

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение работоспособности торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин

УДК **621.914.22**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Чэнь Юэчжоу		1.06.20

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Козлов Виктор Николаевич	к.т.н., доцент		1.06.20

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, доцент	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		30.05.20

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение контроля и диагностики, профессор	Сечин Александр Иванович	д.т.н., профессор		30.05.20

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Кобзева Н.А.	к.п.н.		25.05.20

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение, доцент ОМ ИШНПТ	Арляпов Алексей Юрьевич	к.т.н.,		

Томск – 2020 г

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ Арляпов А.Ю.
«___» _____ 2020

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Чэнь Юэчжоу

Тема работы:

Повышение работоспособности торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин
--

Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)	28.02.2020 №59-118/с
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2020
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Повышение надёжности работы режущего инструмента. Рассчитать напряжённо-деформированное состояние сменных многогранных пластин.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор и анализ научно-технической литературы по теме ВКР. Формулирование цели и задач исследования о влиянии геометрии СМП и режима резания на их напряжённо-деформированное состояние при резании стали. Исследование длины контакта стружки с передней поверхностью при переднем угле от -10 до +35° при обработке стали с толщиной среза от 0,05 до

	<p>0,368 мм.</p> <p>Проведение экспериментов по измерению технологических составляющих сил резания. Расчёт физических составляющих силы резания и определение распределения контактных напряжений на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности.</p> <p>Определение параметров эпюр контактных напряжений и влияние на них толщины среза и величины переднего угла.</p> <p>Исследование напряжённо-деформированного состояния СМП с помощью программы ANSYS при переднем угле от +7 до +35° при обработке стали с толщиной среза от 0,05 до 0,368 мм.</p>
Перечень графического материала	Слайды по литературному обзору, графики влияния толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, эпюры контактных напряжений на передней и задней поверхностях, влияние переднего угла и толщины среза на картины НДС режущих пластин.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т. Б.
Социальная ответственность	Сечин А. И.
Раздел ВКР на иностранном языке	Кобзева Н. А.

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

Calculation of the distribution of normal and shear contact stresses in cutting of steel

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Чэнь Юэчжоу		10.10.2018

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

Код	Результат обучения*
P1	Способность применять гуманитарные, естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения, проводить обучающие семинары, лабораторные или практические занятия со студентами
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для

	создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.
P8	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.

РЕФЕРАТ

выпускной квалификационной работы студента гр. 4АМ82 Чэнь Юэчжоу **Повышение работоспособности торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин**

Выпускная квалификационная работа выполнена на 146 страницах, содержит: 113 рисунков, 21 таблицы, 23 источников.

Ключевые слова: торцовая фреза, сменная многогранная пластина, обрабатываемость стали, контактные напряжения, износ режущего инструмента, прочность режущего инструмента, напряжённно-деформированное состояние режущего инструмента.

Объектом исследования является торцовые фрезы с механическим крепление режущих пластин.

Цель работы – подтверждение квалификации «магистр техники и технологии» по направлению 15.04.01 "Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении". В процессе исследования проводились обзор и анализ научно-технической литературы по теме магистерской работы, формулирование цели и задач исследования. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияние толщины среза и переднего угла на технологические и физические составляющие силы резания при использовании сменных многогранных пластин (СМП), которые будут использованы на торцовых фрезах. Рассмотрено влияние толщины среза и переднего угла на длину контакта стружки, параметры эпюр контактных напряжений на передней и задней поверхностях, картины НДС режущих пластин. Приведены экспериментальные данные по стойкости фрез, определены оптимальные режимы резания.

При проведении экспериментов использовался токарный станок 1К62, трехкомпонентный токарный динамометр Kistler, а также программа «ANSYS» для расчета НДС режущих пластин.

В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент.

Результаты работы позволят использовать рациональные геометрические параметры СМП и режимы резания при обработке резания стали для повышения работоспособности торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин.

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

Область применения: производство машиностроительной продукции.

Экономическая значимость работы достаточно высокая.

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

SUMMARY

final qualifying work of the student gr. 4AM82 Chen Yuezhou
Improving the performance of face mills with mechanical mounting of cutting plates

The Final Qualifying Work (Diploma Thesis) is executed on 146 pages of the explanatory note, contains: 113 figures, 21 tables, 23 sources.

Keywords: face mill, replaceable polyhedral plate, workability of steel, contact stresses, wear of the cutting tool, strength of the cutting tool, stress-strain state of the cutting tool.

The object of research is face mills with mechanical fastening of cutting plates.

The purpose of the work is to confirm the qualification "Master of engineering and technology" in the major 15.04.01 "Automation of technological processes and productions in mechanical engineering". During the research, the review and analysis of scientific and technical literature on the topic of master's work, the formulation of the goals and objectives of the research were carried out. The paper presents the results of an experimental study of the effect of the uncut thickness and the rake angle on the technological and physical components of the cutting force when using replaceable polyhedral plates (RPP), which will be used on face mills. The influence of the uncut thickness and the rake angle on the chip contact length, parameters of contact stress diagrams on the face and flank surfaces, and on epures of contact stresses is considered. Experimental data about cutting tool life of milling cutters are given, and optimal cutting modes are determined.

The experiments used a 1K62 lathe, a three-component Kistler turning dynamometer, and the "ANSYS" program for calculating the stress-deformed condition (SDC) of RPP.

The necessary economic parameters were determined, such as processing productivity, processing costs, and tool costs.

The results of this work will allow us to use rational geometric parameters of the RPP and cutting modes when processing steel cutting to improve the performance of face mills with mechanical mounting of cutting plates.

Degree of implementation: based on the results of the work protection at the state attestation Commission, it will be decided whether to recommend the development for implementation in production at MION LLC, Tomsk.

Field of application: manufacturing of engineering products.

The economic significance of the work is quite high.

In the future, it is planned to participate in the organization of production of precast cutters with cutting carbide plates.

Содержание

Введение	10
1.Цель и задачи исследования.....	11
2.Литературный обзор	12
2.1.Исследование конструкции и технические особенности концевых фрез	12
2.2.Исследование сил резания при фрезеровании	18
2.3.Метод разрезного резац.....	21
2.4. Метод лазерной интерферометрии	27
2.5.Поляризационно-оптический метод	29
2.6.Расчёт напряжений в режущем клине методом конечных элементов (МКЭ).....	30
2.7.Влияние вида внешнего нагружения на НДС режущего клина.....	32
2.8. Процесс образования стружки при обработке металлов.....	33
3.Методика выполнения исследования	40
3.1.Определение технологических составляющих сил резания.....	40
3.2. Расчёт физических составляющих силы резания по технологическим составляющим силы резания.....	42
4. Результаты экспериментов.....	51
4.1.Определение длины контакта стружки с передней поверхностью	51
4.2. Расчёт физических составляющих сил резания.....	53
4.3. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений.....	55
4.4.Определение параметров эпюр контактных напряжений.....	63

4.5 Расчёт физических составляющих силы резания, действующих на ограниченных участках контакта стружки	65
5. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS	70
6. Исследования НДС неизношенных СМП торцевых фрез.....	74
7. Исследования НДС СМП с фаской по задней поверхности.....	79
8. Исследования стойкости СМП.....	90
Раздел на иностранном языке.....	95
Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	106
Раздел «Социальная ответственность».....	125
Список литературы.....	144

Введение

В машиностроении большое внимание уделяется повышению работоспособности инструмента. Увеличение работоспособности инструмента можно обеспечить за счёт увеличения его стойкости, уменьшения вероятности поломки инструмента и уменьшения интенсивности выкрашивания его режущих кромок. Для уменьшения хрупкого разрушения сменных многогранных пластин (СМП) с механическим креплением, наиболее часто используемых в режущих инструментах, необходимо выполнить анализ их напряжённо-деформированного состояния (НДС), найти рациональную геометрию и конфигурацию СМП для производительной обработки.

В данной работе выполнены исследования распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях, что является неотъемлемой частью для нагружения модели СМП внешними нагрузками и последующего расчёта внутренних напряжений методом конечных элементов (МКЭ).

При увеличении подачи происходит увеличение контактных напряжений на передней поверхности. Знание наибольшего нормального и касательного контактных напряжений даст возможность оценки прочности инструментального материала для сопротивления этим нагрузкам. Другой проблемой является появление фаски износа на задней поверхности и, как следствие, увеличение на ней контактных напряжений. Именно увеличение нагрузки со стороны задней поверхности является в большинстве случаев причиной поломки режущих инструментов.

Несмотря на большое количество исследований в этой области, влияние геометрии режущего инструмента и, в частности, переднего угла на внутренние напряжения остаётся недостаточно изученным.

Построение математических моделей СМП для расчётов с помощью программного обеспечения ANSYS позволило в данной работе выполнить анализ влияния геометрии режущего инструмента и режима резания на НДС режущего клина и всего инструмента.

1. Цели и задачи исследования

Цель работы: Исследовать повышение надёжности работы сменных многогранных пластин (СМП), построить эпюры контактных напряжений при обработке стали и определить эмпирические формулы для расчёта длины контакта при разных передних углах и режимах резания, рассчитать НДС режущего инструмента и дать соответствующие рекомендации для изготовления СМП и их эксплуатации.

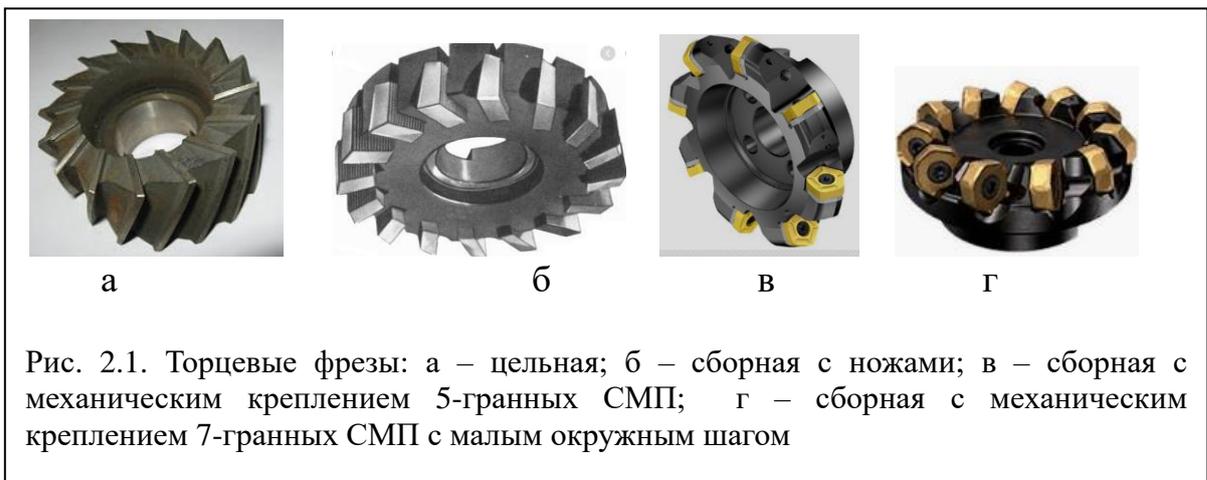
Задачи исследования:

1. Анализ литературы по исследованию режущего инструмента на прочность и стойкость.
2. Измерить составляющие силы резания и длину контакта стружки с передней поверхностью.
3. Определить эмпирические формулы для расчёта длины контакта стружки с передней поверхностью при разных передних углах и режимах резания.
4. Построить эпюры контактных напряжений при обработке стали 40Х.
5. Определение эмпирических формул для расчёта параметров эпюр контактных напряжений.
6. Исследовать напряженно-деформированное состояние режущих (НДС) пластин при резании стали методом конечных элементов (МКЭ).
7. Определить влияние толщины среза a и передних углов на внутренние напряжения СМП.
8. Определить влияние износостойких покрытий на стойкость и надёжность работы торцовых фрез с СМП.
9. Дать практические рекомендации по использованию результатов исследований, выполненных в ВКР.

2. Литературный обзор

2.1. Исследование конструкции и технические особенности концевых и торцевых фрез

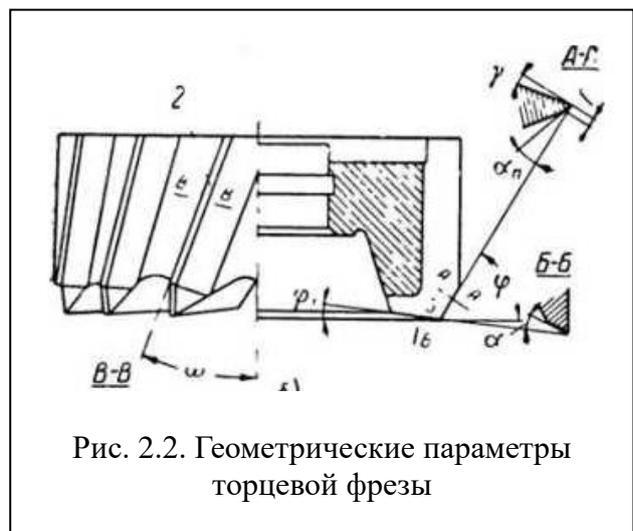
Фрезы торцевые, или торцевые, (рис. 2.1) применяются для обработки широких плоских поверхностей, но иногда и ступенчатых [1- 7].



Каждый отдельный зуб этого инструмента является стандартным резцом, причем его режущие кромки размещены на торцевой поверхности. Ось торцевой и концевой фрез располагается перпендикулярно по отношению к обрабатываемой плоскости. Основную работу выполняют боковые рабочие кромки фрезы, которые находятся на наружной поверхности, и поэтому являются главными режущими кромками.

Вспомогательные режущие кромки обращены к обработанной поверхности и для предотвращения большой осевой силы и нагрева зубьев из-за трения используется

положительный вспомогательный угол φ_1 около 10° (рис. 2.2). Главный угол в



плане φ (рис. 2.2) влияет на прочность и стойкость зуба, требуемой мощности при фрезеровании и выбирается в зависимости от типа фрезы в пределах от 30 до 90°.

При вращении фрезы ее зубья взаимодействуют с обрабатываемой деталью по очереди. Благодаря этому заготовка обрабатывается максимально эффективно и равномерно.

Торцовые фрезы по ГОСТ 26595–85 изготавливаются трех типов:

- инструмент, фиксируемый на оправках – Тип А и Тип В;
- инструмент, фиксируемый на шпинделе – Тип С.

Торцевой инструмент со сменными пластинами по ГОСТ маркируется следующим образом – от 2214–0351 до 2214–0532. Диаметр инструмента варьируется в пределах 30–500 мм. Форма пластин может быть круглой, пяти-, четырех- и трехгранной. Производители без предзаказа выпускают праворежущий инструмент. Если клиенту требуются леворежущие фрезы со сменными пластинами (рис. 2.4 б), он должен заранее согласовать свой заказ с предприятием.

Фрезы также подразделяются:

- на цельные, изготавливаемые обычно из быстрорежущей стали (чаще всего это Р6М5) (рис. 2.1 а), но концевые фрезы до 16 мм могут быть выполнены из твёрдого сплава;
- на сборные с ножами из быстрорежущей стали или оснащённые напайными твёрдосплавными пластинами (рис. 2.1 б);
- на сборные с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП) (рис. 2.1 в, г).

В настоящее время даже небольшие фрезы используются с механическим креплением СМП в связи с возможностью использования СМП из твёрдосплавных материалов с износостойким покрытием и уменьшением затрат, вызванных простоем оборудования при переточке фрез

из быстрорежущих материалов или ножей с напайными твёрдосплавными пластинами.

Обычно диаметр фрезы $d_{\text{фр}} (D) = (1,25-1,5) \times B$, где B – ширина обрабатываемой заготовки. При увеличении диаметра фрезы увеличивается её стоимость, даже при использовании СМП с механическим креплением. При этом увеличивается требуемая мощность станка. Потому фрезы диаметром более 200 мм используются редко, в основном в массовом и крупносерийном производстве на мощных вертикально-фрезерных станках.

Если ширина фрезерования больше диаметра фрезы, то рекомендуется фрезеровать поверхность в два и более проходов шириной из расчёта $B_{\text{фр}} = 3/4 \cdot D$. Главный угол в плане ϕ обычной торцевой фрезы может быть 45° (при использовании квадратных СМП), 60° (при использовании пятигранных СМП), 72° (при использовании шестигранных СМП) и 90° (при использовании квадратных и прямоугольных СМП) (рис. 2.4 а). Последний вариант используется для совмещения обработки поверхности и уступа, перпендикулярно расположенного к обрабатываемой плоскости и довольно часто применяется при небольшом диаметре фрезы (до 35 мм). В этом случае такая фреза может работать как концевая (рис. 2.3 в) при высоте уступа до 4 мм.



