} , D_{3P_y} , D_{4P_y} – тензодатчики для измерения составляющих силы резания соответственно их индексам.

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_3 в области малых её величин ($h_3 \leq 0,2$ мм) мало влияет на температуру резания, то метод экстраполяции сил на нулевую фаску износа по задней поверхности считается достаточно надёжным.

3.2. Исследование процесса стружкообразования

Резание является динамическим процессом и характеризуется высокими удельными контактными нагрузками и температурами. В зоне стружкообразования степень и скорость деформации могут достигать критических значений. В этой связи систему резания следует рассматривать как термодинамически неустойчивую, открытую диссипативную систему. В процессе резания образуются вторичные диссипативные структур, которые определяют процесс пластического течения структурных элементов и вид стружки.

Элементная стружка получается при обработке твердых и маловязких металлов с малой скоростью резания. Эта стружка состоит из отдельных пластически деформированных элементов, слабо связанных или совсем не связанных между собой. Образование таких элементов стружки было наглядно показано еще И.А. Тиме, положившим начало научному исследованию процесса стружкообразования.

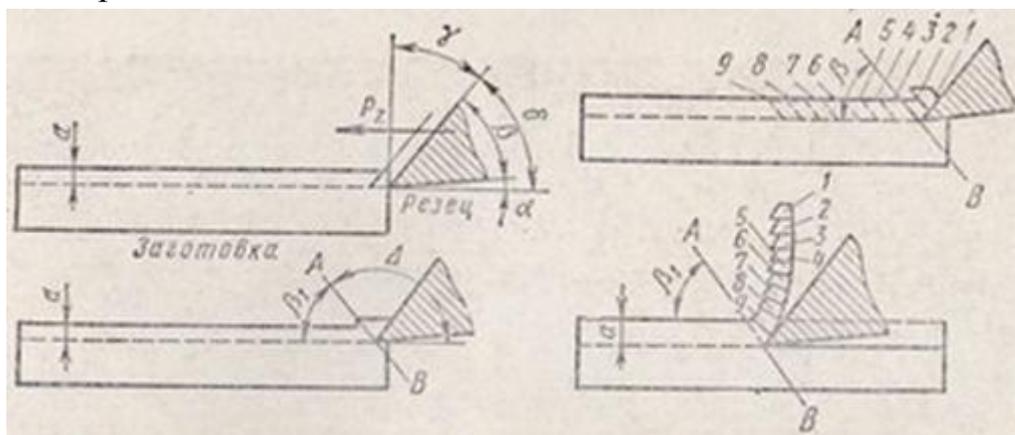


Рис. 3.3.Схема образования элементной стружки при свободном резании

Под влиянием силы P_z , приложенной к резцу, последний постепенно вдавливаются в массу металла, сжимает его своей передней поверхностью и вызывает сначала упругие, а затем пластические деформации. По мере углубления резца растут напряжения в срезаемом слое, и когда они достигнут величины прочности данного металла, произойдет сдвиг (скалывание) первого элемента по плоскости сдвига АВ, составляющей с направлением перемещения

резца (с обработанной поверхностью) угол β_1 . Угол β_1 называется углом сдвига (скалывания). В настоящее время этот угол наклона условной плоскости сдвига обозначается символом Φ .

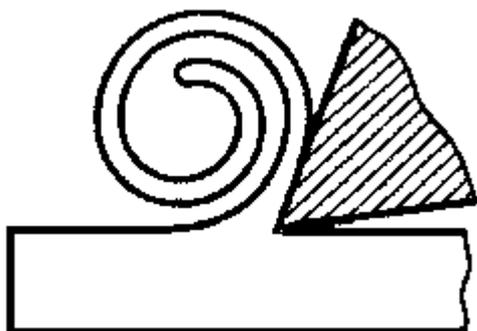


Рис. 3.4. Образование сливной стружки

Сливная стружка образуется при резании вязких и мягких материалов, например, мягкой стали, латуни. Резание протекает обычно при высокой скорости. Чем больше скорость резания и вязкость обрабатываемого металла, меньше угол резания и толщина среза, выше качество смазочно-охлаждающей жидкости, тем стружка ближе к сливной.

При снятии стружки металл не только срезается, но и претерпевает сильную пластическую деформацию. Большое влияние на силы резания оказывают силы трения стружки и обрабатываемого материала соответственно о переднюю и заднюю поверхности лезвия инструмента. Образованию сливной стружки способствует увеличение переднего угла γ , уменьшение толщины среза a , повышение скорости резания v , а также увеличение пластичности обрабатываемого материала. Все эти факторы влияют как на силу, так и на температуру резания.

Зависимость сил резания от скорости резания носит нелинейный характер.

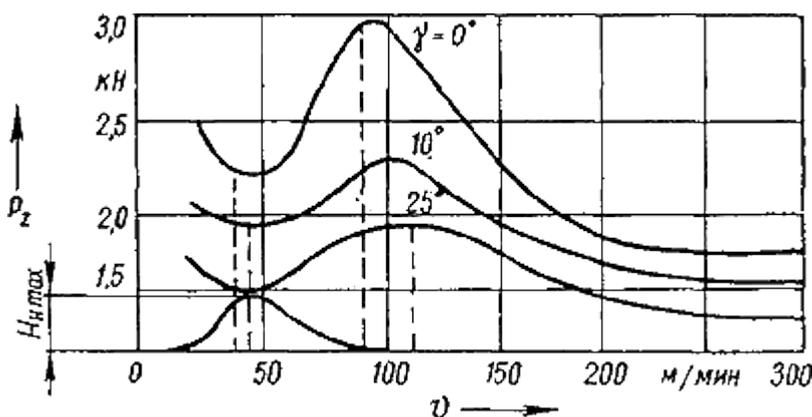


Рис. 3.5. Зависимость сил резания от скорости резания и переднего угла при обработке стали 40X с $a = 0,2$ мм; $b = 4$ мм (на примере обработки стали 40X)

Сложный характер кривых $P_z = f(v)$ объясняется появлением нароста на передней поверхности лезвия инструмента. Минимальные значения силы резания на кривых $P_z = f(v)$ соответствуют максимально возможному наросту. При малой

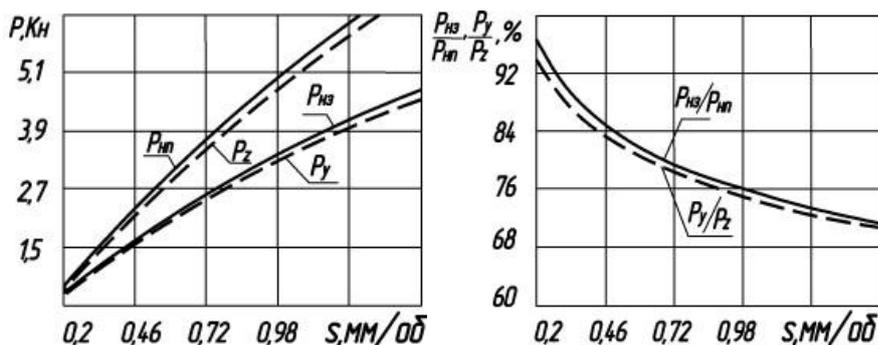


Рис. 3.6. Влияние подачи на составляющие силы резания по передней и задней поверхностям режущего лезвия

скорости резания, когда нарост не образуется, сила резания велика. В диапазоне скоростей, где имеется максимальное наростообразование, сила резания и укорочение стружки уменьшаются, так как с увеличением размеров нароста возрастает действительный передний угол инструмента. По мере дальнейшего повышения скорости резания высота нароста, а, следовательно, и действительный передний угол уменьшаются. Одновременно с этим возрастают коэффициент укорочения стружки и силы резания.

Как уже отмечалось, работа на очень высоких скоростях резания приводит к значительному повышению температуры резания, в результате чего уменьшается коэффициент трения, а, следовательно, и P_z .

3.3. Влияние обрабатываемого материала на силы и температуру резания

Количество теплоты Q , выделяющееся при резании в единицу времени (тепловая мощность), определяется по формуле: $Q = P_z \times v$.

Минимумы и максимумы кривых $P_z = f(v)$ тем рельефнее, чем меньше передний угол. Объясняется это тем, что больший нарост может образоваться (и образование его интенсивнее) при меньших передних углах инструмента. При обработке чугуна образуется меньший нарост, поэтому зависимость $P_z = f(v)$ имеет вид плавной кривой (рис. 4.7). Аналогично выглядят зависимости $P_z = f(v)$ для материалов, не склонных к наростообразованию – меди, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, титановых сплавов.

Влияние свойств инструментального материала на силу резания может быть вызвано только различием в силах трения (коэффициентах трения) между обрабатываемым и инструментальными материалами. Внутри групп быстрорежущих сталей и вольфрамкобальтовых твердых сплавов коэффициенты трения и укорочения стружки не отличаются, а, следовательно, сила P_z не изменяется.

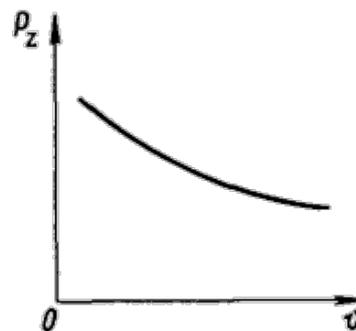


Рис. 3.7. Кривая зависимости $P_z = f(V)$ при обработке чугуна

При обработке инструментами, оснащенными вольфрамотитановыми твердыми сплавами, P_z уменьшается с увеличением содержания карбидов титана TiC. Для сравнения отметим, что если при обработке инструментом из быстрорежущей стали принять $P_z = 1$, для тех же условий работы инструмента, оснащенного твердыми сплавами группы ВК, $P_z = 1$, а группы ТК – $P_z = 0,9 \dots 0,95$.

Как упоминалось ранее, измерение контактных нагрузок производится множеством способов. Наиболее достоверный метод – это исследование распределения контактных напряжений методом разрезного реза.

Расчёт внутренних напряжений будет производиться методом конечных элементов, который заключается в том, что инструмент, стружка и заготовка разбиваются на квадратные, прямоугольные и треугольные элементы (конечные элементы), задаются режимы резания,

теплопроводность и теплоёмкость инструментального и обрабатываемого материала и другие механические и теплофизические характеристики.

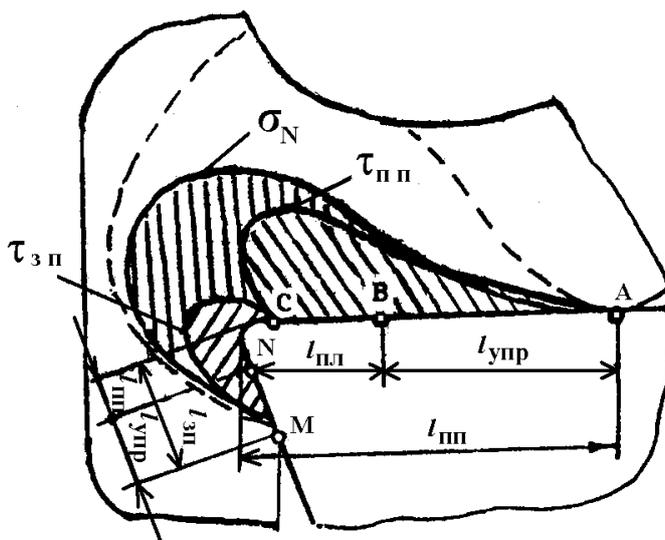


Рис.3.8. Схема распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента σ_N – нормальные нагрузки; $\tau_{плп}$ – касательные нагрузки на передней поверхности; $\tau_{зп}$ – касательные нагрузки на задней поверхности; $l_{пл}$ – длина пластического контакта; $l_{упр}$ – длина упругого контакта; С – точка, в которой $\tau_{плп} = \tau_{зп} = 0$

Среди многочисленных методов определения температуры резания можно выделить четыре группы.

К первой группе относятся методы, с помощью которых измеряется только средняя температура стружки, изделия или резца: метод естественной термо-ЭДС, калориметрический метод.

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

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

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

Наиболее простым способом определения средней температуры рабочих поверхностей инструмента (температуры резания) является способ естественной термо-ЭДС (электродвижущей силы), который основан на физическом эффекте возникновения разности потенциалов при нагреве места смятия разнородных материалов.

В исследовательской работе расчет температур, также, как и напряжений, будет проводиться методом конечных элементов при помощи вычислительной техники.

По специальной программе на компьютере рассчитывается температура и напряжения в центре каждого элемента. Расчет производится многократно, в каждой следующей серии расчетов используются данные от предыдущего расчета, в результате чего точность увеличивается.

По окончании расчета точки с одинаковыми величинами температур соединяются линией и получают **изотермы**, которые представлены на рис. 3.9. Чем меньше размер элементов и большее количество серий вычислений, тем выше точность расчета, но больше времени требуется на расчет. При наличии достоверных экспериментальных данных в некоторых точках инструмента или заготовки точность расчета также увеличивается.

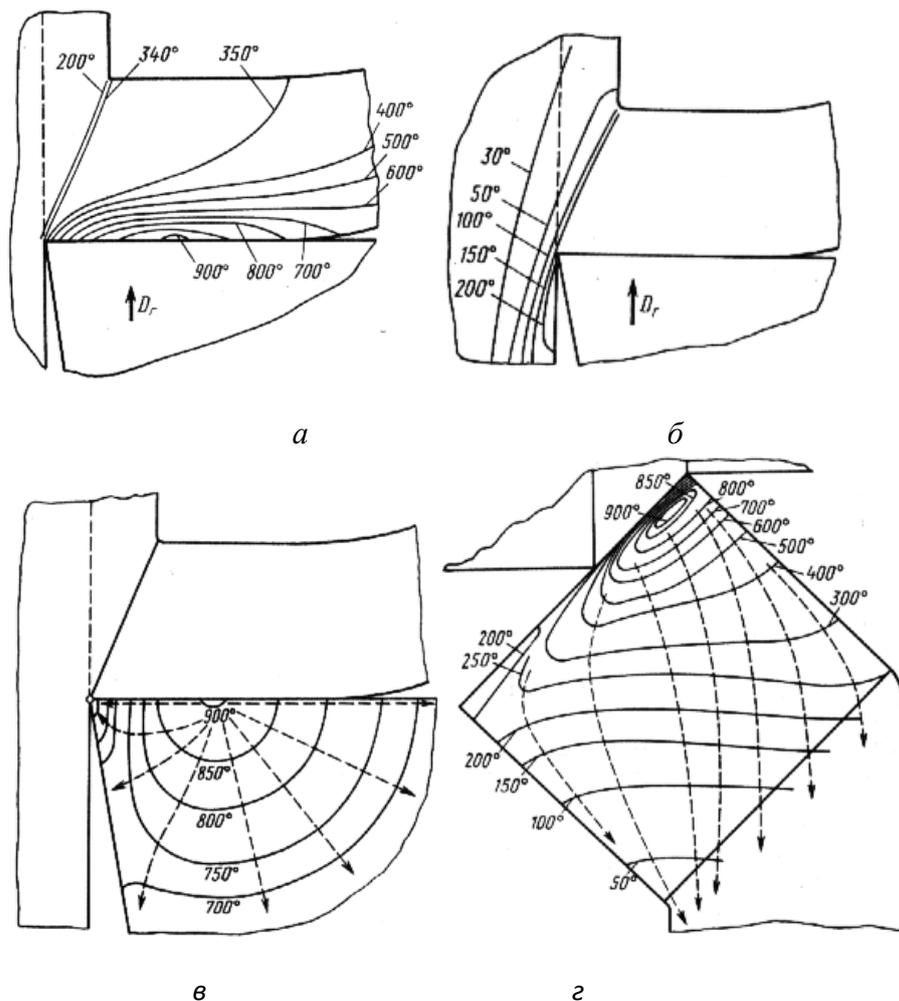


Рис. 3.9. Распределение температуры в стружке (*а*), заготовке (*б*), режущем клине (*в*) и на передней поверхности резца (*г*) при резании стали 45 резцом из Т15К6. $V=150$ м/мин, $S=0,3$ мм/об, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\varphi=45^\circ$.

На рис. 3.9. представлено распределение температуры в стружке, заготовке и токарном резце, полученные методом конечных элементов по данным тепловизора и искусственных термопар. Наибольшая температура на поверхности резца наблюдается не у режущей кромки, а на небольшом удалении от неё (рис. 3.9, *а, в, г*). Это подтверждает версию о том, что тепло не сразу доходит до прирезцовой части стружки и передней поверхности инструмента из средней части зоны стружкообразования.

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

Контактные 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 или оргстекла, который изменяет свои оптические свойства при изменении внутреннего напряжения. 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. По внутренним напряжениям около рабочих поверхностей 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.

Для изучения распределения контактных нагрузок на поверхностях резца используется очень широкий резец (шириной 50...100 мм) разрезается таким образом, чтобы размер x_i (рис. 3.10), или η (рис. 3.11) дискретно изменялся от 0 до величины, немного большей, чем длина контакта s стружки с передней поверхностью инструмента. Для увеличения прочности и жёсткости рабочей пластины A на её задней поверхности располагаются рёбра жёсткости (2).

Ширина диска должна быть меньше на 2...3 мм, чем расстояния l между рёбрами жёсткости пластины A . 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. 3.10).

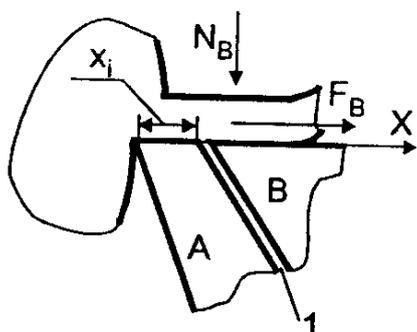


Рис. 3.10. Схема, поясняющая принцип измерения разрезным резцом

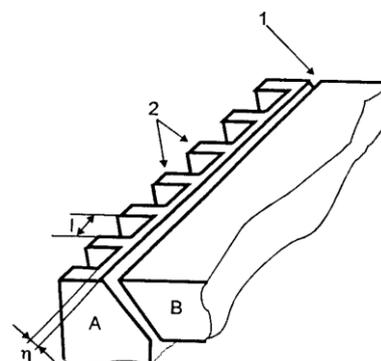


Рис. 3.11. Схема расположения рабочих пластин повышенной жёсткости при исследовании методом разрезного резца. 1 – щель между рабочими пластинами А и В; 2 – рёбра жёсткости.

Пластина В закрепляется на верхнем поясе динамометра, который будет воспринимать нагрузку, действующую только на пластину В. По результатам измерения нормальной N_B и касательной F_B сил резания в каждой из секций разрезного резца можно рассчитать нормальную σ_N и касательную τ_F контактные нагрузки по формулам:

$$\sigma_N(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dN_B}{dx};$$

$$\tau_F(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dF_B}{dx}.$$

Рис. 3.12. Нормальные напряжения

Рис. 3.13. Касательные напряжения

В формулах на рис. 3.12 и 3.13 b_1 – ширина стружки.

Чем меньше разница $x_i = \eta$ (рис. 3.12 и 3.13) у соседних секций, тем выше точность исследований, но больше их трудоёмкость.

Наибольшая величина нормальной контактной нагрузки σ_N наблюдается у режущей кромки, при удалении от которой величина нагрузки уменьшается, но в средней части имеется горизонтальный участок (рис. 3.14).

Касательная контактная нагрузка τ_F имеет горизонтальный участок у режущей кромки и в средней части графика, свидетельствующий о пластическом характере контакта стружки на этом участке.

Горизонтальная ось имеет безразмерную шкалу (x/c) чтобы на одном графике показать результаты экспериментов, проведённые с различными толщинами среза a , и, следовательно, имеющие разные длины контакта c стружки с передней поверхностью инструмента.

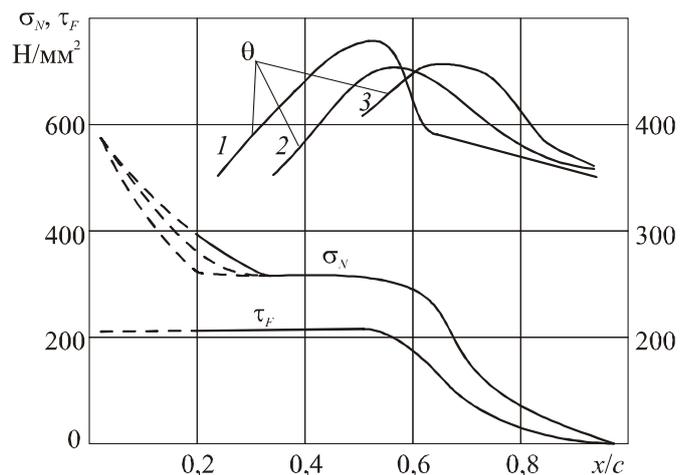


Рис. 3.14. Распределение контактных нагрузок и температуры на передней поверхности инструмента, полученные методом разрезного реза. Сталь 45 – ВК8, передний угол $\gamma=0^\circ$, скорость резания $V=200$ м/мин; толщина срезаемого слоя: 1 – $a=0,39$ мм; 2 – $a=0,2$ мм; 3 – $a=0,1$ мм (Полетика М.Ф., Бутенко В.А.)

С помощью метода разрезного реза можно исследовать и распределение температуры Θ на передней поверхности инструмента, если электрически изолировать пластины от динамометра.

Результаты этого исследования представлены на рис. 3.14 сверху, а температурная шкала для этого графика указана справа.

Аналогично проводится исследования распределения контактных нагрузок на задней поверхности резца. 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.

Большая величина нормальных контактных нагрузок приводит к интенсивному износу по передней и задней поверхностям, однако высокая

температура, как показывают исследования, гораздо больше увеличивает скорость изнашивания.

Контактные нагрузки влияют на внутренние напряжения в режущем клине и, следовательно, на запас прочности инструмента. Запас прочности инструмента $K_{пр}$ – это соотношение максимально допустимых напряжений σ_{δ} или σ_{δ} с точки зрения разрушения инструментального материала к действительным напряжениям σ_{δ} во время обработки: $K_{пр} = \sigma_{\delta} / \sigma_{\delta}$. Чем ниже запас прочности, тем более вероятно локальное или общее разрушение инструмента.

Считается, что для надёжной работы инструмента $K_{пр} \geq 1,5 \dots 1,8$. Чем больше нестабильность сил резания или, тем более, наличие вибрации, тем больше должен быть $K_{пр}$. При пульсирующей нагрузке оценку запаса прочности ведут не по статически определённым предельно допустимым напряжениям, а по усталостным, которые в 2...3 раз меньше статических в зависимости от инструментального материала.

3.5. 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 °С 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. 3.15).

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. Ток в этом случае направляется по обрабатываемой детали 1 через медное кольцо 2, а затем через ртуть в

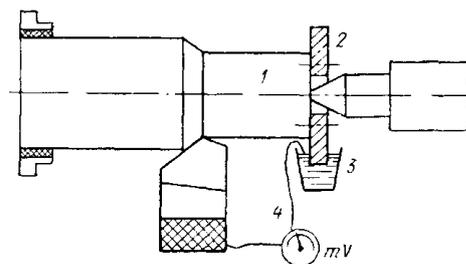


Рис. 3.15. Схема естественной термопары

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 диэлектрических прокладок, например, обычной бумаги. Для избежания вредного воздействия ртути можно использовать простой контакт медной пластины, которая крепится к проводу на милливольтметр 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 прут (400-500 мм) из материала заготовки сваривается на одном конце с параллельно расположенным прутком такой же длины из инструментального материала 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 °С, 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 вращении 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 °С.

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. 3.16 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°C , цвет термокраски ТИК из цвета пурпурного изменяется в цвет голубой; 2) когда температура достигает 190°C , цвета термокраски ТИК из цвета белого в цвет зелено-коричневый; 3) когда температура достигает до 255°C , цвета термокраски ТИК из цвета зеленого в цвет темно-коричневый; 4) Когда температура достигает до 305°C , цвета термокраски ТИК из цвета желтого в цвет красно-коричневый; 5) Когда температура достигает до 440°C , цвета термокраски ТИК из цвета фиолетового в цвет белый.

Для более полного сравнительного представления о температурных полях на поверхностях СМП были показаны изолинии температур 230° , 456° , 510° , 570° на одной модели (рис. 4.17). Из рисунка видно, что с уменьшением температуры градиент изменения температур уменьшается.

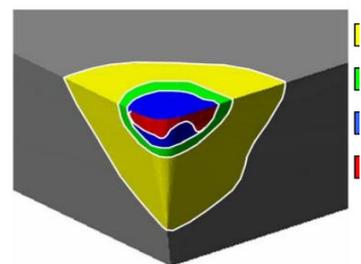


Рис. 4.17. Экспериментальное распределение температуры на поверхностях СМП для условий рис. 4.13

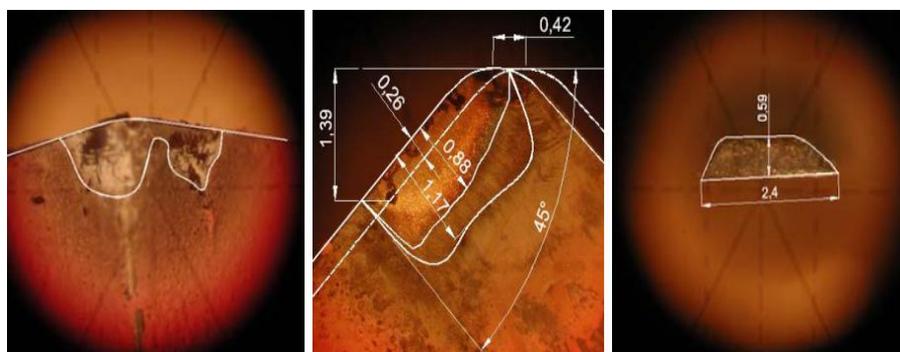


Рис. 4.16. Изотерма термоиндикаторной краски ТИК №14 ТУ 6-09-79-76 с температурой цветового перехода $T_{пер} = 570^{\circ}\text{C}$.
Сталь 45 - Т5К10, $\varphi=45^{\circ}$, $\gamma=0^{\circ}$, $\alpha=10^{\circ}$, $r=0,8\text{мм}$; $V=160\text{ м/мин}$, $t=1,3\text{ мм}$, $S=0,39\text{ мм/об}$.

3.6. 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. 3.18). Нормальная контактная нагрузка – это нагрузка, перпендикулярная к исследуемой поверхности.

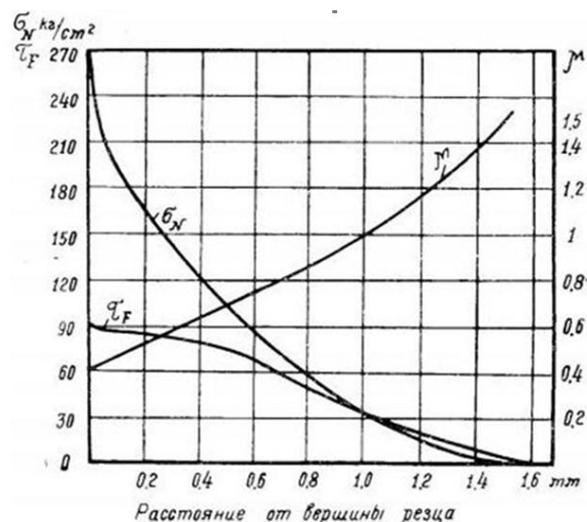


Рис. 3.18. Распределение нормальных и касательных напряжений на передней поверхности, полученные поляризационно-оптическим методом, при резании свинца

На рис. 3.19 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 $R_{y.p.}$, действующей на передней поверхности инструмента.

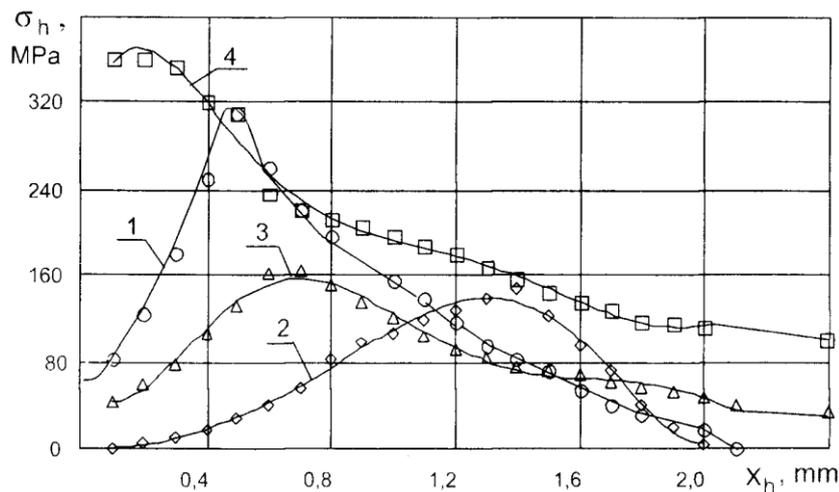


Рис. 3.19. Распределение нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности инструмента, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_\phi=0^\circ$. Л63-Р6М5: 1 - $S=0,06$ мм/об, $V=100$ м/мин; 2 – $S=0,21$ мм/об, $V=100$ м/мин; 3 – $S=0,21$ мм/об, $V=217$ м/мин. 4 - ЛМЦА 57-3-1 – Р6М5, $S=0,41$ мм/об, $V=100$ м/мин.

3.7. Исследование распределения внутренних напряжений в 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. 3.20).

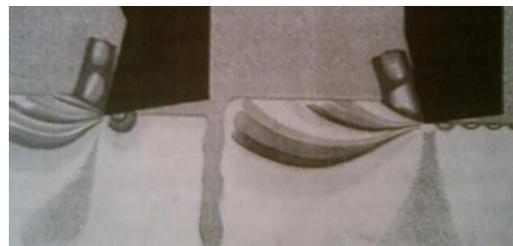


Рис. 3.20. Изохромы при резании целлулоида резцами с различными передними углами

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.

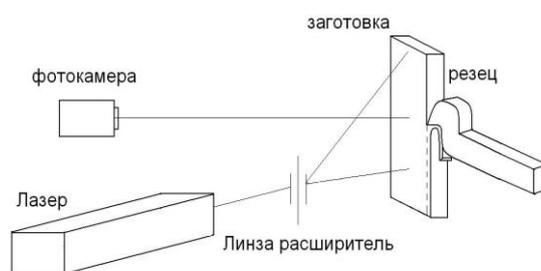


Рис. 3.21. Схема съемки спекл-фотографии

3.8. 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.

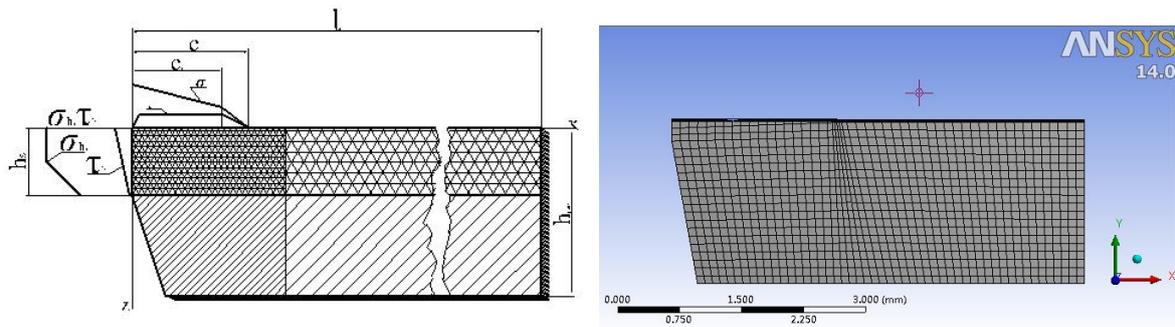


Рис. 3.22. Исходная схема расчёта напряжённо-деформированного состояния режущего клина изношенного инструмента с приложенными внешними неравномерно распределёнными нагрузками

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

Лидером комплексов МКЭ (FEA – FiniteElementAnalysis) (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.3.23).

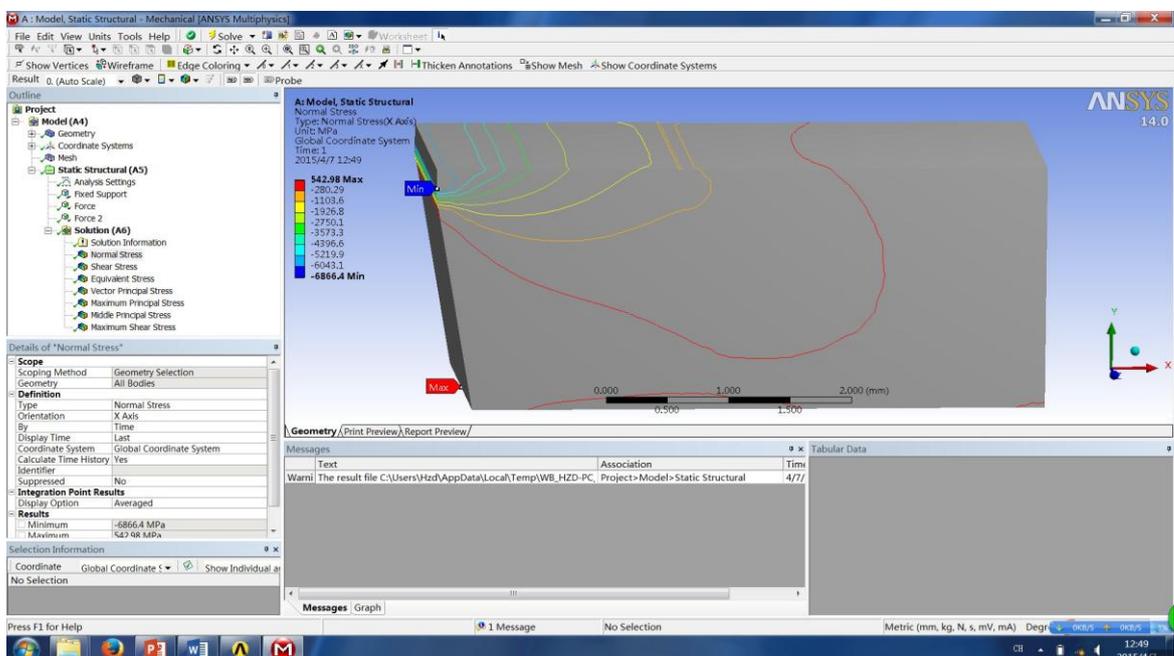


Рис.3.23. Программный интерфейс ANSYS

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 нелинейных расчётов и оптимизации;
- ANSYS DesignSpace® - несложные прочностные, частотные или температурные расчёты, оптимизация, оценка в первом приближении правильности принятых конструктивных решений;
- ANSYS Workbench - многодисциплинарный анализ.