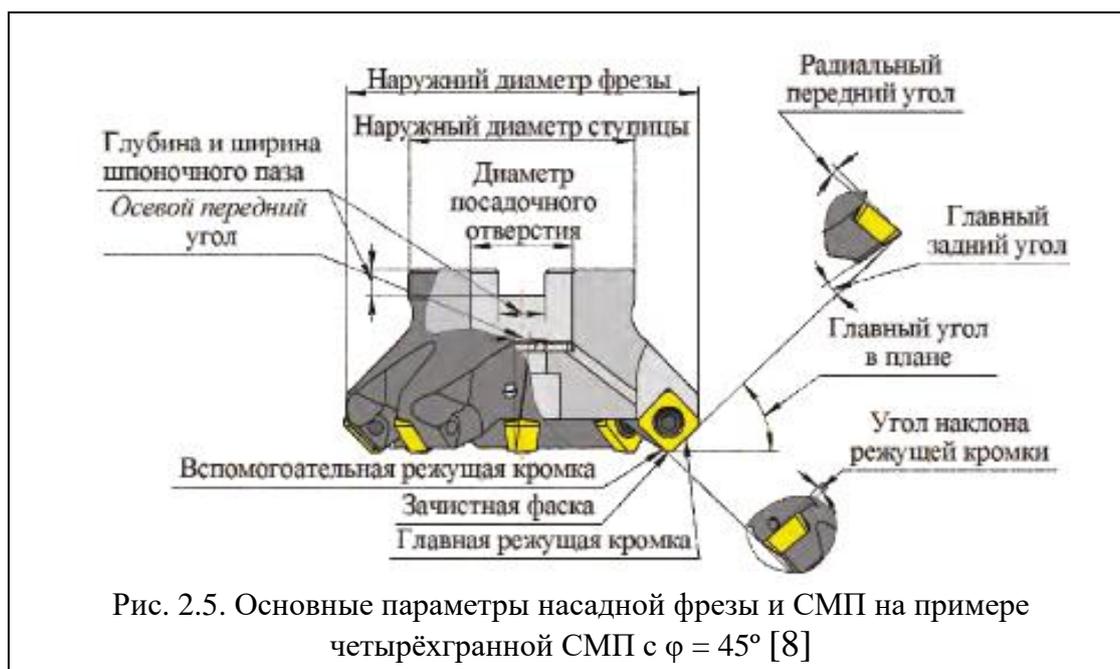
Рис. 2.3. Фрезы. а – торцевая насадная фреза с главным углом в плане $\phi = 45^\circ$, б – торцевая насадная фреза с $\phi = 10^\circ$ для плунжерования; в – концевая фреза, $\phi = 90^\circ$.



Табл. 2.1. Пример информации об основных размерах торцевой насадной фрезы (рис. 2.4 а).

Обозначение	Диаметр фрезы D, мм	Диаметр посадки по d, мм	Высота фрезы H, мм	Высота посадки L, мм	Ширина пластины a_p , мм	Кол-во зубьев Z, мм	Пластина
FRAS-100N3 2-R8ZP15	100	32	50	25	11	8	ZPHT 1506.R

Для уменьшения шероховатости обработанной поверхности часто используются СМП с зачистными фасками (рис. 2.5), на которых вспомогательный угол в плане равен нулю [2, 3, 8]. Такая геометрия позволяет увеличить подачу на зуб s_z (мм/зуб) без увеличения шероховатости.



При проведении экспериментов по измерению сил резания и стойкости

для сокращения расходов на приобретение заготовок могут быть использованы концевые фрезы (рис. 2.3 и 2.6) с такими же СМП, что используются для торцевых фрез. Т.к. диаметр концевой фрезы существенно меньше, чем у обычной торцевой фрезы, то можно использовать заготовку небольшой ширины – от 20 до 40 мм. Попытка применить торцевую фрезу диаметром 80 и более миллиметров приведёт к ударам зубьев при врезании и большой неравномерности фрезерования из-за большого окружного шага зубьев.

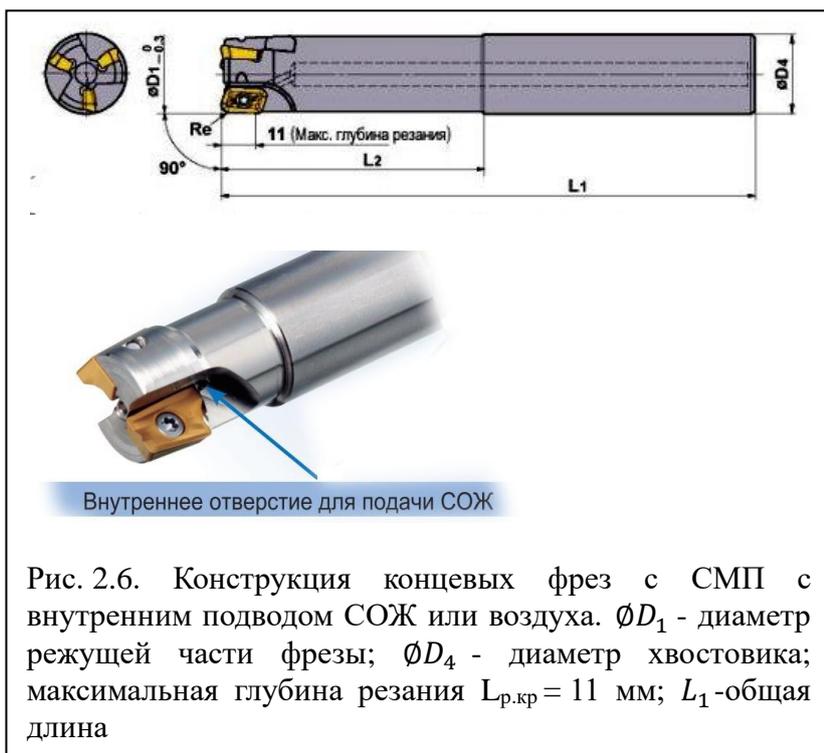


Рис. 2.6. Конструкция концевых фрез с СМП с внутренним подводом СОЖ или воздуха. ϕD_1 - диаметр режущей части фрезы; ϕD_4 - диаметр хвостовика; максимальная глубина резания $L_{p,кр} = 11$ мм; L_1 -общая длина

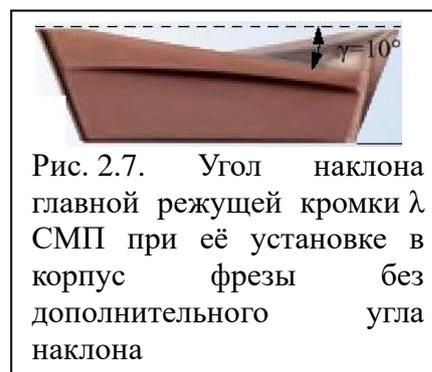


Рис. 2.7. Угол наклона главной режущей кромки λ СМП при её установке в корпус фрезы без дополнительного угла наклона

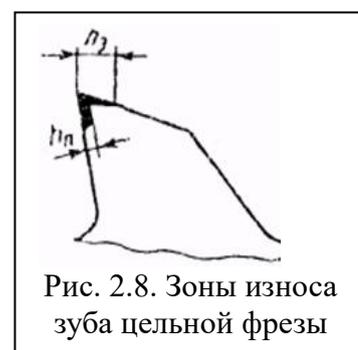


Рис. 2.8. Зоны износа зуба цельной фрезы

Во время резания зуб фрезы изнашивается по задней поверхности с образованием фаски на задней поверхности длиной h_3 и по передней поверхности с образованием уступа глубиной h_n (рис. 2.8). Износ по задней поверхности приводит к существенному увеличению сил со стороны задней поверхности, особенно радиальной составляющей P_y , что является причиной поломки зуба. При износе СМП, имеющих угол $\phi < 90^\circ$ дополнительно возникает осевая составляющая P_x , поэтому часто оперируют понятием составляющей P_{xy} .

Обычные СМП подходят для концевых и торцевых фрез для обработки

металлов с твёрдостью менее 40 единиц HRC, имеет хорошую прочность на изгиб и износостойкость.

Применение высокоточных пластин с большим передним углом (рис. 2.9) позволяет уменьшить силу резания. Такие пластины имеют следующие конструктивные особенности и достоинства:

1. Режущие кромки сложной формы снижают силу резания, что увеличивает прочность кромки. Прочность определяется коэффициентом запаса прочности, который равен отношению наибольших напряжений в режущем клине инструмента к величине предела прочности инструментального материала.



Рис. 2.9. СМП с большим передним углом для обработки лёгких сплавов

2. Высокое качество обработанной поверхности обеспечивается благодаря высокой точности режущей кромки

3. СМП обеспечивает плавное резание даже при обработке глубоких пазов благодаря небольшому углу наклона главной режущей кромки λ ;

4. СМП может использоваться на станках с низкой жесткостью

При использовании торцевой фрезы малого диаметра ($D < 30$ мм) и небольшой ширине заготовки или фрезерования ($B_{фр} < 20$ мм) процесс резания равнозначен фрезерованию

концевой фрезой, поэтому при обработке заготовки малой ширины b ($b < 20$ мм) вместо торцевой фрезы

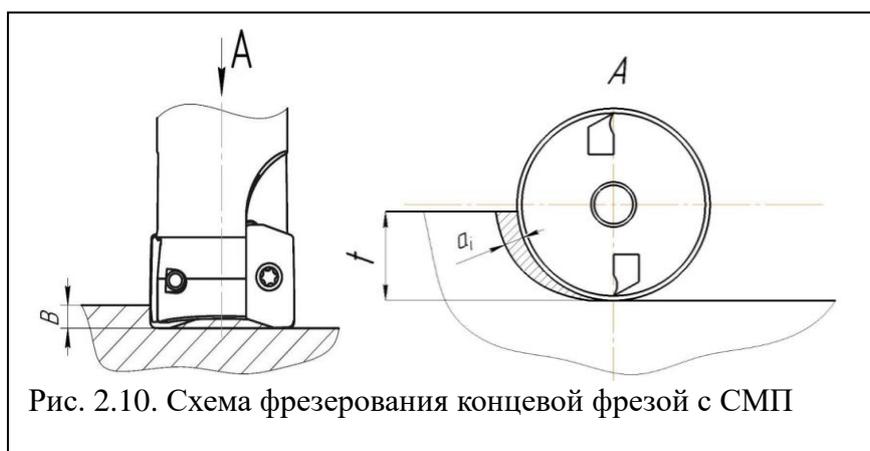


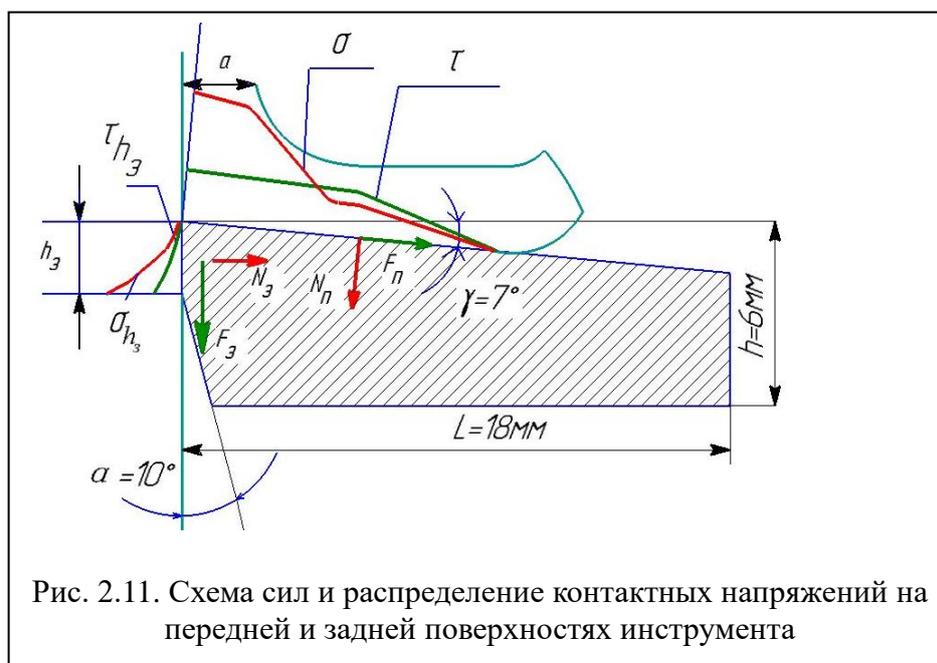
Рис. 2.10. Схема фрезерования концевой фрезой с СМП

лучше использовать концевую фрезу диаметром до 32 мм.

2.2. Исследование сил резания при фрезеровании

Для расчёта режущего клина СМП на прочность необходимо знать распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях. При резании неизношенным инструментом силы на задней поверхности пренебрежимо малы, поэтому можно учитывать только на передней поверхности. При износе на задней поверхности появляется фаска и силы на ней существенно возрастают, поэтому требуется знать распределение контактных напряжений на этой фаске [2, 3, 4, 5]. Обычно задний угол α_h на этой фасе износа равен нулю [2, 4, 5].

На рис. 2.11 показана схема сил, возникающих на передней поверхности и на фаске задней поверхности режущего клина инструмента длиной h_3 . Толщина СМП показана равной 6 мм, а длина в главной секущей плоскости – 18 мм. На передней поверхности действуют нормальная сила N_n и касательная F_n , а взаимодействие фаски износа с поверхностью резания заготовки вызывает появление сил N_3 и F_3 .

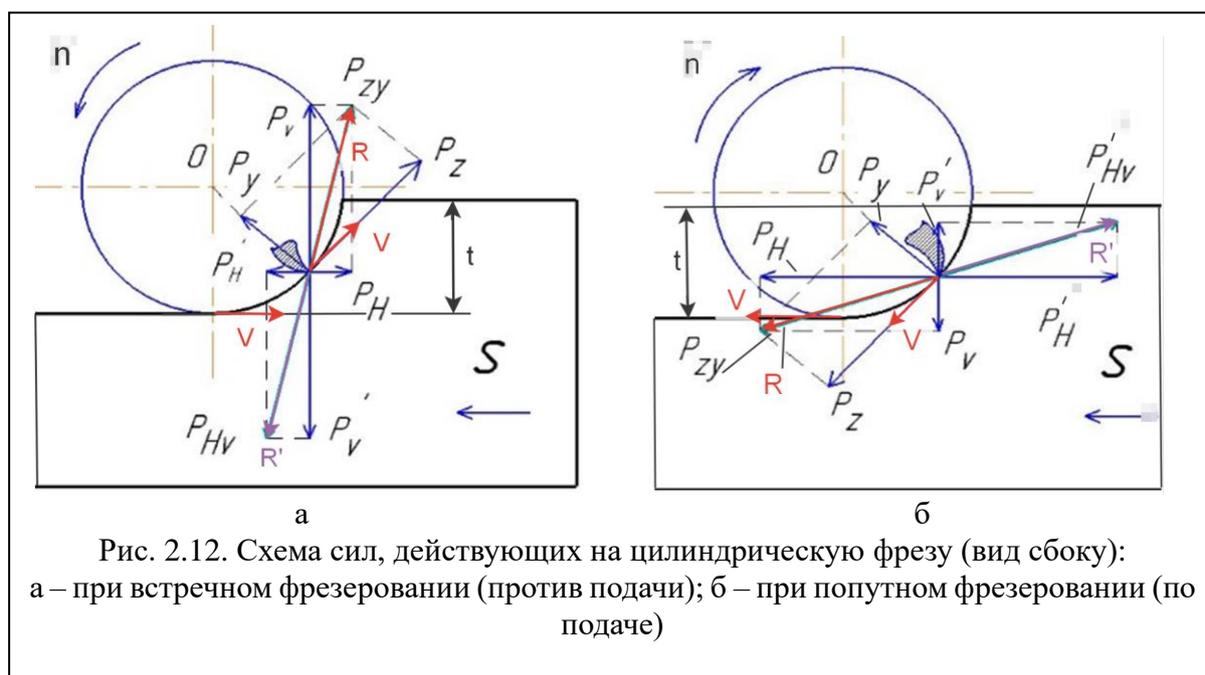


По мере износа инструмента величина этих сил изменяется. Так, например, рост h_3 вызывает значительный рост нормальной силы N_3 на

задней поверхности, но в меньшей степени увеличение силы трения F_3 [9].

Однако измерение каждой из перечисленных сил связано с большими трудностями даже при токарной обработке. Зато доступны для измерения составляющие силы резания R , разложенной по координатным осям OZ , OX и OY . Эти технологические составляющие P_z , P_x и P_y силы резания также будут изменяться в связи с износом инструмента, поскольку сила резания является суммой всех сил, действующих на рабочих поверхностях инструмента.