3.9. 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 быть 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 материала 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. Основанный на современных представлениях о кинетике деформирования и разрушения материалов, критерий Писаренко-Лебедева обладает высокой достоверностью (выше 92%) и описывается следующим выражением:

$$\sigma_{\eta} = \chi \times \sigma_t + (1 - \chi) \times \sigma_1 \times p \leq \sigma_{\sigma}, \quad (3.1)$$

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

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

σ_t - интенсивность напряжений в рассматриваемой точке:

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

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

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

Учитывая изменчивость свойств инструментальных материалов с ростом температуры, В.А. Остафьев рекомендует следующие критерии предельного состояния для сплавов группы WC-Co, когда температура $\theta < 870$ К:

$$\sigma_{\eta} = 0,24 \cdot \sigma_1 + 0,76 \cdot \sigma_1 \cdot 0,8 \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_1} \leq \sigma_B ; \quad (3.2)$$

Запас прочности инструментального материала:

$$n = \sigma_B / \sigma_{\eta} . \quad (3.3)$$

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

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 ВТЗ-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 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.

3.10. Постановка задач исследований на основе литературного обзора

На основе литературного обзора были сформулированы следующие основные задачи исследований:

- 1) Определение распределения внешних контактных нагрузок на поверхностях инструментов.
- 2) Создание модели режущего инструмента.
- 3) Изучение напряжённо-деформированного состояния (НДС) и прочности режущего клина с использованием метода конечных элементов.
- 4) Выявление причин отказа режущих инструментов при обработке по результатам исследований.
- 5) Исследование влияния формы и геометрических параметров пластины на НДС режущего клина.
- 6) Исследование влияния подачи, глубины и скорости резания на НДС режущего клина.
- 7) Исследование влияния обрабатываемого материала на НДС режущего клина.

- 8) Определение оптимальной геометрии режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке стали.
- 9) Исследование НДС СМП.

4. Методика выполнения работы

4.1. Приложение внешней нагрузки на заднюю и переднюю поверхности

Чтобы оценить прочность инструмента, необходимо знать величины и характеры распределения контактных нагрузок на поверхностях инструмента. На передней поверхности действует тангенциальная R_z и радиальная R_y составляющая сила, также и на задней поверхности.

В этой главе внешняя нагрузка моделировалась приложением контактных нагрузок, величина и распределение которых была изучена Козловым В.Н. на кафедре ТАМП ТПУ. Длина контакта стружки с передней поверхностью $C = 3$ мм.

Исследование распределения контактных нагрузок очень трудоёмкий и дорогостоящий процесс, при этом есть вероятность погрешности расчётов в связи с изменениями процесса стружкообразования из-за достаточной нестабильности самого процесса резания. Поэтому рассмотрим, насколько погрешность распределения влияет на НДС инструмента. Изучим НДС режущего клина при действии трёх видов внешних нагрузок при одинаковой их общей величине:

1. Сосредоточенная нагрузка – наиболее простой вид нагружения и не требует специального исследования распределения внешних напряжений. На передней поверхности сосредоточенная нагрузка прикладывается в точке центра сил. Т.к. наибольшую долю сил создаёт нормальное напряжение (рис. 4.1.), то этот центр обычно находится от режущей кромки на расстоянии $0,3$ длины контакта стружки с передней поверхностью C .

Для исключения появления огромных внутренних напряжений в режущем клине в точке приложения сосредоточенной силы на передней поверхности, заменяем приложение силы в точке на равномерное нагружение на участке длиной $0,2 \cdot C$ и шириной, равной ширине диска из обрабатываемого материала. Таким образом начало этого нагруженного участка начнётся на расстоянии $0,2 \cdot C$ от режущей кромки и закончится на расстоянии $0,4 \cdot C$ от режущей кромки.

На фаске задней поверхности, моделирующей износ, принимаем во внимание реальное распределение на ней контактных напряжений. При обработке титанового сплава ВТЗ-1 на скорости резания 60 м/мин для ширины фаски на задней поверхности $h_3 \leq 0,2$ мм при $S=0,43$ мм/об и $h_3 \leq 0,4$ мм при $S=0,21$ мм/об на фаске имеется равномерное распределение. Аналогичный вид имеет распределение контактных напряжений

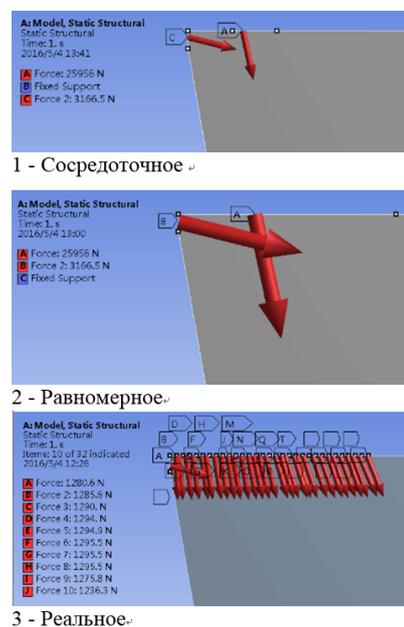


Рис. 4.1. Виды приложения контактных нагрузок на

на задней поверхности при обработке стали. Поэтому точка приложения должна располагаться от режущей кромки на расстоянии, равном половине ширины искусственной фаски износа по задней поверхности h_3 .

Для исключения появления огромных внутренних напряжений режущем клине в точке приложения сосредоточенной силы, заменяем приложение силы на задней поверхности в точке на равномерное нагружение по всей ширине фаски по задней поверхности h_3 .

На передней поверхности действует нормальная сила $N1 = 25386$ Н (сила А на рис. 5.4) и касательная сила $F1 = 5412$ Н (сила В на рис. 4.1). На задней поверхности действует нормальная сила $Nh = 3072$ Н, и касательная сила $Fh = 768$ Н.

2. Равномерно распределённая (рис. 4.4.). Действует равномерное распределение нормальных и касательных напряжений на всей длине контакта стружки с передней поверхностью и на фаске задней поверхности, моделирующей износ. Суммарные силы на передней и задней поверхностях такие же, что и при действии сосредоточенных нагрузках.

3. Нагрузка, распределённая по установленному закону.

Для приложения реальных внешних напряжений, действующих на передней поверхности, разбиваем участок длины контакта стружки с передней поверхностью на участки. В тех местах, где происходит интенсивное изменение контактных напряжений, разбиваем эпюры на более мелкие участки. Для приложения внешней нагрузки в узлах сетки МКЭ рассчитываем суммарные нормальную и касательную силы, действующую на этом участке (табл. 4.1). Для создания условий нагружения, более близкому к реальному, разбиваем длину контакта стружки с передней поверхностью резца на большое количество участков (15 участков).



Рис.4.2. Виды распределения контактных нагрузок на рабочей поверхности. Верхний график – распределение нормального контактного напряжения, нижний - касательного

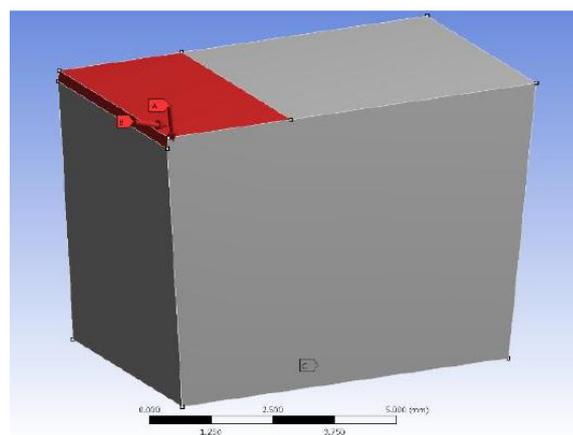


Рис.4.3. Схема нагружения равномерно распределёнными контактными нагрузками

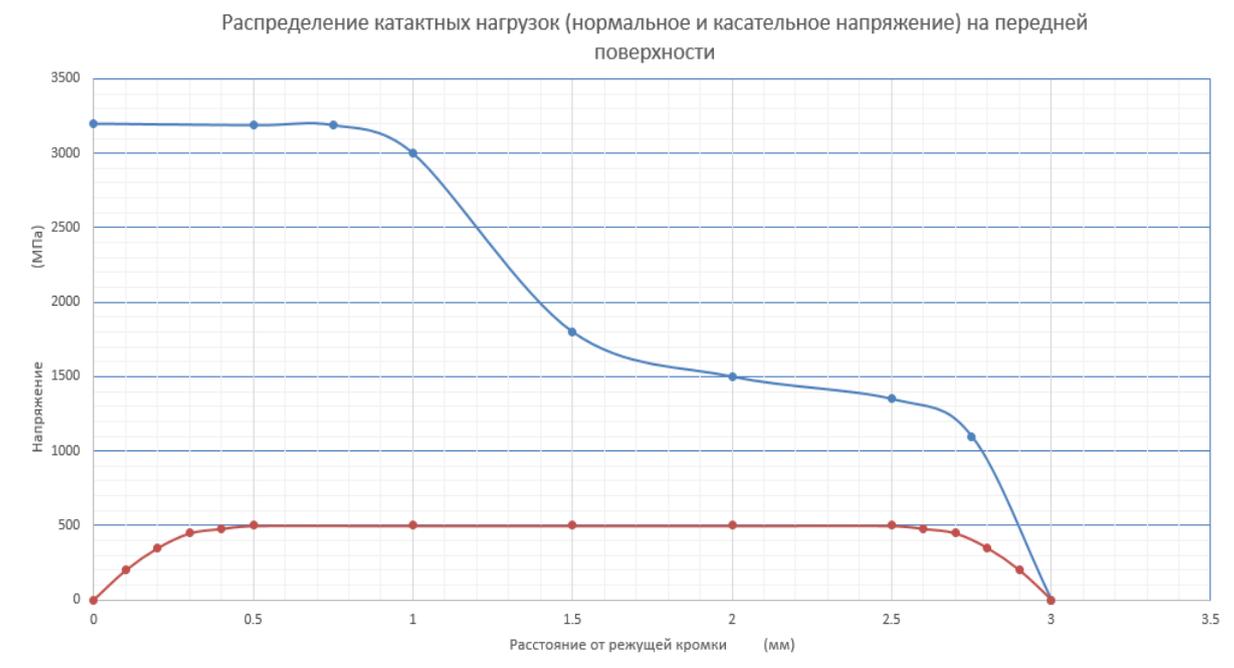


Рис.4.4. Распределение нормальных (верхний график) и касательных (нижний график) напряжений на передней поверхности

Таблица 4.1 – 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 обработке титанового сплава ВТЗ-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. 4.3). 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.

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.

Согласно исследованиям Чжана Ц. и Козлова В.Н., равномерно распределённые контактные нагрузки являются наиболее оптимальными для изучения НДС режущей пластины инструмента, т.е. они достаточно просто рассчитываются и их приложение даёт практически такой же результат, что и при приложении напряжений, распределение которых было получено с использованием трудоёмкого и сложного по реализации метода разрезного резца.

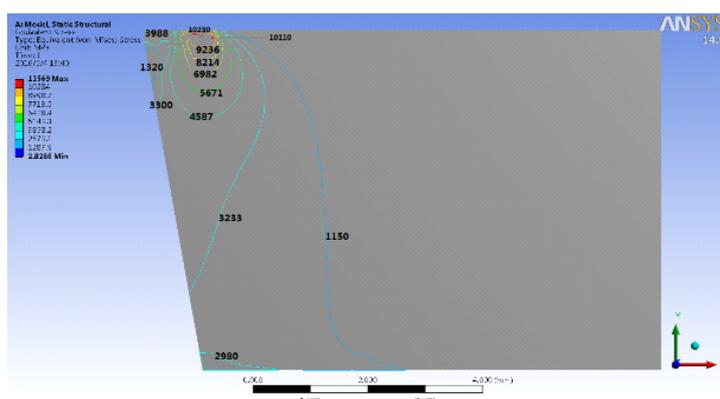
4.2. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине

Расчёт внутренних напряжений в режущем клине выполнялся методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного обеспечения ANSYS 13 для условия свободного прямоугольного течения диска из титанового сплава ВТ3-1 с радиальной подачей. При расчётах толщина режущей пластины принималась $h=6$ мм, длина $l=9$ мм, ширина контакта стружки с передней поверхностью принималась равной ширине диска $b = b_d = 4$ мм, ширина режущей пластины принималась немного больше ширине диска, т.е. $b_p = 4,2$ мм, при симметричном расположении диска относительно режущей пластины. Материал режущей пластины в расчётах – твёрдый сплав ВК8.

Составляющие силы резания и распределение контактных напряжений были получены экспериментально при свободном прямоугольном течении диска из титанового сплава ВТ3-1 при использовании метода разрезного реза.

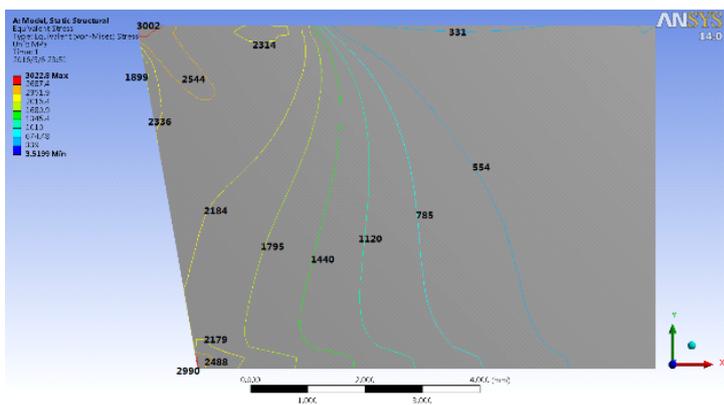
Режущая часть разрезного реза была выполнена из твёрдого сплава ВК8. Режим резания: скорость резания: $v = 1$ м/с, радиальная подача $s = 0,43$ мм/об. Геометрия режущей части: передний угол: $\gamma=0^\circ$, главный задний угол $\alpha=10^\circ$, длина фаски на задней поверхности, моделирующей износ, $h_f=0,2$ мм, задний угол на этой фаске $\alpha_h=0^\circ$.

В расчётах на прочность лучше использовать эквивалентные внутренние напряжения. После замены сосредоточенных сил на равномерно распределённые на небольшом участке исчезает зона с высокой концентрацией напряжений в точке приложения нагрузок, но на передней поверхности в месте приложения нагрузок на удалении от режущей кромки всё равно имеется зона с нереально большими эквивалентными напряжениями ($\sigma_{\text{ЭКВ max сосред}} = 10\,230$ МПа) (рис. 5.5, а).

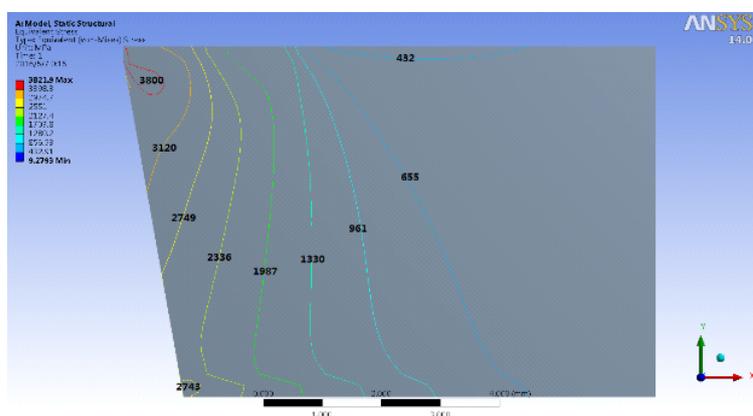


а) при нагружении сосредоточенными силами

Рис. 4.5. Распределение эквивалентных внутренних напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$, МПа, в режущем клине при разном виде приложения внешних нагрузок. ВТ3-1 – ВК8, $\gamma=0^\circ$, $v=1$ м/с, $s=0,43$ мм/об, $h_f=0,2$ мм.



б) при нагружении равномерно распределёнными удельными нагрузками



в) при нагружении контактными напряжениями, имеющими реальное распределение

Рис. 4.5 (продолжение). Распределение эквивалентных внутренних напряжений $\sigma_{\text{экв}}$, МПа, в режущем клине при разном виде приложения внешних нагрузок. ВТЗ-1 – ВК8, $\gamma=0^\circ$, $v=1$ м/с, $s=0,43$ мм/об, $h_f=0,2$ мм.

При действии сосредоточенной нагрузки при удалении от режущей кромки более 3 мм внутренние напряжения становятся небольшими, порядка 1000 МПа.

На задней поверхности вблизи режущей кромки имеется область с большими внутренними напряжениями ($\sigma_{\text{экв}}^{\text{сосред}} = 3\,988$ МПа), да и во всей области задней поверхности вплоть до опорной нижней поверхности имеются довольно большие внутренние напряжения около 3200 МПа.

На нижней опорной поверхности на левом крае имеются довольно большие внутренние напряжения порядка 2980 МПа, что соответствует принципам механики.

У режущей кромки и в области нагружения располагается зона сжимающих напряжений (рисунок в статье не приводится). На удалении от режущей кромки более 4 мм начинается область растягивающих напряжений

($\sigma_x \text{ сосред} \approx \sigma_y \text{ сосред} = 1\ 100\text{-}1300$ МПа), что должно привести к поломке режущей пластины.

При приложении равномерно распределённых удельных контактных нагрузок характер распределения внутренних напряжений существенно изменяется по сравнению с действием сосредоточенных сил. Линии равных эквивалентных напряжений в большей части проходят приблизительно перпендикулярно передней поверхности режущей пластины. Наибольшая величина внутренних напряжений ($\sigma_{\text{экв max равном}} = 3022$ МПа) находится у режущей кромки.

На большей части передней и на всей задней поверхности действуют довольно большие внутренние напряжения порядка 2100 МПа. На нижней опорной поверхности на левом крае имеются большие напряжения ($\sigma_{\text{экв равном}} \approx 3000$ МПа), такие же, что и при действии сосредоточенных сил.

При нагружении равномерно распределёнными контактными нагрузками внутренние напряжения быстро уменьшаются до 785-554 МПа при удалении от режущей кромки более 3 мм.

У режущей кромки и в области нагружения располагается зона сжимающих напряжений (рисунок в статье не приводится). На удалении от режущей кромки более 4 мм начинается область растягивающих напряжений ($\sigma_x \text{ равном} \approx 480$ МПа, $\sigma_y \text{ равном} \approx 90$ МПа).

1. Характер распределения эквивалентных напряжений, полученных под действием равномерно распределённых контактных нагрузок не сильно отличается от характера распределения, полученных под действием внешних контактных напряжений, имеющими реальное распределения.

2. Наибольшие эквивалентные напряжения, полученные под действием реального распределения внешних напряжений, больше на 25,7 %, чем наибольшие эквивалентные напряжения, полученные под действием равномерно распределённой контактной нагрузки, ($\sigma_{\text{экв max реал}} = 3\ 800$ МПа, $\sigma_{\text{экв max равном}} = 3\ 022$ МПа).

3. Наибольшее эквивалентное напряжение у режущей кромки, полученное при действии сосредоточенной нагрузки, в несколько раз больше, чем при действии реального распределения, что не соответствует действительности ($\sigma_{\text{экв max сосред}} = 10\ 230$ МПа, $\sigma_{\text{экв max реал}} = 3\ 800$ МПа).

4. Для расчёта внутренних напряжений для моделирования внешних нагрузок можно использовать равномерное распределение контактных нагрузок с увеличенным на 25 % наибольшим эквивалентным напряжением у режущей кромки. По сравнению с приложением реального распределения НДС режущего клина изменяется несущественно. Это позволяет уменьшить трудоёмкость

получения исходных данных по распределению контактных напряжений, и в то же время обеспечить достаточную точность.

5. Погрешности, допущенные при исследовании распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях инструмента методом разрезного резца, несущественно влияют на распределение внутренних напряжений в режущем клине.

4.3. Создание модели режущего инструмента

Для упрощения исследования НДС режущего клина, мы создали модель резца как маленькую часть режущего инструмента (рис.5.6), 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.)

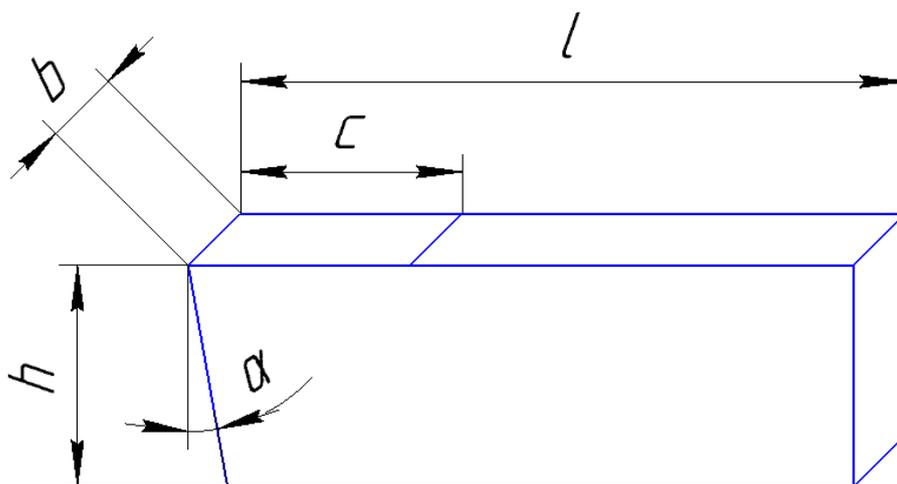


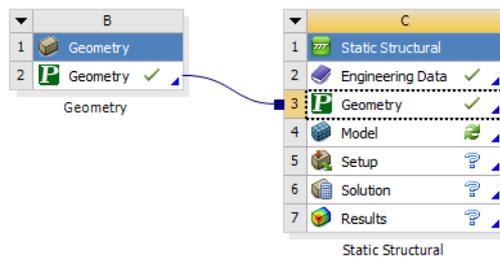
Рис. 4.6. Модель резца для исследования. a – ширина режущей пластины (режущего клина), ширина режущей пластины b ; h – толщина модели резца; ρ – радиус округления режущей кромки, $\rho = 0$ мм; α – задний угол, $\alpha = 10^\circ$; γ – передний угол, $\gamma = 0^\circ$; C – длина контакта стружки с передней поверхностью, $C = 3$ мм; l – длина модели резца, $l = 9$ мм

Моделирование резца можно выполнить в любой CAD-системе в соответствии с выбранными параметрами.

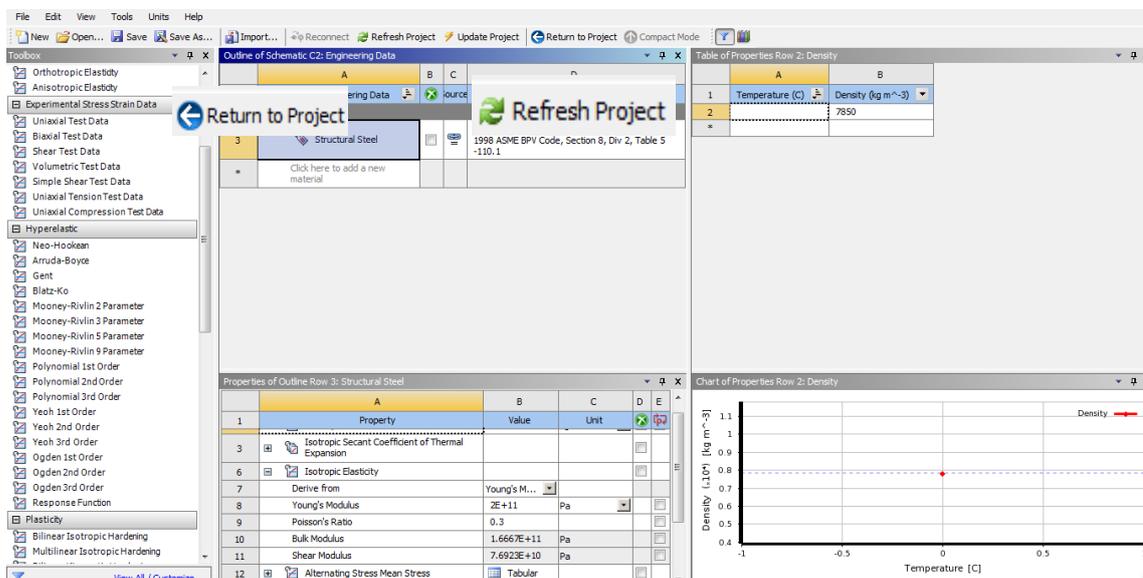
Открываем программу ANSYS 13.0 (workbench).

Выбираем  Geometry (является значок

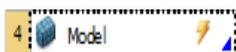
Щелкните правой кнопкой мыши **Geometry**. Импортируем файл **Резец проходной прямой x_t**. в ANSYS13.0 (workbench). Вызываем команду **Открыть**. Программа может потребовать выполнение диагностики импортирования детали: нажимаем **ОК**.



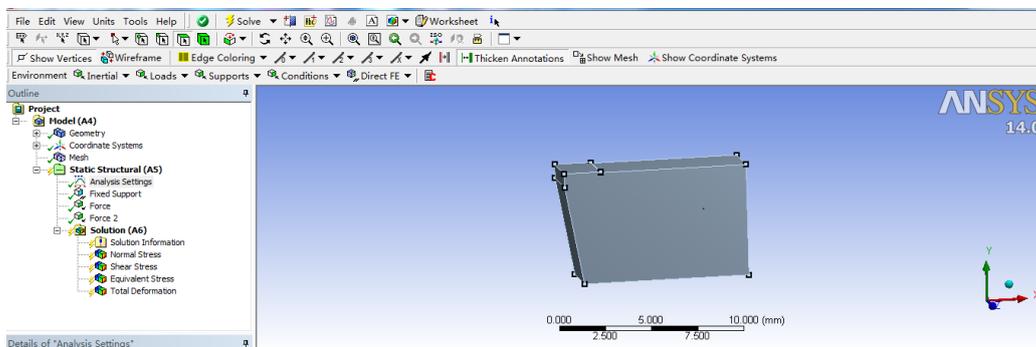
Затем назначаем материал резца, щёлкнув клавишей мыши по **Engineering Data**, вводим модуль Юнга и коэффициент Пуассона.



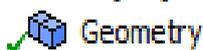
После завершения этих операций, щелкнув клавишей мыши.



После этого появляется окно:



В верхней части рабочего окна ANSYS 13.0 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.

4.4. 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 порошков 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 нержавеющей высокопрочных трудно обрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана.

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

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

При создании модели в среде ANSYS, для твердого сплава ВК8 мы используем модуль Юнга равным 6,32 ГПа, и коэффициент Пуассона равным 0,2.

Обрабатываемый материал, выберем титановый сплав ВТЗ-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 $450 \sim 500 \text{ °C}$;

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 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ может сохранять определенную степень пластичности.

4.5. Распределение температуры на рабочих поверхностях инструмента

Температура резания при обработке титановых сплавов выше, чем при обработке сталей на $100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 BT3-1, задаёмся температурой на рабочих поверхностях режущей пластины. Результаты расчёта

распределения температуры с помощью программы ANSYS представлены на рис. 4.7. Результаты расчёта согласуются с результатами исследований распределения температуры при точении стали 45.

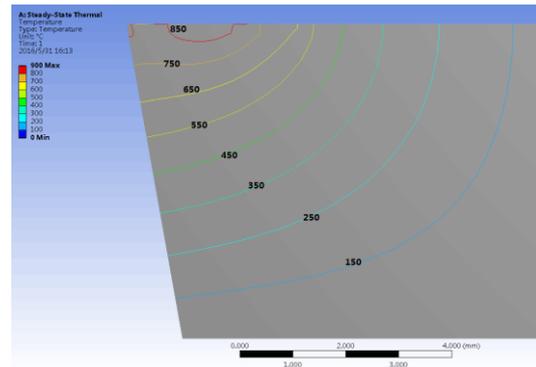


Рис.4.7. Распределение температуры в режущем клине, полученные расчётом по программе ANSYS при толщине пластины $h=6\text{ мм}$. BT3-1 – BK8, $\gamma=0^{\circ}$, $v=1\text{ м/с}$, $s=0,21\text{ мм/об}$, $h_3=0,2\text{ мм}$

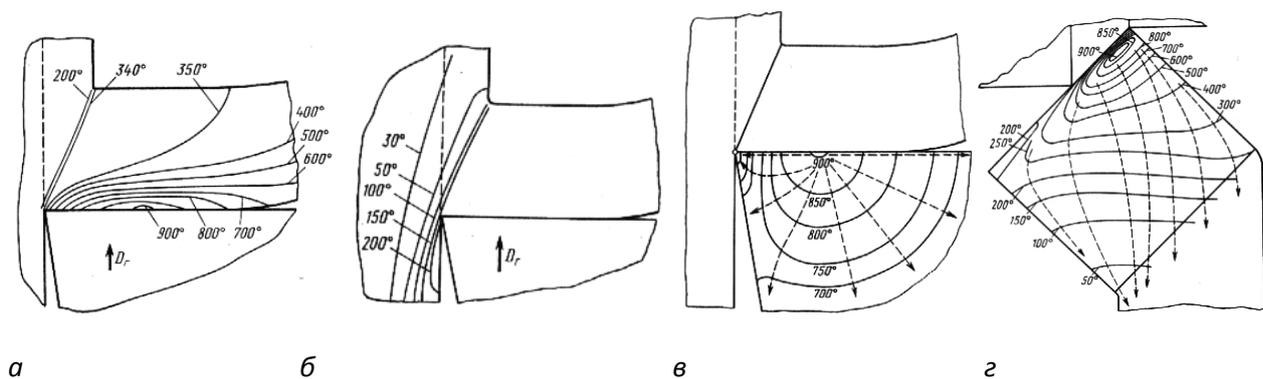


Рис. 4.8. Распределение температуры в стружке (а), заготовке (б), режущем клине (в) и на передней поверхности резца (г) при резании стали 45 резцом из T15K6. $V=150\text{ м/мин}$, $S=0,3\text{ мм/об}$, $\gamma=0^{\circ}$, $\alpha=10^{\circ}$, $\phi=45^{\circ}$

5. Исследование НДС инструмента

5.1. Измерение сил резания при точении вала

Силы резания при обработке стали 40X токарным проходным резцом Т15К6

Измерения сил резания проводились с помощью динамометра Kistler.

Сталь 40X - Т15К6, : $t=2$ мм; $s=0,07\dots 0,54$ мм/об; $v=120$ м/мин.

1) При фаске износа на задней поверхности $h_3=0,95$ мм.

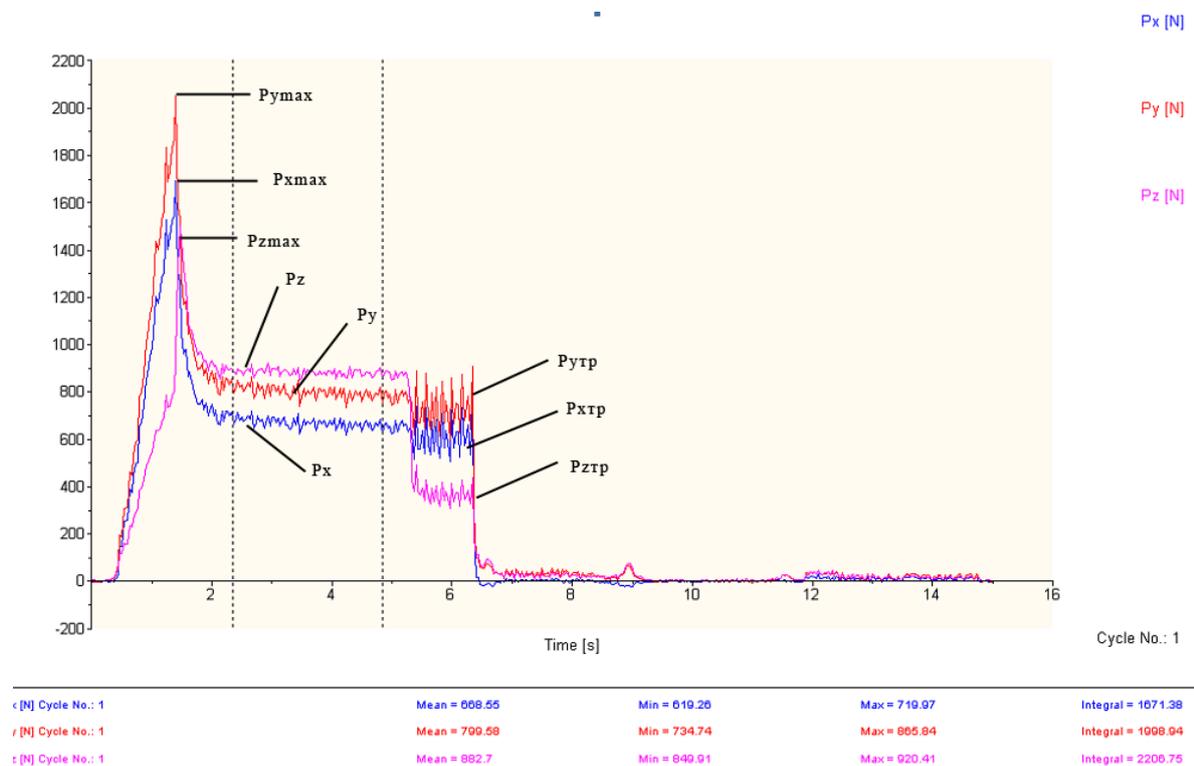


Рис. 5.1.1. а) Силы резания при обработке стали 40X токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,07$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_3=0,95$ мм. $P_x=640$ Н, $P_y=810$ Н, $P_z=850$ Н.

$P_{x\max}$, $P_{y\max}$ и $P_{z\max}$ - максимальные мгновенные составляющие силы при врезании в материал заготовки; P_x , P_y и P_z - составляющие силы при установившемся резании; $P_{x\text{тр}}$, $P_{y\text{тр}}$ и $P_{z\text{тр}}$ - составляющие силы при трении (подача отключена, но отвода резца от заготовки нет).

Табл. 5.1. Составляющие сил резания при разных фасках износа и подаче $S=0,07$ мм/об.

Фаска h_3 , мм	Максимальные силы при врезании, Н			Максимальные силы при трении, Н			Амплитуда сил при трении, Н			Средние силы при трении, Н		
	P_x	P_y	P_z	P_x	P_y	P_z	P_x	P_y	P_z	P_x	P_y	P_z
0,13	-	-	-	60	65	45	40	40	40	40	43	23
0,29	325	360	-	155	190	120	70	80	75	120	150	83
0,465	475	530	660	230	275	175	55	100	60	202	225	145
0,54	690	770	785	370	420	235	60	70	45	340	385	212
0,775	1680	1900	1330	820	915	420	240	240	100	700	795	370
0,95	1690	2050	1470	730	890	425	205	240	105	627	770	323

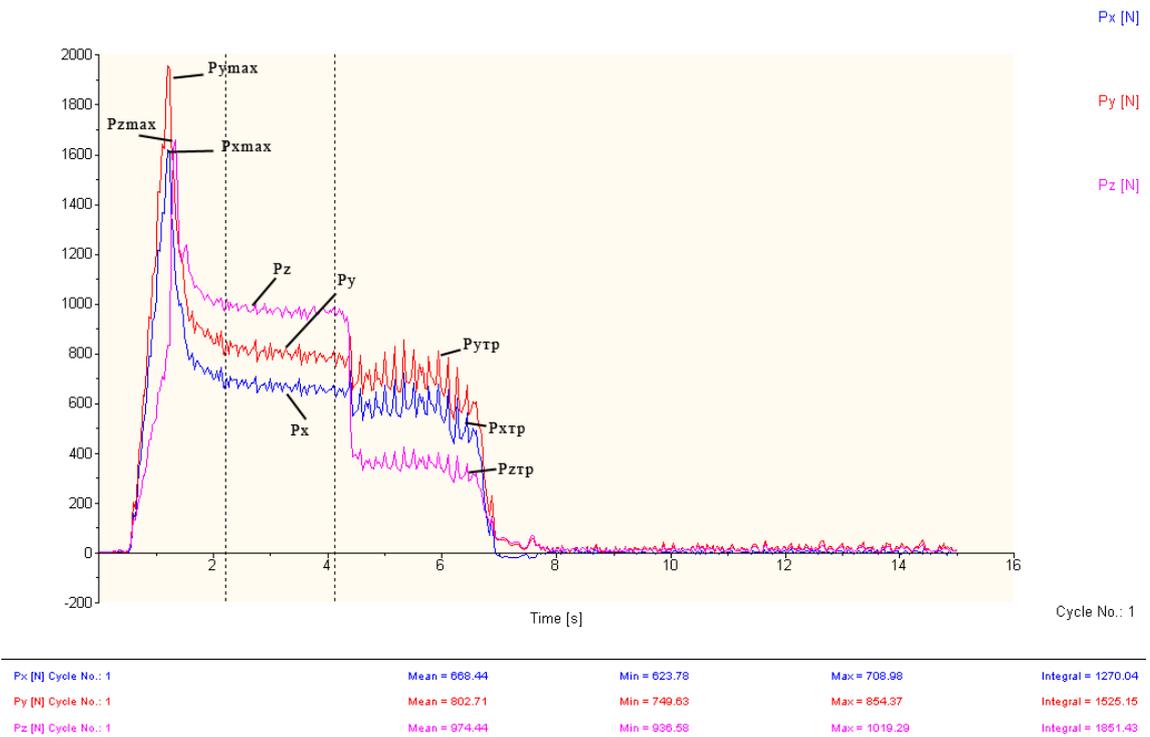


Рис. 5.1.1. б) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,11$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_z=0,95$ мм. $P_x=670$ Н, $P_y=802$ Н, $P_z=975$ Н.

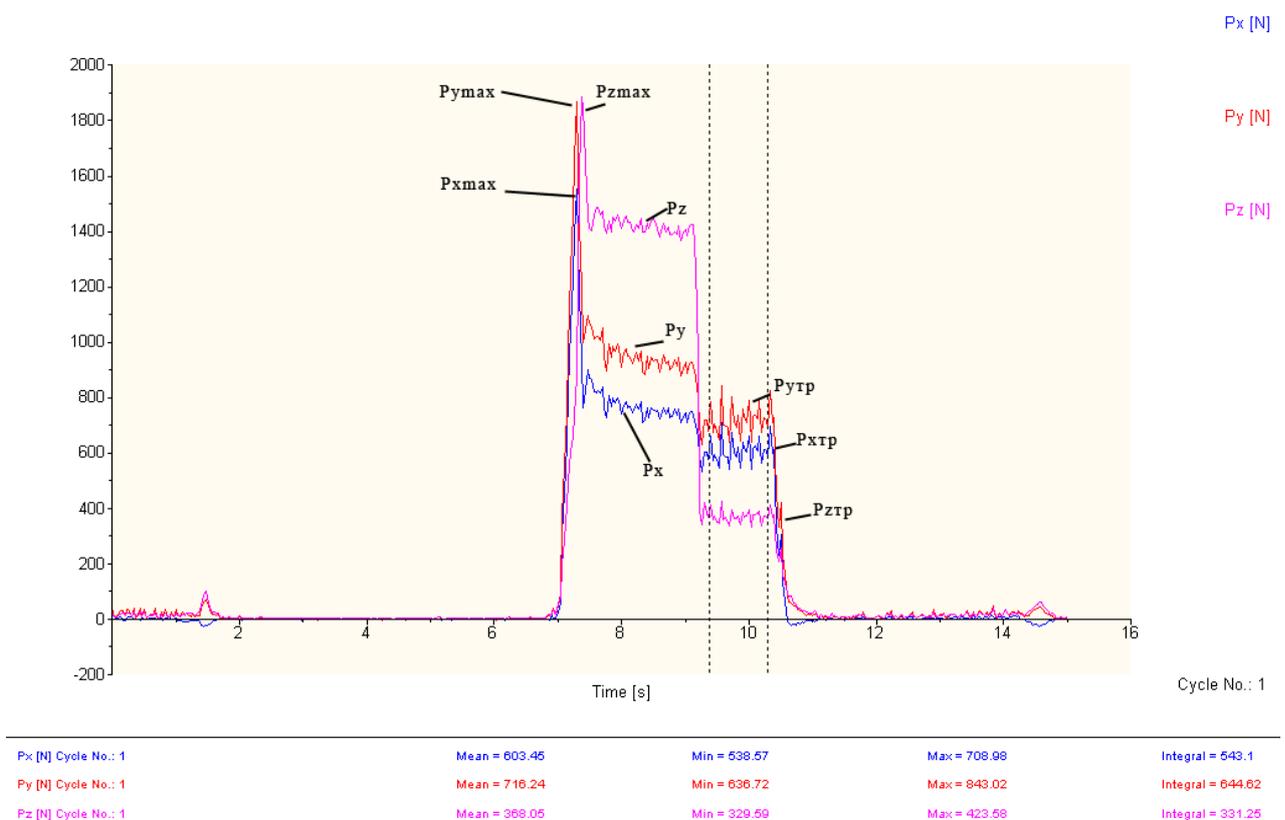
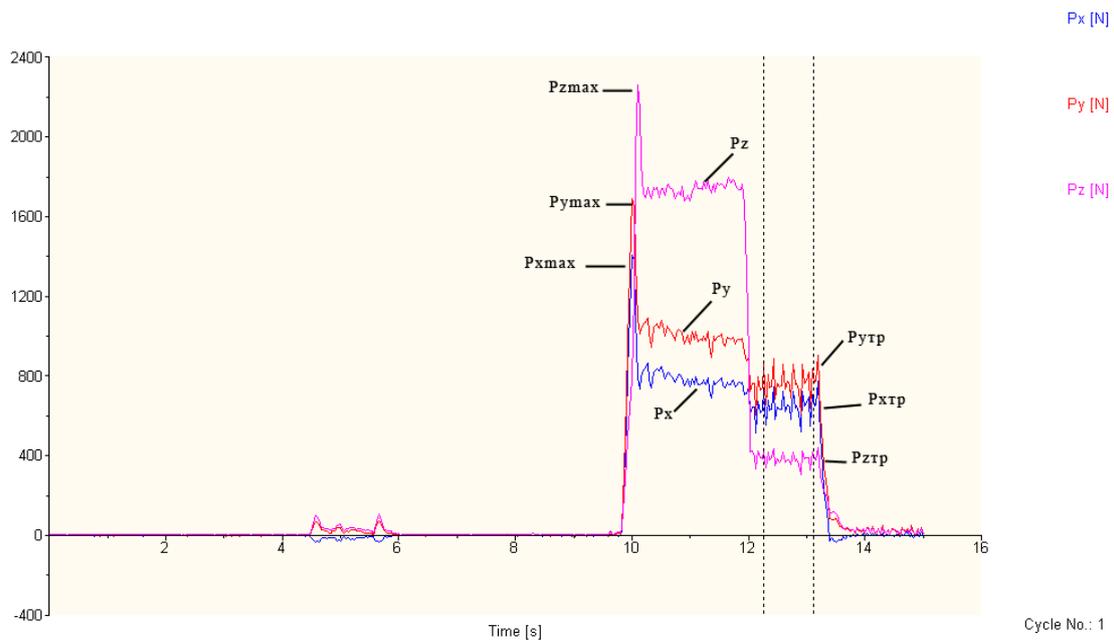
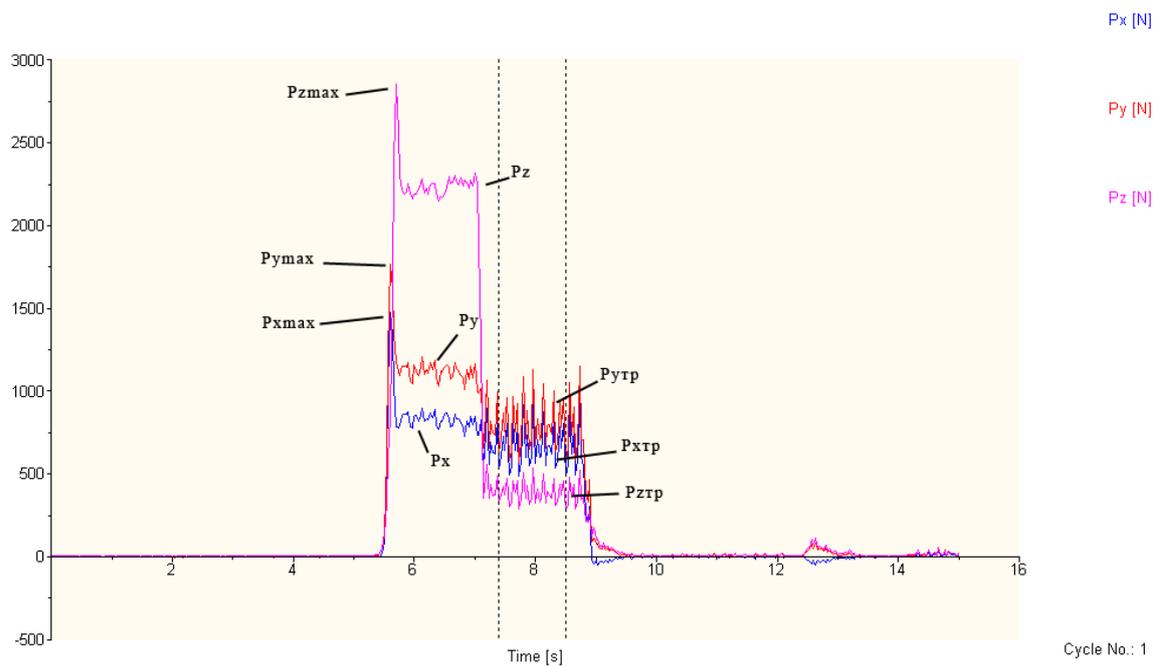


Рис. 5.1.1. в) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,23$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_z=0,95$ мм. $P_x=750$ Н, $P_y=920$ Н, $P_z=1410$ Н.



Force Component	Mean [N]	Min [N]	Max [N]	Integral [N·s]
Px [N] Cycle No.: 1	646.54	517.94	746.34	560.33
Py [N] Cycle No.: 1	764.35	611.57	887.33	662.44
Pz [N] Cycle No.: 1	381.64	306.09	435.49	330.75

Рис. 5.1.1. г) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,34$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_z=0,95$ мм. $P_x=780$ Н, $P_y=980$ Н, $P_z=1730$ Н.



Force Component	Mean [N]	Min [N]	Max [N]	Integral [N·s]
Px [N] Cycle No.: 1	660.07	485.23	945.68	748.07
Py [N] Cycle No.: 1	783.96	567.75	1130.98	889.49
Pz [N] Cycle No.: 1	382.03	284.73	533.45	432.96

Рис. 5.1.1. д) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,52$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_z=0,95$ мм. $P_x=840$ Н, $P_y=1120$ Н, $P_z=2270$ Н.

2) При фаске износа на задней поверхности $h_3=0,54$ мм.

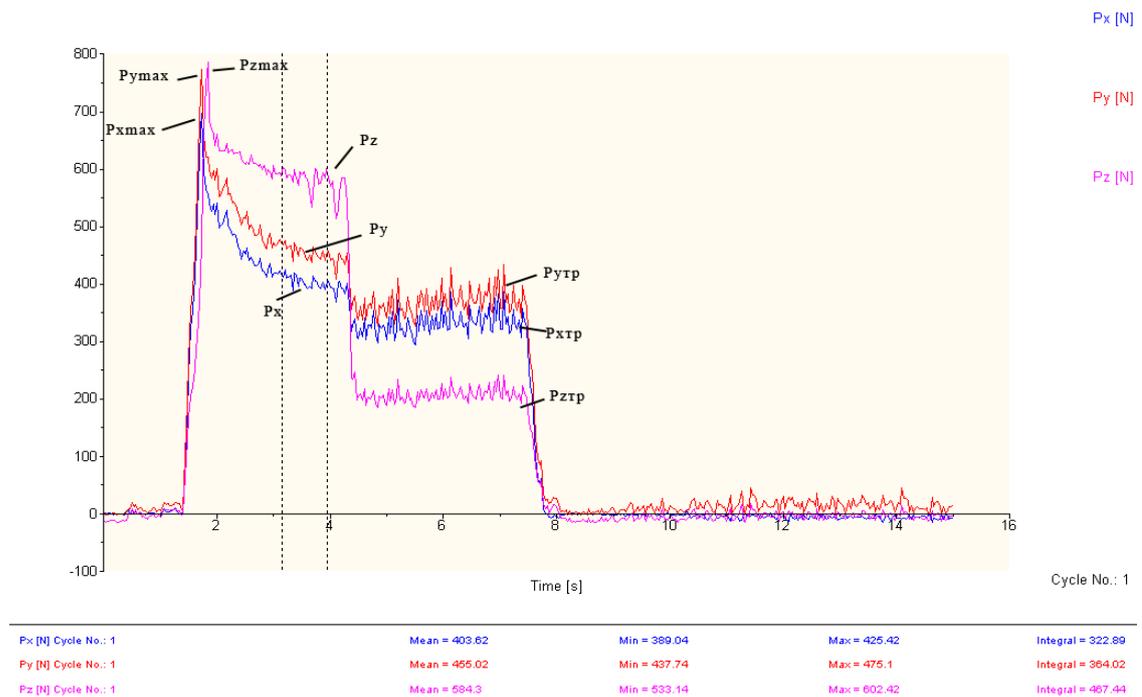


Рис. 5.1.2. а) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,07$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_3=0,54$ мм. $P_x=403$ Н, $P_y=455$ Н, $P_z=584$ Н.

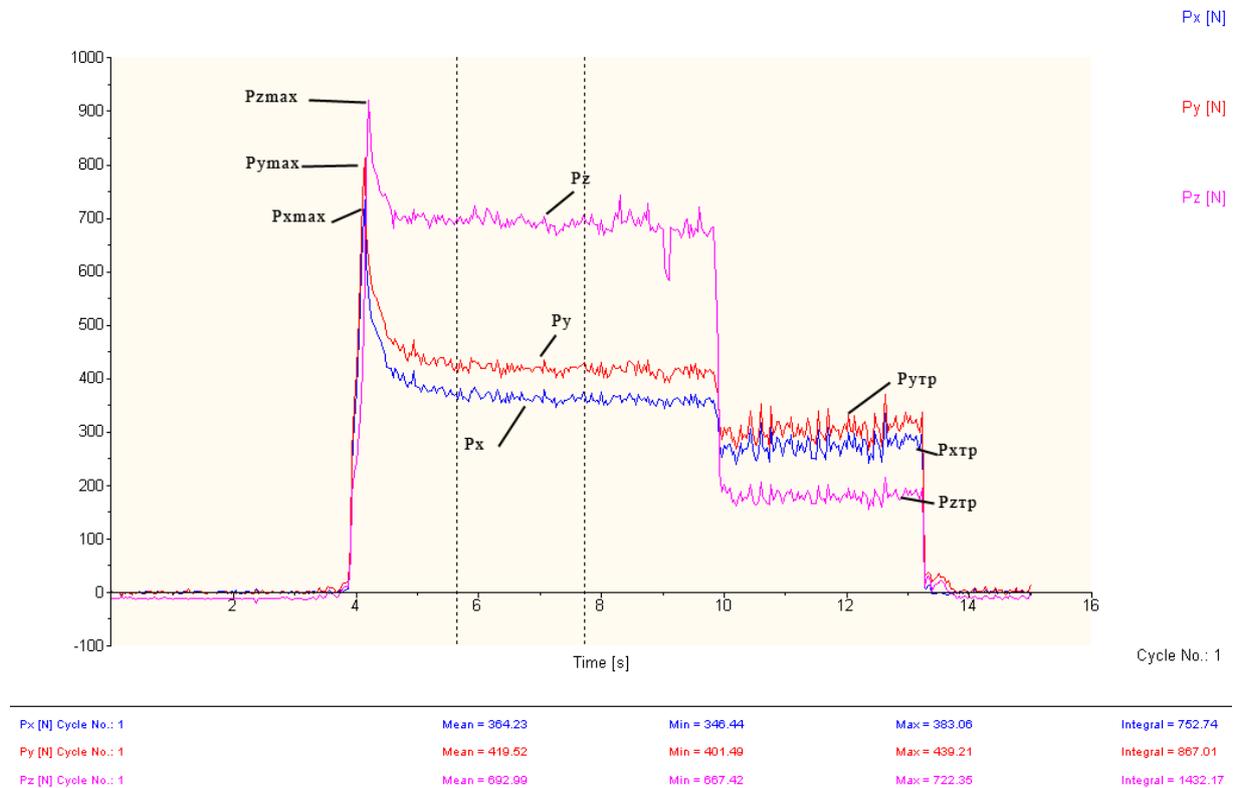


Рис. 5.1.2. б) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,11$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_3=0,54$ мм. $P_x=365$ Н, $P_y=420$ Н, $P_z=693$ Н.

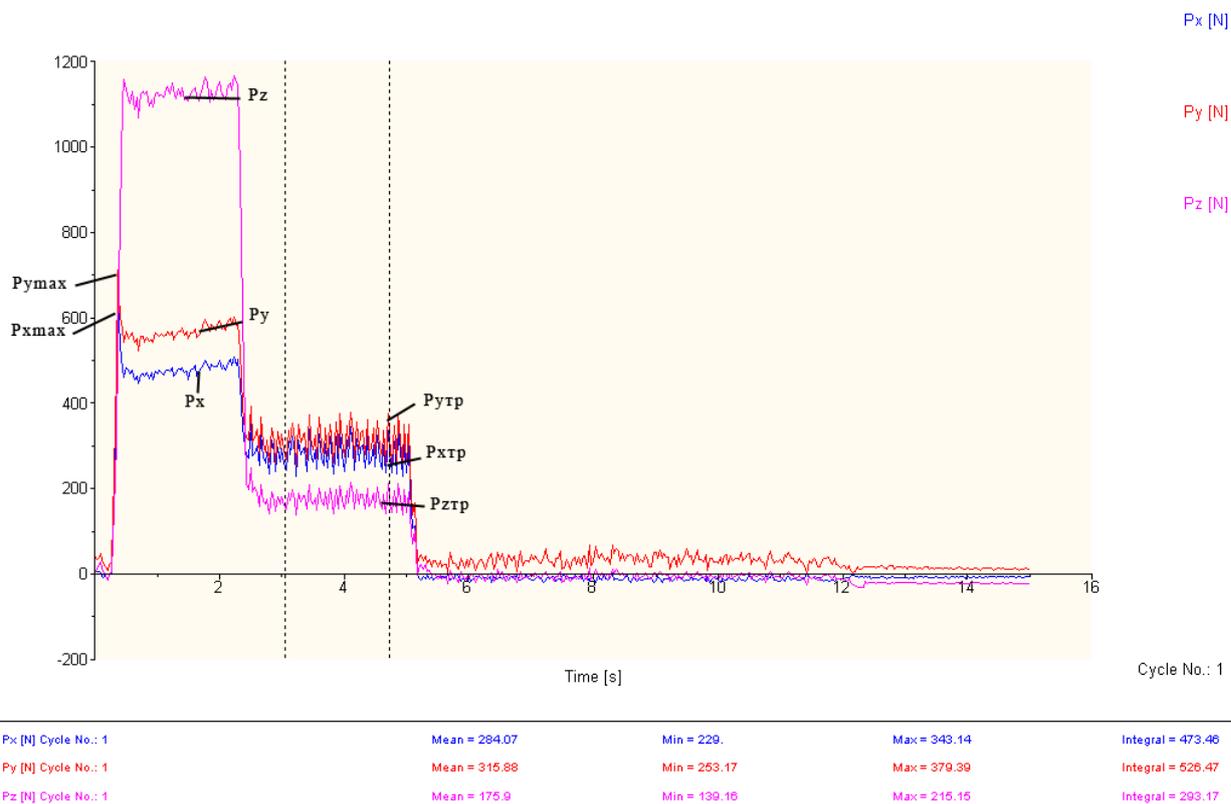


Рис. 5.1.2. в) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,23$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин; $h_z=0,54$ мм. $P_x=570$ Н, $P_y=480$ Н, $P_z=1120$ Н.

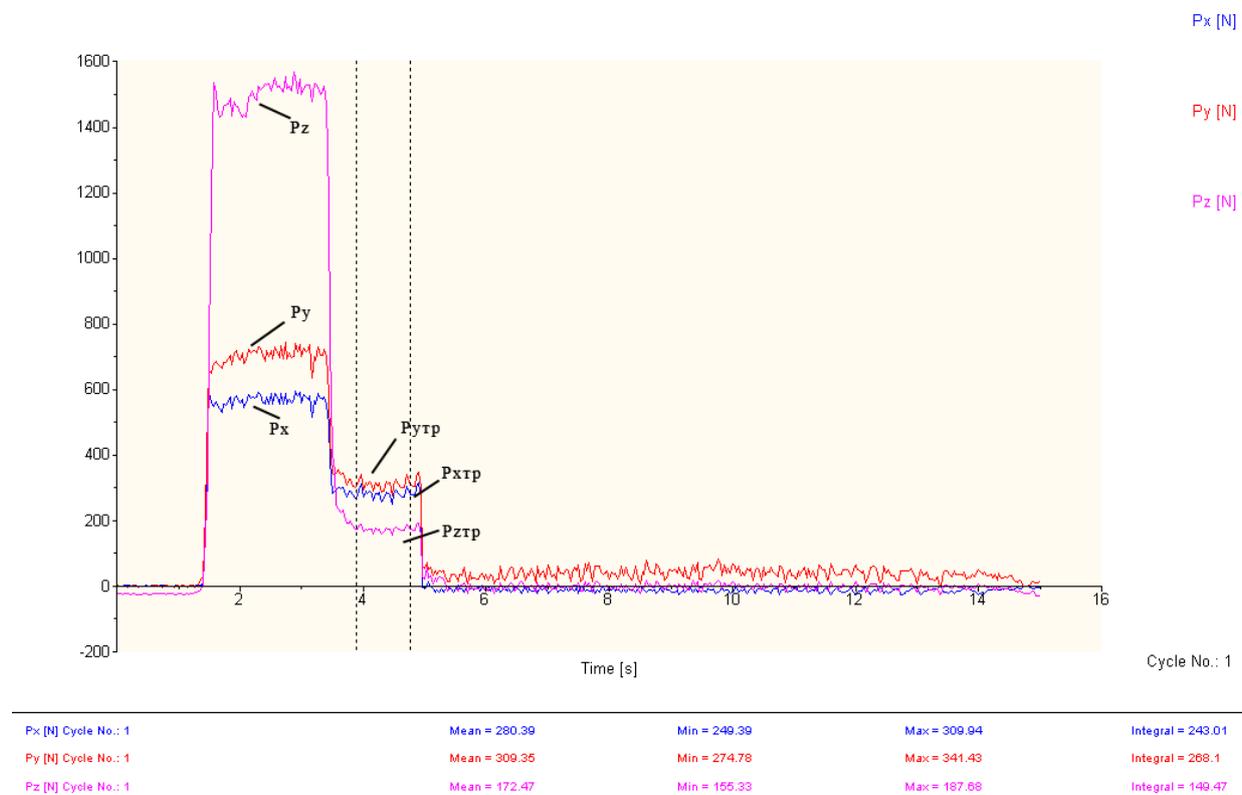


Рис. 5.1.2. г) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,34$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин; $h_z=0,54$ мм. $P_x=560$ Н, $P_y=710$ Н, $P_z=1510$ Н.

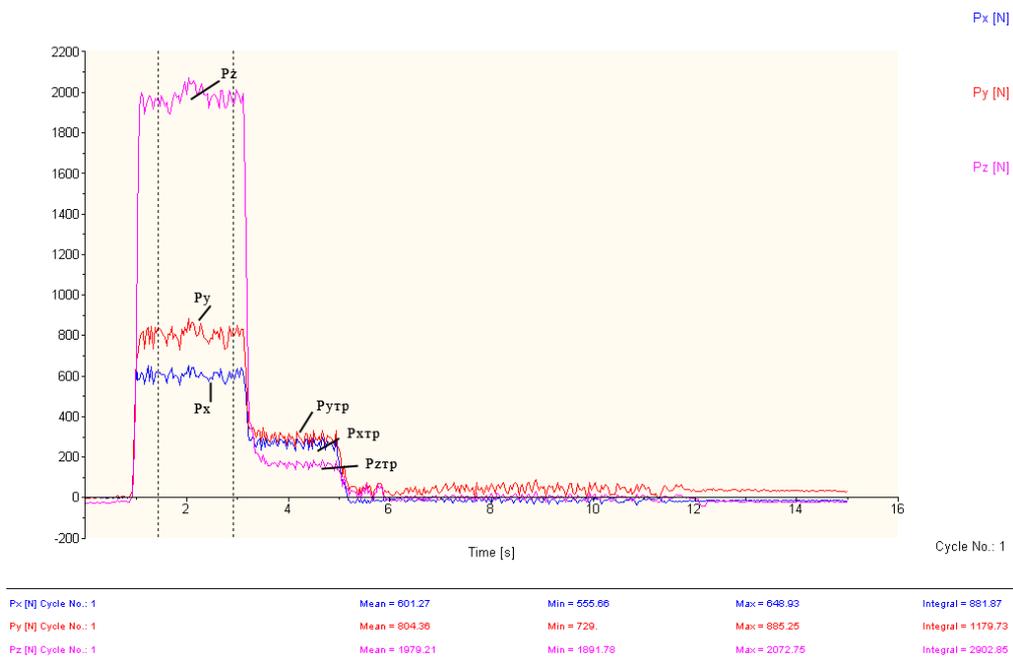


Рис. 5.1.2. г) Силы резания при обработке стали 40Х токарным проходным резцом Т15К6. Режимы: $S=0,52$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин; $h_3=0,54$ мм. $P_x=801$ Н, $P_y=804$ Н, $P_z=1980$ Н.

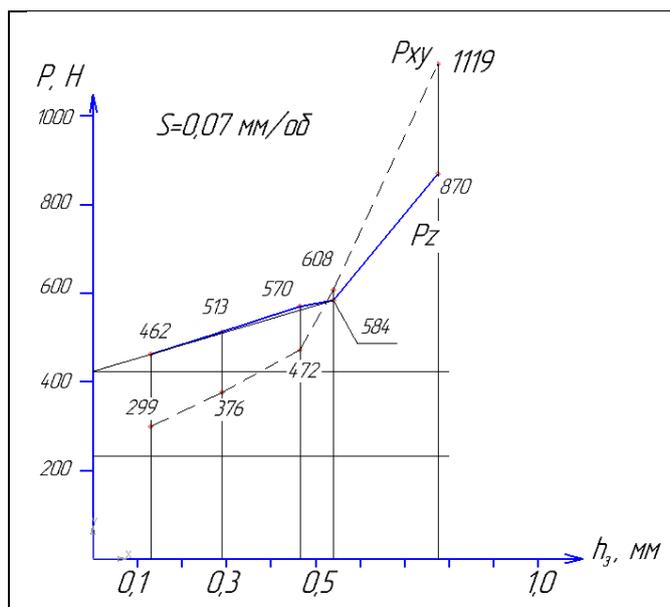


Рис. 5.1.3. а) График зависимости составляющих сил резания от фаски износа h_3 при подаче $S=0,07$ мм/об.

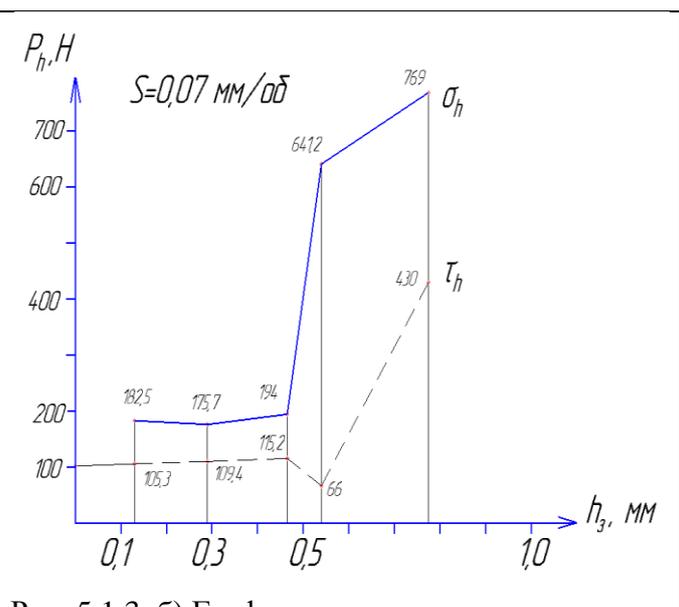
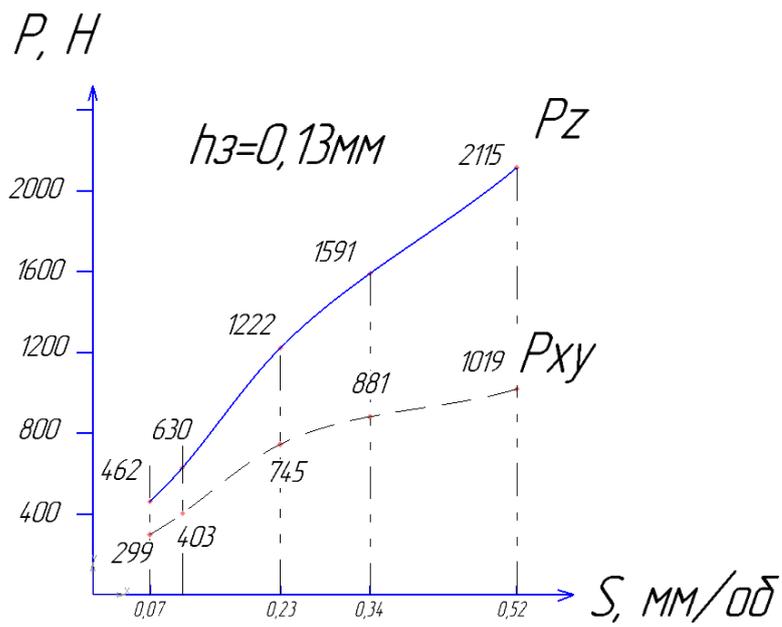
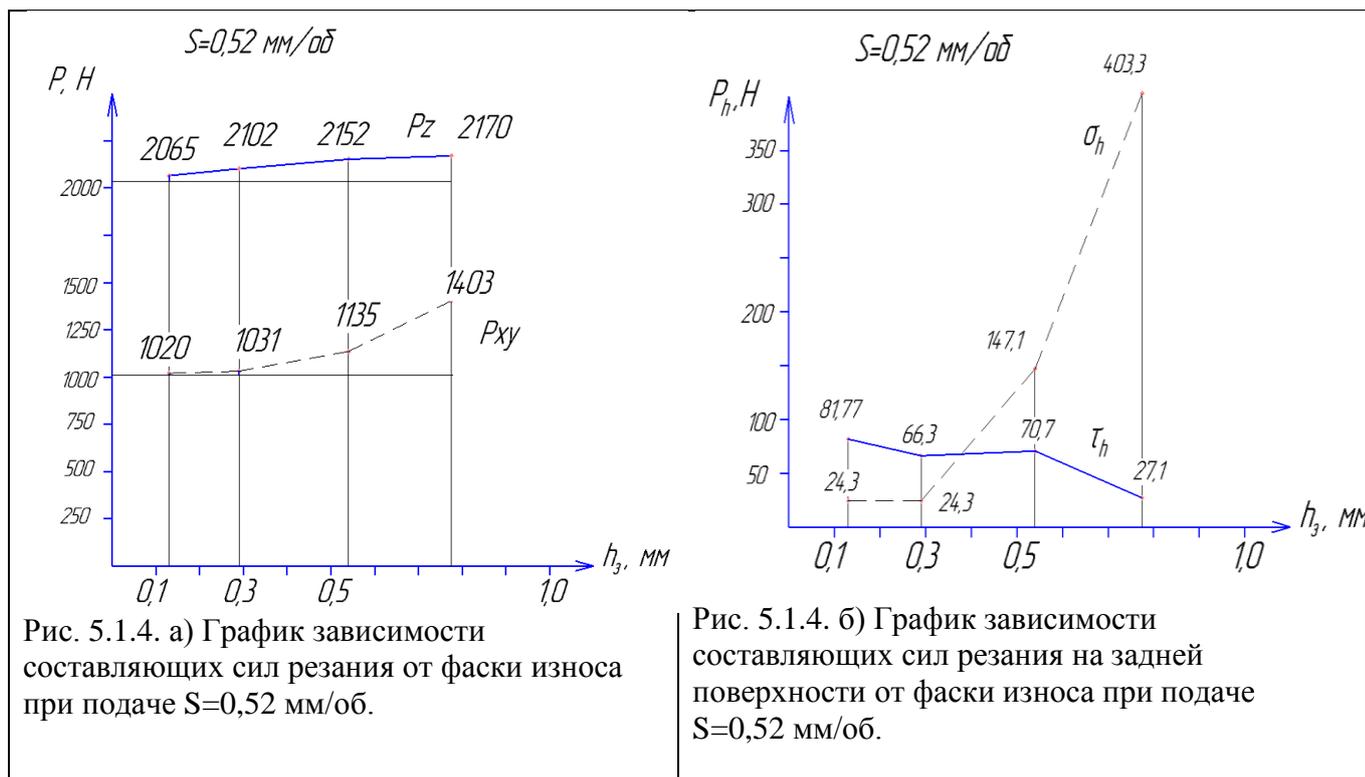


Рис. 5.1.3. б) График зависимости составляющих сил резания на задней поверхности h_3 от фаски износа при подаче $S=0,07$ мм/об.