При фрезеровании измерение технологических составляющих силы резания является очень сложной задачей. Это связано с поворотом зуба фрезы или СМП относительно оси вращения фрезы и изменением не только величины этих сил из-за изменения толщины срезаемого слоя a_i (рис. 2.10), но и изменения направления их действия (рис. 2.12). Равнодействующая R будет изменяться по величине и изменять направление своего действия.



На рис. 2.12 показан более простой случай фрезерования цилиндрической **прямозубой** фрезой, у которой осевая составляющая P_x приблизительно равна нулю. Сила P_{zy} может быть разложена на окружную

силу P_z (тангенциальная сила) и радиальную силу P_y . Эту же равнодействующую R можно разложить на горизонтальную составляющую P_H и вертикальную P_v . В зависимости от способа фрезерования (против подачи или по подаче) направление сил резания и их реакций будет меняться. При этом различают силы, действующие **на зуб фрезы** (P'_H, P'_v) и **на заготовку** от зуба фрезы (P_H, P_v).

На рис. 2.12 а показано, что при **встречном** фрезеровании частота вращения фрезы n (об/мм), скорости резания V (м/мин) и минутная подача S (мм/мин) направлены навстречу друг другу, сила от зуба фрезы на заготовку P_v направлена вверх, а сила P_H (сила подачи) направлена против подачи S .

При **попутном** фрезеровании (рис. 2.12 б) направления скорости резания V и S совпадают, направления действия сил P_v и P_H на **заготовку** меняются на противоположные.

Например, при фрезеровании против подачи (при **встречном** фрезеровании) (рис. 2.12 а) сила P_v стремится поднять заготовку (вырвать заготовку из зажимного устройства), в то время как при **попутном** фрезеровании (по подаче) (рис. 2.12 б) эта же сила направлена вертикально вниз и будет прижимать заготовку к столу, что создает более благоприятные условия и лучшее качество обработки.

При попутном фрезеровании (рис. 2.12 б) силы P_v и P_z от зуба фрезы прижимает заготовку к столу станка, а при встречном фрезеровании силы P_v и P_z стремятся поднять заготовку.

Тангенциальную силу P_z при **фрезеровании** можно рассчитать по эмпирической формуле [10]:

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

где C_p – постоянная (коэффициент), зависящая от материала заготовки и инструмента; C_p принимают равным 101 для твердых сплавов и 68,2 – для

быстрорежущей стали;

t – глубина резания, мм (рис. 2.12);

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

B – ширина фрезерования, мм (рис. 2.10). На рис. 2.12 не показана, т.к. измеряется вдоль оси фрезы;

D – диаметр фрезы, мм;

n – число оборотов шпинделя, об/мин;

K_{M_p} – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

a – толщина среза, мм. При фрезеровании

$$S = s_z \cdot z \cdot n_{\text{фрез}}, \text{ (мм/мин)}$$

$$a_i = a_{\text{max}} = s_z \cdot \sin\varphi \text{ (мм)}$$

где a_i – толщина среза (мм), изменяющаяся при повороте зуба фрезы (см. рис. 2.1.8); ψ – угол поворота фрезы.

2.3. Метод разрезного резца

Для расчёта на прочность режущих инструментов необходимо знать распределение контактных нагрузок на передней и задней поверхностях инструмента. Для их исследования может быть использован **метод разрезного резца**. Разрезной резец состоит из двух пластин (рис. 2.13 и 2.14). Пластины крепятся к упругим элементам динамометра [9].



Рис. 2.13. Пластина А разрезного резца

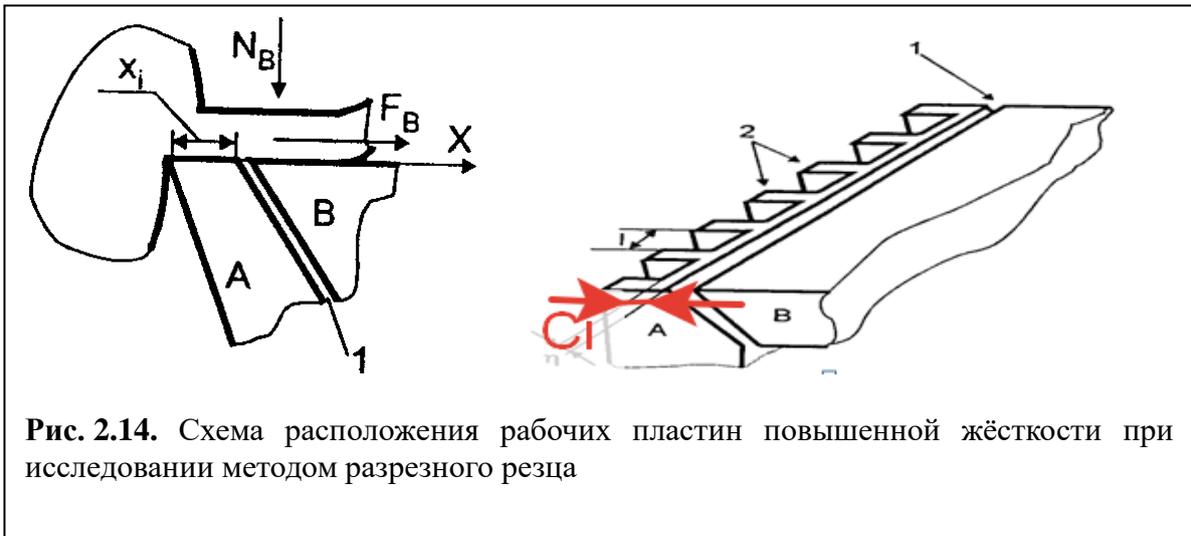


Рис. 2.14. Схема расположения рабочих пластин повышенной жёсткости при исследовании методом разрезного реза

По результатам измерения нормальной N_B и касательной F_B сил резания на каждой из секций разрезного реза можно рассчитать нормальную σ_N и касательную τ_F контактные напряжения (нагрузки) по формулам :

1. Нормальное контактное напряжение σ (МПа):

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

2. Касательное контактное напряжение τ (МПа):

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

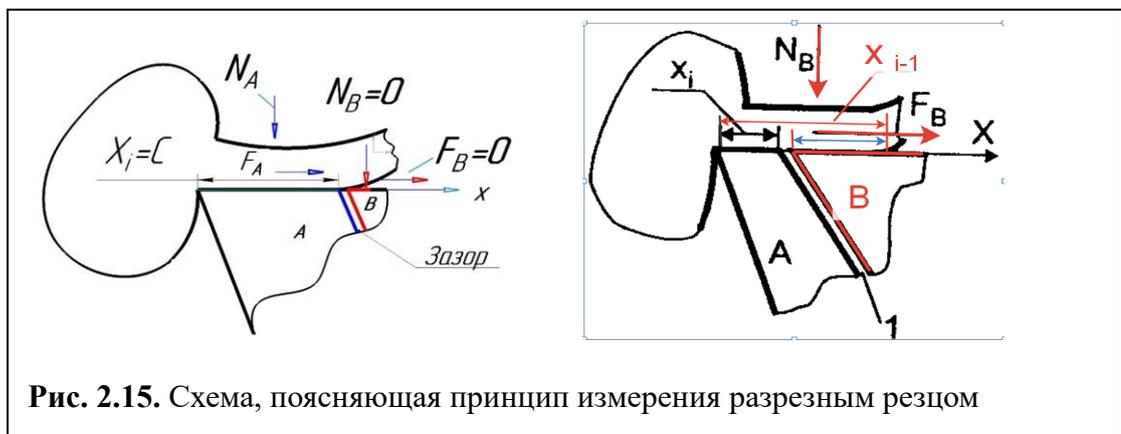


Рис. 2.15. Схема, поясняющая принцип измерения разрезным резцом

Пластины изготовлены так, что первоначально зазор проходит в месте,

где расстояние от режущей кромки $x_{i-1} = c$ [мм], где c - длина контакта стружки с передней поверхностью.

В этом случае на пластине **В** нет контакта со стружкой, поэтому силы $N_{B\ i-1}$ и $F_{B\ i-1}$ равны нулю. При этом положении разрезного резца относительно диска из обрабатываемого материала на нижний пояс упругих измерительных элементов действуют технологические составляющие P_z и P_y силы резания (рис. 2.16). В процессе всей серии измерений (при одной и той же подаче и ширины диска, величине переднего угла γ) эти силы должны быть одни и те же, что свидетельствует о неизменности процессов в зоне стружкообразования и на поверхностях инструмента. Если хотя бы одна из этих сил изменится, придётся опыт выполнять повторно.

Периодическое перемещение резца относительно диска параллельно его оси вращения приводит к изменению расстояния зазора между пластинами **А** и **В** относительно режущей кромки, а значит будет происходить

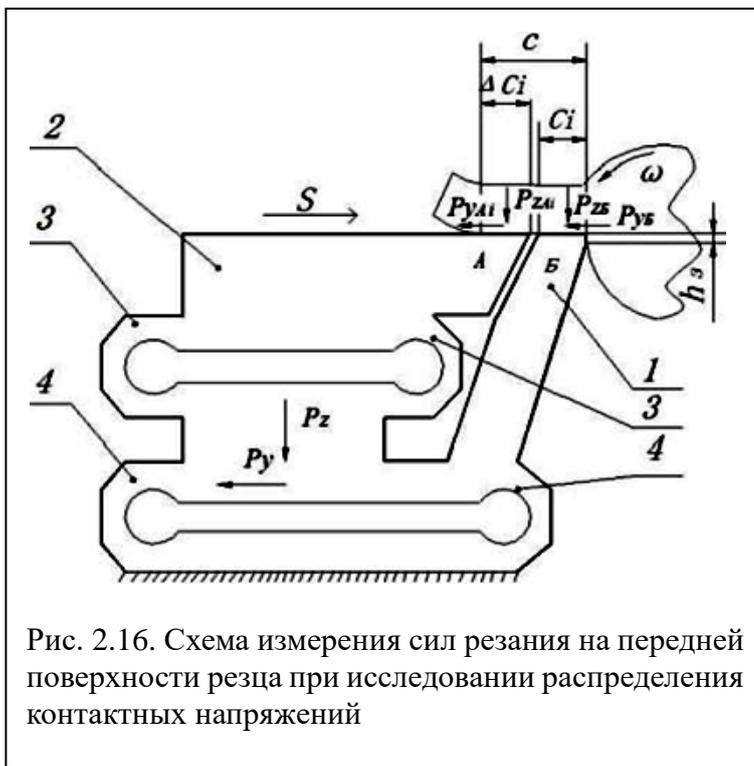


Рис. 2.16. Схема измерения сил резания на передней поверхности резца при исследовании распределения контактных напряжений

изменение длины контакта стружки с этими пластинами.

1) Изменение длины контакта стружки с пластиной **В**: $\Delta x_i = x_{i-1} - x_i$;

2) Изменение нормальной силы N на пластине **В**: $\Delta N_{Bi} = N_{Bi} - N_{Bi-1}$;

3) Удельная нормальная нагрузка на пластине **В** в точке i на расстоянии от режущей кромки $x_{i\ ср}$

$$q_{NBi} = \Delta N_{Bi} / (b \times \Delta x_i) \text{ [Н/мм}^2\text{]},$$

где $x_{i\ ср} = (x_i + x_{i-1}) / 2$;

b – ширина контакта стружки с передней поверхностью на пластине **A** (на пластине **B** будет такая же ширина b).

$$\Delta x_i = x_{i-1} - x_i; \Delta N_{Bi} = N_{Bi} - N_{Bi-1}$$

$$q_{NBi} = \Delta N_{Bi} / (b \times \Delta x_i) \text{ [Н/мм}^2\text{]}$$

$$q_{NBi} \rightarrow \sigma_{Ni} \rightarrow \sigma_i \text{ при } \Delta x_i \rightarrow 0 \text{ мм}$$

$$q_{FBi} = \Delta F_{Bi} / (b \times \Delta x_i) \text{ [Н/мм}^2\text{]}$$

$$q_{FBi} \rightarrow \tau_{Ni} \rightarrow \tau_i \text{ при } \Delta x_i \rightarrow 0 \text{ мм.}$$

На рис. 2.16 показана схема измерения составляющих силы резания, действующих на пластину **A** и на пластину **B** разрезного резца при исследовании распределения контактных нагрузок (напряжений) на передней поверхности резца при прямоугольном свободном резании диска из обрабатываемого материала.

Уменьшая последовательно длину участка c_i пластины **B** и, тем самым, увеличивая длину контакта стружки с пластиной **A**, при неизменной длине контакта стружки с передней поверхностью c , рассчитываем контактные нагрузки как отношение приращения силы на пластине **A** к приращению площади контакта на её поверхности.

При главном переднем угле $\gamma = 0^\circ$ удельная нормальная q_N и касательная q_F силы на передней поверхности рассчитываются по формулам:

$$q_{P_z} = q_N = \frac{P_{zAi} - P_{zA(i-1)}}{(x_{i-1} - x_i) B_i} \quad (1)$$

$$q_{P_y} = q_F = \frac{P_{yAi} - P_{yA(i-1)}}{(x_{i-1} - x_i) B_i} \quad (2)$$

При главном переднем угле $\gamma \neq 0^\circ$ удельные нормальные q_N и касательные q_F нагрузки необходимо рассчитывать исходя из измеряемых технологических составляющих P_z и P_y силы резания с учётом величины угла γ по известным формулам.

На рис. 2.17 показана традиционная схема измерения контактных нагрузок на фаске задней поверхности резца при прямоугольном свободном резании диска из обрабатываемого материала. При этом измеряются силы, действующие на пластину А и на пластину Б.

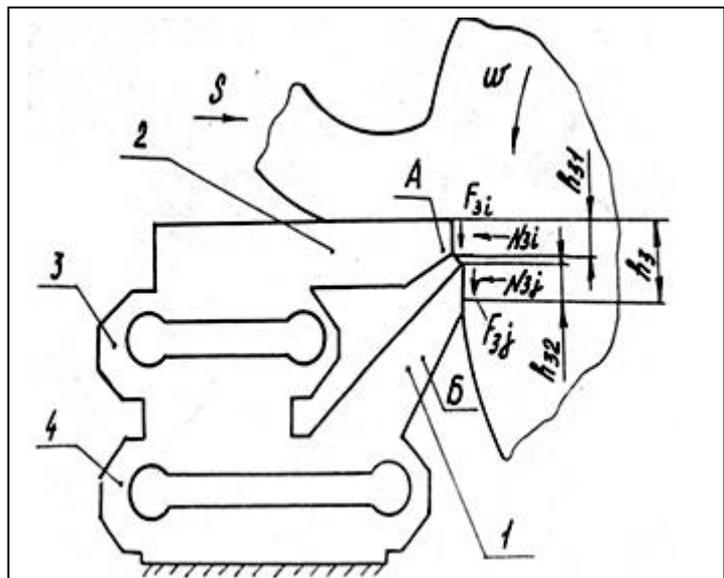


Рис. 2.17. Схема измерения сил резания на фаске задней поверхности резца на токарном станке по традиционной схеме

Однако упругая деформация элементов 3 приводит к отжиму в радиальном направлении пластины А и появлению уступа, который начинает срезать дополнительную стружку с поверхности резания. Зазор забивается, что приводит к поломке пластин.

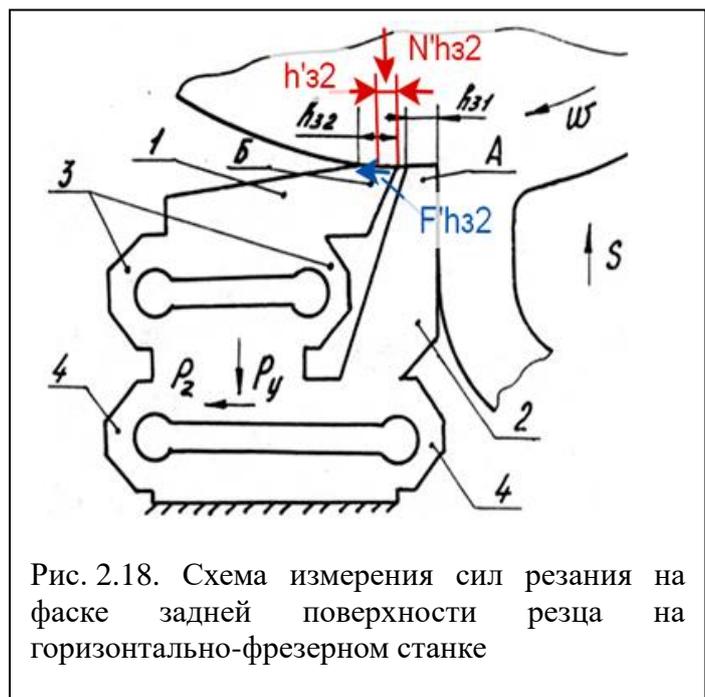


Рис. 2.18. Схема измерения сил резания на фаске задней поверхности резца на горизонтально-фрезерном станке

Требуется **изменить схему** проведения измерений. Для этого динамометр устанавливается на горизонтально-фрезерный станок.