Табл. 5.2 Составляющие сил резания при подаче $S=0,07$ мм/об, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин.

S , мм/об	h_3 , мм	P_z , Н	P_x , Н	P_y , Н	P_{xy} , Н
0,07	0,13	462	196	226	299,1521
	0,29	513	236	293	376,2247
	0,465	570	363	302	472,2002
	0,54	584	403	455	607,8108
	0,775	870	750	830	1118,66



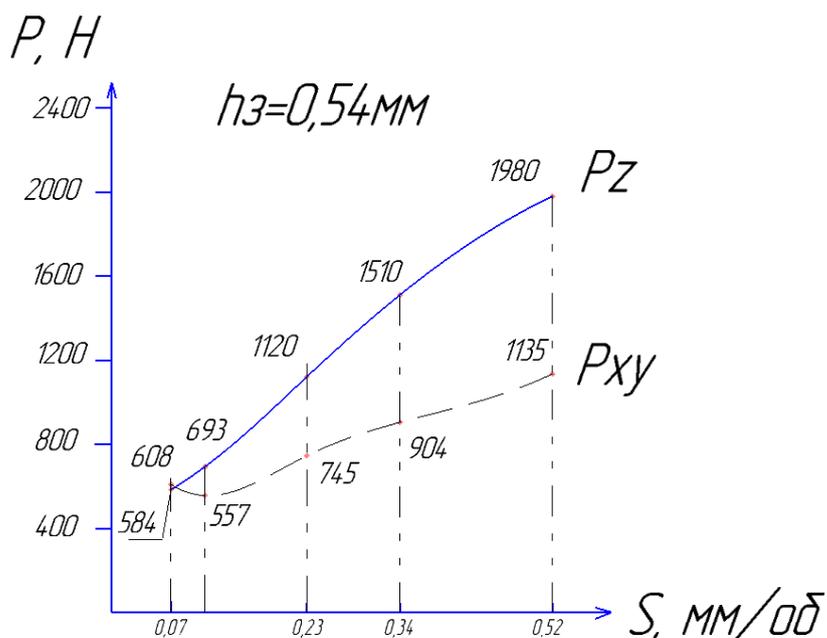


Рис. 5.1.5 б) График зависимости сил резания P_z и P_{xy} от подачи S при фаске износа на задней поверхности $h_3 = 0,54$ мм.

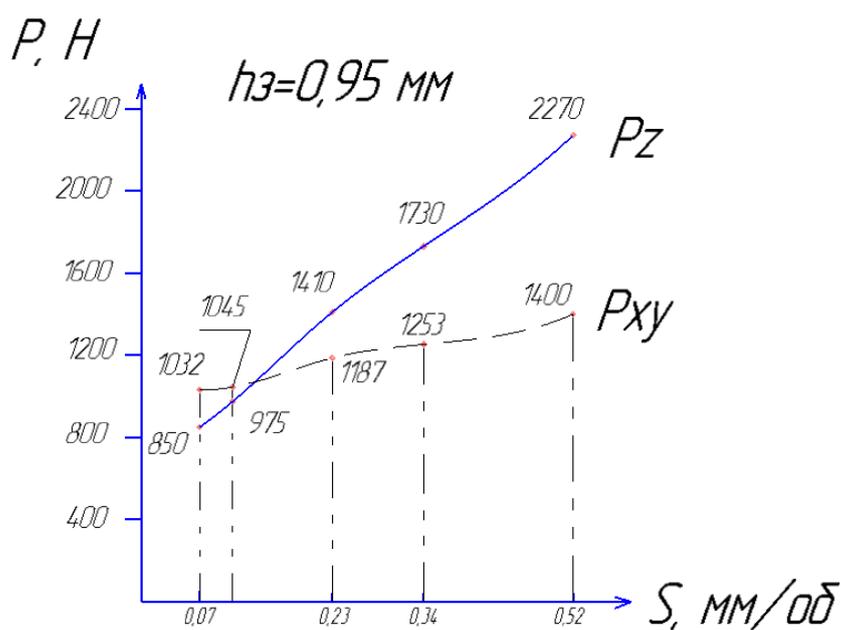


Рис. 5.1.5 в) График зависимости сил резания P_z и P_{xy} от подачи S при фаске износа на задней поверхности $h_3 = 0,95$ мм.

Из графиков 5.1.5 видно, что с увеличением подачи увеличиваются и силы резания; при большой фаске износа и малой подаче ($S = 0,07$ об/мин) силы P_{xy} могут превышать P_z .

Рассчитываем коэффициенты K_a и K_b , показывающие, во сколько раз силы при врезании превышают силы резания при установившемся режиме:

$$K_a = P_{z \max} / P_{z \text{ уст}}; \quad K_b = P_{xy \max} / P_{xy \text{ уст}}$$

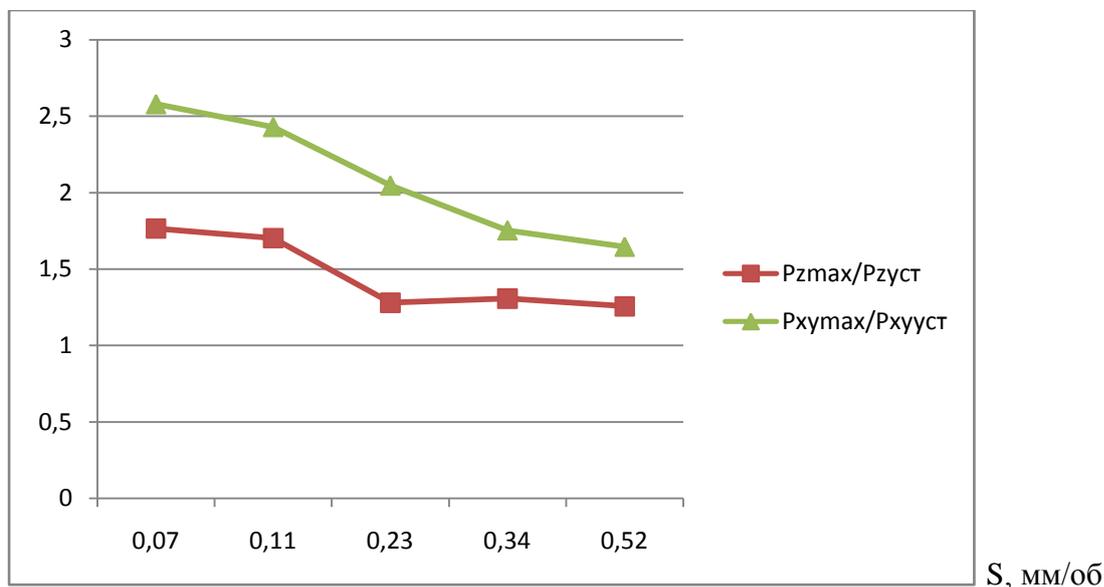


Рис. 5.1.6. а) Влияние подачи на соотношение между наибольшей силой и силой при установившемся резании. Сталь 40Х–Т15К6, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_3=0,95$ мм.

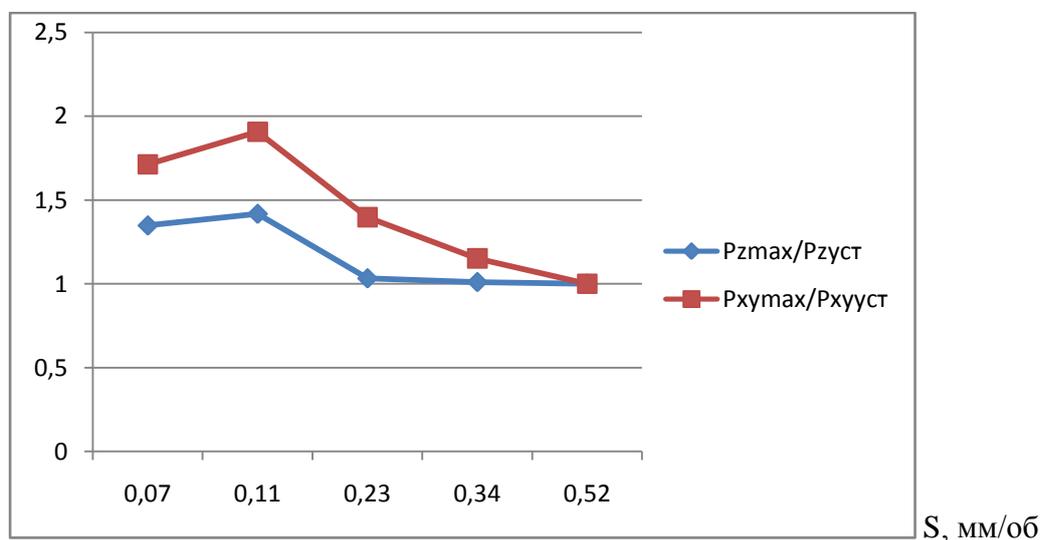


Рис. 5.1.6. б) Влияние подачи на соотношение между наибольшей удельной силой и силой при установившемся резании. Сталь 40Х–Т15К6, $t=2$ мм, $n=630$ об/мин. Фаска на задней поверхности $h_3=0,54$ мм.

Из рисунков 5.1.6 можно сделать вывод: с увеличением подачи силы при врезании стремятся к значениям сил при установившемся резании (коэффициенты

K_a и K_b стремятся к единице); при малых подачах силы при врезании могут превышать силы при установившемся режиме в несколько раз.

Рассмотрим влияние глубины резания t на соотношение между наибольшей удельной силой и силой при установившемся резании. Сталь 40Х–Т15К6, $s=0,07$ мм/об, $n = 630$ об/мин.

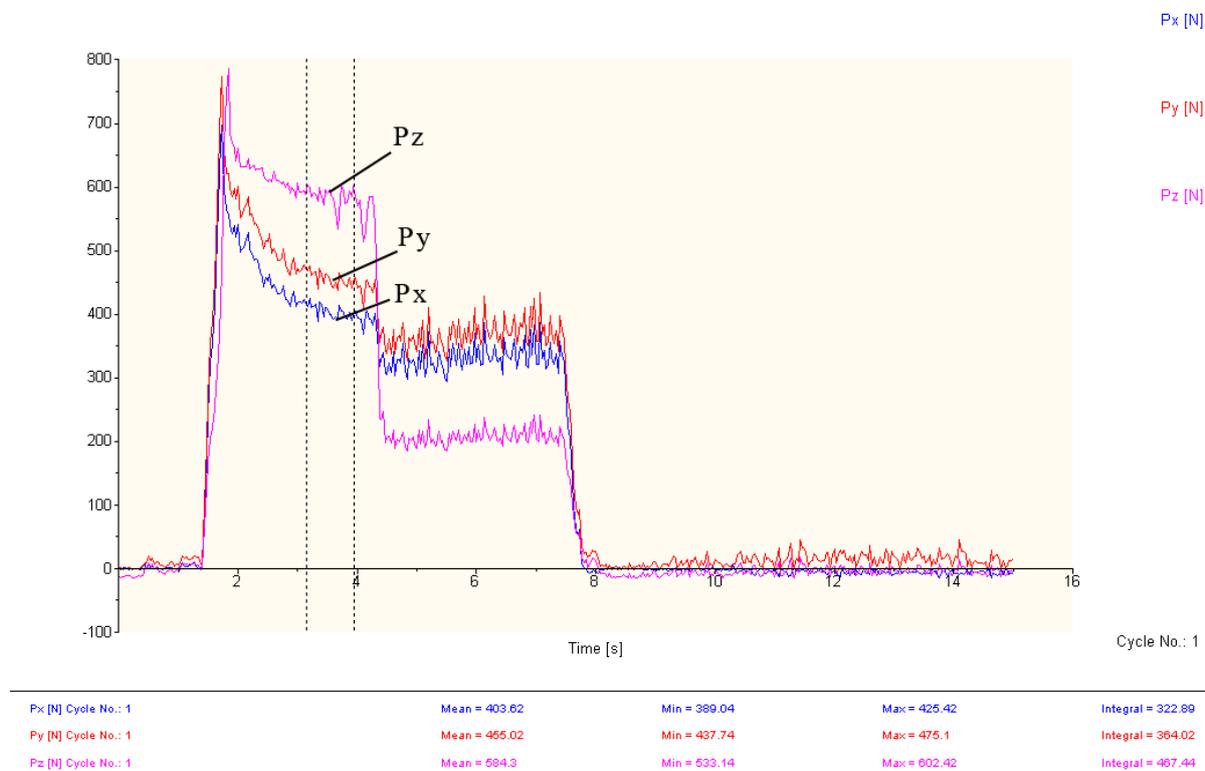
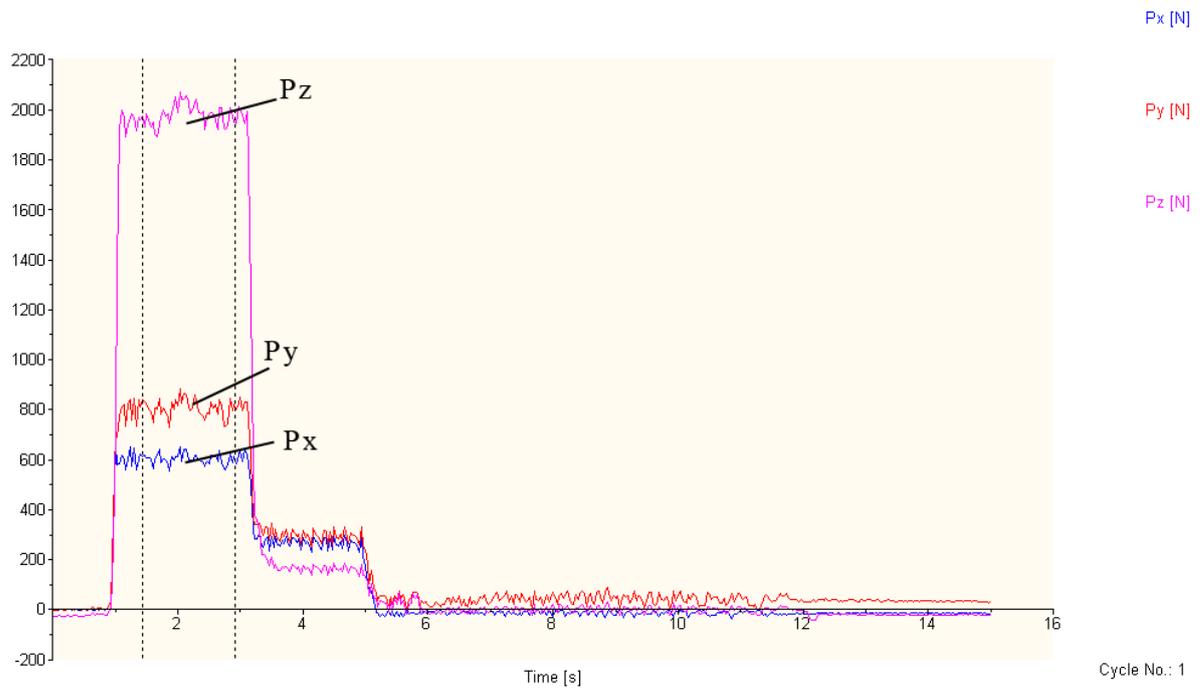


Рис. 5.1.7. а) Сталь 40Х–Т15К6, $t=2$ мм, $n= 630$ об/мин. $P_{xy\max}=1034$ Н, $P_{z\max}=785$ Н; $P_{xy}=608$ Н, $P_z=584$ Н. $K_a = P_{z\max}/P_{z\text{уст}}=1,344$; $K_b = P_{xy\max}/P_{xy\text{уст}}=1,7$.



Px [N] Cycle No.: 1	Mean = 601.27	Min = 555.66	Max = 648.93	Integral = 881.87
Py [N] Cycle No.: 1	Mean = 804.36	Min = 729.	Max = 885.25	Integral = 1179.73
Pz [N] Cycle No.: 1	Mean = 1979.21	Min = 1891.78	Max = 2072.75	Integral = 2902.85

Рис. 5.1.7. б) Сталь 40Х–Т15К6, $t=3$ мм, $n=630$ об/мин. Коэффициенты K_a и K_b примерно равны единице, так как увеличения сил при врезании нет.

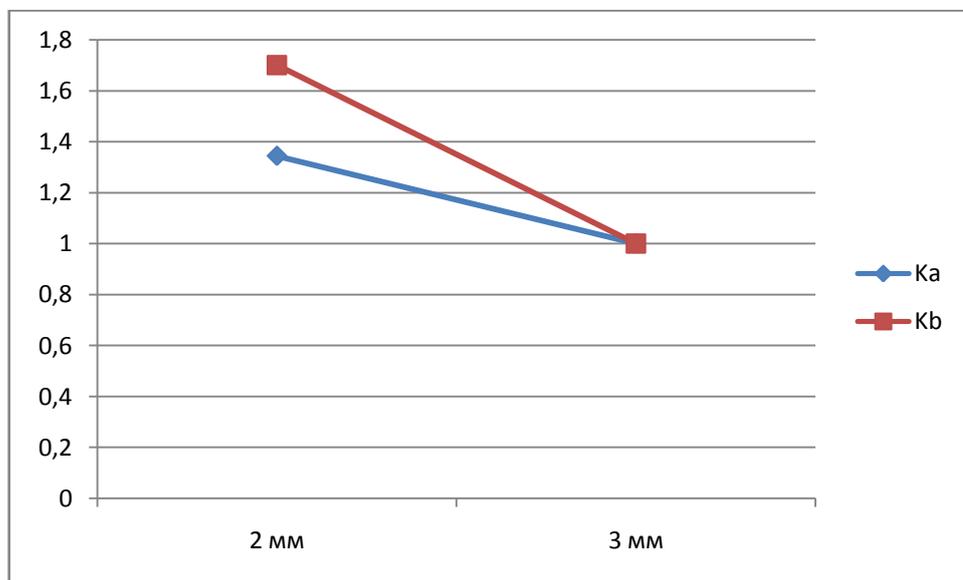


Рис. 5.1.8. Влияние глубины резания t на соотношение между наибольшей силой при врезании и силой при установившемся резании.

Выводы:

1) Фаска износа влияет на составляющие сил резания. При одинаковых условиях (подача, скорости, глубина и т.д.), чем длина фаски износа больше, тем выше значения составляющих сил.

2) При маленьких подачах и большой фаске износа на задней поверхности наблюдается следующая картина: примерно одну секунду происходит процесс врезания (в зависимости от подачи, чем она больше, тем быстрее), и так как контакт происходит по задней поверхности, возникают большие силы P_x и P_y , при этом происходит деформация слоя заготовки; затем идет установившееся резание, когда режущая пластина «углубилась» в заготовку и идёт стружка по передней поверхности; при остановке подачи без отвода резца все еще происходит трение задней поверхности о заготовку, так как имеется упругая деформация системы СПИД.

3) При больших подачах, что актуально для черновой обработки, эти эффекты проявляются менее выражено, так как время врезания значительно быстрее и установившиеся силы сами по себе высокие.

4) При подаче $S=0,52$ мм/об и фаске $h_z=0,54$ мм, $S=0,34$ мм/об и фаске $h_z=0,465$ мм, $S=0,07$ мм/об и фаске $h_z=0,29$ мм завышенных сил P_x и P_y при врезании не наблюдается.

5.2. Исследование НДС инструмента при разной толщине и ширине режущих пластин

Для исследования НДС (напряжённо-деформированного состояния) создаём 3D-модели пластинок с разной толщиной и шириной, 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 6 мм (2, 4 и 6 мм). А также варьируем шириной пластины от 2 до 4 мм (2, 3 и 4 мм).

Моделируем свободное прямоугольное резание диска из титанового сплава ВТЗ-1. ВТЗ-1 – ВК8. Режим резания: скорость резания: $v=1$ м/с (60 м/мин), радиальная подача $s=0,43$ мм/об. Для материала режущей пластины, твердого сплава ВК8, были заданы коэффициент Пуассона $\nu=0,2$ и модуль Юнга $E=632 \times 10^9$ Па.

Геометрия режущей части: передний угол $\gamma=0^\circ$, главный задний угол $\alpha=10^\circ$, фаска на задней поверхности, моделирующий износ $h_3=0,19$ мм, задний угол на этой фаске $\alpha_h=0^\circ$.

Результаты вычислений в ANSYS

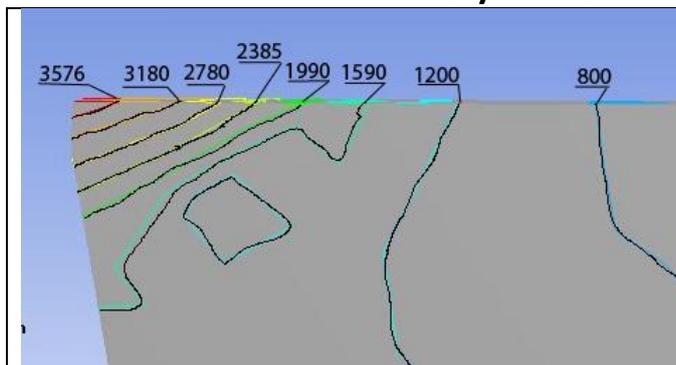


Рис. 5.2.1 а) Эквивалентные напряжения на первом резце

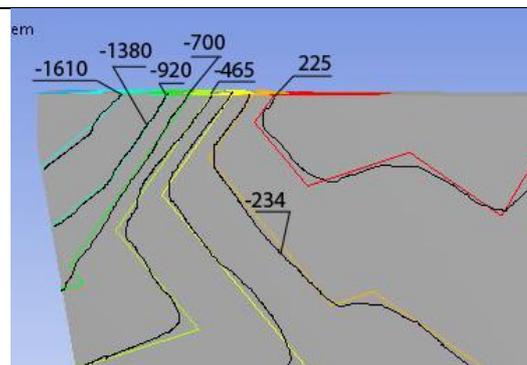


Рис. 5.2.1 б) Нормальные напряжения на первом резце

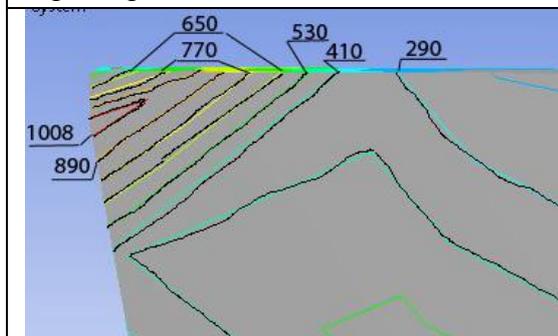


Рис. 5.2.1 в) Касательные напряжения на первом резце

Геометрия **первого** резца:
ширина - 4 мм, толщина – 2 мм.
ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача
 $s=0,43$ мм/об



Рис. 5.2.2 а) Эквивалентные напряжения на втором резце

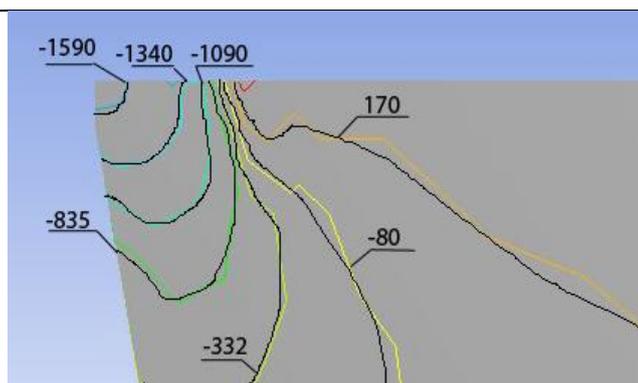


Рис. 5.2.2 б) Нормальные напряжения на втором резце

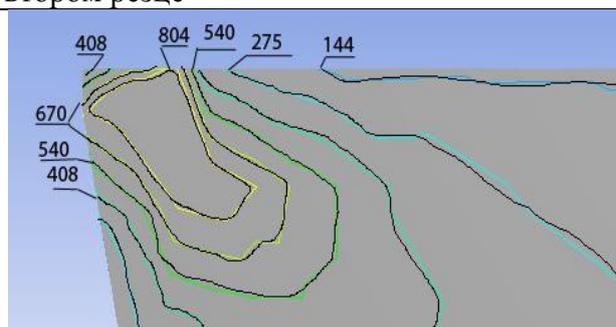


Рис. 5.2.2 в) Касательные напряжения на втором резце

Геометрия **второго** резца:
 ширина - 4 мм, толщина – 4 мм.
 BT3-1 – BK8. $v=60$ м/мин, радиальная подача
 $s=0,43$ мм/об

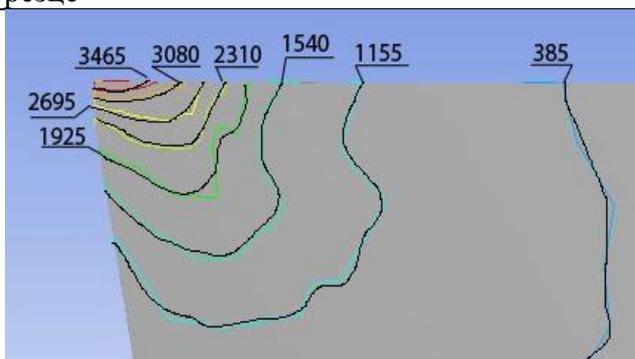


Рис. 5.2.3 а) Эквивалентные напряжения на третьем резце

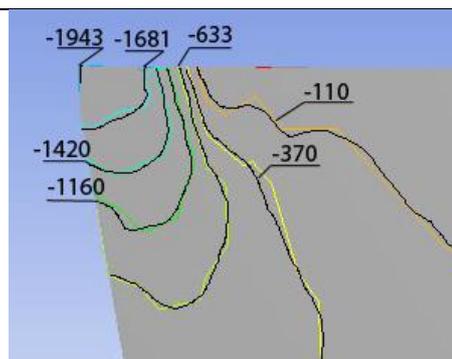


Рис. 5.2.3 б) Нормальные напряжения на третьем резце

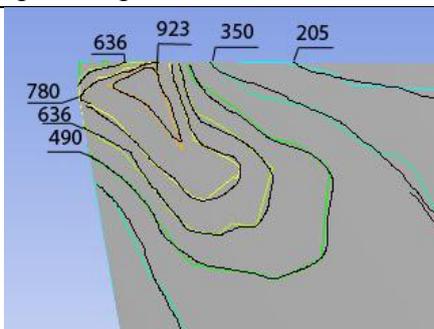


Рис. 5.2.3 в) Касательные напряжения на третьем резце

Геометрия **третьего** резца:
 ширина - 4 мм, толщина – 6 мм.
 BT3-1 – BK8. $v=60$ м/мин, радиальная подача
 $s=0,43$ мм/об

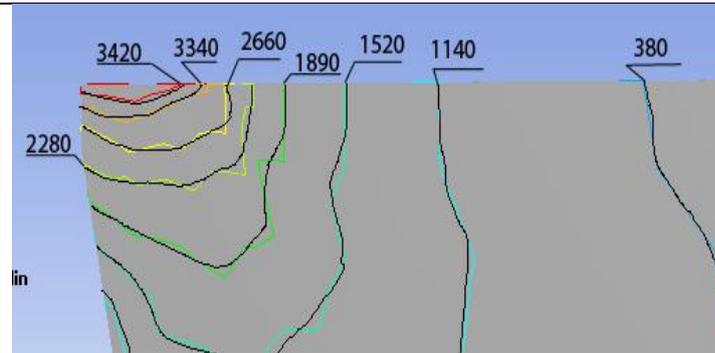


Рис. 5.2.4. а) Эквивалентные напряжения на четвертом резце

Геометрия **четвертого** резца:
 ширина – 2 мм, толщина – 2 мм.
 ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная
 подача $s=0,43$ мм/об

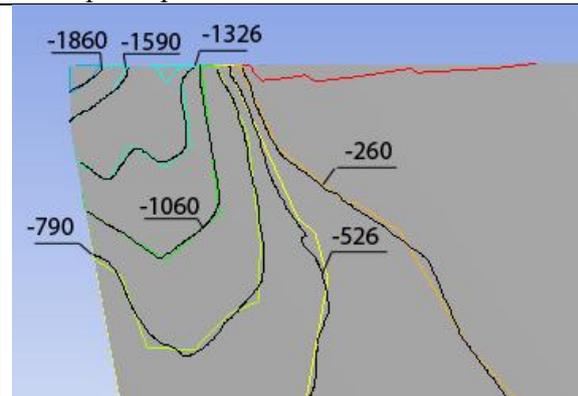


Рис. 5.2.4. б) Нормальные напряжения на четвертом резце

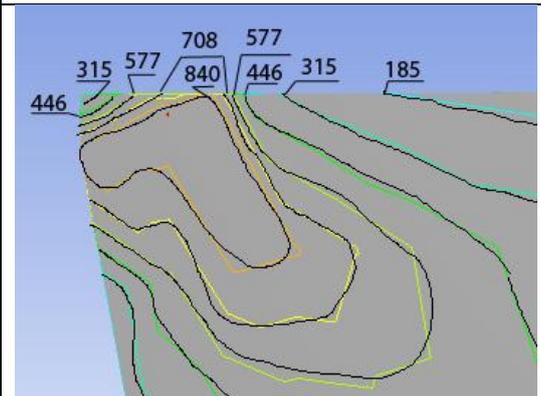


Рис. 5.2.4. в) Касательные напряжения на первом резце

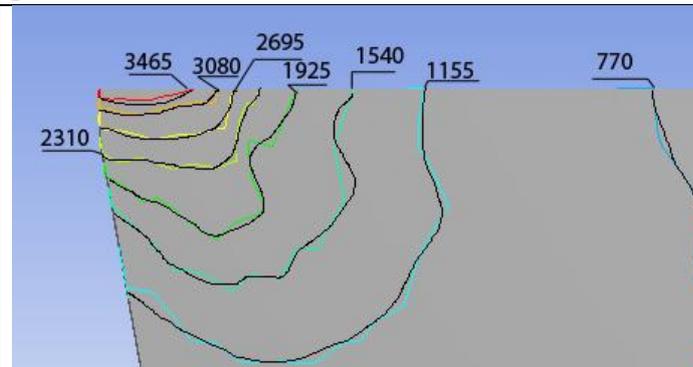


Рис. 5.2.5. а) Эквивалентные напряжения на пятом резце

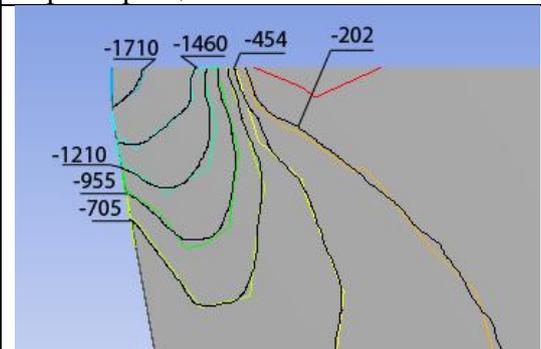


Рис. 5.2.5. б) Нормальные напряжения на пятом резце

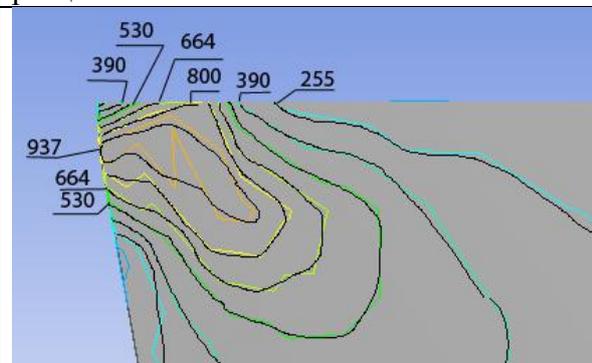


Рис. 5.2.5. в) Касательные напряжения на пятом резце

Геометрия **пятого** резца:
 ширина - 2 мм, толщина – 4 мм.
 ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная
 подача $s=0,43$ мм/об