Увеличивая последовательно длину участка h_{32} при неизменной длине фаски h_3 , рассчитываем контактные нагрузки как отношение приращения силы к приращению площади контакта на пластине Б.

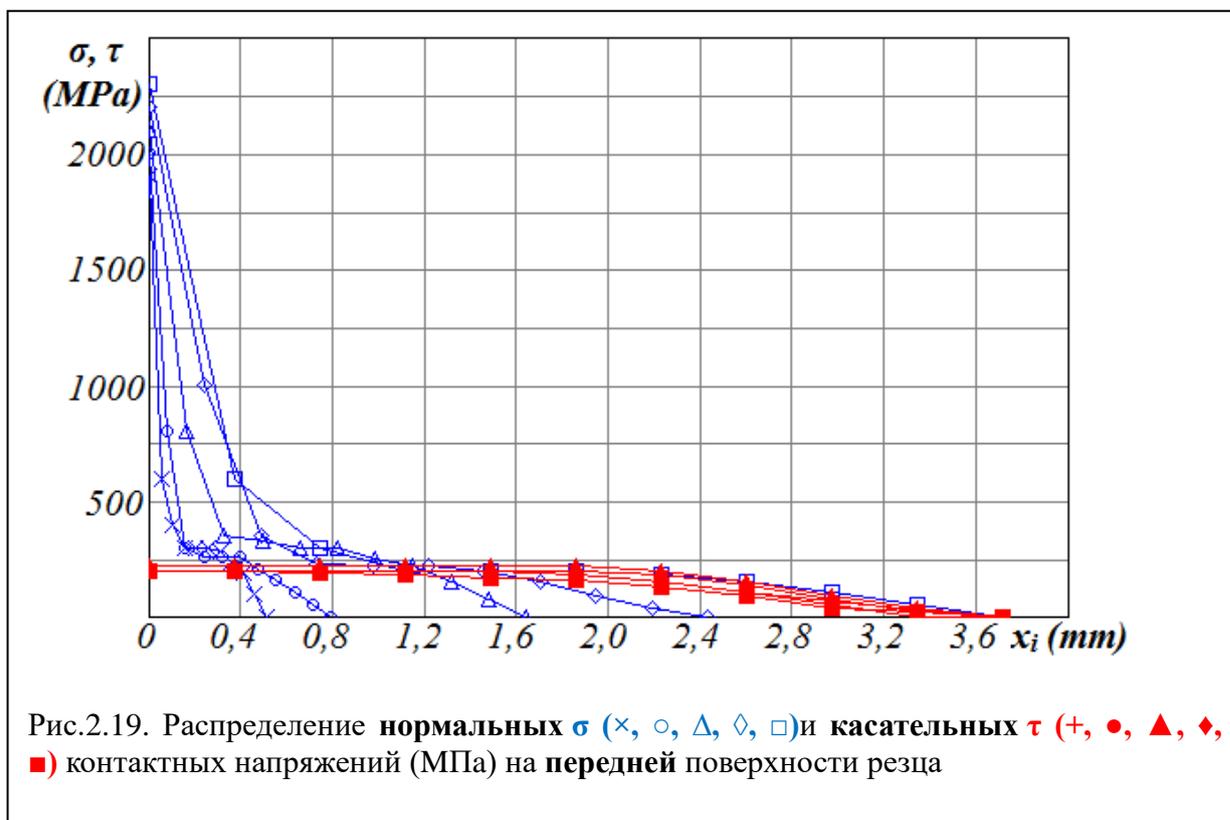
Отношение приращения нормальной силы (N'_{h32}) на фаске к приращению площади контакта на пластине Б (из-за увеличения контакта на

длину h'_{z2}) есть удельная нормальная сила резания (удельная сила давления) на этом участке h'_{z2} фаски задней поверхности:

$$q_{N h'_{z2} i} = N'_{h'_{z2}} / (h'_{z2} \times b_{\text{диска}}) = P'_{yB2} / (h'_{z2} \times b_{\text{диска}}) = (P_{yB i} - P_{yB i-1}) / [(h_{z2 i} - h_{z2 i-1}) \times b_{\text{диска}}].$$

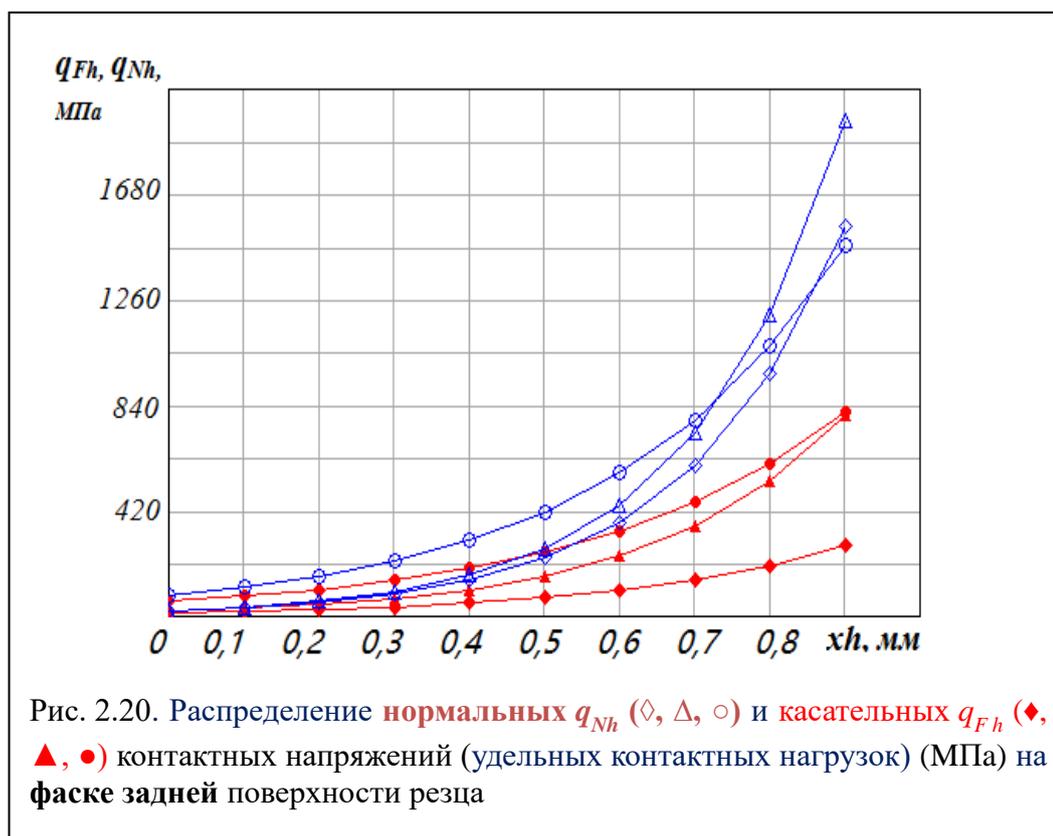
Отношение приращения касательной силы ($F'_{h'_{z2}}$) на фаске к приращению площади контакта на пластине Б есть удельная касательная сила резания (удельная сила трения) на участке h'_{z2} фаски задней поверхности: $q_{F'_{h'_{z2} i}} = F'_{h'_{z2} i} / (h'_{z2} \times b_{\text{диска}}) = (P_{zB i} - P_{zB i-1}) / [(h_{z2 i} - h_{z2 i-1}) \times b_{\text{диска}}].$

После выполнения необходимых расчётов были получены эпюры (Рис.2.19 и Рис.2.20) при обработке стали 40Х [11]. Нормальная σ и касательная τ контактные нагрузки на передней поверхности при удалении от режущей кромки уменьшаются при обработке стали 40Х.



На фаске задней поверхности резца удельные контактные напряжения при удалении от режущей кромки наоборот увеличиваются [11], что

противоречит ранее общепринятым положениям. Ранее исследования, проведённые другими учёными, показывали это явление, но не были объяснены и были отнесены к неточности проведения экспериментов. Более того, все предыдущие эксперименты проводились на микроскоростях (до 1 м/мин), и с небольшими подачами.

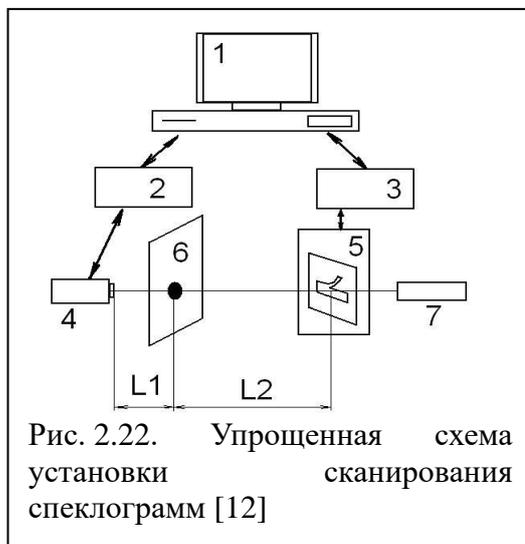
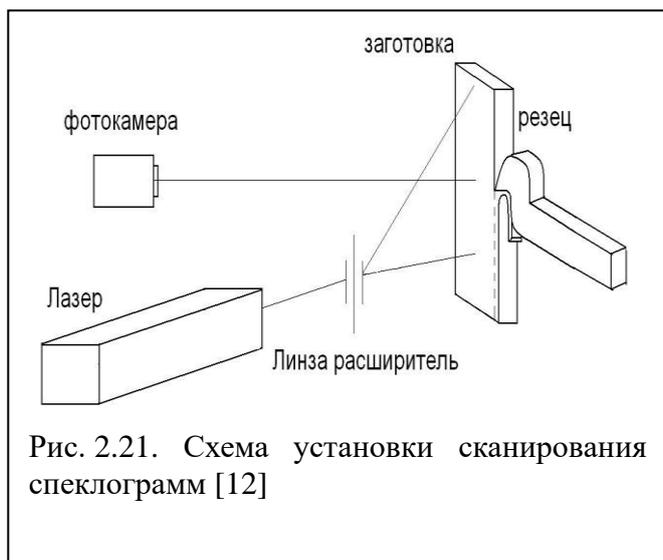


Наши эксперименты проводились на высоких скоростях (120 м/мин) и в большом диапазоне подач, что позволило более очевидно выявить этот парадоксальный эффект. Этот, с виду, парадоксальный эффект объясняется прогибом поверхности среза под действием радиальной составляющей силы резания в области стружкообразования.

2.4 Метод лазерной интерферометрии

Метод лазерной интерферометрии заключается в том, что на боковую поверхность заготовки и инструмента направляется поляризованный монохроматический луч лазера [12]. 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 (рис. 2.21). 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 и фиксируется фотокамерой. Чем больше деформация объекта исследования, тем больше количество полос будет наблюдаться на экране.



Спеклограмма устанавливается на микроподвижный стол 5 с дистанционным управлением (рис. 2.22). Перемещения осуществляются двумя миниатюрными шаговыми двигателями, которые управляются персональным компьютером 1 с помощью встроенного интерфейса 3. Спеклограмма просвечивается лазером 7 с диаметром пучка 0,8 мм и мощностью 25 мВт. Картина волн пластической деформации за счет дифракции на спеклограмме формируется на полупрозрачном экране 6 с зачерненным, для уменьшения интенсивности центрального пятна гало, центром. Позади экрана на фиксированном расстоянии L_2 расположена видеокамера 4. Сигнал с видеокамеры поступает на встроенный в компьютер интерфейс 2, который производит оцифровку TV сигнала и

осуществляет программно-управляемый ввод данных в оперативную память компьютера [12].

2.5 Поляризационно-оптический метод

Для расчёта на прочность режущих инструментов необходимо знать распределение контактных напряжений на поверхностях режущего клина. Экспериментальное изучение распределения очень трудоёмко и требует специальных дорогостоящих приборов.

Поляризационно-оптический метод позволяет определить характер распределения напряжений, изменение коэффициента трения вдоль передней поверхности резца, но возможна обработка только мягких материалов (например, свинца, кадмия и т.п.) при небольших скоростях резания. При этом методе резец изготавливается из оптически активного материала, например, оргстекла, материал которого изменяет свои оптические свойства при изменении внутреннего напряжения.

При прохождении через прозрачный плоский резец поляризованный монохроматический свет образует на экране чередующиеся полосы вследствие интерференции света. Чем ближе полосы

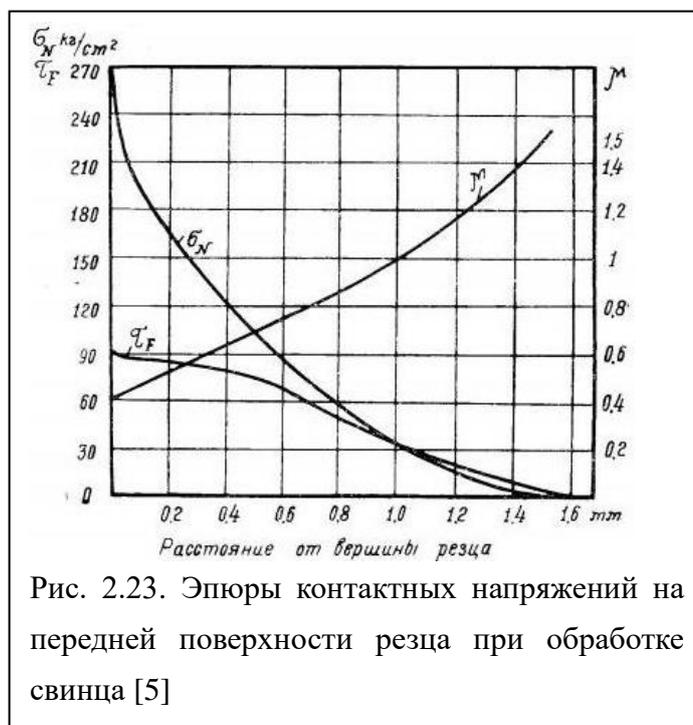


Рис. 2.23. Эпюры контактных напряжений на передней поверхности резца при обработке свинца [5]

друг к другу, тем больше главные напряжения в просвечиваемой области.

Обычно поляризационно-оптический метод используется для получения картины распределения напряжений в режущем клине, а уже по их величине на границе резца судят о величине контактных напряжениях на передней и задней поверхностях инструмента (рис. 2.23).

Важным достоинством этого метода является то, что характер распределения напряжений остаётся справедливыми для любых непрозрачных однородных материалов [4, 5, 7]. Но величину внутренних напряжений при обработке сталей и других труднообрабатываемых материалов определить этим методом невозможно.

Поляризационно-оптический метод лишь моделирует процесс резания и не позволяет измерять контактные нагрузки при применении реальных инструментальных и обрабатываемых материалов.

2.6. Расчёт напряжений в режущем клине методом конечных элементов (МКЭ)

Анализ методом конечных элементов (FEA, Finite Element Analysis) использует математическое приближение для моделирования реальных физических систем (геометрия и условия нагрузки). Используя простые взаимодействующие элементы, можно использовать конечное число неизвестных для аппроксимации бесконечной неизвестной реальной системы. Анализ методом конечных элементов заключается в замене простых задач более простыми, а затем их решением. Он рассматривает область решения как составленную из множества небольших взаимосвязанных субдоменов, называемых конечными элементами, предполагая подходящее (более простое) приближенное решение для каждой единицы, а затем выводит решение условий полного удовлетворения (таких как структура) при условии баланса, чтобы получить решение проблемы.

Поскольку реальная проблема заменяется более простой проблемой, это решение не является точным, а приближенным решением. Поскольку для большинства практических задач трудно получить точные решения, и конечный элемент не только имеет высокую точность расчета, но также может адаптироваться к различным сложным формам, поэтому он стал эффективным методом инженерного анализа.