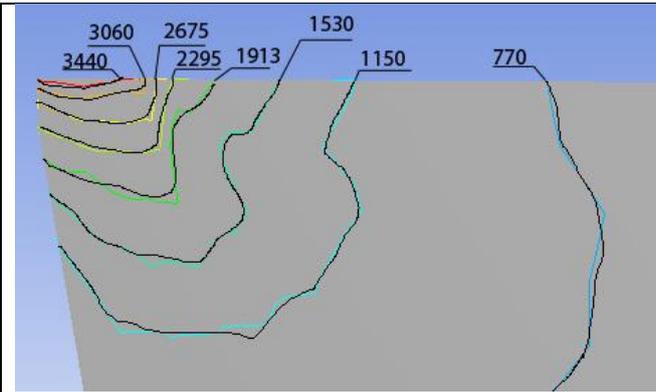


Рис. 5.2.6. а) Эквивалентные напряжения на шестом резце

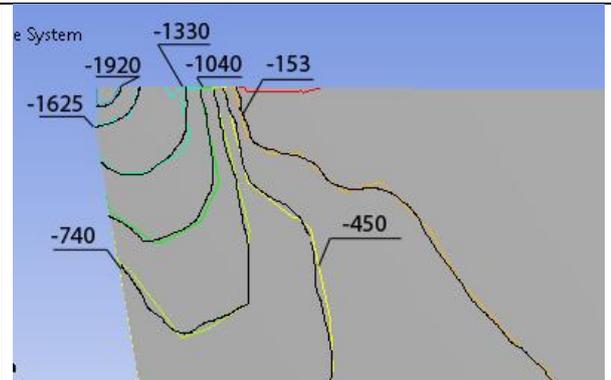


Рис. 5.2.6. б) Нормальные напряжения на шестом резце

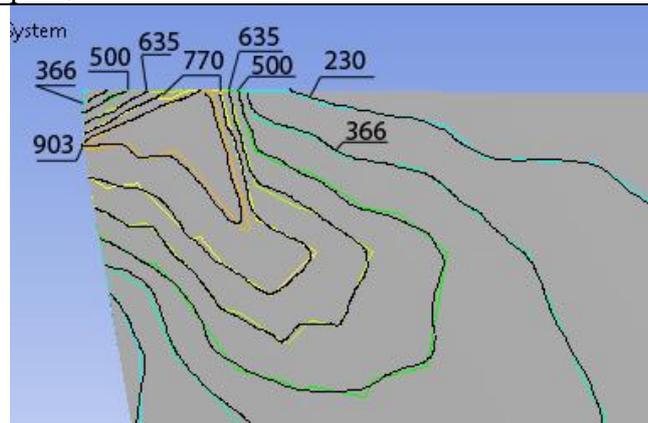


Рис. 5.2.6. в) Касательные напряжения на шестом резце

Геометрия **шестого** резца:
 ширина - 2 мм, толщина – 6 мм.
 ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная
 подача $s=0,43$ мм/об

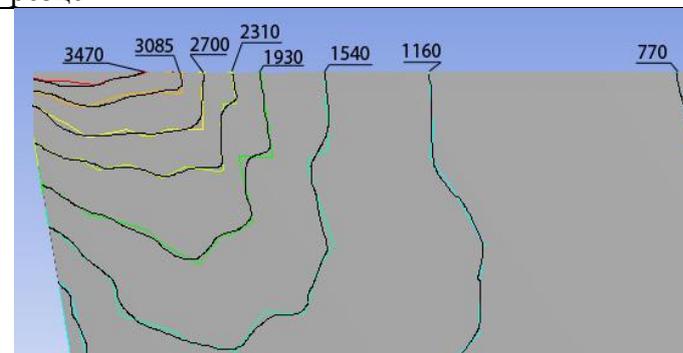


Рис. 5.2.7. а) Эквивалентные напряжения на седьмом резце

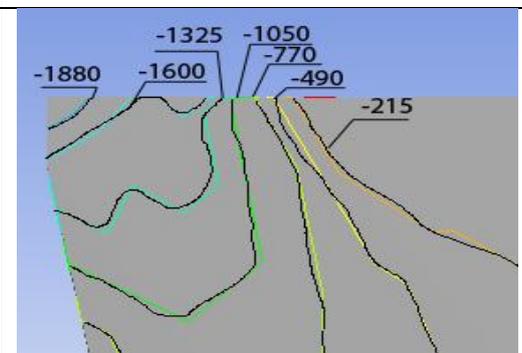


Рис. 5.2.7. б) Нормальные напряжения на седьмом резце

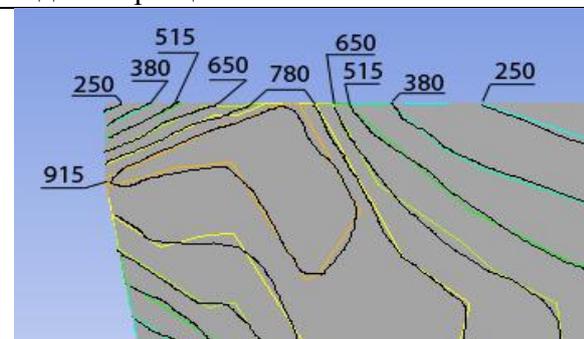


Рис. 5.2.7. в) Касательные напряжения на седьмом резце

Геометрия **седьмого** резца:
 ширина - 3 мм, толщина – 2 мм.
 ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная
 подача $s=0,43$ мм/об

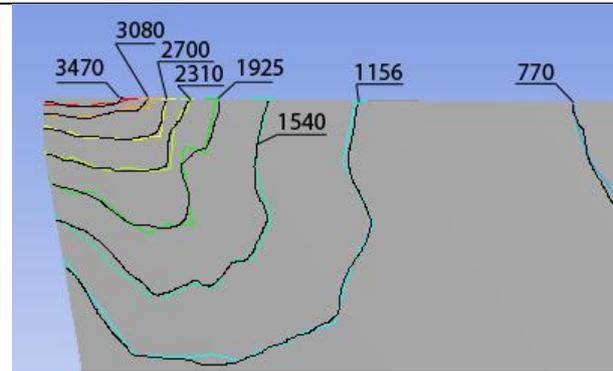


Рис. 5.2.8. а) Эквивалентные напряжения на восьмом резце

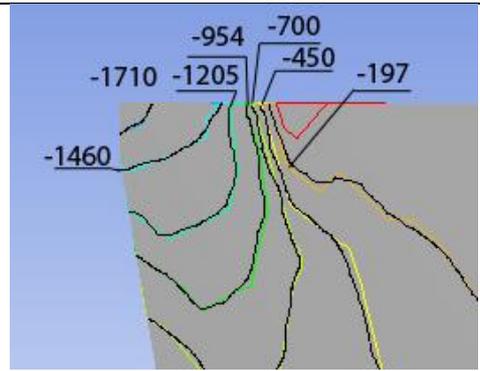


Рис. 5.2.8. б) Нормальные напряжения на восьмом резце

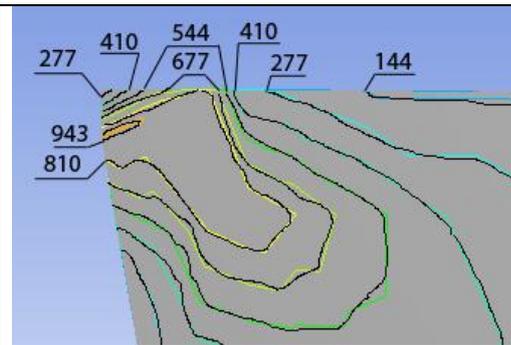


Рис. 5.2.8. в) Касательные напряжения на восьмом резце

Геометрия **восьмого** резца:
 ширина - 3 мм, толщина – 4 мм.
 ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная
 подача $s=0,43$ мм/об

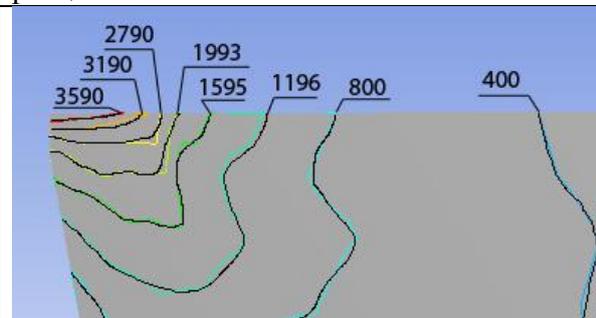


Рис. 5.2.9. а) Эквивалентные напряжения на девятом резце

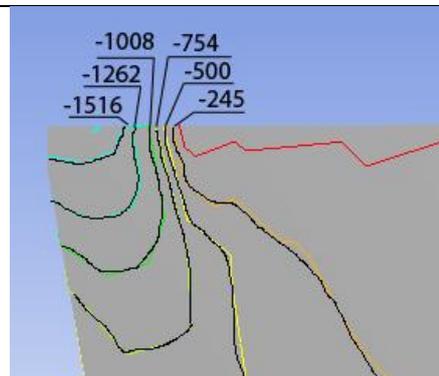


Рис. 5.2.9. б) Нормальные напряжения на девятом резце

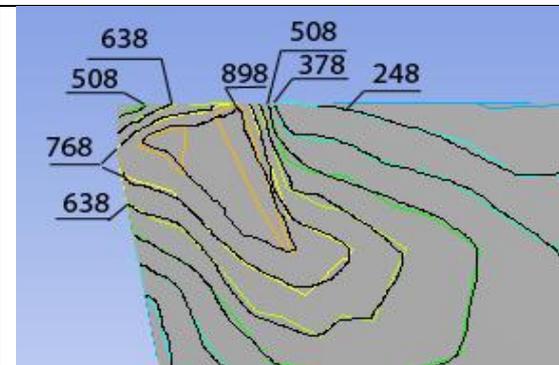


Рис. 5.2.9. в) Касательные напряжения на девятом резце

Геометрия **девятого** резца:
 ширина - 3 мм, толщина – 6 мм.
 ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная
 подача $s=0,43$ мм/об

Итого было взято 9 пластин с геометрией (см. табл. 5.4):

Табл. 5.3. Наибольшие нормальные напряжения, МПа

Ширина	Высота пластины		
	2 мм	4 мм	6 мм
2 мм	2125	1964	2214
3 мм	2157	1963	2025
4 мм	1840	1843	1943

Табл. 5.4. Размеры режущих пластин

Номер пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина, мм	4	4	4	2	2	2	3	3	3
Толщина, мм	2	4	6	2	4	6	2	4	6

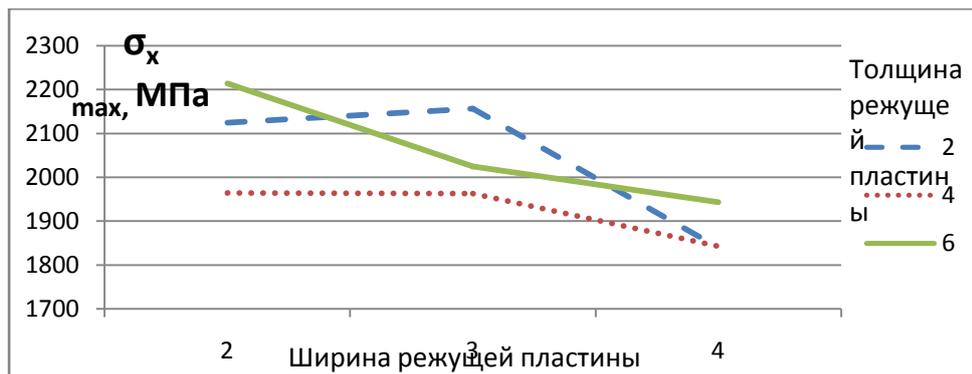


Рис. 5.3. Влияние ширины режущей пластины на наибольшие нормальные напряжения $\sigma_{x \max}$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

Табл. 5.5. Наибольшие касательные напряжения, МПа

Ширина	Высота режущей пластины		
	2 мм	4 мм	6 мм
2 мм	838	937	903
3 мм	915	810	898
4 мм	888	804	923

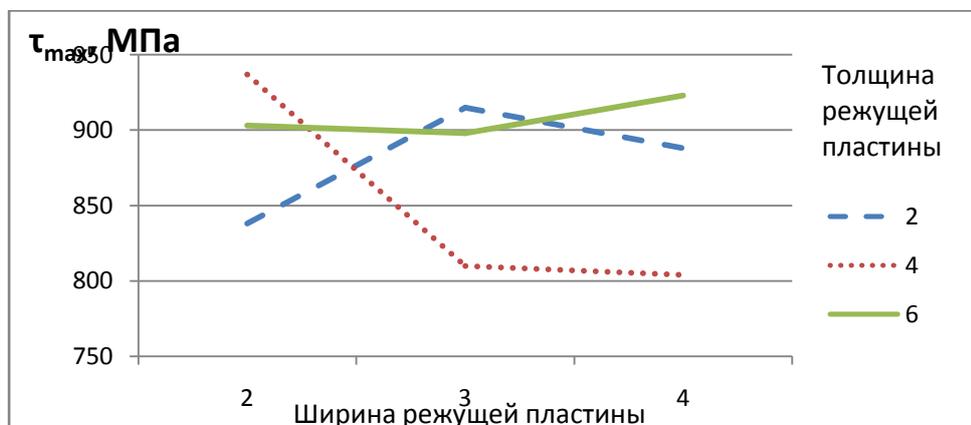


Рис. 5.4. Влияние ширины режущей пластины на наибольшие касательные напряжения τ_{\max} , МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

Табл. 5.6. Наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ}}$, МПа

		Высота режущей пластины		
		2 мм	4 мм	6 мм
Ширина, мм	2 мм	838	937	903
	3 мм	915	810	898
	4 мм	888	804	923

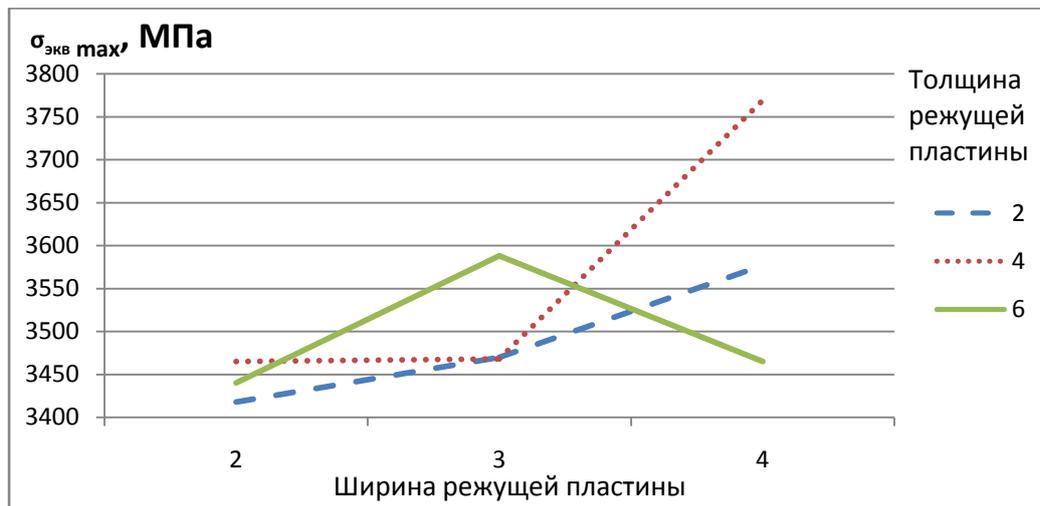


Рис. 5.5. Влияние ширины режущей пластины на наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ}}$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

Из графиков видно, что:

- 1) в пластинах толщиной 4 мм нормальные напряжения изменяются меньше всего, при этом, чем больше ширина пластины, тем меньше напряжение;
- 2) при толщине пластины 6 мм ее ширина почти не влияет на касательные напряжения, а при толщине 4 мм и ширине 2 и 3 мм напряжения имеют наименьший показатель;
- 3) наибольшие эквивалентные напряжения наблюдаются в пластинах толщиной 4 мм и шириной 4 мм; но при ширине пластины 2 и 3 мм напряжения одинаковы и относительно малы. Итого: самая оптимальная толщина пластины 4 мм, а ширина – 3 мм. При такой геометрии напряжения минимальны.

5.3. 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 -10 до $+10$ градусов (ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об).

Резцы с $\gamma = -10^\circ$ применяются для черновой обработки титановых слябов. При переднем угле $\gamma = -10^\circ$ НДС режущего клина представлено на рис. 5.6, а, б, в.

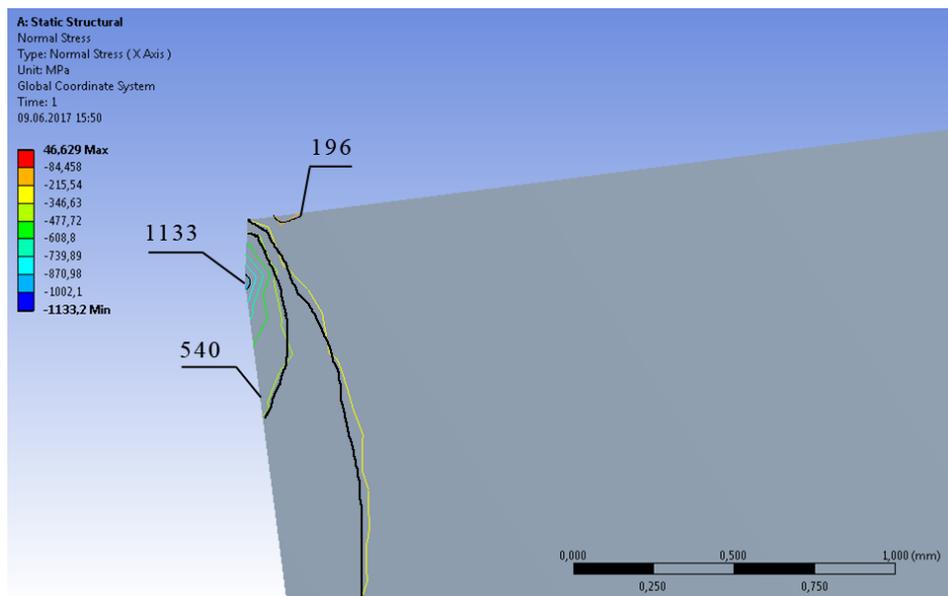


Рис. 5.6. а) Распределение нормальных напряжений при переднем угле $\gamma = -10^\circ$, МПа. ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

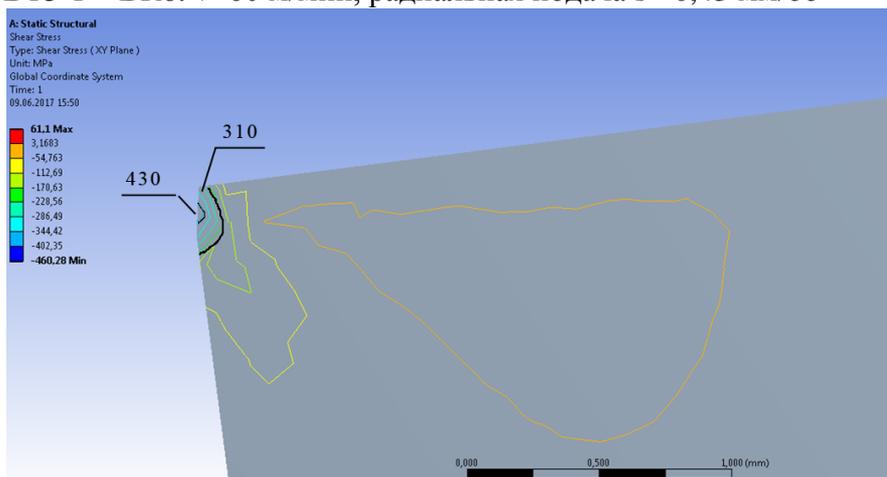


Рис. 5.6. б) Распределение касательных напряжений при переднем угле $\gamma = -10^\circ$, МПа. ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

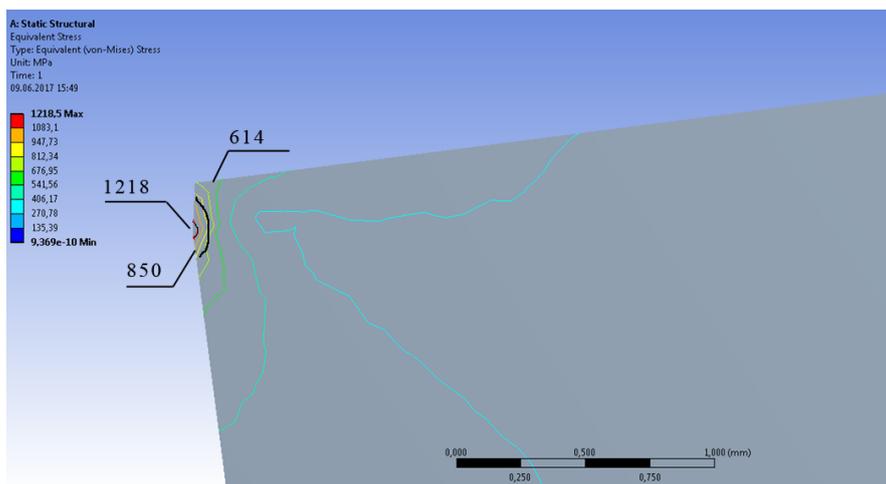


Рис. 5.6. в) Распределение эквивалентных напряжений при переднем угле $\gamma = -10^\circ$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

При переднем угле $\gamma = +10^\circ$ НДС режущего клина представлено на рис. 5.7, а, б, в:

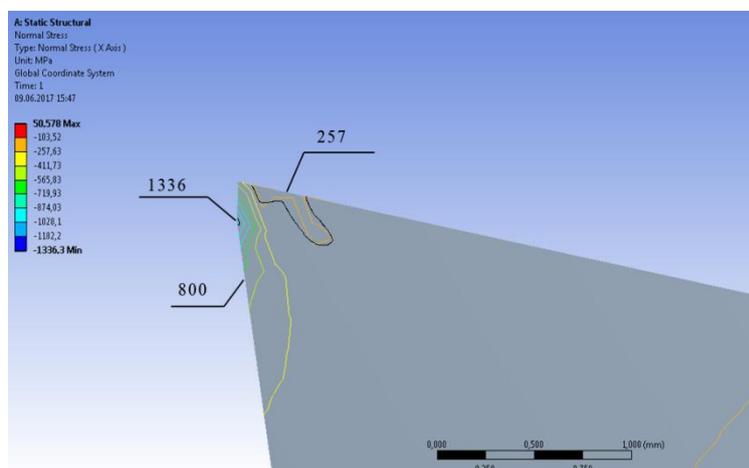


Рис. 5.7. а) Распределение нормальных напряжений при переднем угле $\gamma = +10^\circ$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

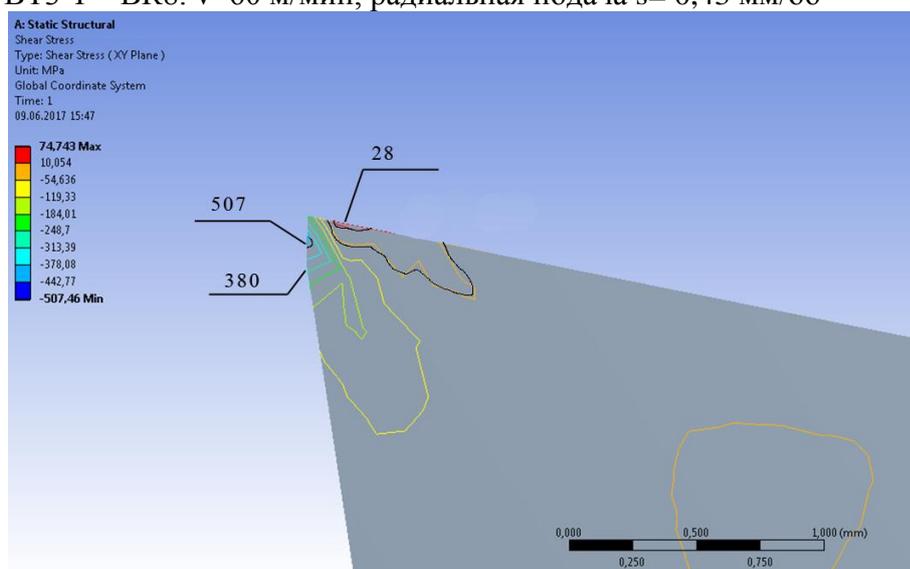


Рис. 5.7. б) Распределение касательных напряжений при переднем угле $\gamma = +10^\circ$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

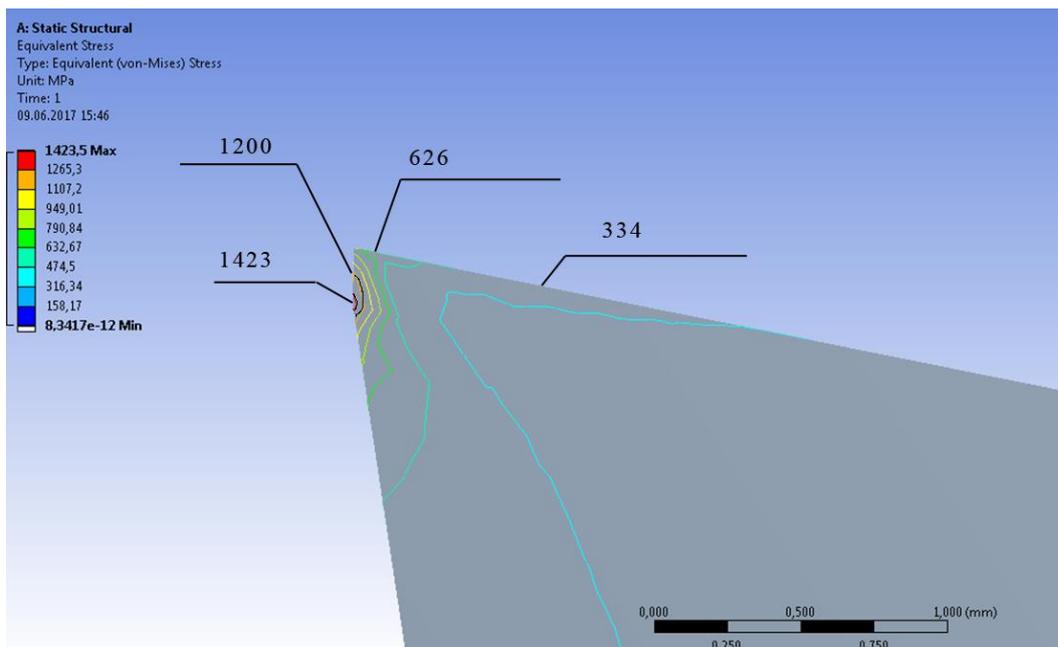


Рис. 5.7.в) Распределение эквивалентных напряжений при переднем угле $\gamma = +10^\circ$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

При переднем угле $\gamma = 0^\circ$ НДС режущего клина представлено на рис. 5.8:

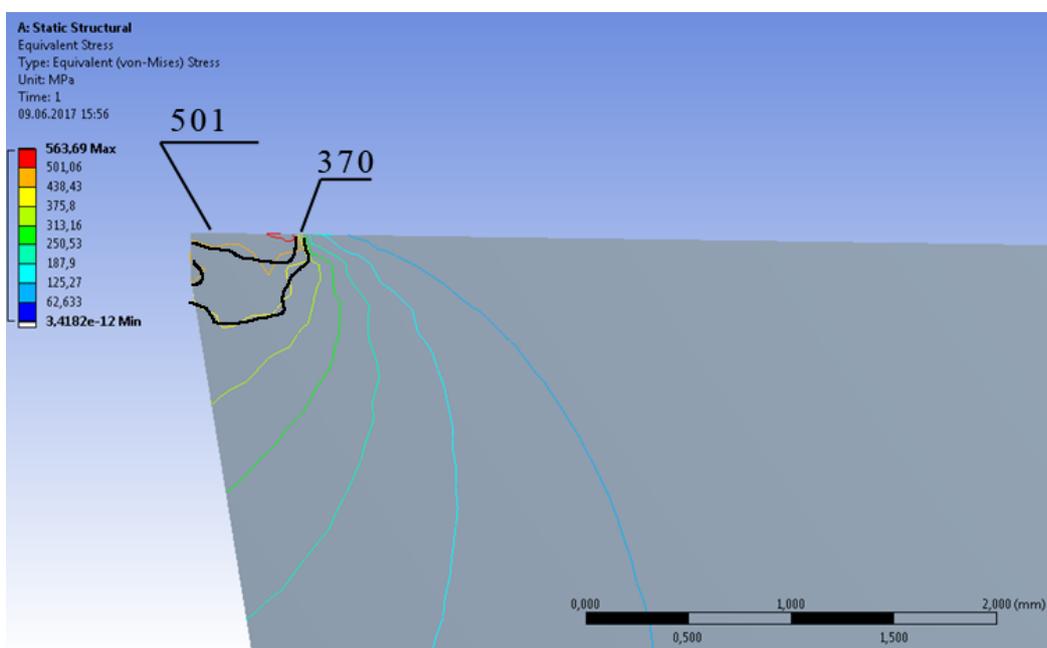


Рис. 5.8. Распределение эквивалентных напряжений при переднем угле $\gamma = 0^\circ$, МПа. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

Выводы: Напряжения в пластине с передним углом $\gamma = +10^\circ$ чуть выше, чем с углом $\gamma = -10^\circ$, а с углом $\gamma = 0^\circ$ наблюдаются наименьшие напряжения.

Табл. 5.7. Влияние переднего угла на наибольшие напряжения в режущем клине

BT3-1 – BK8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

	NS (нормальные напр.)	SS (касательные напр.)	ES (эквивалентные напр.)
+10°	1336	490	1320
-10°	1133	460	1218
0°			501

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

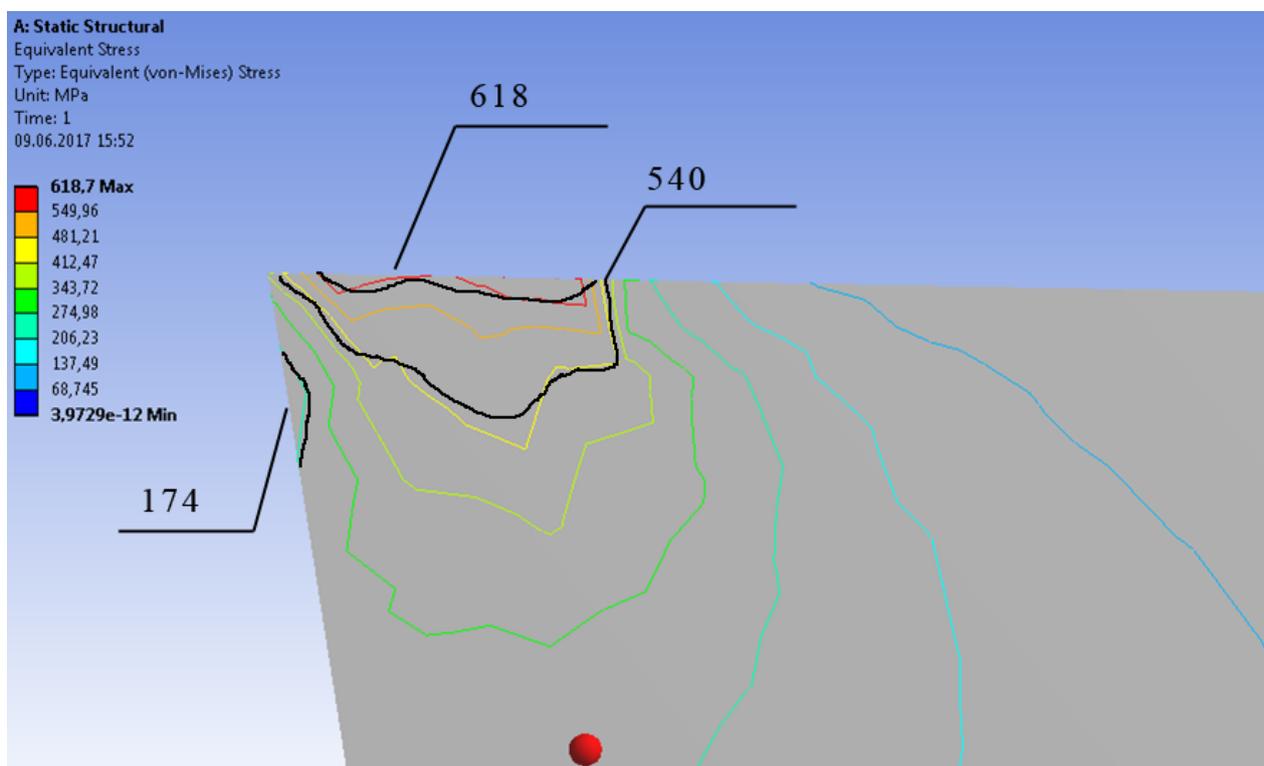


Рис. 5.9. а) Распределение эквивалентных напряжений при фаске на задней поверхности $h_3=0$ мм. BT3-1 – BK8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

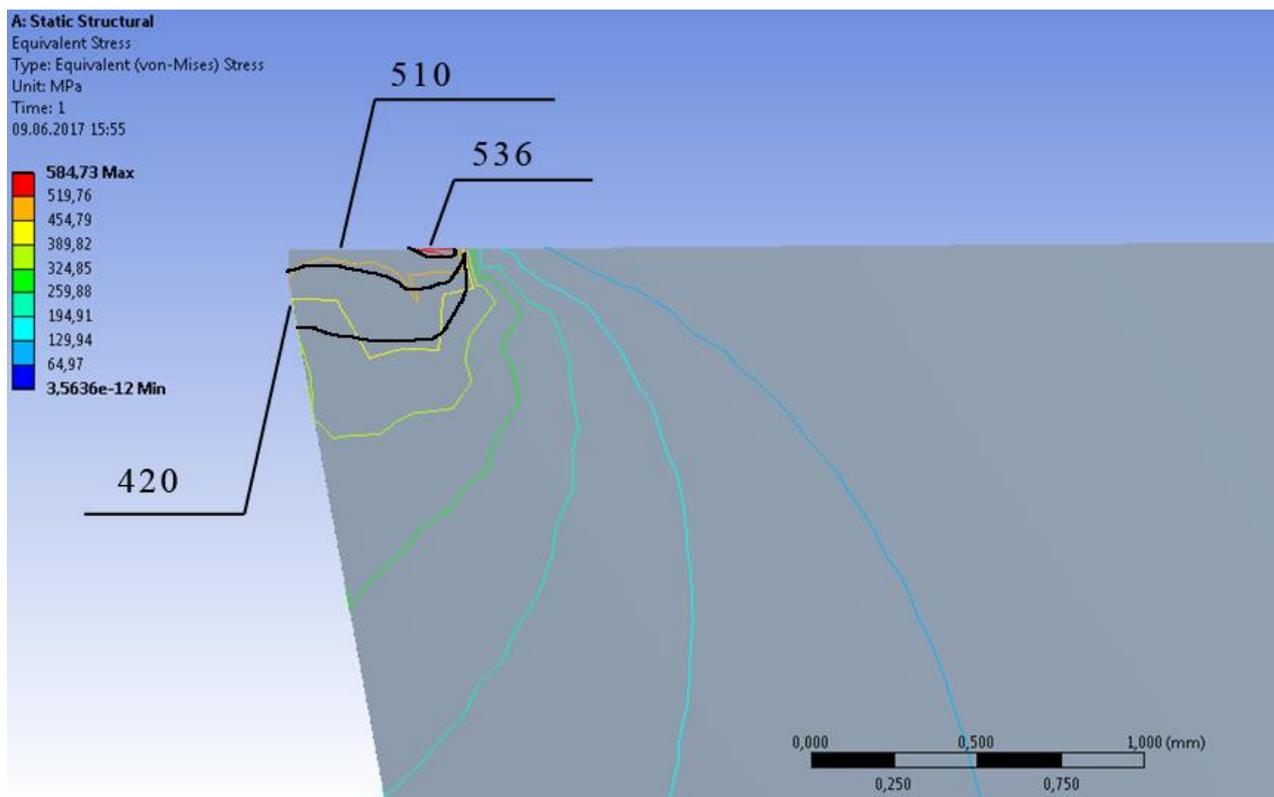


Рис. 5.9. б) Распределение эквивалентных напряжений при фаске на задней поверхности $h_3=0,1$ мм. ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