Рис. 2.24. Исходная модель инструмента для расчёта напряжённо-деформированного состояния режущего клина [13]

Величина контактных нагрузок на рабочих поверхностях резца может быть определена методом разрезного резца, а также расчётами с учетом характера распределения контактных нагрузок и экспериментально найденных сил на передней поверхности. Определение

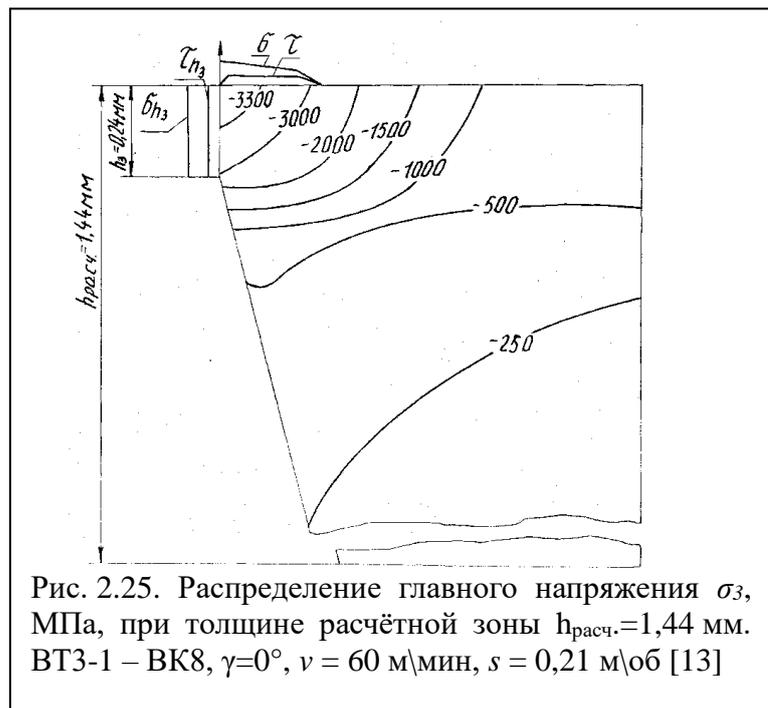


Рис. 2.25. Распределение главного напряжения σ_3 , МПа, при толщине расчётной зоны $h_{расч.}=1,44$ мм. ВТЗ-1 – ВК8, $\gamma=0^\circ$, $v = 60$ м\мин, $s = 0,21$ м\об [13]

длины контакта на передней поверхности инструмента производится обычно на инструментальном микроскопе по следу контакта.

2.7. Влияние вида внешнего нагружения на НДС режущего клина

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

- приложение сосредоточенных составляющих силы резания (рис. 2.26. а);
- приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок (рис. 2.26. б);
- приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение (рис. 2.27.).

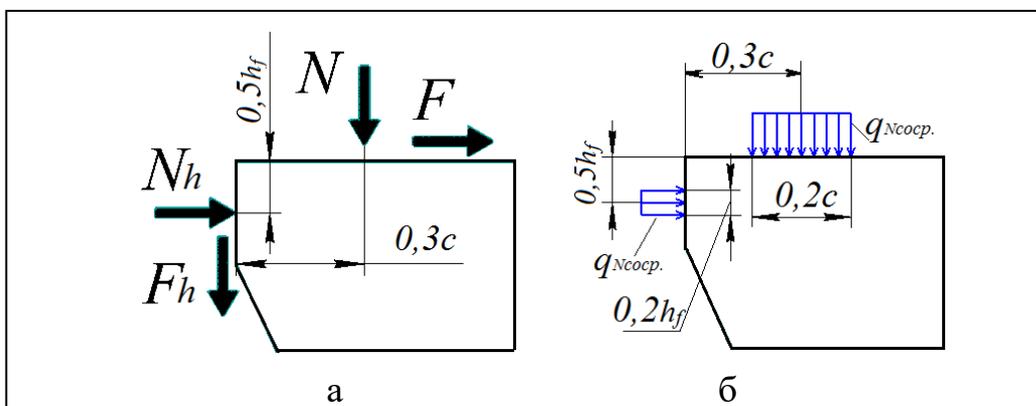


Рис. 2.26. Приложение сосредоточенных составляющих силы резания: а – точки приложения сосредоточенных сил; б – замена сил, приложенных в точке, на равномерно распределённые контактные нагрузки на небольшом участке в этой области (на рисунке указано распределение только нормальных нагрузок)

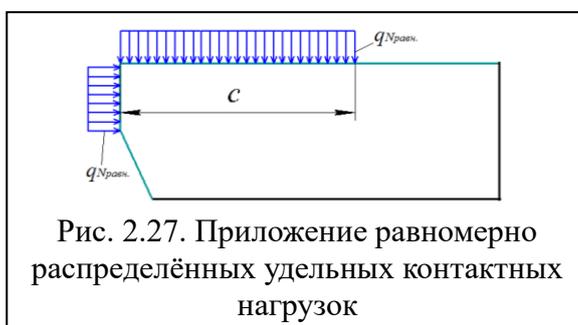


Рис. 2.27. Приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок

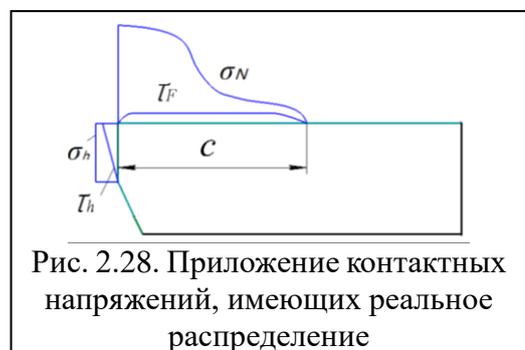


Рис. 2.28. Приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение

При анализе напряжённо-деформированного состояния (НДС) исследуются нормальные, касательные и эквивалентные внутренние напряжения. Среди этих напряжений эквивалентные напряжения являются

сами важными для оценки прочности режущих инструментов.

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

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

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

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

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

Расчёты НДС методом конечных элементов показали, что использование сосредоточенных сил недопустимо для правильной оценки НДС, а использование равномерно-распределённых нагрузок даёт уменьшение наибольших напряжений в СМП по сравнению с применением реального распределением на 27% [14].

2.8. Процесс образования стружки при обработке металлов.

В процессе резания между материалом заготовки и образовавшейся стружкой располагается переходная зона с более или менее четкими границами, называемая зоной стружкообразования. Зону резания металла можно условно разделить на три зоны деформации (Рис. 2.29).

Зона I (ОАМСО) - зона первичной деформации. ОА-это нижняя граница зоны первичной деформации, а ОМ -это верхняя

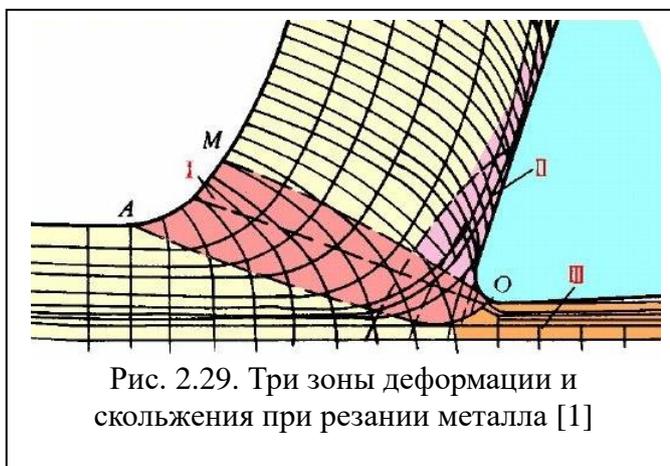
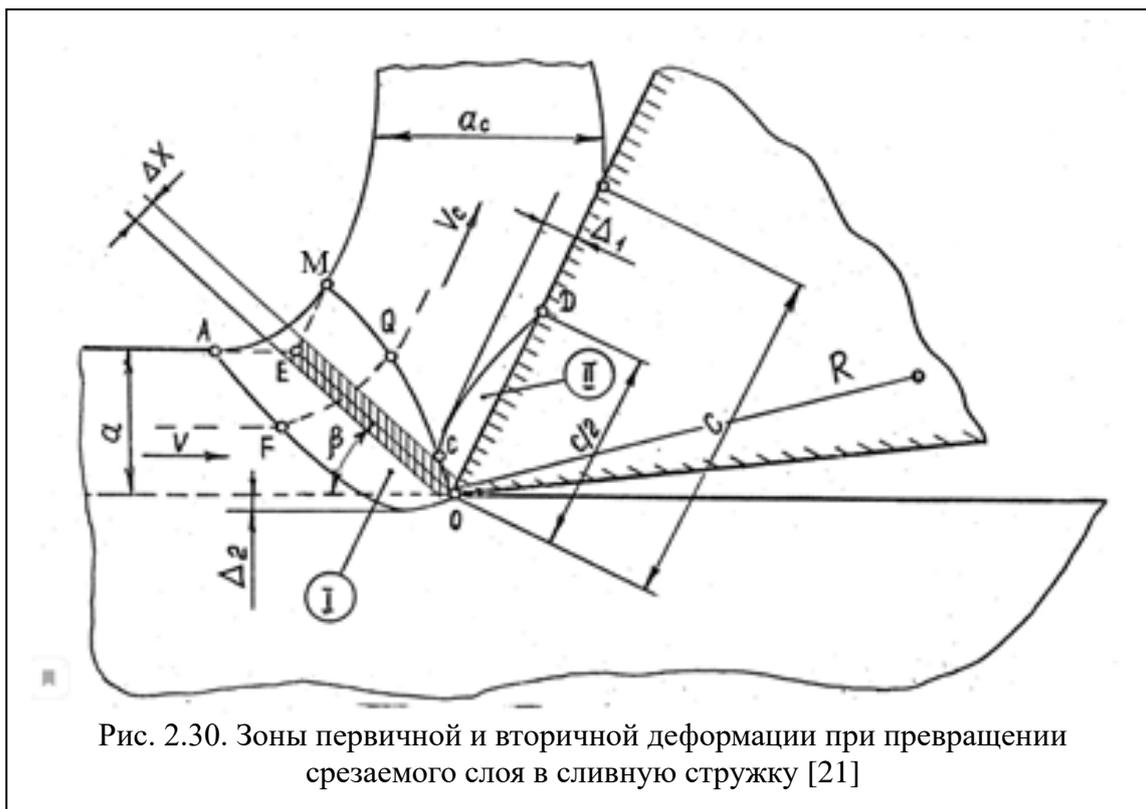


Рис. 2.29. Три зоны деформации и скольжения при резании металла [1]

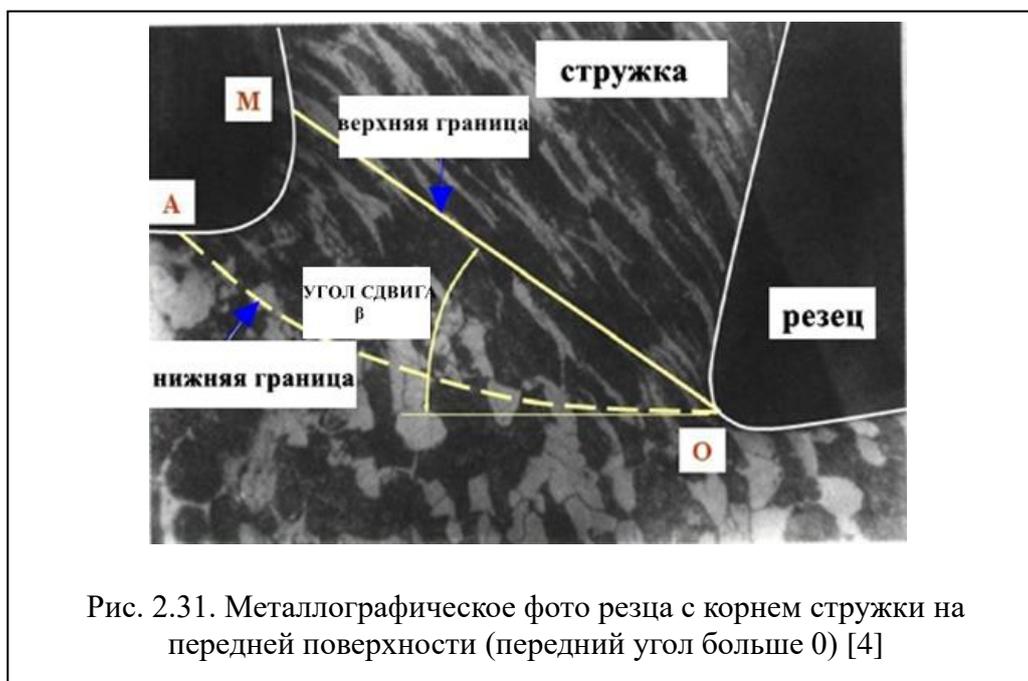
граница зоны первичной деформации. Нижняя граница OA находится недеформированные зерна металла срезаемого слоя. Верхняя граница OM - зерна металла, принадлежащие стружке.

Зерно срезаемого слоя перемещается относительно инструмента со скоростью резания V , начинает деформироваться в точке F , а заканчивается в точке Q , где зерно приобретает скорость V_c равную скорости стружки (Рис. 2.30).



В реальных условиях зона I (первичной деформации) имеет ограниченные размеры, границы которой приближаются к линии OE , наклоненной к поверхности резания под углом β (угол сдвига). Поэтому можно принять, что сдвиговые деформации происходят в тонком слое толщиной ΔX по линии OE , называемой плоскостью сдвига. При такой идеализации процесс образования стружки можно представить как процесс последовательных сдвигов тонких слоев материала вдоль условной плоскости сдвига (Рис. 2.31).

В результате трения стружки о переднюю поверхность инструмента зерна металла, прилегающие к контактной поверхности, продолжают деформироваться и после выхода из зоны первичной деформации. Так возникает зона II – зона вторичной пластической деформации, которая по своей длине c_1 примерно равна $c/2$ (Рис. 2.30).



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

Существует два типа трения между стружкой и передней поверхностью инструмента: так называемое внутреннее трение и внешнее трение.

Участок пластического контакта c_1 , для которого характерны схватывание контактных слоев стружки с передней поверхностью режущего

инструмента и действие внутреннего трения между нижнего слоя стружки и передней поверхностью. На данном участке расположен заторможенный слой, в пределах которого стружка движется не по передней поверхности, а по заторможенному слою, и сопротивление, оказываемое движению стружки, определяется сопротивлением сдвигу в контактном слое стружки. Поэтому на данном участке внешнее трение скольжения отсутствует и заменяется так называемым внутренним трением, т.е. сдвигом отдельных слоёв стружки относительно друг друга.

Второй участок – это участок упругого контакта, на котором стружка контактирует непосредственно с передней поверхностью. Здесь имеет место внешнее трение скольжения и сопротивление движению стружки определяется силой трения между стружкой и передней поверхностью, однако коэффициент трения гораздо больше, чем при обычном трении, т.к. всё равно происходит схватывание (торможение) с поверхностью инструмента из-за ещё непокрытой окислами прирезцовой поверхностью стружки.

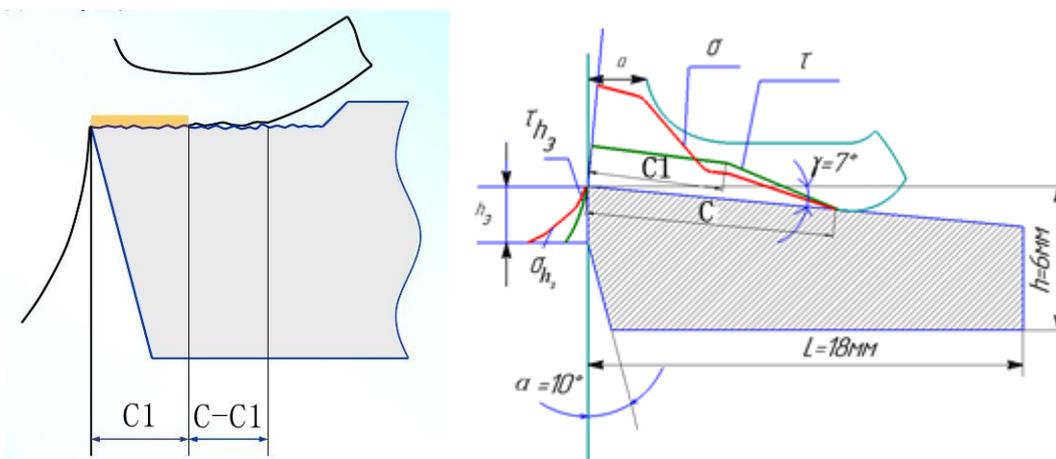


Рис. 2.32. Два участка контакта между стружкой и передней поверхностью инструмента:участок пластического контакта C1 и участок упругого контакта C-C1;

Зона III - основная особенность третьей зоны деформации состоит в том, что обрабатываемая поверхность подвергается вдавливанию под округлённую режущую кромку, а после прохождения под этой округлённой

частью поверхность заготовки немного восстанавливается и контактирует с задней поверхностью инструмента, что приводит к её изнашиванию и нагреву. Дополнительная пластическая деформация поверхности среза приводит к её упрочнению и увеличению остаточных напряжений. Третья зона деформации оказывает большое влияние на качество обрабатываемой поверхности и износ инструмента (Рис. 2.33).



Рис. 2.33. Деформация металла на задней поверхности в третьей зоне деформации

Тонкий слой металла толщиной Δa_c становится обработанной поверхностью после пластической деформации, вызванной экструзией режущего клина.