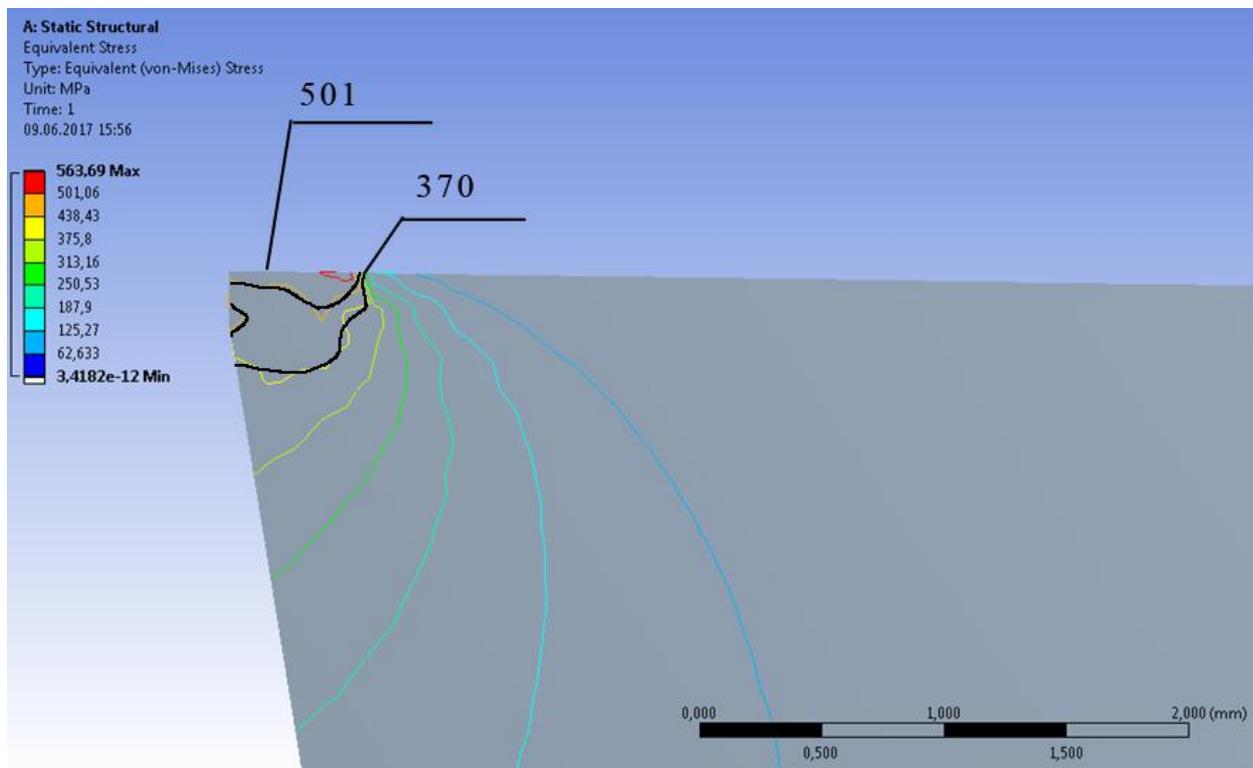


Рис. 5.9. в) Распределение эквивалентных напряжений при фаске на задней поверхности $h_3=0,2$ мм. ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

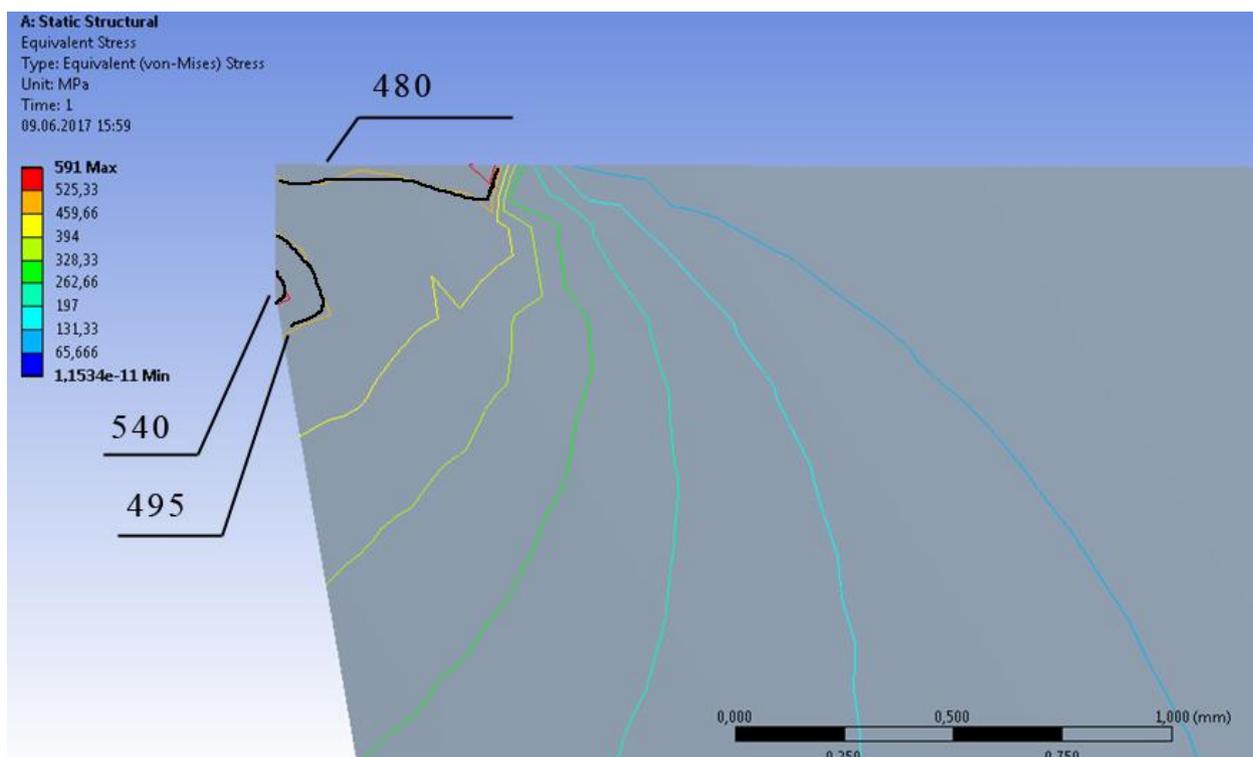


Рис. 5.9. г) Распределение эквивалентных напряжений при фаске на задней поверхности $h_3=0,3$ мм. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

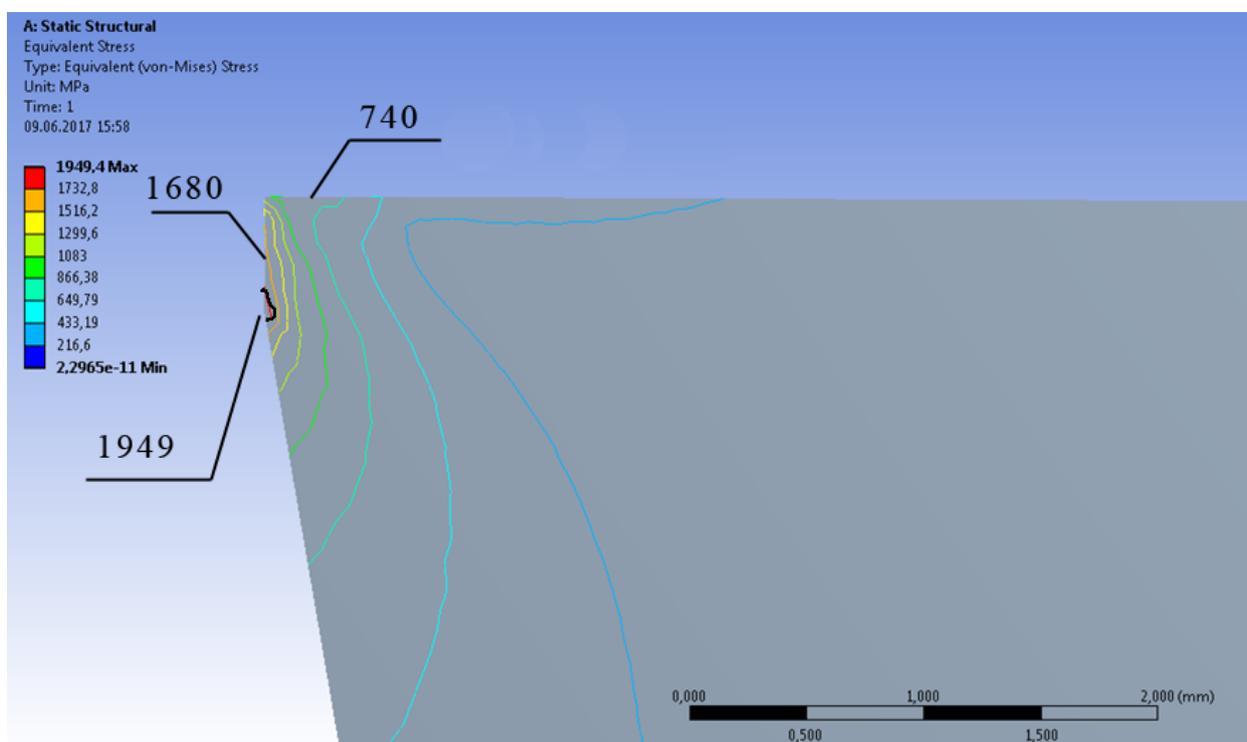


Рис 5.9. д) Распределение эквивалентных напряжений при фаске на задней поверхности $h_3=0,5$ мм. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

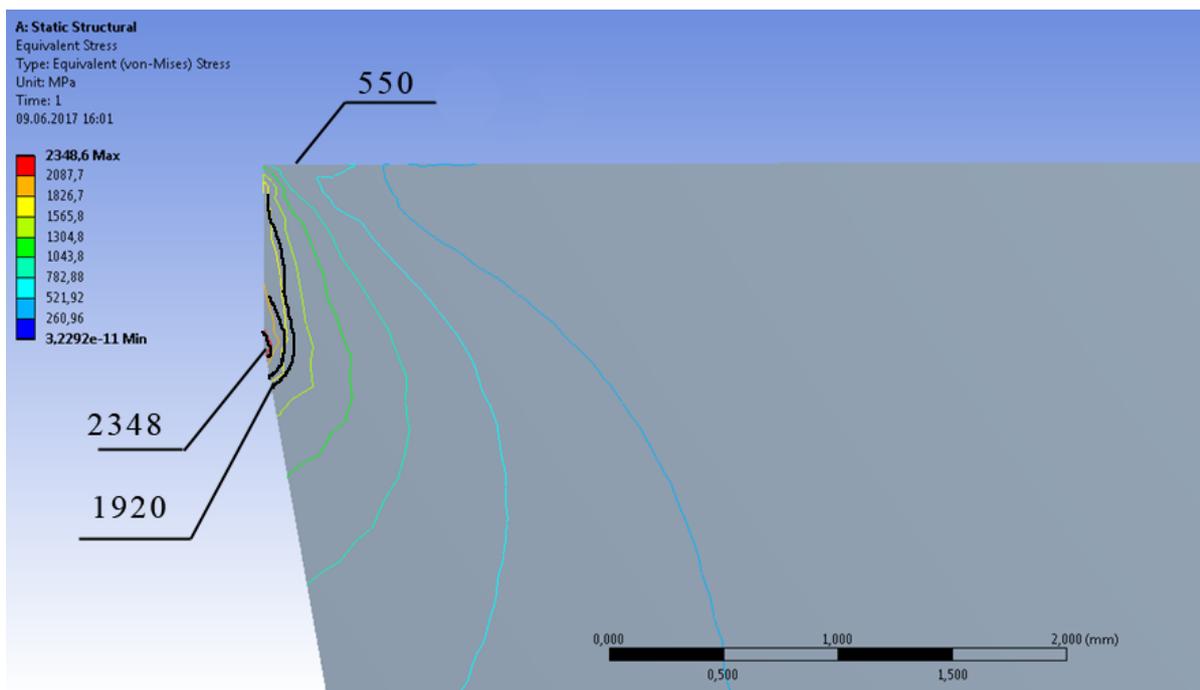


Рис. 5.9. е) Распределение эквивалентных напряжений при фаске на задней поверхности $h_3=0,8$ мм. ВТ3-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s=0,43$ мм/об

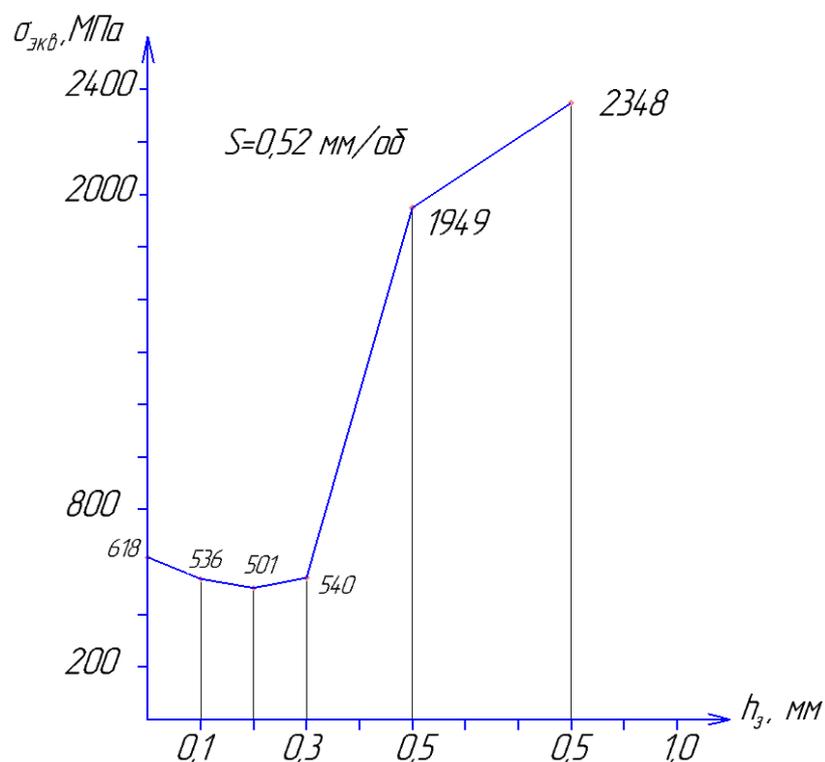


Рис. 5.10. Влияние фаски износа по задней поверхности на наибольшие внутренние эквивалентные напряжения ($\sigma_{\text{экв max}} = f(h_3)$)

Вывод:

- 1) При обработке титанового сплава ВТ3-1 при большой фаске износа возникают высокие контактные нагрузки на задней поверхности, и, следовательно, возрастают внутренние напряжения в пластине.

Увеличение эквивалентного напряжения существенно возрастает при $h_3 > 0,3$ мм.

- 2) Даже при большом износе $h_3 = 0,95$ мм нормальные и эквивалентные напряжения почти в два раза меньше предела прочности на сжатие твёрдого сплава ($\sigma_{-B} = 4200$ МПа).

5.5. Исследование прочности режущих пластин с их механическим креплением на державке токарного резца

СМП при обработке стали 40Х и титанового сплава ВТ3-1

Методика расчета НДС СМП аналогична расчетам НДС режущего клина:

- 1) Создается 3D-модель сменной многогранной пластины в сторонней CAD программе с заданными геометрическими и конструктивными параметрами пластины ($d, d_1, l, S, r; \varphi; \varepsilon; \alpha, \gamma, \lambda$).
За основу была взята пластина WNUA-0804, с геометрическими параметрами $d=12,7$ мм; $d_1=5,16$ мм; $l=8,7$ мм; $S=4$ мм; $r=0,4$ мм; передний угол: $\gamma=0^\circ$, главный задний угол $\alpha=10^\circ$, фаска на задней поверхности, моделирующий износ $h_3=0,9$ мм, задний угол на этой фаске $\alpha_n=0^\circ$.

ГОСТ 19047; ГОСТ 19048

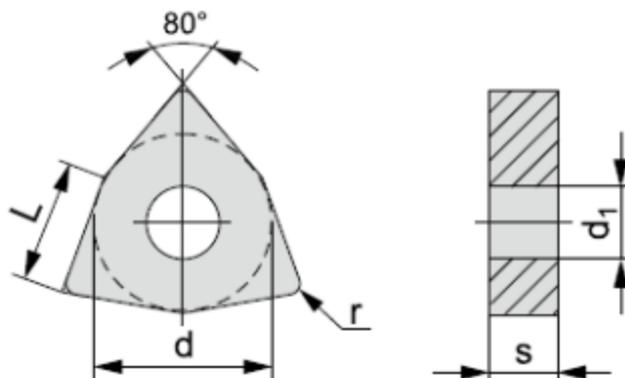


Рис. 5.11. Пластина WNUA-0804.

Сохраняем данную модель в формате x_t и экспортируем ее в программу ANSYS

- 2) Для материала режущей пластины, твердого сплава ВК8 задаются физические параметры: коэффициент Пуассона $\nu=0,2$ и модуль Юнга $E=632 \cdot 10^9$ Па.
- 3) На длине контакта S стружки с передней поверхностью режущей пластины (при подаче $s=0,43$ мм/об $S=3$ мм при обработке стали и $S=0,41$ мм при обработке титана) задаются данные силового нагружения пластин, а также на задней поверхности.

При обработке стали 40X твёрдосплавной режущей пластиной Т15К6

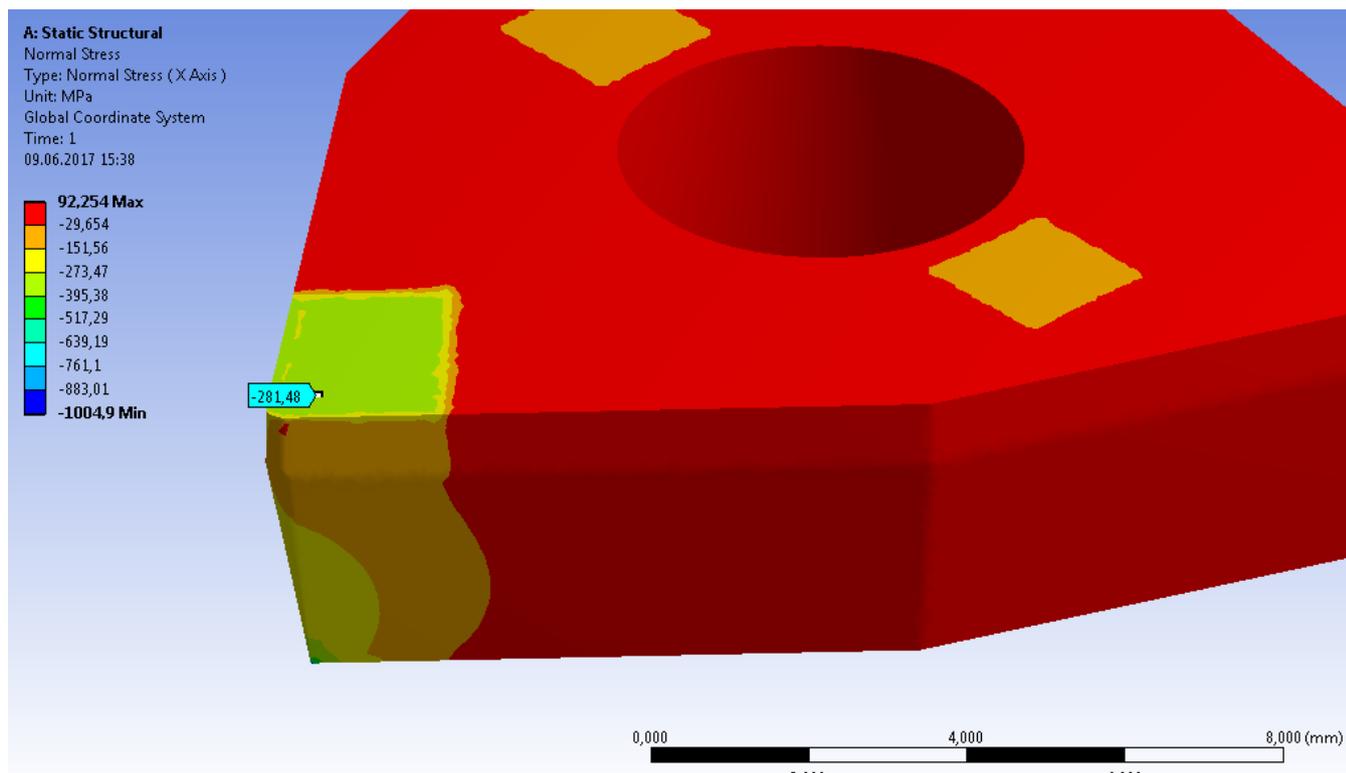


Рис. 5.12 а) Нормальные напряжения при обработке стали 40X. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные нормальные напряжения $NS_{max}=320$ МПа.

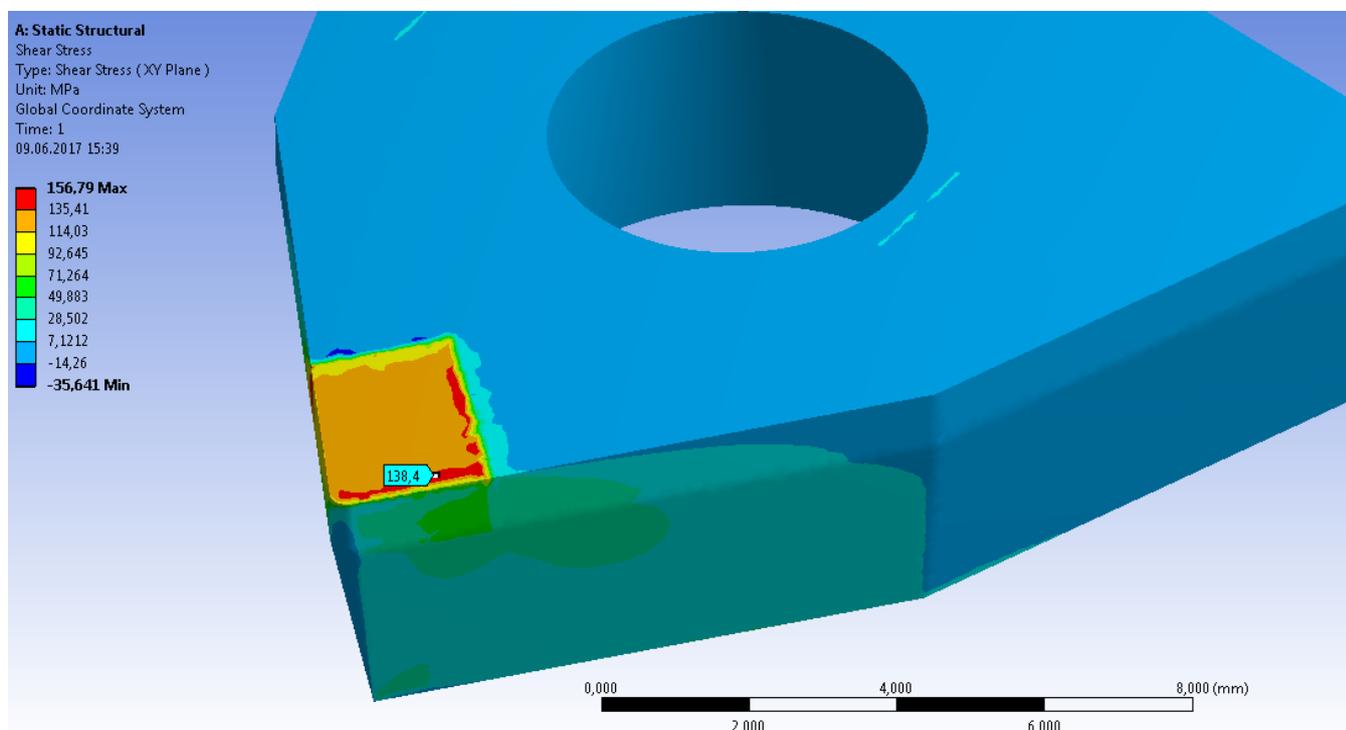


Рис. 5.12 б) Касательные напряжения при обработке стали 40X. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные касательные напряжения $SS_{max}=140$ МПа.

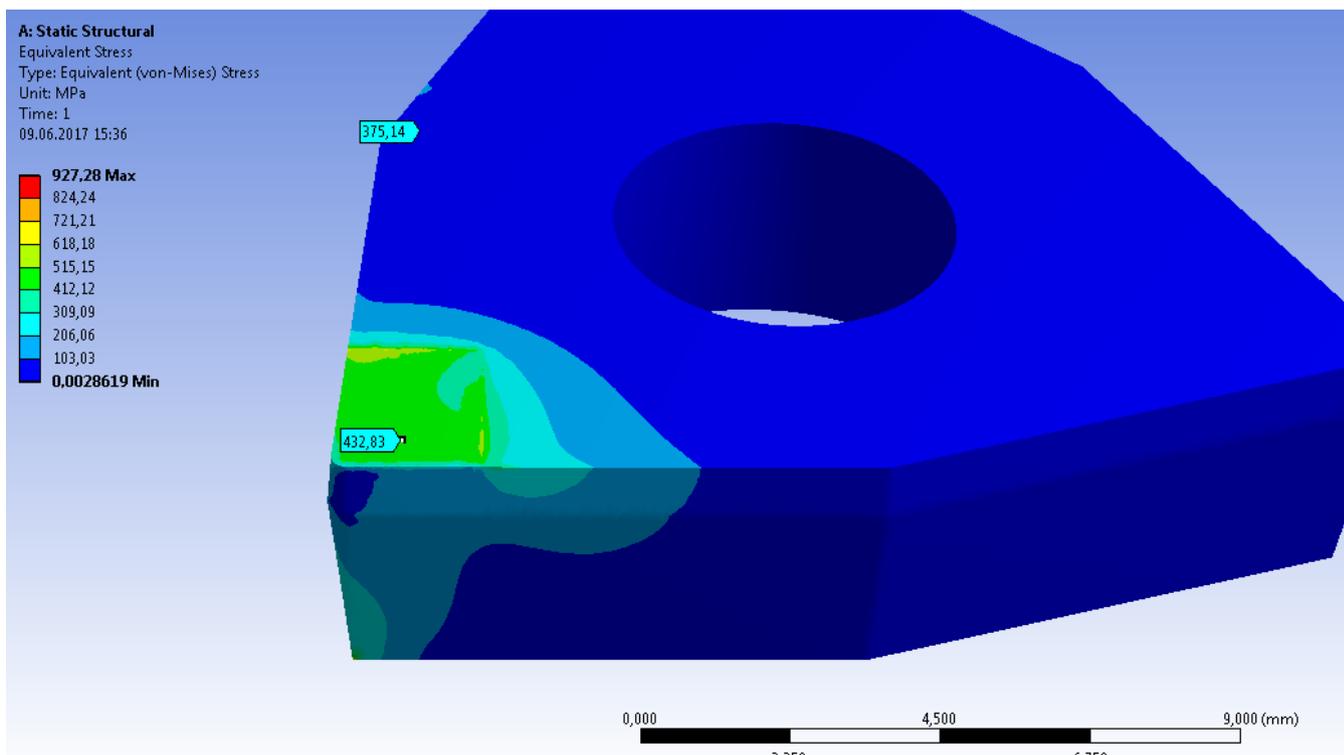


Рис. 5.12 в) Эквивалентные напряжения при обработке стали 40X. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные эквивалентные напряжения $ES_{max}=450$ МПа (на передней поверхности и поверхности контакта с базой).

Обработка титанового сплава ВТ3-1 твёрдосплавной режущей пластиной ВК8

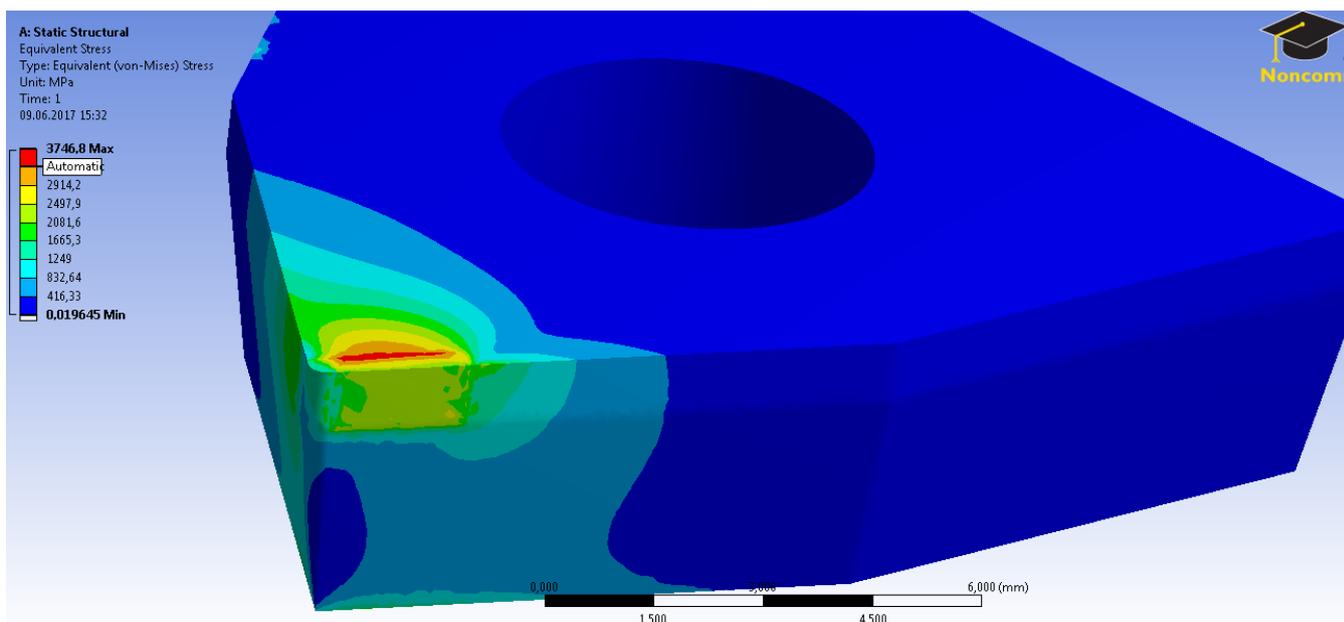


Рис. 5.13 а) Эквивалентные напряжения при обработке сплава титана ВТ3-1. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные эквивалентные напряжения $ES_{max}=3746$ МПа.

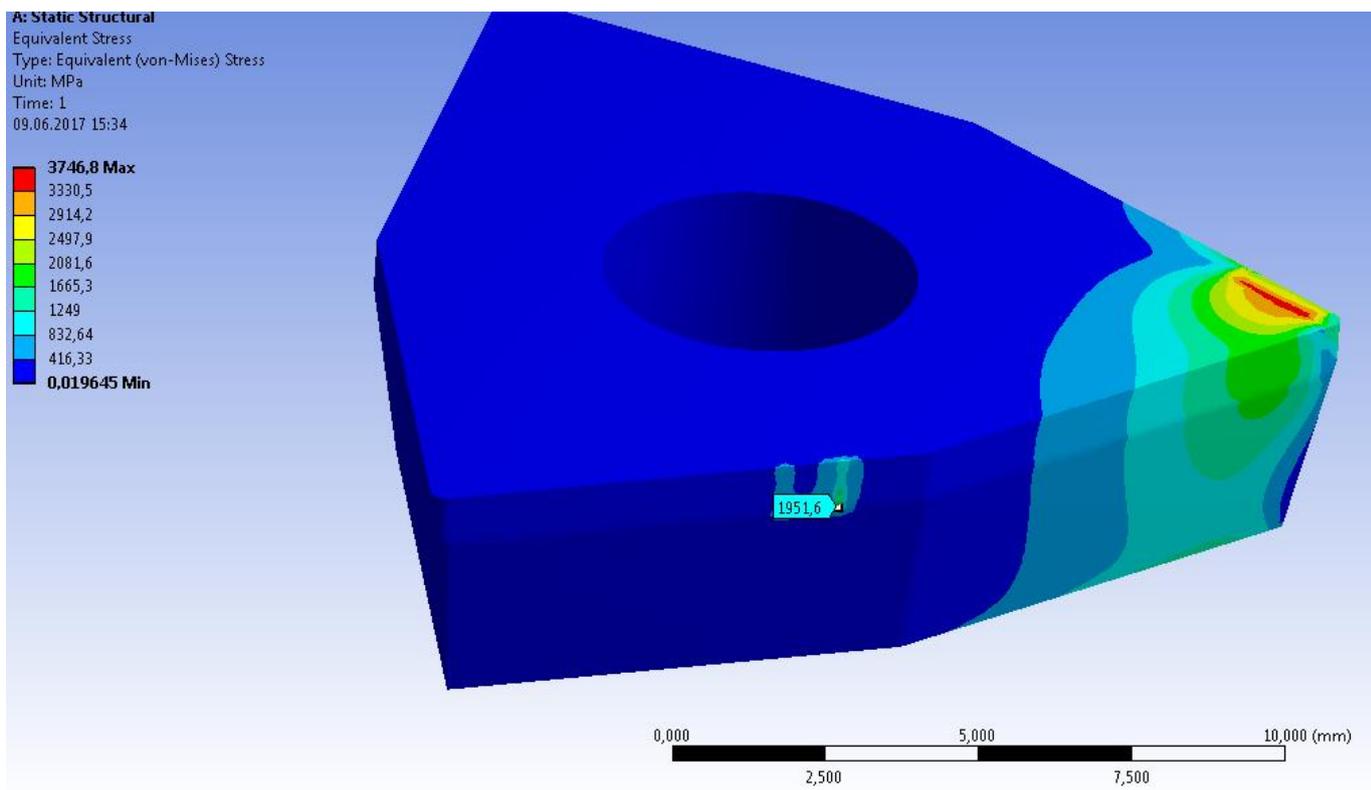


Рис. 5.13 б) Эквивалентные напряжения при обработке сплава титана ВТЗ-1. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные эквивалентные напряжения $ES_{max}=1951$ МПа.

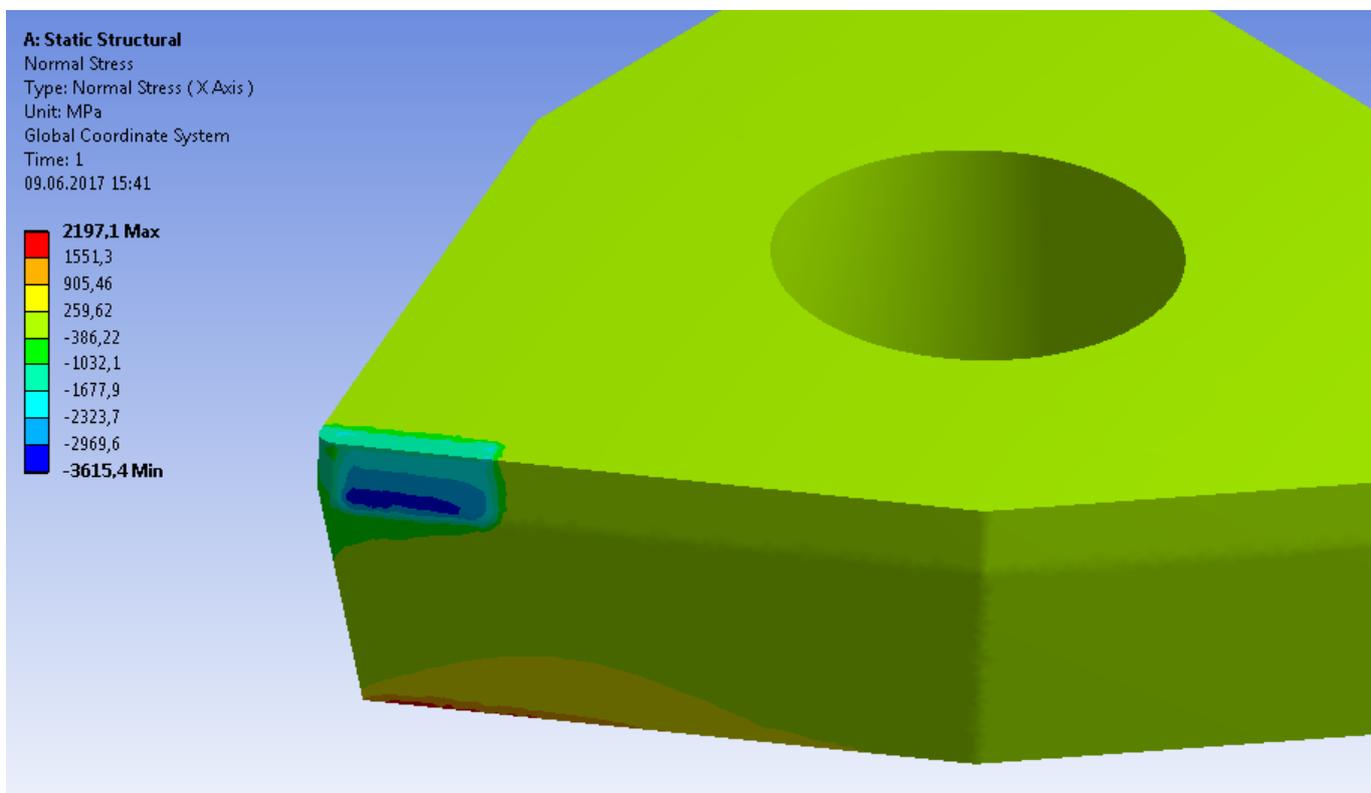


Рис. 5.13 в) Нормальные напряжения при обработке сплава титана ВТЗ-1-ВК8. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные нормальные напряжения $NS_{max}=3213$ МПа.

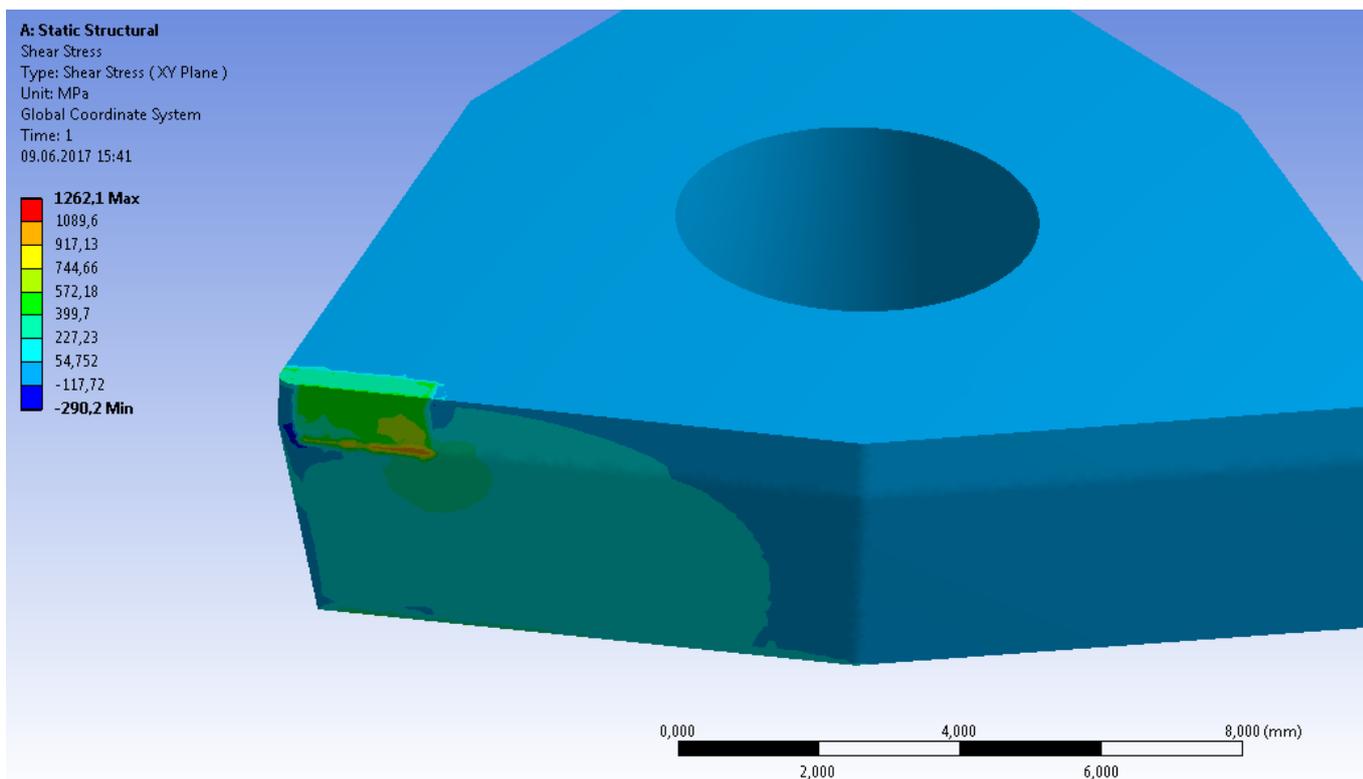


Рис. 5.13 г) Касательные напряжения при обработке сплава титана ВТЗ-1. Режимы резания: $t=2$ мм, $S=0,43$ мм/об, $V=60$ м/мин. $h_3=0,9$ мм. Максимальные касательные напряжения $SS_{max}=1049$ МПа

Выводы:

- 1) Обрабатываемый материал влияет на НДС режущего инструмента: при обработке титанового сплава ВТЗ-1 эквивалентные внутренние напряжения в 8 раз выше, чем при обработке стали 40Х (3746 МПа против 450 МПа; нормальные напряжения в 10 раз выше (3212 МПа против 320 МПа); касательные в 7 раз выше (1049 МПа против 140 МПа).
- 2) При обработке титана в пластине возникают довольно высокие сжимающие напряжения, приближающиеся к пределу прочности на сжатие. При обработке стали при тех же режимах напряжения в пластине невелики.
- 3) При высоких нагрузках в месте контакта пластины с опорой возникают напряжения ($\sigma_{экр} = 1951$ МПа), которые могут поспособствовать хрупкому разрушению пластины из-за низкой температуры в данной зоне.

5.6. Литература

1. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с.
2. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2014, 520 с.
3. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.
4. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.
5. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М.: Машгиз, 1962. 152 с.
6. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
7. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.Н., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Подред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352 с.
8. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
9. Верещака Д.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
10. Виноградов А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых материалов твердосплавными сверлами. Киев: Наукова думка, 1985. 263 с.
11. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
12. Kozlov V. N., Li X. Influence of chip formation characteristics on flank contact load distribution in titanium alloy cutting / V. N. Kozlov, X. Li. // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. – Vol. 756: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014). – pp. 126-131.
13. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. 367 с.
14. Кожевников Д.В. Некоторые вопросы механики процесса косоугольного резания стали. // Известия вузов. Машиностроение. 1960, № 6, С.139...148.
15. Narutaki N et al 1983 CIRP Annals - Manufacturing Technology 32(1) 65–69
16. Wang B et al 2013 International journal of Machine Tools & Manufacture 73 1–8
17. Hu J and Chou Y 2007 Wear 263(7-12) 1454–1458

17. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.:Машиностроение, 1982. 320 с.
18. Афонасов А. И. Обрабатываемость заготовок из титанового сплава BT22, прошедших горячую обработку с защитными покрытиями / А. И. Афонасов // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – № 8. – С. 18-21.
19. Верещака А. С., Анিকেев А. И., Дачева А. В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов / А. С. Верещака, А. И. Анিকেев, А. В. Дачева // Технология машиностроения. – 2010. – № 3. – С.17-22.
20. Che-Haron C. H. Tool life and surface integrity in turning titanium alloy / C. H. Che-Haron // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – № 3 – pp. 231-237.
21. Narutaki N., Murakoshi A., Motonishi S., Takeyama H. Study on machining of titanium alloys. CIRP Annals / N. Narutaki, A. Murakoshi, S. Motonishi, H. Takeyama // Manufacturing Technology. – 1983. – № 1 – pp. 65-69.
22. Mohammadpour M., Razfar M. R., Jalili Saffar R. Numerical investigating the effect of machining parameters on residual stresses in orthogonal cutting / M. Mohammadpour, M. R. Razfar, R. Jalili Saffar // Simulation modelling practice and theory. – 2010 – № 18 – pp. 378–389.
23. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. –М.: Машиностроение, 1969. -150 с.
24. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. М.: Машиностроение, 1967. 416с.
25. Режимы резания металлов: Справочник Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.
26. Резание и инструмент / Под ред. А.М. Розенберга. М.: Машиностроение, 1964. 228 с.
27. Титов В. Б., Ревин Н. Н., Зубарев Ю. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка хрупкой прочности режущего инструмента / В. Б. Титов, Н. Н. Ревин, Ю. М. Зубарев // Инструм. и технол. – 2004. – № 17-18. – С. 227-233. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
28. Розенберг А.М. Динамика фрезерования. М.: Советская наука. 1945.360 с.
29. Shi B., Attia H. Modeling the thermal and tribological processes at the tool-chip interface in machining / B. Shi, H. Attia // Mach. Sci. and Technol. – 2009. – V. 13; № 2. – pp. 210-226.
30. Новиков Г. В., Снисаренко И. Н. Повышение прочности и износостойкости режущего инструмента / Г. В. Новиков, И. Н. Снисаренко // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Ч. 1:

- Материалы 6 Международной научно-технической конференции, Курск, 18-20 дек., 2008. – Курск, 2008. – с. 218-224. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под общ.ред. С.Г. Энтелеса, Э.М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.
31. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ.ред. И.А. Ординарцева. Л. : Машиностроение, 1987. 846 с.
 32. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ.ред. В.А.Гречишникова и С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006. 720 с.
 33. Аршинов С. В., Горелов В. А., Кушнер В. С., Бургонова О. Ю. Сопrotивление титановых сплавов резанию / С. В. Аршинов, В. А. Горелов, В. С. Кушнер, О. Ю. Бургонова // Вестник машиностроения. – 2015. – № 10. – С. 75-80.
 34. Vichev S., Kirov V., Hristov D. Strength calculation of cutting tools / S. Vichev, V. Kirov, D. Hristov. // International Journal of Machine Tools and Manufacture. Volume 34, Issue 1, January 1994. pp. 13-18.
 35. Oraby S. E., Hayburst D. R. Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation / S. E. Oraby, D. R. Hayburst // International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, (2004), pp. 1261- 1269. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. Минск: Новое знание, 2005. 512 с.
 36. Хуан Ч., Цуй Ц., Чжан Ц., Козлов В.Н. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента / Наука и образование: Материалы XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (18-22 апреля 2016 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2016, с. 69-75.
 37. Z. Huang, J. Zhang, V. Kozlov Strength of inserts in titanium alloy machining / Mechanical Engineering Processes and Metal Treatment (MEACS 2015) 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 124 012174, Vol. 124, Number 1, 2016, pp. 162-167.
 38. Хуан Ч., Чжан Ц., Лещинер Е.Г., Козлов В.Н. Прочность режущих пластин при обработке титанового сплава / Профессиональное образование: проблемы и достижения: Материалы V Международной научно-практической конференции (15–17 декабря 2015 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2015, с. 59-65.
 39. Хуан Ч., Чжан Ц., Лещинер Е.Г., Козлов В.Н. Расчёт прочности режущих пластин при обработке титанового сплава / Актуальные проблемы в машиностроении: Материалы III Международной научно-практической

конференции «Актуальные проблемы в машиностроении» (30 марта 2016 г.) – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2016, с. 59-65.

40. Справочник технолога – машиностроителя. В 2 – х Т. 2/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мешерякова. – 4-е изд., перераб. И доп.- М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.

Приложение А:

Обзор научно-технической литературы на английском языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Клочек А.М.		

Консультант кафедры ТМСР:

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шепетовский Д.В.			

6. Strength of inserts in titanium alloy machining

Abstract: In this paper, stressed state of a not worn cutting wedge in machining titanium alloy BT3-1 (Ti6Al2Mo2Cr) is analyzed. Distribution of contact loads on a face of a cutting tool was obtained experimentally with the use of a “split cutting tool”. Calculation of internal stresses in indexable insert made from cemented carbide (WC8Co) was carried out with the help of ANSYS 13.0 software. Investigations showed that small thickness of a cutting insert leads to extremely high compressive stresses near the cutting edge, stresses that exceed ultimate compressive strength of cemented carbide. Face and base of the insert experience high tensile stresses, which approach to ultimate tensile strength of cemented carbide and increase probability of cutting insert destruction. If thickness of the cutting insert is bigger than 5 mm, compressive stresses near the cutting edge decrease, and tensile stresses on the face and base decrease to zero. Dependences of the greatest normal and shear stresses on thickness of a cutting insert were found.

I. Introduction

In machining of difficult-to-machine titanium alloys, brittle fracture of the cutting edge occurs in the form of chipping and spalling, which is especially dangerous for indexable inserts made from commonly used in industry cemented carbides. Working capacity of inserts increases if its thickness increases, but cost of these inserts increases as well. Investigations of stresses distribution were carried out to determine optimal thickness of indexable inserts made from cemented carbide WC8.

Development of new geometries for inserts occurs through, extensive time and resource consuming, prototyping and evaluating. Because of a highly hostile environment, high temperature, pressure, and vibration, in the cutting zone, study of the cutting process is very complicated. This hampers rapid product development in tools for metal cutting for the industry. Cutting simulations are developed to become an instrument for design of cutting tools. These computational experiments will increase the understanding of the cutting process. Simulations can reduce the number of

experiments required during the design process. It is also possible to perform parametric studies in a way that is difficult to achieve by experiments. The simulations can also provide a prediction of the state of residual stresses in the work piece.

II. Investigation of the distribution of contact stresses on the surfaces of the tool

The wear of a cutting tool reduces the cutting tool life – the time between regrinding or replacement of tool or cutting edge. The wear of cutting tool occurs:

1) on the face (rake surface) near the cutting edge with the formation of crater with width $c_{\text{п}}$, depth $h_{\text{п}}$ and a short distance f from the cutting edge;

2) on the cutting edge proceeds the roundness ρ of the cutting edge,

3) on flank surfaces adjacent to the cutting edge, where the contact stresses (specific loads) are particularly high, with the width h_3 (or h) of the flank wear land with a zero clearance angle ($\alpha_{\text{h3}} = 0^\circ$) and, in some cases, with slightly negative clearance angle (Fig. 1).

The wear crater on the face of tool causes the chip to coil up tightly and break off readily but the wear extends the crater and can cause the destruction of the cutting edge. Generally the wear crater is not dangerous and even reduces cutting force.

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 and leads to the destruction of the cutting edge.

The wear on the flank h_3 results in the same but it is increased faster than the roundness of the cutting edge and that is why it is more dangerous. Generally the wear on the flank is estimated by the width of wear h_3 and limits the wear for cemented carbide tool is about 0.25 mm for finish cutting of steel and 0.75 mm for heavy cutting. Machining of titanium alloy parts causes very intense wear on the flank due to very

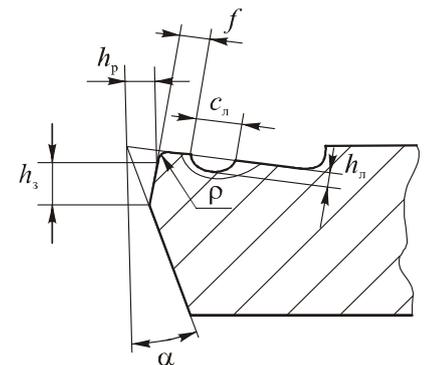


Fig. 1. Cutting wedge wear

small heat conductivity of titanium alloys and the flank wear land width reaches 2.5...5 mm, but even with this great value of wear the cutting tool can work that is not understandable.

III. Research Methods of Contact Load Distribution

The rational use of cutting tools is impossible without knowledge of physical phenomena which occur in cutting. Contact processes which take a place on contact surfaces between tool, chip and work material are 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.

It is necessary to know not only components of cutting force but also distributions of normal σ and tangential τ contact stresses on the rake surface, normal σ_h and tangential τ_h contact stresses on the flank wear land surface of the cutting tool. Data obtained could be considered as the basis for both determining cutting wedge strength and analyzing tool wear.

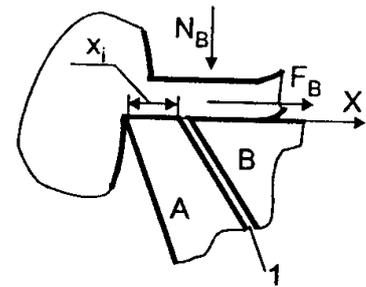


Fig. 2. "Sectional tool" principle of action for research of contact load distribution on the rake surface of a cutter; 1 – slit between parts (plates) A and B

Essentially, greater opportunities are provided with the "sectional tool" method. Investigations were provided by the "sectional tool" method. This method involves using of the composite tool (Fig. 1): parts A and B of this tool are separated within tool-chip contact length with the slit l thus preventing their force interaction. The forces N_B and F_B are perceived by the part B independently on the part A. Both parts are fastened on a dynamometer and recorded in a computer.

By measuring the distance between slit and cutting edge one could obtain the functions $N_B(x)$ and $F_B(x)$. Normal σ and tangential τ contact stresses on the rake surface are calculated by simple derivation of functions:

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

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.

Then epures of contact stresses (distribution of contact stresses) along rake surface perpendicular to cutting edge are built. The same method is used for building of epures of contact stresses on the flank land surface perpendicular to cutting edge.

This method was used for investigation of contact stresses distribution in cutting soft brass. Data of researches showed that distribution of contact stresses on the artificial flank wear land with the zero clearance angle ($\alpha_{hFL} = 0^\circ$) does not depend on the width of the flank wear land h_3 [1, 2].

The problem of the part A strength is occurred in cutting of titanium alloys especially in performing the measurements in the points near the cutting edge.

In this case the method of variable flank wear width has been applied. It involved analysis of relationships between flank land width and forces acting on the land including their further derivation.

Investigations of flank contact stresses distribution when turning titanium alloys show very large contact stresses near to the edge, but then its decreased far from edge (Fig. 3). It may be due to the contact layer softening.

To check the principal possibility of contact layer softening, theoretical and experimental estimates of contact temperatures have been performed. Experimental study was based on using thermosensitive coatings. It was shown that for conditions of Fig. 3 flank wear temperature could exceed 900°C, thus, achieving the level

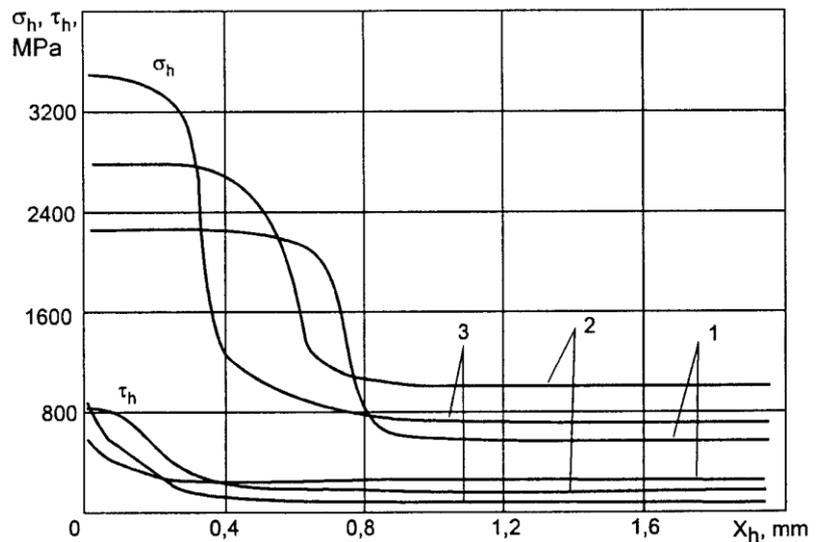


Fig. 3. Distribution of normal σ_h and tangential $\tau_{h,contact}$ stresses on the artificial flank wear land with a zero clearance angle ($\alpha_h = 0^\circ$) when turning a titanium alloy collar by the cemented carbide cutting tool VK8: $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; $v = 60$ m/min; $\alpha_{hF} = 0^\circ$; cut thickness: 1 - 0.11 mm; 2 - 0.21 mm; 3 - 0.41 mm.

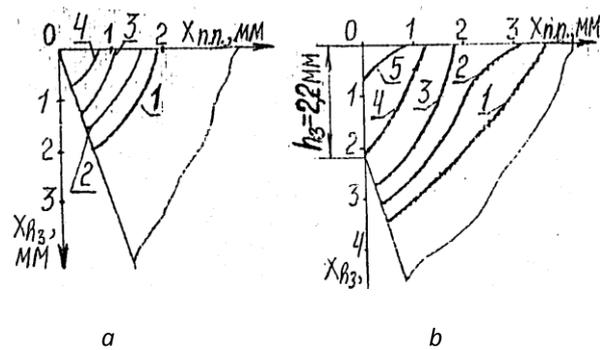


Fig. 4. Distribution of temperature into cutting wedge when turning a titanium alloy by the VK8 tool: $\gamma = 0^\circ$; $v = 60$ m/min; cut thickness - 0.21 mm: a - without flank wear land; b - $h_F = 2.2$ mm; 1 - 500°C; 2 - 600°C; 3 - 700°C; 4 - 800°C; 5 - 900°C

where mechanical properties of titanium alloys deteriorate significantly. This speaks possibility of contact layer softening.

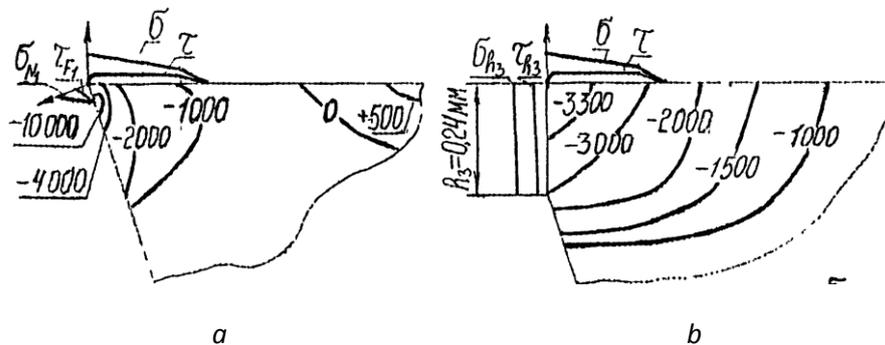


Fig. 5. Distribution of main stress σ_3 into cutting wedge when turning a titanium alloy with the WC8 tool: $\gamma = 0^\circ$; $v = 60$ m/min; cut thickness - 0.21 mm: a – without flank wear land; b – $h_F = 0.24$ mm

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. 5). Distributions of normal σ and tangential τ rake contact stress were calculated from our experimental data and information about distribution in cutting of titanium alloys which was obtained by the "sectional tool" method [1]. Main stress σ_3 into cutting wedge on the flank of cutting wedge is very large that explains intensive rounding of cutting edge and appearance of wear land on the flank (Fig. 5, a). Ultimatum stress for compressing of cemented carbide VK8 $\sigma_{-u} = 4200$ MPa; for strengthening – $\sigma_u = 780$ MPa.

Decreasing of main stress σ_3 with appearance of wear land on the flank explains ability of work even at large wear on the flank (Fig. 5, b).

IV. Research methods

Finite element method along with ANSYS 13.0 software was used to calculate stresses in free orthogonal cutting of difficult-to-machine titanium alloy BT3-1 (Ti6Al2Mo2Cr). Distribution of specific contact loads on the face and on the flank surfaces was found experimentally by the method of a "split cutting tool" and by the method of the artificial flank-land of variable width in free orthogonal cutting of

difficult-to-machine titanium alloy (Ti6Al2Mo2Cr) with constant geometry of the cutting part and cutting conditions (rake angle $\gamma=0^\circ$, cutting speed $v=1$ m/s, radial feed $f=0,21$ mm/r, wear on the flank surface (artificial flank-land) $h_f = 0,19$ mm) [1]. Thickness h of the insert varied from 2 to 20 mm.

V. Results of experiments

Small thickness of a cutting insert $h = 2$ mm leads to high ($\sigma_3 = -1600$ MPa) Small thickness of a cutting insert $h = 2$ mm leads to extremely high ($\sigma_3 = -6866$ MPa) compressive stresses near the cutting edge, stresses that exceed ultimate compressive strength of cemented carbide (WC8Co) ($\sigma_{UCS} = -4200$ MPa). It is practically proved by

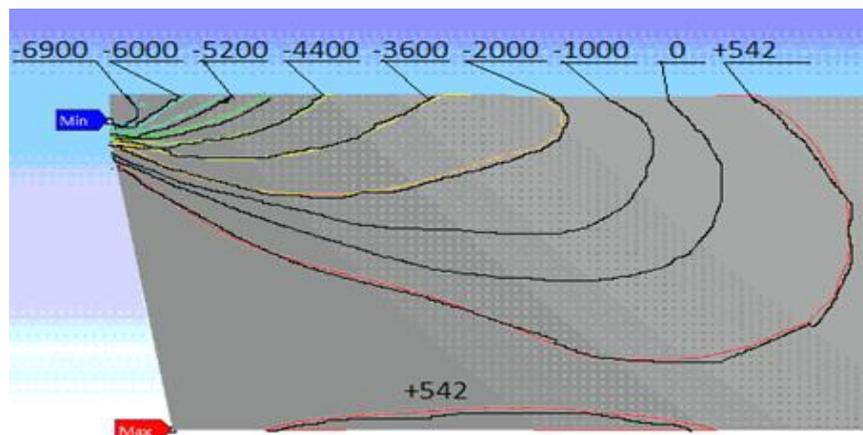


Fig. 6. Distribution of normal stresses in the cutting wedge for a cutting insert with thickness of 2 mm. The width of the wear-land $h_f=0,19$ mm

brittle fracture of cutting inserts when its thickness less 2 mm.

Tensile stresses ($\sigma_1 = +700$ MPa) are observed on the face surface at the distance equal to approximately four lengths of contact of the chip with rake surface. Tensile stress value approaches to ultimate tensile strength of cemented carbide (WC8) ($\sigma_{UTS} = +750$ MPa).

High tensile stresses ($\sigma_1 = +542$ MPa) are observed on the base of the cutting insert, which value approaches to ultimate tensile strength of cemented carbide BK8. In

practice, results of calculations are proved by brittle fracture of the base of the insert with small thickness [6].

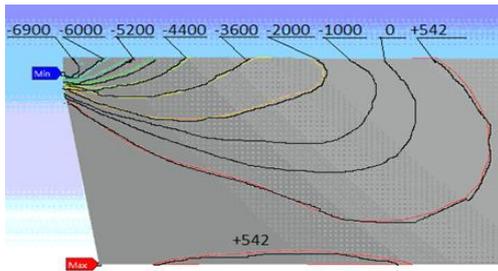
Tensile stresses on the heel of the base of the insert are not observed (in the Fig. 7, b, the base is not displayed, since there are no lines that correspondent to $|\sigma| < 100$ MPa).

Shear stresses τ in the cutting wedge was calculated under similar condition (Fig. 8). Shear stress near the cutting edge of the cutting insert with small thickness ($h=2$ mm) exceeds ultimate shear strength of cemented carbide (Fig. 8, a), which leads to destruction of cutting part.

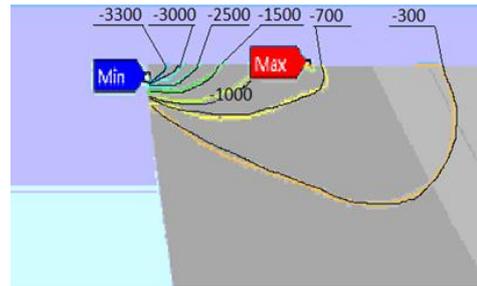
The maximum value of the shear stress doesn't exceed ultimate shear strength of cemented carbide when thickness of the cutting insert is bigger than 5 mm (Fig. 8, b).

Influence of the cutting insert thickness on the maximum value of principle normal compressive stresses σ_{\max} near the cutting edge is represented in Fig. 4. The greatest influence of the cutting insert thickness is observed for $h \leq 7$ mm ($\sigma_3 = -3000$ MPa). This influence reduces significantly with further increase of insert thickness, and for $h > 12$ mm thickness does not influence magnitude of the normal stress near the cutting edge ($\sigma_3 = -1300 \dots -1177$ MPa).

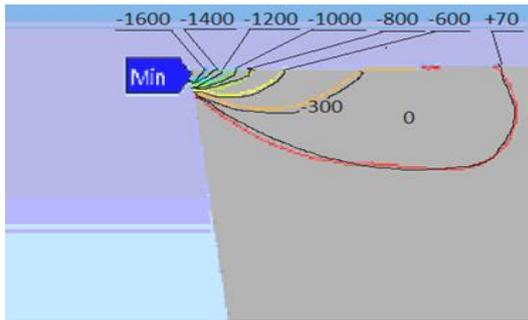
Influence of the cutting insert thickness on the maximum value of shear stress τ_{\max} has similar character (Fig. 10), but its influence is sufficiently great for $h > 12$ mm.



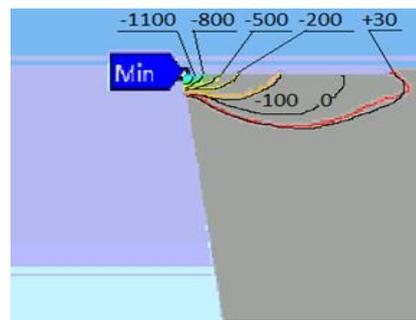
a



b

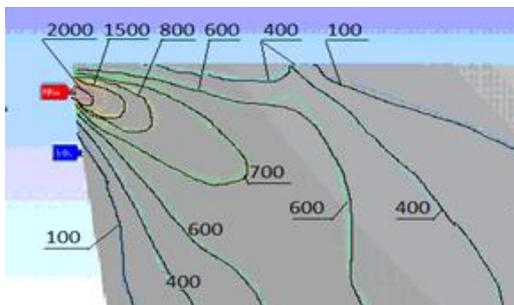


c

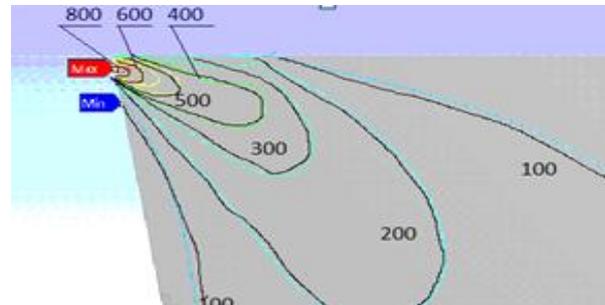


d

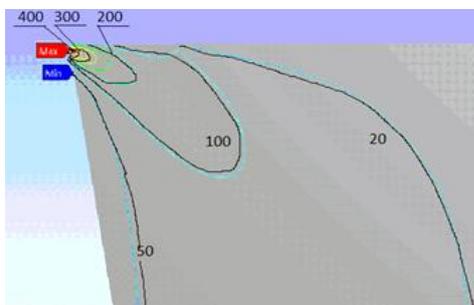
Fig. 7. Distribution of normal stresses σ [MPa] in the cutting wedge for a cutting insert with thickness of h: a) h=2 mm; b) h=6 mm; c) h=12 mm; d) h=20 mm



a



b



c



d

Fig. 8. Distribution of shear stresses τ [MPa] in the cutting wedge for a cutting insert with thickness of h: a) h=2 mm; b) h=6 mm; c) h=12 mm; d) h=20 mm.