Рис. 2.34. Фотография разных видов стружек [21]

Большое влияние на качество обработанной поверхности оказывает вид стружки.

Сливная стружка. Образуется при обработке пластичных материалов с большими скоростями резания резцами и большими передними углами и небольшими подачами.

Суставчатая стружка. Образуется при обработке металлов средней твердости при малых скоростях резания с большей толщиной срезаемого слоя и небольшими передними углами и большими подачами.

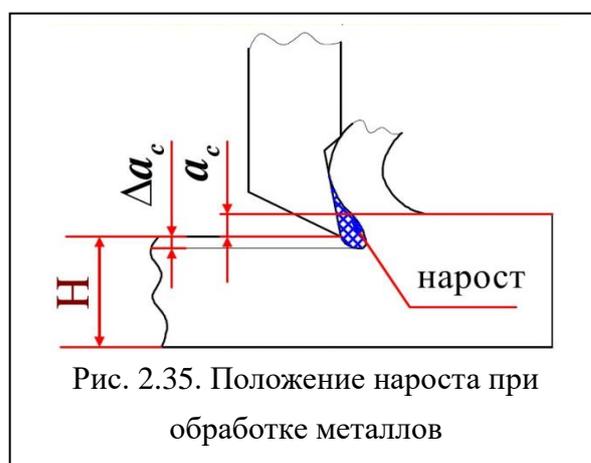
Элементарная стружка. Образуется при обработке твердых конструкционных сталей пониженной пластичности с небольшими скоростями резания резцами при больших толщинах срезаемого слоя.

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

Образование нароста при обработке металлов

При резании вязких металлов на передней поверхности резца у режущей кромки часто обнаруживается кусочек приварившегося металла, называемый наростом (рис. 2.35). Нарост ухудшает шероховатость обработанной поверхности.

Положительное влияние нароста заключается в том, что он меняет форму передней поверхности инструмента, приводя к увеличению переднего угла и уменьшению силы резания. Нарост защищает инструмент

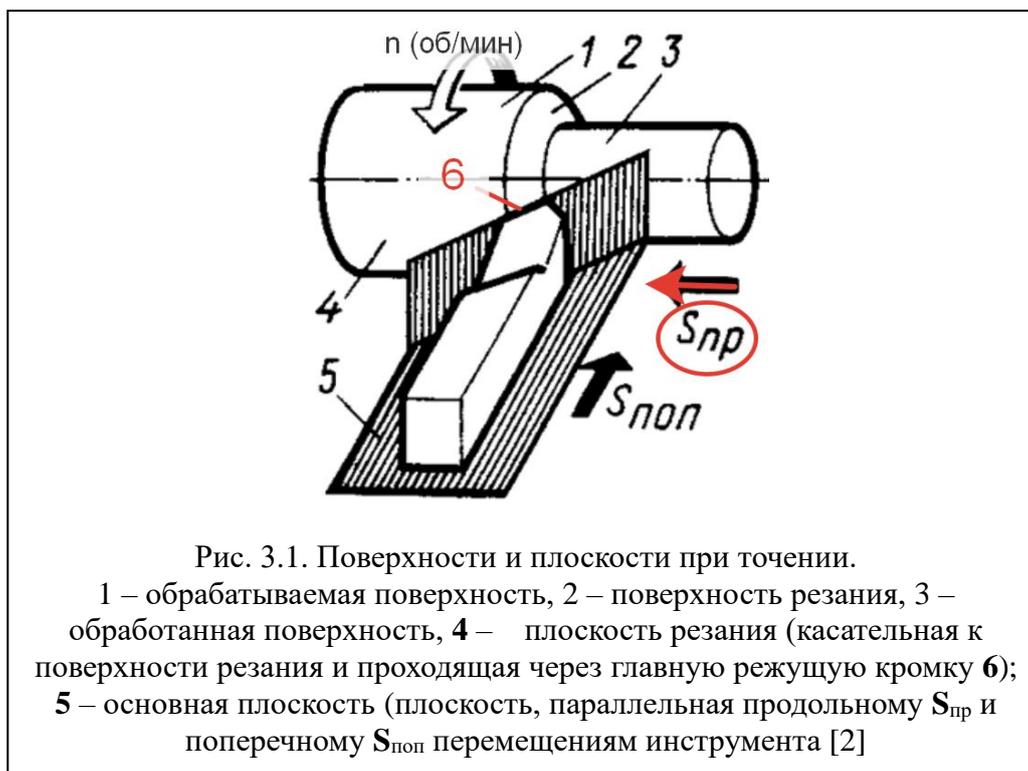


от изнашивания, увеличивает его стойкость. Однако при отрыве плотно приварившегося нароста может происходить отламывание небольших объёмов инструмента.

3 Методика выполнения исследования

3.1. Определение технологических составляющих сил резания

На прочность режущего инструмента большое влияние оказывает передний угол γ , который измеряется в главной секущей плоскости режущего клина N-N (рис. 3.1). Проще всего рассматривать этот угол при токарной обработке (рис. 3.2), но и для других видов обработки его определение будет аналогичным. С увеличением переднего угла уменьшаются силы резания, но уменьшается и площадь сечения режущего клина, что может привести к поломке инструмента.



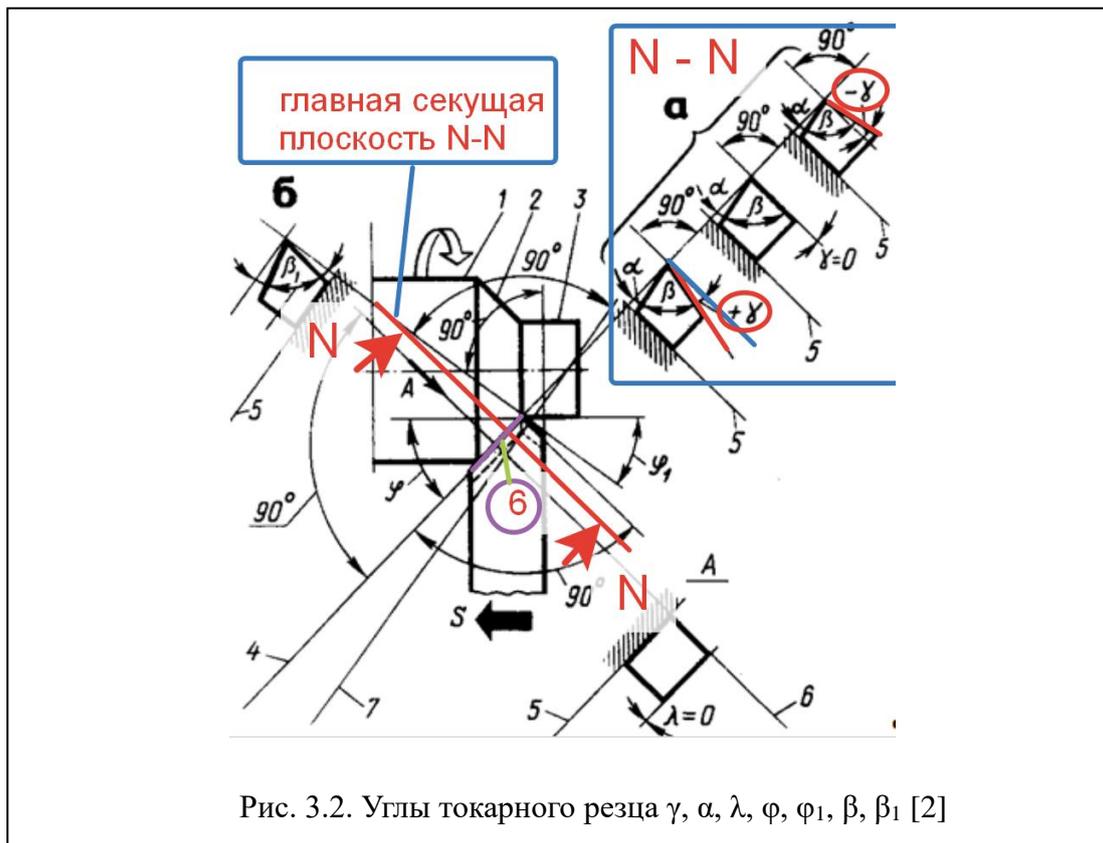


Рис. 3.2. Углы токарного резца $\gamma, \alpha, \lambda, \varphi, \varphi_1, \beta, \beta_1$ [2]

На передней поверхности режущего инструмента действуют физические составляющие силы резания P : в главной секущей плоскости режущего клина измеряются нормальная сила N_{Π} и касательная сила F_{Π} , которые прикладываются к передней поверхности режущего инструмента.



Рис. 3.3. Распределение нормальных и касательных контактных напряжений σ и τ на передней поверхности резец с передним углом $\gamma=7^\circ$ и задним углом $\alpha=10^\circ$ в главной секущей плоскости при резании

3.2 Расчёт физических составляющих силы резания по технологическим составляющим силы резания

Если главный передний угол γ не равен нулю, то напрямую физические составляющие силы резания $N_{\text{п}}$ и $F_{\text{п}}$ измерить невозможно. Поэтому с помощью динамометра Kistler измерялись технологические составляющие силы резания:

тангенциальная составляющая P_z , направленная вертикально вниз (рис. 3.4);

радиальная составляющая P_y , направленная от оси вращения заготовки в сторону оператора в основной плоскости (горизонтально) (рис. 3.4 и 3.5);

осевая составляющая P_x , направленная вдоль оси вращения заготовки от шпинделя в основной плоскости (горизонтально).

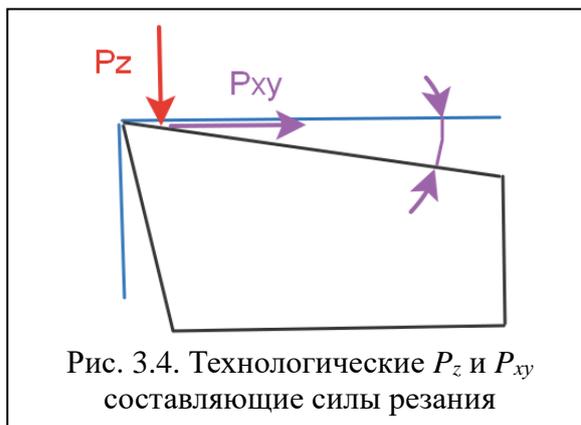


Рис. 3.4. Технологические P_z и P_{xy} составляющие силы резания

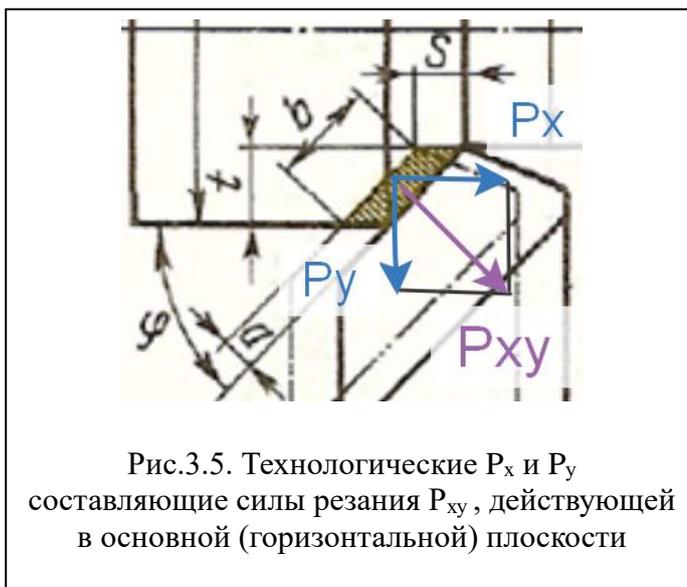
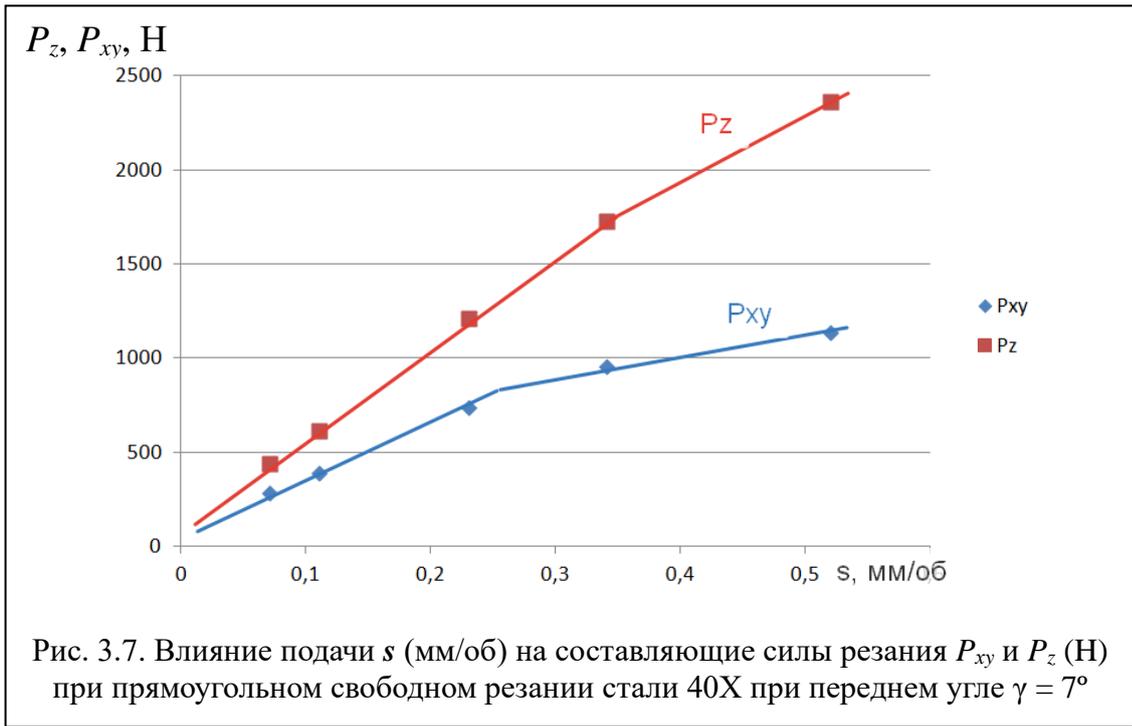


Рис.3.5. Технологические P_x и P_y составляющие силы резания P_{xy} , действующей в основной (горизонтальной) плоскости

Результирующая сил P_y и P_x сила P_{xy} , действующая в главной секущей плоскости (рис.3.4 и 3.5), рассчитывается по формуле:

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

Измерение технологических составляющих сил на токарном станке с помощью динамометра Kistler 9257В (Рис. 3.6).



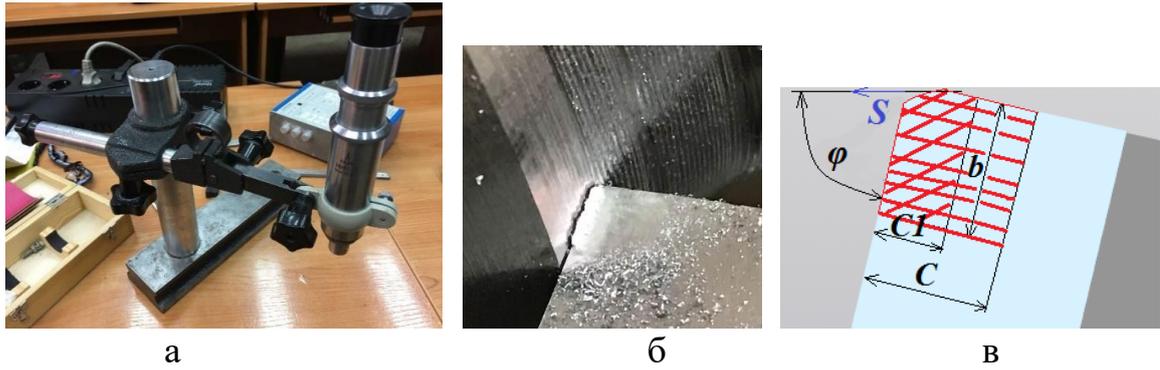


Рис. 3.8. Портативный микроскоп (а) для измерения общей длины контакта стружки с передней поверхностью резца c (мм) и длины пластического контакта c_1 (мм), нарост на резце (б) и расположение участка пластического контакта c_1 на длине c . b – ширина среза (мм)

При фрезеровании измерение технологических составляющих силы резания P_z , P_x и P_y является очень сложной задачей. Это связано с поворотом зуба фрезы или СМП относительно оси вращения фрезы и изменением не только величины этих сил из-за изменения толщины срезаемого слоя a_i (рис. 3.9), но и изменения направления их действия (рис. 3.9). Равнодействующая R будет изменять не только свою величину, но и изменять направление своего действия.

Поэтому было решено измерять технологические составляющие силы резания при токарной обработке, но оперировать потом не подачей s (мм/об), а толщиной среза a (мм), поскольку она является одним из основных факторов, влияющих на силу резания и при токарной обработке, и при фрезеровании. При токарной обработке толщина среза a и ширина контакта стружки b с передней поверхностью рассчитываются по формулам:

$$a = s \times \sin \varphi \text{ (мм)},$$

$$b = t \times \sin \varphi \text{ (мм)},$$

где t – глубина резания (мм); φ – главный угол в плане ($^\circ$) (рис. 3.8 в).

При этом мы допускаем, что процесс резания при этих видах обработки протекает примерно одинаково при одинаковой величине толщины среза a , скорости резания v и геометрии режущего клина, в частности, переднего угла γ .

Наиболее часто при торцовом фрезеровании используется схема встречного фрезерования (рис. 3.9).

В начальный момент контакта с заготовкой зуб фрезы начинает резание с нулевой толщиной среза (рис. 3.9 б). Образование стружки в этот момент не происходит, а подминаемый под режущую кромку металл оказывает большое радиальное давление на зуб фрезы. При дальнейшем повороте зуба фрезы толщина среза a_i (мм) будет увеличиваться. Она рассчитывается по формуле $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, где ψ – центральный угол, образованный радиусами,

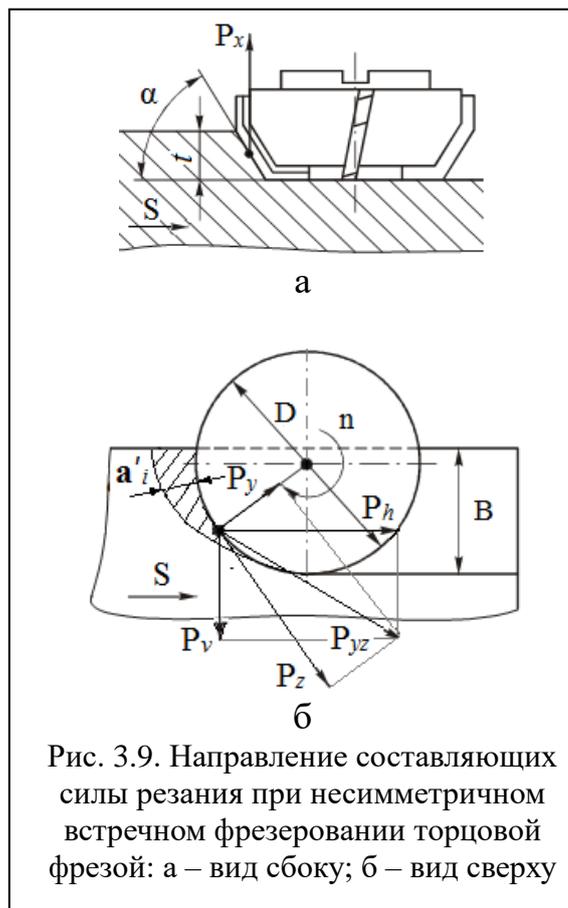


Рис. 3.9. Направление составляющих силы резания при несимметричном встречном фрезеровании торцевой фрезой: а – вид сбоку; б – вид сверху

проведенными из центра оси вращения фрезы к точкам входа и текущим положением её исследуемого зуба. В результате увеличения толщины среза a_i составляющие силы резания увеличиваются до момента, когда зуб фрезы выходит из контакта с заготовкой. После этого они резко уменьшаются до нуля.

Для расчёта корпуса фрезы на прочность достаточно знать изменение физических составляющих силы резания. При исследовании напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина зуба необходимо знать распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях, т.к. это существенно влияет на результат [14].

При измерении составляющих силы резания трёхкомпонентным динамометром будут зафиксированы изменения технологических составляющих силы резания: $P_{h д}$ (действующей в горизонтальной плоскости против направления вектора подачи $s_{мин}$), $P_{v д}$ (действующей в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению подачи $s_{мин}$),

$P_{xд}$ (действующей вниз вдоль оси вращения фрезы, т.е. в вертикальной плоскости перпендикулярно направлению подачи $s_{мин}$).

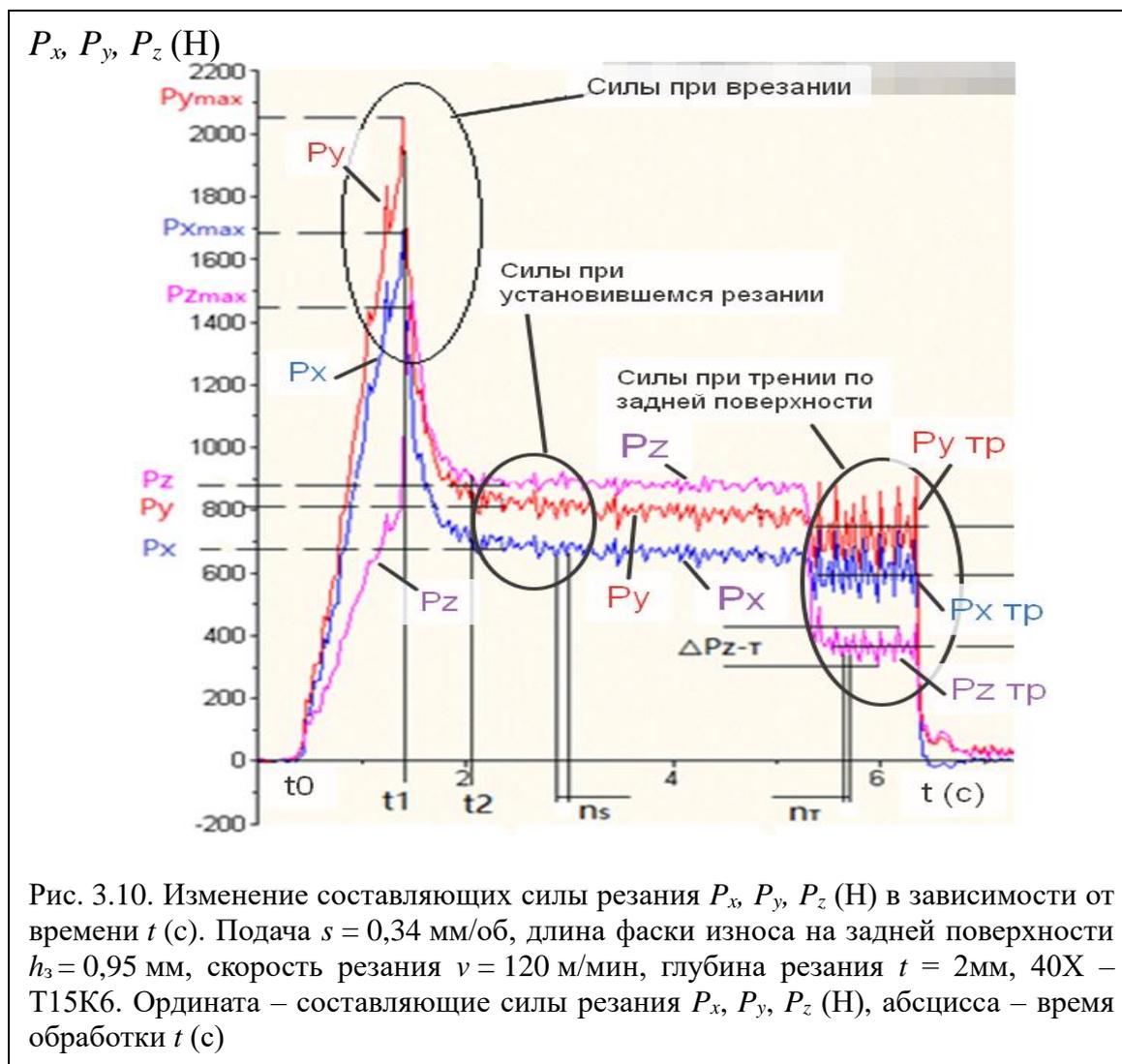
Измерение физических составляющих силы резания, действующих на зуб фрезы, затруднено из-за вращения фрезы и поворота составляющих P_z и P_y силы резания относительно оси вращения фрезы. Поэтому врезание зуба и дальнейшее срезание припуска зубом торцевой фрезы с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$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

Поэтому в исследованиях НДС СМП может рассматриваться четыре этапа: 1) врезание с $a_i = 0$ мм, когда происходит внедрение зуба фрезы в заготовку, но стружка на передней поверхности ещё не образуется и металл вдавливается по режущую кромку зуба фрезы или СМП; 2) начальное установившееся резание, когда стружка уже образуется и движется по передней поверхности, т.е. $a_i > 0$ мм. При повороте зуба фрезы постепенно увеличивается толщина среза $a_i = s_z \cdot \sin \psi$ и, следовательно, увеличиваются и составляющие силы резания; 3) конечный этап резания, когда толщина среза наибольшая $a_i = a_{max}$, что наступает перед выходом зуба из контакта; 4) выход зуба из контакта с заготовкой, во время которого внешняя нагрузка на зуб резко прекращается, в результате чего напряжения в режущем клине становятся с противоположным знаком и могут быть сопоставимы по абсолютной величине с предшествующими окончанию резания.

В данной работе исследовались процессы при образовании стружки, т.е. рассматривалось установившееся резание. Поэтому использование токарной обработки как моделирование процессов, происходящих при фрезеровании, нами считается правомерным, если толщина среза a_i в этот момент одинакова.

Для исследования влияния износа на составляющие силы резания на главной задней поверхности режущей пластины затачивалась фаска длиной

$h_3 = 0,95$ мм, измеряемая перпендикулярно главной режущей кромке, с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности [11]. Радиус округления режущей кромки $\rho = 0,003$ мм соответствовал естественной заточке инструмента [11, 23].



После измерения технологических составляющих P_z , P_y и P_x силы резания с фаской наибольшей длины $h_3 = 0,9$ мм при различных подачах и глубине резания, резец перетачивался только по главной задней поверхности, что обеспечивало постоянство заднего угла на фаске задней поверхности $\alpha_h = 0^\circ$. Последовательное уменьшение длины фаски за счёт переточки по задней поверхности позволило получить данные об изменении сил на фаске задней поверхности при различных подачах и глубине резания.

При врезании токарного резца происходит сначала увеличение всех составляющих силы резания до момента образования стружки, после чего силы уменьшаются до величины, характерной для установившегося резания (рис. 3.10). Увеличение сил резания при врезании объясняется нами вдавливанием слоя металла под режущую кромку из-за наличия округления режущей кромки, что особенно сильно увеличивает составляющие P_y и P_x , т.е. результирующую P_{xy} . Тангенциальная составляющая P_z , **при врезании** являющаяся силой трения по задней поверхности, увеличивается по сравнению с установившемся резанием менее существенно, что связано с малым коэффициентом трения на фаске задней поверхности и на радиусном участке режущей кромки, контактирующего с поверхностью резания [3, 4, 5].

При установившемся резании острым резцом тангенциальная составляющая P_z становится больше P_x и P_y , но меньше P_{xy} , что говорит о среднем коэффициенте трения больше единицы (рис. 3.10). При анализе контактных процессов на передней поверхности необходимо оперировать не силами, а контактными напряжениями, распределение которых было получено методом разрезного резца [5, 9], а характер их распределения изучался поляризационно-оптическим методом [5] и лазерной интерферометрии [12].

После переточки по резца по задней поверхности он устанавливался в динамометр и производилась настройка на прежнюю глубину резания, однако она может быть установлена с погрешностями, связанными с **неточностью настройки лимба** поперечной подачи на ноль в разных сериях эксперимента, из-за упругой деформации системы СПИЗ (станок-приспособление-инструмент-заготовка) и с **особенностями самого процесса резания**.

Чтобы исключить эту **погрешность глубины резания** выполнялось измерение фактической глубины резания ($t_{факт}$) измерением диаметра заготовки до и после точения, а затем по фактической силе

резания (например, $P_{z\text{ факт}}$) и фактической глубине резания ($t_{\text{факт}}$) рассчитывались удельные силы резания (например, $q_{z\text{ факт}}$), а затем **рассчитывались** составляющие силы резания (например, $P_{z\text{ расч}}$) по задаваемой (настраиваемой) глубине резания ($t_{\text{настр}}$).

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

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

Такой способ позволяет увеличить точность определения составляющих сил резания, что особенно важно для определения характера распределения контактных напряжений и их величины на искусственной **фаске задней поверхности** методом переменной фаски. При этом делаются допущения, что при изменении длины фаски силы на передней поверхности не изменяются и контактные напряжения на i -том участке фаске задней поверхности σ_{hi} и τ_{hi} мало зависят от величины напряжений на соседних участках, т.е. σ_{hi-1} и τ_{hi-1} , σ_{hi+1} и τ_{hi+1} .

Глубина резания t (мм) в расчётах уточнённых, или расчётных, технологических составляющих $P_{z\text{ расч}}$ и $P_{xy\text{ расч}}$ силы резания

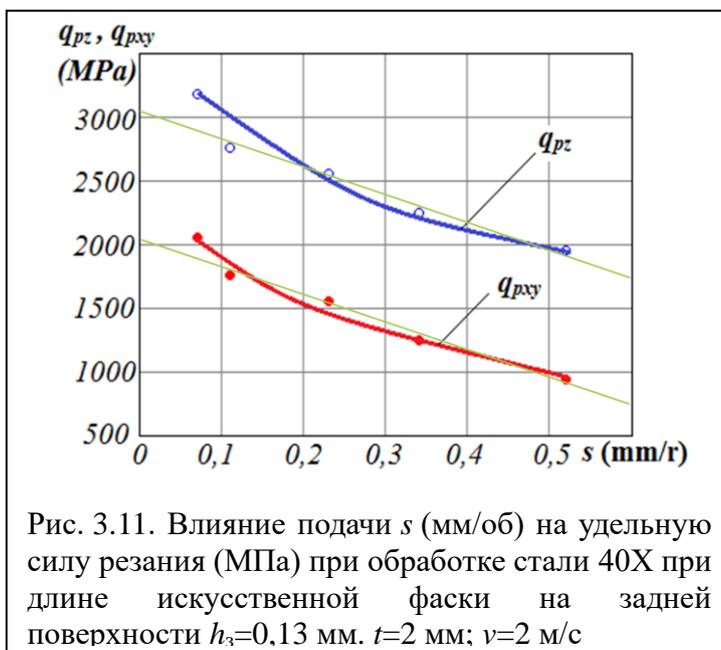


Рис. 3.11. Влияние подачи s (мм/об) на удельную силу резания (МПа) при обработке стали 40Х при длине искусственной фаски на задней поверхности $h_3=0,13$ мм. $t=2$ мм; $v=2$ м/с