Relatively low, but elevated stresses ($-3200 > |\sigma_3| \geq -2000$ MPa) influence probability of the insert destruction, since presence of small imperfections in the zone of these stresses can lead to development of a macro-crack with subsequent destruction of the cutting insert. Diagram of relationship between location of a zone with increased normal stresses ($|\sigma_3| \geq -2000$ MPa) and insert thickness is presented in Fig. 6. The zone with increased stresses is negligibly small for insert thickness $h > 12$ mm.

VI. Conclusion

1. In machining of titanium alloy (Ti6Al2Mo2Cr) with an insert with thickness equal or less than 5 mm, high compressive stresses, which exceed ultimate compressive strength of cemented carbide (WC8Co), arise near the cutting edge, which leads to chipping of the major cutting edge.

2. In machining of titanium alloy (Ti6Al2Mo2Cr) with a cutting insert with thickness equal or less than 5 mm, tensile stresses, which approach to ultimate tensile strength of cemented carbide, arise on the face and base surfaces of the cutting insert, which increases probability of cutting insert destruction.

3. In machining of titanium alloy (Ti6Al2Mo2Cr) with a cutting insert with thickness equal or less than 6 mm high

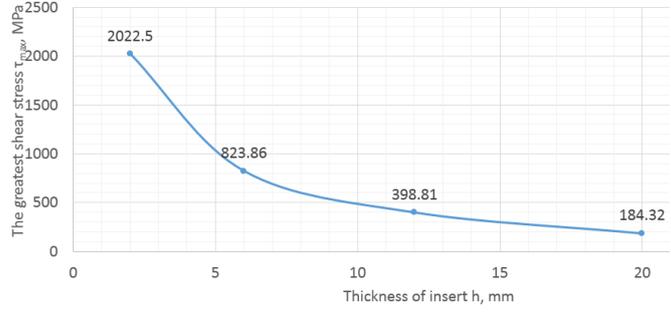


Fig. 10. Influence of cutting insert thickness on the maximum value of the shear stress in the cutting wedge



Fig. 9. Influence of the cutting insert thickness on the maximum value of the principle normal stress in the cutting wedge

distance from the cutting edge to the zone with increased normal stress ($|\sigma| \geq 2000$ MPa) in the cutting wedge

shear stresses arise near the cutting edge, exceeding ultimate shear strength of cemented carbide and leading to destruction of the major cutting edge.

4. Application of cutting inserts with thickness more than 6 mm in machining of titanium alloy helps to avoid destruction of slightly worn inserts, which are common for finish and semifinish machining [4, 6, 7].

References

- [1] Kozlov V 2012 *Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear*. (Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST, Article number 6357713)
- [2] Shaw M 2003 *The size effect in metal cutting* (Sadhana vol **28**) pp 875–896.
- [3] Anderson T 1991 *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications* (CRC Press, Florida)
- [4] Narutaki N *et al* 1983 *Study on Machining of Titanium Alloys* (CIRP Annals - Manufacturing Technology vol **32** (1)) pp 65-69
- [5] Wang B *et al* 2013 *Investigations of yield stress, fracture toughness, and energy distribution in high speed orthogonal cutting* (International journal of Machine Tools & Manufacture vol **73**) pp 1-8
- [6] Hu J and Chou Y 2007 *Characterizations of cutting tool flank wear-land contact* (Wear, 263, Iss. 7-12) pp 1454-1458
- [7] Kozlov V and Li X 2015 *Influence of chip formation characteristics on flank contact load distribution in titanium alloy cutting* (Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal vol **756**: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014)) pp 126-131

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Клочек Антон Михайлович

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	Технологии машиностроения и промышленной робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема дипломной работы: Расчет на прочность сменных режущих пластин при токарной обработке.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>1. Целью данной работы является исследование прочности токарного резца при точении титанового сплава методом конечных элементов.</p> <p>2. Основная работа производится в 215 аудитории 16а корпуса, 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.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> –а) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала); –б) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, 	<p>Монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, повышенный уровень вибрации, защита от электромагнитных полей, повышенная или пониженная ионизация воздуха.</p> <p>Коллективными средствами защиты будут различные оградительные устройства для предотвращения случайного попадания человека в опасную зону, предохранительные устройства, при чрезвычайных ситуациях, бедствиях и т.д. – обустройство убежищ.</p> <p style="text-align: center;">В качестве индивидуальной защиты</p>

<p>перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;</p> <p>–г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>–приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>–предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p>	<p>применяются защитные очки, защитная одежда, жаростойкие рукавички, прорезиненная обувь.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <p>–а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>–б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка;</p> <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</p>	<p>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.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды: организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</p>	<p>Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму за счет отсутствия загрязняющих веществ.</p> <p>Отправлять отходы (стружку, брак и т.д.) на переплавку; бытовые отходы – классифицировать и утилизировать, строительные – измельчить, поместить в специально назначенные для строительного мусора контейнеры.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>–а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия</p> <p>–разрабатываются превентивные меры</p>	<p>Возможные ЧС на объекте: пожары, землетрясения.</p> <p>К мерам по предупреждению будут относиться:</p>

<p>по предупреждению ЧС; –разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Планирование защиты населения и территории от ЧС на уровне предприятия (организации); 2. Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 3. Выявление угроз пожара и оповещение персонала; 4. Подготовка работающих к действию в условиях ЧС; 5. Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств ликвидации ЧС.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНИПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);</p>	<p>– Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении, а также контроль исправности работы в помещении.</p>
<p>Перечень графического материала: 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Клочек А.М.		

7. Социальная ответственность

Описание рабочего места

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

Рабочим местом является 215 аудитория 16а корпуса, параметры которой: высота – 3,5м, длина – 6м, ширина – 3м. В аудитории имеется одно окно. Кроме того, комната освещается двумя люминесцентными лампами. 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. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз.

7.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

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.

7.1.1. Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

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

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

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

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

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

Таблица 7.1. Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

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

7.1.2. Электричество

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 в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), 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;
- 2) при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- 3) при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- 4) имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Аудитория 215, в которой проводились работы, по опасности электропоражения относится к помещениям без повышенной опасности, то есть отсутствуют условия, создающие повышенную опасность. Это помещение сухое, хорошо отапливаемое, с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°C, с влажностью 40-50%.

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.

Одним из выявленным опасных факторов является поражение электрическим током, так как напряжение считается безопасным при $U < 42\text{В}$, 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. [ссылка 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 (прорезиненная обувь, перчатки).

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.

Тело человека является проводником электрического тока. Сопротивление человека при сухой и неповрежденной коже колеблется от 3 до 100 кОм.

Ток, пропущенный через организм человека или животного, производит следующие действия: термическое (ожоги, нагрев кровеносных сосудов); электролитическое (разложение крови, нарушение физико-химического состава); биологическое (раздражение и возбуждение тканей организма, судороги)

Основным фактором, обуславливающим исход поражения током, является значение проходящего через тело тока. По технике безопасности, минимально ощутимый человеком переменный ток составляет около 1 мА. Опасным для жизни человека переменный ток становится начиная с силы примерно 0,01 А, а постоянный — с 0,05 А. Это такие значения тока, при которых человек может самостоятельно оторваться от токоведущей части. Смертельным для человека ток становится, начиная с силы примерно 0,1 А.

Рекомендованное локальное заземление для ПК, подключенного к электросети 220 Вольт/ 380 В, должно иметь сопротивление не более 4 Ом.

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.

Итого: безопасные номиналы напряжения $U=12$ В (при переменном токе), 36В (при постоянном токе); силы тока $I=0,1$ А; сопротивление заземления $R_3=4$ Ом.

Средства коллективной защиты (СКЗ) от электричества: ограждения и щитки со знаками безопасности, изоляция, изолирующие покрытия; устройства защитного заземления и зануления (естественные и искусственные); устройства автоматического отключения.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ): основные (указатели напряжения/знаки безопасности; все инструменты с ручками из изолирующего материала, а также разного рода перчатки, трапы, кронштейн-площадки и т.д.) и дополнительные (специальные галоши, сапоги, коврики и дорожки)

7.1.3. Шум

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

Таблица 7.2.

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 снижения шума можно использовать следующие методы:

1. уменьшение шума в источнике;
2. изменение направленности излучения;
3. рациональная планировка предприятий и цехов;
4. акустическая обработка помещений;
5. уменьшение шума на пути его распространения.

Конструктивные противозумовые мероприятия (как коллективное средство защиты), применяемые для ограничения уровня шума:

звукопоглощающие конструкции, устанавливаемые на стенах и потолке производственных помещений и специальных экранах; виброизоляция источников шума; установка звукоизолирующих экранов; увеличение звукоизоляции ограждений помещений, граничащих с помещениями, где имеют место высокие уровни шума.

В качестве СИЗ применяются (наушники, шлемы, заглушки), обеспечивающих ослабление шума до уровней, не превышающих допустимой нормы.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 35 дБА.

7.1.4. Освещенность

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 $E_n = 300$ лк. [ссылка на СП 52.13330.2011]

Пульсация при работе с компьютером не должна превышать 10% [ссылка СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Увеличение 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.

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

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

$A = 6$ м, ширина $B = 3$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \times 3 = 18 \text{ м}^2$$

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

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

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

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

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,2 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{3}{2,2} = 1,36 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,7 \approx 2$$

Общее число ламп:

$$N = Na \cdot Nb \cdot 2 = 2 \cdot 2 = 8$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,73 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рис.7.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

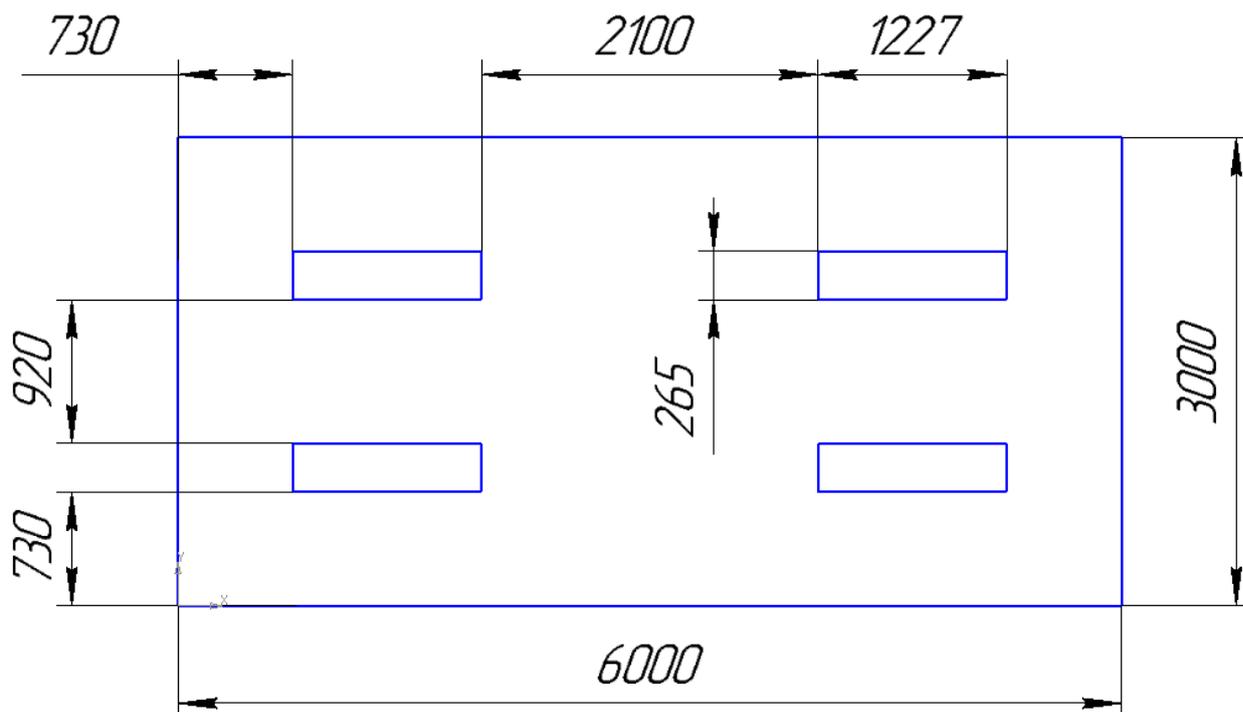


Рис. 7.1. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 3}{2,3 \cdot (6 + 3)} = 0,87$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 0,87$ равен $\eta = 0,43$.

Потребный световой поток люминесцентной лампы светильника определяется по формуле:

$$\Phi_n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,43} = 2590 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2590}{2600} \cdot 100\% = 0,38\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 0,38\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

7.1.5. Электромагнитные поля

Электромагнитные поля оказывают специфическое воздействие на ткани человека, при воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов дыхания, органов пищеварения и некоторых биохимических показателей крови. Также эти излучения могут неблагоприятно влиять на работу электрических приборов. Воздействие ЭМИ на человека нормируется по энергетической экспозиции, определяющейся интенсивностью ЭМИ радиочастотных диапазонов (ЭМИ РЧ) и временем воздействия, согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96.

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].

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

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3.

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 — для детей дошкольных учреждений и учащихся —средних специальных и высших учебных заведений	20кВ/м 15кВ/м 15кВ/м

7.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

7.2.1. Факторы электрической природы

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 в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), 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;

- 2) при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- 3) при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- 4) имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Аудитория 215, в которой проводились работы, по опасности электропоражения относится к помещениям без повышенной опасности, то есть отсутствуют условия, создающие повышенную опасность. Это помещение сухое, хорошо отапливаемое, с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°C, с влажностью 40-50%.

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.

Одним из выявленным опасных факторов является поражение электрическим током, так как напряжение считается безопасным при $U < 42\text{В}$, 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. [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 (прорезиненная обувь, перчатки).

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.

Тело человека является проводником электрического тока. Сопротивление человека при сухой и неповрежденной коже колеблется от 3 до 100 кОм.

Ток, пропущенный через организм человека или животного, производит следующие действия: термическое (ожоги, нагрев кровеносных сосудов); электролитическое (разложение крови, нарушение физико-химического состава); биологическое (раздражение и возбуждение тканей организма, судороги). Основным фактором, обуславливающим исход поражения током, является значение проходящего через тело тока. По технике безопасности, минимально ощутимый человеком переменный ток составляет около 1 мА. Опасным для жизни человека переменный ток становится начиная с силы примерно 0,01 А, а постоянный — с 0,05 А. Это такие значения тока, при которых человек может самостоятельно оторваться от токоведущей части. Смертельным для человека ток становится, начиная с силы примерно 0,1 А.

Рекомендованное локальное заземление для ПК, подключенного к электросети 220 Вольт/ 380 В, должно иметь сопротивление не более 30 Ом.

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.

7.2.2. Факторы пожарной и взрывной природы

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, в которой выполнялись эксперименты, 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 В. Для категории В характерно наличие в помещении:

- 1) жидкости с температурой вспышки выше 610°C;
- 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 В, 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.

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 негорючих 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 эксплуатационных 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 достигаемом расстоянии находится пожарный щит (1 этаж 16 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.

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.

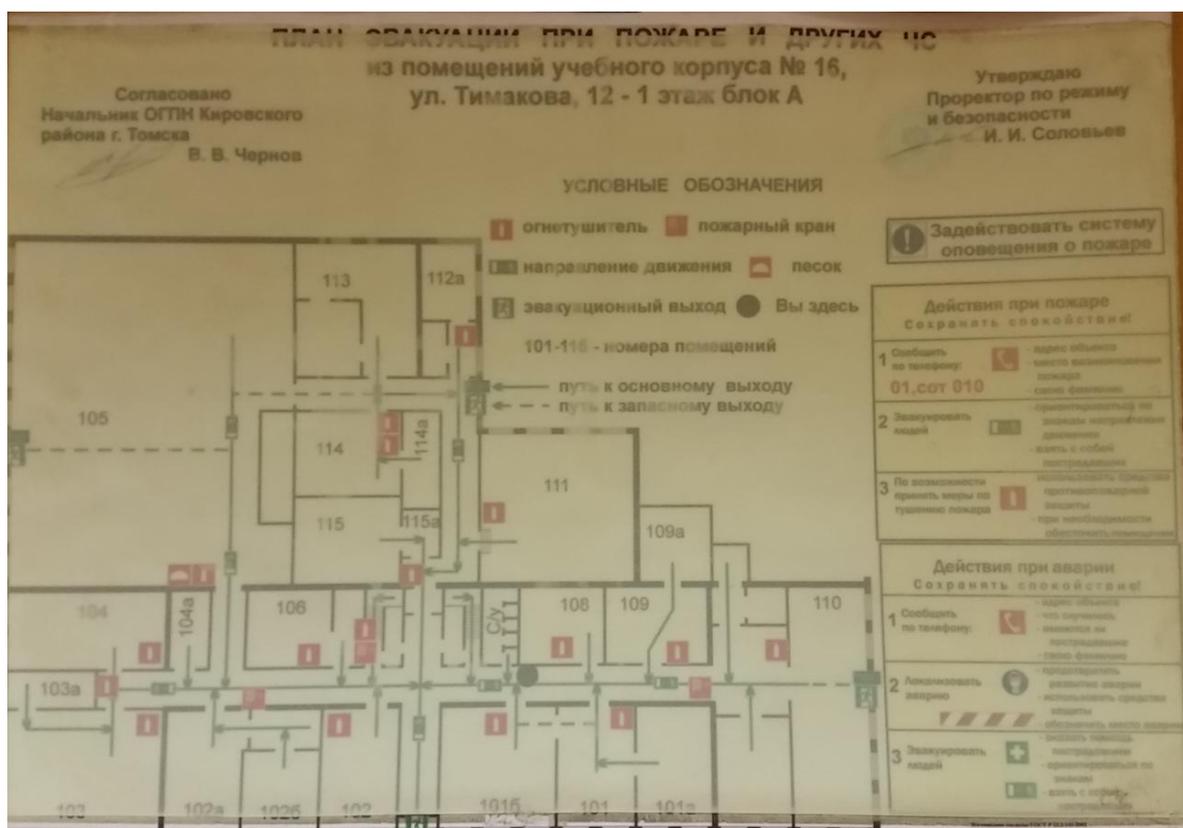


Рис. 7.2. План эвакуации.

7.3. Охрана окружающей среды

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

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

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

7.4. Защита в ЧС

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

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди

населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Также сильные морозы могут вызвать аварии на электросетях, водопроводе и отсутствие на дорогах городского транспорта. Во избежание последнего следует оставлять транспорт (автобус) в теплом гараже для развозки людей в случае перебоя в транспортном сообщении. В случае отключения воды должно присутствовать автономное водоснабжение; аналогично в энергосистемах должны использоваться автономные источники питания (аккумуляторы, генераторы) для функционирования жизнедеятельности во время аварий.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

7.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"

3.ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности

12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха

13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

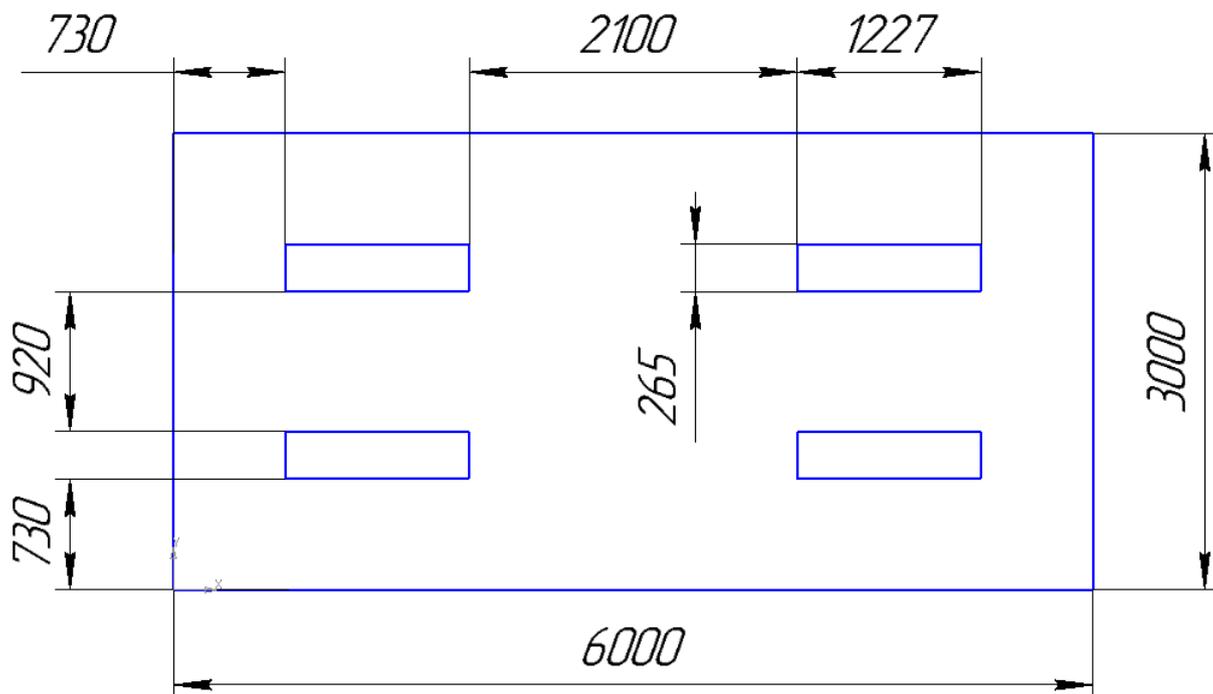
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

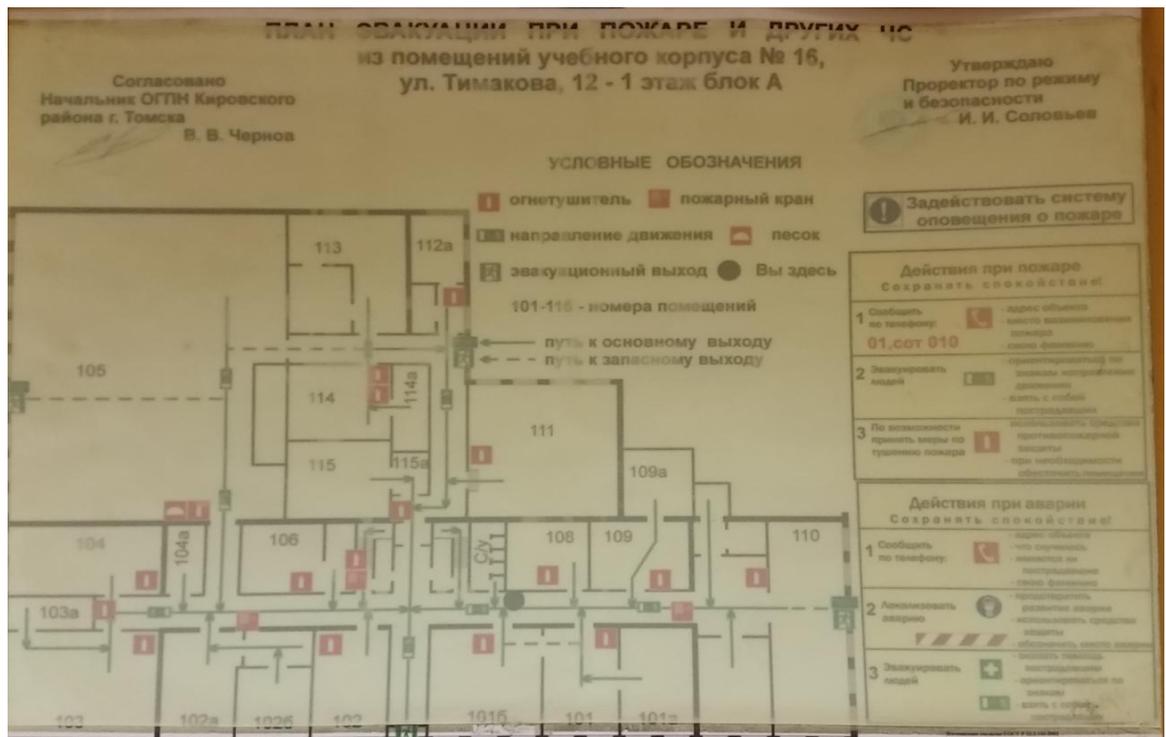
16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Графические материалы

1) Освещенность на рабочем месте



2) План эвакуации



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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Клочек А.М.

Институт	Кибернетики	Кафедра	ТМСПР
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:

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
Доцент	Спицын В.В.	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Клочек А.М.		

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 рассматривать по следующим направлениям:

- 1) Мелкие заводы
- 2) Большие заводы
- 3) Институт
- 4) Домашнее хозяйство
- 5) Колледжи и ВУЗы

Тема исследования - прочность токарного резца при черновом точении титанового сплава. Поэтому сегментирование рынка услуг по области применения разделяется на следующих частях, как в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Карта сегментирования рынка услуг по области применения резца

		Область применения резца				
		Мелкие заводы	Большие заводы	Институт	Домашнее хозяйство	Колледжи и ВУЗы
Размер потребителей	Крупные	А	С	С	А	С
	Средние	В	Д	АВ	В	В
	Мелкие	С	АВ	Д	С	Д

Где: А - целые; В - сварные; С - сборные; D - фасонные.

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг по области применения типов резца заняты конкурентами или где уровень конкуренции высок и где применяются сборные резцы, являющиеся объектом изучения.

8.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (9.1.)$$

Где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Ansys, ABAQUS и Solidworks (пакет для инженерных расчетов) это программы, предназначенные для автоматизированных инженерных расчетов, а также пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций и т.д. методом конечных элементов. ABAQUS изначально практически неизвестен в России, поэтому он имеет ряд недостатков при использовании на данной территории (нет специалистов, владеющих этой

программой, нет обучающих программ, да и сама программа не доступна рядовому студенту), но в тоже время имеет преимущества перед другими программами, например интеграция практически со всеми САД-системами.

С Solidworks все наоборот, она очень доступна и хорошо известна среди студентов, огромные возможности для 3D моделирования, но требуется большое количество времени на изучение пакета Solidworks Simulations (предназначенный для инженерных расчетов), который имеет сложный интерфейс.

Программа ANSYS охватывает практически все сегменты инженерной отрасли: от тяжелого машиностроения до микроэлектроники, медицины и т.д. Поэтому имеет большое распространение. Также сеточный генератор ANSYS является одним из самых мощных, что позволяет программе проводить расчеты более точно. Также ANSYS выводит точные решения при минимуме вычислительных затрат за счет автоматической адаптации сетки. Также важным достоинством этой программы является скорость решения задач.

Таблица 8.2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _А	Б _В	Б _С	К _А	К _В	К _С
1	2						
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,03	4	4	3	0,12	0,12	0,09
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,03	4	3	3	0,12	0,09	0,09
3. Помехоустойчивость	0,06	3	3	3	0,18	0,18	0,18
4. Энергоэкономичность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Надежность	0,06	5	4	4	0,30	0,24	0,24
6. Уровень шума	0,05	5	4	4	0,25	0,20	0,20
7. Безопасность	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	3	4	4	0,15	0,20	0,20
9. Функциональная мощность (предоставляемые	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09

возможности)							
10. Простота эксплуатации	0,06	4	3	3	0,28	0,18	0,18
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	3	3	2	0,12	0,12	0,08
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	3	4	0,30	0,18	0,28
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	4	0,20	0,20	0,20
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
5. Послепродажное обслуживание	0,04	5	5	5	0,20	0,20	0,20
6. Финансирование научной разработки	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
7. Срок выхода на рынок	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,20
Итого	1	83	73	70	4,26	3,7	3,61

Где: А - расчёт по ANSYS; В - расчёт по ABAQUS; С - расчёт по Solidworks. Значение К позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя К получилось от 4.5 до 5.0, то такая разработка считается перспективной. Если от 4.0 до 4.5 – то перспективность выше среднего. Если от 3.5 до 4.0 – то перспективность средняя. Если от 3.0 до 3.5 – то перспективность ниже среднего. Если 3.0 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, расчёт по ANSYS считается перспективным.

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. 8.3

Таблица 8.3. 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	4	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	54	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:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (8.2.)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ 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: исследование прочности резца при обработке 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. 8.4.

Таблица 8.4. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Козлов В.Н. (Научный руководитель)	Выявить причины поломки инструмента при точении титанового сплава
Клочек А.М. (Инженер)	Определить оптимальную геометрию режущего клина с точки зрения его прочности при черновой обработке титанового сплава

В табл. 8.5 необходимо представить информацию об иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 8.5. 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 проверка результатов 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) Силы резания на передней и задней поверхностях
	2) Температуры резания и распределения температуры в режущем клине
	3) Распределение контактных нагрузок (напряжений) на рабочих поверхностях инструмента
	4) Распределение внутренних напряжений в режущем клине
5) Оценка прочности режущего инструмента	

9.2.2. Ограничения и допущения проекта

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

Таблица 8.6. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	Не более 120000 руб.
2. Источники финансирования	Кафедра ТМСПР
3. Сроки проекта:	2 года
4. Дата утверждения плана управления проектом	16.09.2015
5. Дата завершения проекта	10.06.2017
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, приведенной ниже.

Таблица 8.7. 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%

8.3.2. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться 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.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (8.3.)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (8.4.)$$

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 8.8 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 ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (8.5.)$$

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:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (8.6.)$$

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 формуле¹

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (8.7.)$$

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 8.8 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (9.3.), при использовании формулы (8.4.) 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 $t_{ож} \cdot K_{Д}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{К}$ (здесь оно равно 1,205). 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 $T_{кд}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в табл. 8.9.

Таблица 8.8. 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	–	2.60	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,4	2,02	0,86	2,43	1,04
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7	10	8.2	2,95	6,89	3.56	8,3
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	2.4	2.59	0.29	3,12	0,35
Обсуждение литературы	НР, И	3	5	3.8	1.37	3,19	1.65	3,85
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	6	12	8.4	3,02	7.06	3,64	8,5
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	6	10	7.6	1,82	7.296	2,2	8.79
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	3,26	5.90	3,93
Итого:				60.8	20,83	52,13	25,1	62,81

Таблица 8.9. Календарный план-график работ

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	2,6	–	■										
2	2,43	1,04	■	■									
3	3.56	8,3		■	■								
4	3,12	0,35			■								
5	1.65	3,85				■							
6	3,64	8,5				■	■						
7	2,2	8.79					■	■					
8	–	13.0 1						■	■				
9	–	8.97							■	■			
10	–	6.07								■			
11	5.90	9.83									■	■	

НР – ■, И – ■

8.4. Бюджет научного исследования

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в табл. 9.10.

Таблица 8.10. Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Фотобумага для принтера 170гр 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 $C_{\text{мат}} = 4960 * 1,05 = 5208$ руб.

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене покупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Пример см. в табл. 9.10

8.4.2. Основная заработная плата

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

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

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \text{МО}/21, \text{ где МО - месячный оклад.} \quad (8.8.)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 8.11.

Таблица 8.11. Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	30000	1428,57	26	1,3	48285,66
И	12000	571,42	63	1,3	46799,3
Итого:					95084,96

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили $C_{\text{осн}} = 95084,96$ руб.

8.4.3. Расчет затрат на социальные нужды

Затраты на страховые взносы, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 95084,96 * 0,3 = 28525,49$ руб.

8.4.4. Расчет амортизационных расходов

Используется формула:

$$C_{\text{ам}} = \frac{N_A * C_{\text{об}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{д}}}, \quad (9.9.)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{об}}$ – 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.;

$F_{\text{д}}$ – 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 C_{AM} . Для ПК (303 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) принимаем $F_D = 303 * 8 = 2424$ часа;

$t_{pф}$ – 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 персонального компьютера 40000 руб., $N_A = 0,4$, время использования 488 часа, тогда для него $C_{AM}(ПК) = (0,4*40000*462*1)/2424 = 3049,51$ руб.

8.4.5. 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.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1, \quad (9.10.)$$

Для нашего примера это:

$$C_{\text{проч.}} = (4960 + 95084,96 + 28525,49 + 3049,51) \cdot 0,1 = 13161 \text{ руб.}$$

8.4.6. Расчет общей себестоимости разработки

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

Таблица 9.12. Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	4960
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	95084,96
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	28525,49
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3049,51
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	13161
Итого:		147781,96

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 147781,96$ руб.

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность.

Показатели общественной эффективности учитывают социально экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

8.5.1. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) 56 вариантов исполнения научного исследования (табл. 9.13.). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (9.11.)$$

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

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^P = \sum_{i=1}^n a_i b_i^P, \quad (9.12.)$$

Где: I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i-го параметра;

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

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

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

Таблица 8.13. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект (ANSYS)	Аналог 1 (расчет по ABAQUS)	Аналог 2 (расчет по Solidworks)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,25	5	4	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	4
4. Энергосбережение	0,15	5	4	4
5. Надежность	0,2	4	4	3
6. Материалоемкость	0,1	4	4	4
ИТОГО	1	4,55	3,85	3,55

$$I_{mn} = 4 * 0,15 + 5 * 0,25 + 5 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,2 + 4 * 0,1 = 4,55$$

$$\text{Аналог 1} = 4 * 0,15 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,30 + 4 * 0,1 = 3,85$$

$$\text{Аналог 2} = 4 * 0,15 + 3 * 0,25 + 4 * 0,15 + 4 * 0,15 + 3 * 0,30 + 4 * 0,1 = 3,55$$

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

$$I_{финр}^P = \frac{I_m^P}{I_\phi^P}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}, \quad (8.13.)$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^P}{I_{финр}^a}, \quad (8.14.)$$

Где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^P$ - интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ - интегральный технико-экономический показатель аналога;

Таблица 8.14. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

№ п/п	Показатели	Аналог (ABAQUS)	Разработка (ANSYS)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.8	0.7
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.7	4.6
3	Интегральный показатель эффективности	4.625	6.57
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.42	

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

Список использованной литературы

1. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
2. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
3. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
4. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК), 4-е издание, 2008 г.
5. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.
6. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерством экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа . - <http://www.cfin.ru/>