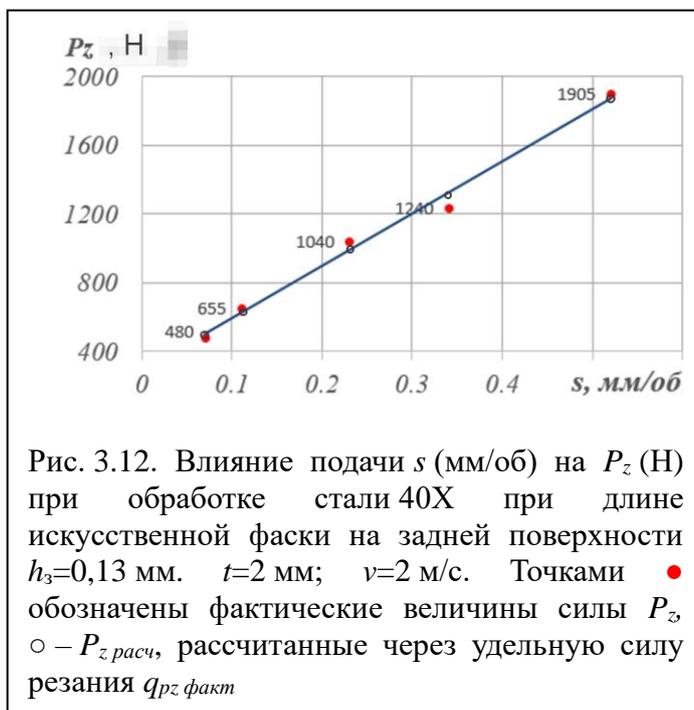


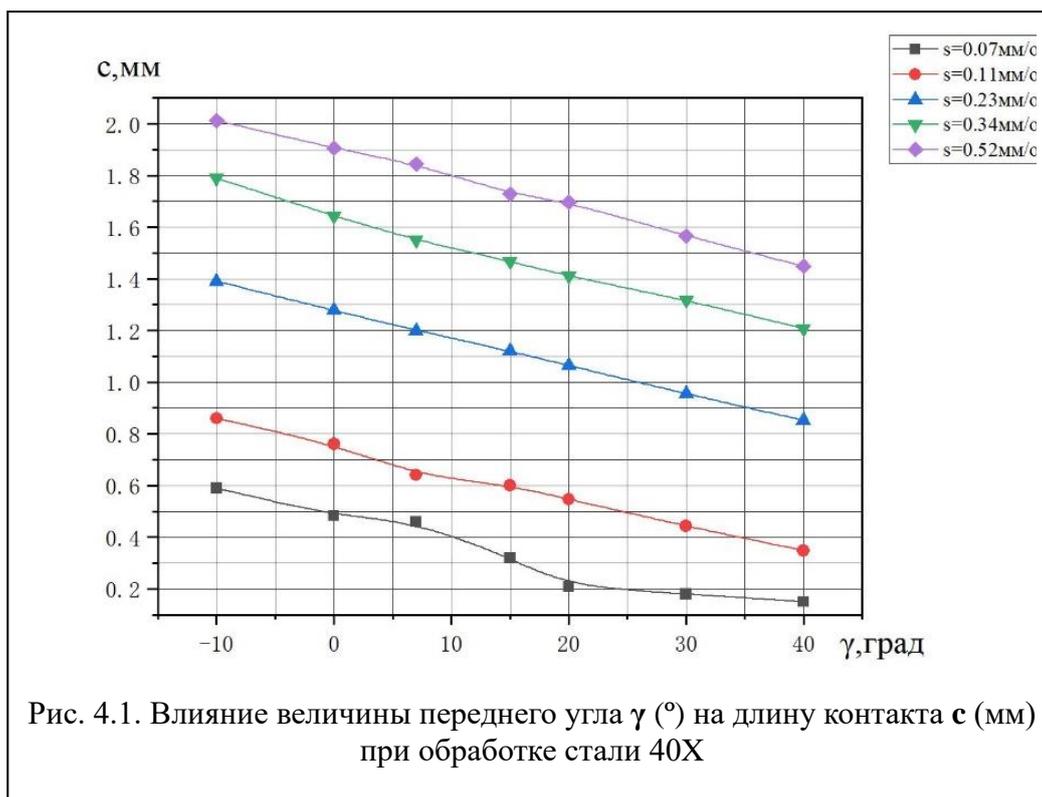
Рис. 3.12. Влияние подачи s (мм/об) на P_z (Н) при обработке стали 40Х при длине искусственной фаски на задней поверхности $h_3=0,13$ мм. $t=2$ мм; $v=2$ м/с. Точками \bullet обозначены фактические величины силы P_z , \circ – $P_{z\text{ расч}}$, рассчитанные через удельную силу резания $q_{pz\text{ факт}}$

принималась равной средней глубине резания $t_{\text{ср}}$ (мм) в серии экспериментов и называлась **условной** глубиной резания $t_{\text{усл}}$ (мм), чтобы отличать её от настраиваемой. Т.к. при исследовании старались выдержать настраиваемую глубину резания, то $t_{\text{усл}} \approx t_{\text{настр}}$ (мм).

4. Результаты экспериментов

4.1. Определение длины контакта стружки с передней поверхностью

Результаты измерения длины контакта стружки с передней поверхностью резца представлены на рис. 4.1.



По графикам рис 4.1 были построены графики влияния толщины среза a и величины переднего угла γ на длину контакта стружки с передней поверхностью c (рис 4.2). По графикам рис 4.1 были определены уравнения $c = f(\gamma)$ для $s = 0,07-0,52$ мм/об с помощью программного обеспечения **OriginLab**:

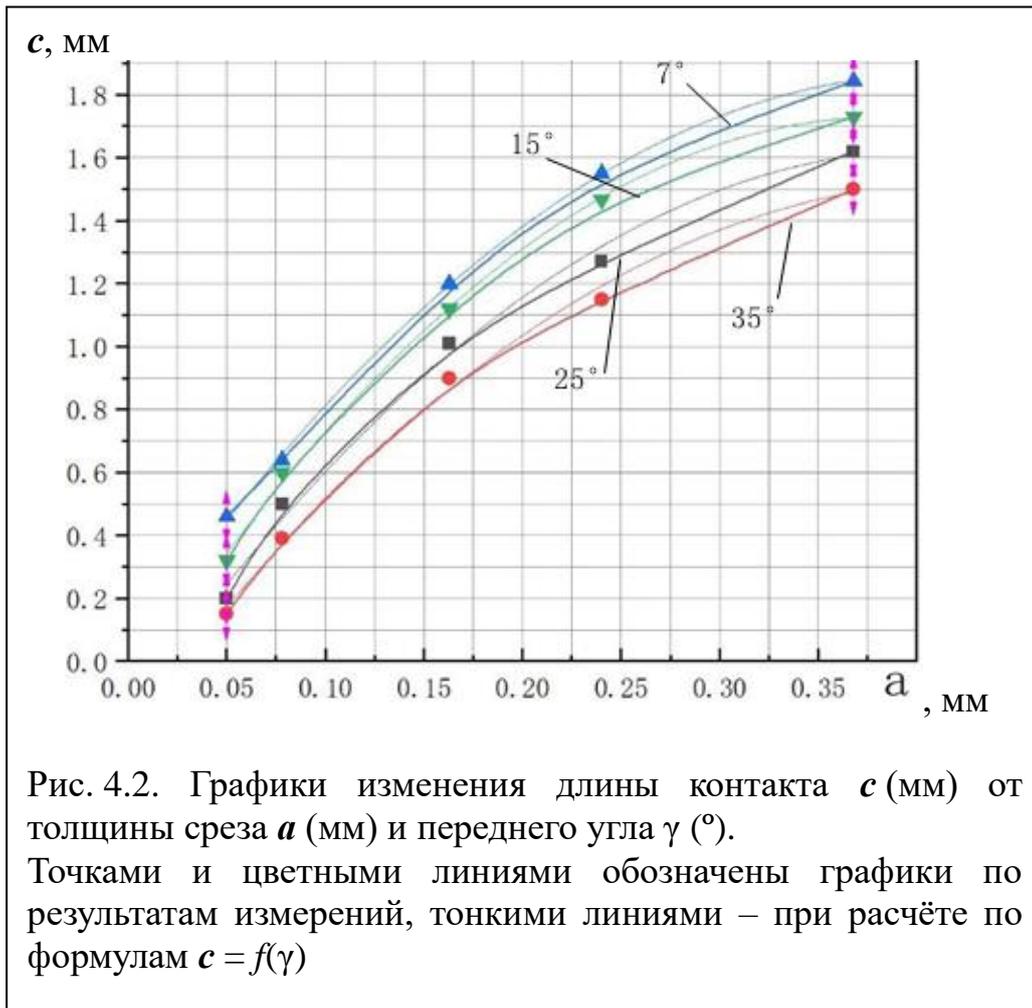
Для подачи $s=0,07$ мм/об, длина контакта $c = -0.01 \cdot \gamma + 0.5$ (мм);

Для подачи $s = 0,11$ мм/об, длина контакта $c = -0.01015 \cdot \gamma + 0.75$ (мм);

Для подачи $s = 0,23$ мм/об, длина контакта $c = -0.01074 \cdot \gamma + 1.28$ (мм);

Для подачи $s = 0,34$ мм/об, длина контакта $c = -0.01137 \cdot \gamma + 1.55$ (мм);

Для подачи $s = 0,52$ мм/об, длина контакта $c = -0.0115 \cdot \gamma + 1.905$ (мм).



По графикам рис 4.2 были определены уравнения $c = f(a)$ для $\gamma = +7^\circ$, $+15^\circ$, $+25^\circ$, $+35^\circ$ с помощью программного обеспечения **OriginLab**:

Если $\gamma = 7^\circ$, длина контакта $c = 0,026 + 8,955a - 10,903a^2$ (мм).

Если $\gamma = 15^\circ$, длина контакта $c = -0,103 + 9,564a - 12,483a^2$ (мм).

Если $\gamma = 25^\circ$, длина контакта $c = -0,016 + 8,728a - 10,638a^2$ (мм).

Если $\gamma = 35^\circ$, длина контакта $c = -0,205 + 8,105a - 9,507a^2$ (мм).

4.2. Расчёт физических составляющих сил резания

Расчёт физических составляющих силы резания N и F по технологическим составляющим P_z и P_{xy} при переднем угле $\gamma \neq 0^\circ$ выполняем по формулам, которые получаем из суммы векторов (рис. 4.3):

$$\vec{P}_z = \vec{N}_{Pz} + \vec{F}_{Pz}; \quad (1)$$

$$\vec{P}_{xy} = \vec{F}_{Pxy} + \vec{N}_{Pxy}. \quad (2)$$

Из этих формул получаем два уравнения (3) и (4) для расчёта физических сил резания:

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (3)$$

Второе слагаемое со знаком минус ($-N_{Pxy}$), т.к. эта составляющая направлена в **обратном** направлении по сравнению с направлением N_{Pz} ;

$$F = F_{Pxy} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma. \quad (4)$$

С помощью динамометра измеряем технологические силы P_z , P_x и P_y . Рассчитываем P_{xy} и заносим в таблицу 4.1. Рассчитываем физические составляющие силы резания и также заносим в таблицу 4.1.

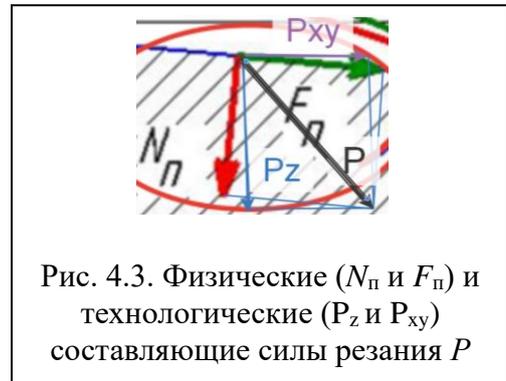


Рис. 4.3. Физические (N_p и F_p) и технологические (P_z и P_{xy}) составляющие силы резания P

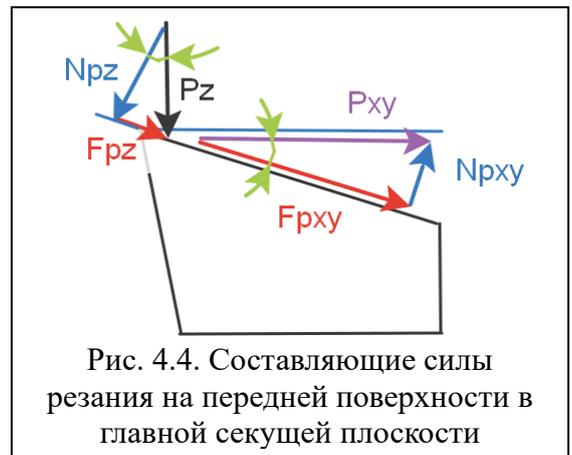


Рис. 4.4. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости

Табл. 4.1 – Силы резания, рассчитанные по удельным силам резания, полученных из экспериментов при постоянной условной глубине резания $t=1,99$ мм

a, мм	s, мм/об	Технологические средние силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +7^\circ$, Н			Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм $\gamma = +7^\circ$, Н				Технологические силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, $\gamma = +15^\circ$, Н			Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм $\gamma = +15^\circ$, Н		
		$P_{xy\text{ ср}}$	$P_{z\text{ ср}}$	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$		P_{xy}	P_z	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	286	443	0,646	338	405	0,83		223	433	0,516	327	360	0,909
0,078	0,11	396	619	0,640	469	566	0,83		309	577	0,536	448	477	0,939
0,163	0,23	742	1216	0,610	885	1117	0,79		635	1087	0,584	894	886	1,010
0,240	0,34	961	1735	0,554	1165	1606	0,73		864	1592	0,543	1247	1314	0,949
0,368	0,52	1144	2370	0,483	1425	2214	0,64		1078	2222	0,485	1616	1867	0,866
a, мм	s, мм/об	Технологические средние силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, и $\gamma = +25^\circ$, Н			Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +25^\circ$, Н				Технологические силы (Н) при устан. резании при $t=1,99$ мм, и $\gamma = +35^\circ$, Н			Физические составляющие силы при устан. резании при $t=1,99$ мм и $\gamma = +35^\circ$, Н		
		$P_{xy\text{ ср}}$	$P_{z\text{ ср}}$	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$		P_{xy}	P_z	$\mu_{\text{ср}}$	F	N	$\mu_{\text{ср}}$
0,05	0,07	167	394	0,646	318	286	1.111		110	354	0.313	294	226	1.298
0,078	0,11	223	520	0,640	422	377	1.119		137	463	0.295	378	301	1.255
0,163	0,23	479	981	0,610	849	686	1.237		324	874	0.370	767	530	1.445
0,240	0,34	650	1414	0,554	1187	1007	1.179		436	1234	0.353	1065	761	1.400
0,368	0,52	817	1948	0,483	1564	1420	1.101		556	1674	0.332	1416	1059	1.346

Необходимость расчёта физических составляющих N_i и F_i силы резания вызвана необходимостью определения распределения контактных напряжений, напрямую связанных с длиной контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Без этих сил эпюры контактных напряжений правильно построить невозможно, а значит и рассчитать НДС инструмента.

4.3. Расчёт параметров эпюр контактных напряжений

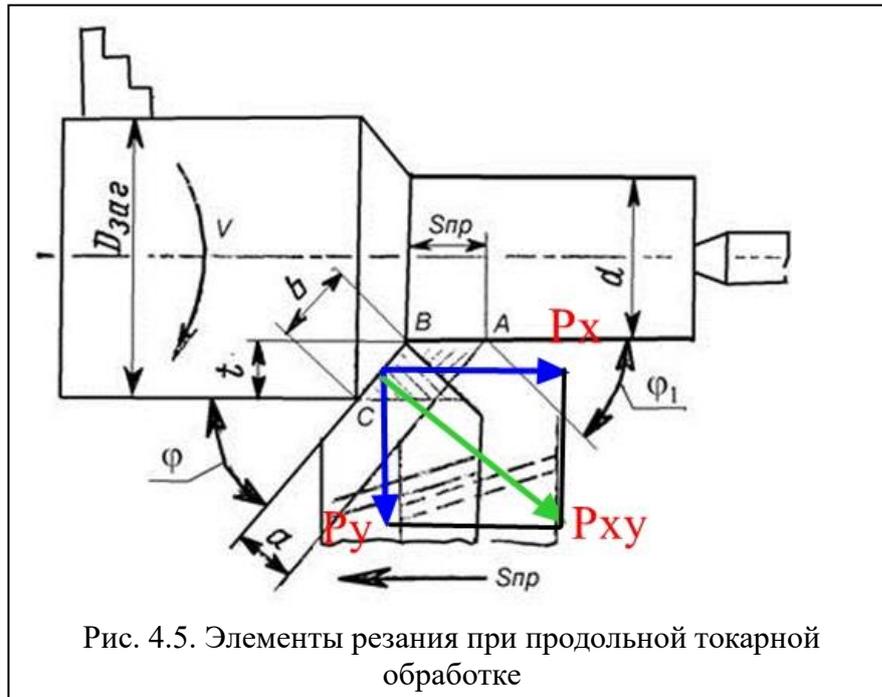
Недостатком наиболее точного и универсального метода разрезного резца являются высокая стоимость и большое время для проведения экспериментов из-за большой трудоёмкости изготовления и стоимости специальных режущих пластин и частой их поломкой при попадании стружки в зазор между пластинами.

Из-за перечисленных недостатков методов экспериментального определения эпюр контактных напряжений возникает необходимость разработки методики их расчёта.

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

2) На основании проведённых экспериментов строятся графики изменения длины контакта c от толщины среза a (см. рис. 4.5):

$a = s \times \sin \varphi$, где s – подача (мм/об) (рис. 4.5.) ; φ – главный угол в плане.



3) По экспериментальным точкам графиков изменения длины контакта c (мм) от толщины среза a (мм) с помощью программного обеспечения OriginLab определяется функциональная связь между c и a при разных передних углах γ [т.е. $c = f(a)$]:

$$\text{например, при } \gamma=7^\circ \quad c=0,026+8,955a-10,903a^2 \text{ (мм)}.$$

4) Рассчитываются касательные контактные напряжения на передней поверхности инструмента. Начинаем расчёты эпюр с касательных контактных напряжений на передней поверхности инструмента, т.к. их характер мало зависит от режимов резания. Длина пластического участка контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента при обработке стали средней твёрдости, как, например, сталь 40Х в прутках, $c_1 \approx 0,5c$. На этом участке, т.е. при $x_i < 0,5 \times c$, где x_i – расстояние от режущей кромки до рассматриваемой точки (мм), у эпюры касательных контактных напряжений τ имеется линия параллельная передней поверхности (горизонтальный участок при $\gamma=0^\circ$).

При дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры τ имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке $x_i = c$. Такой характер позволяет после простых преобразований использовать формулу

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

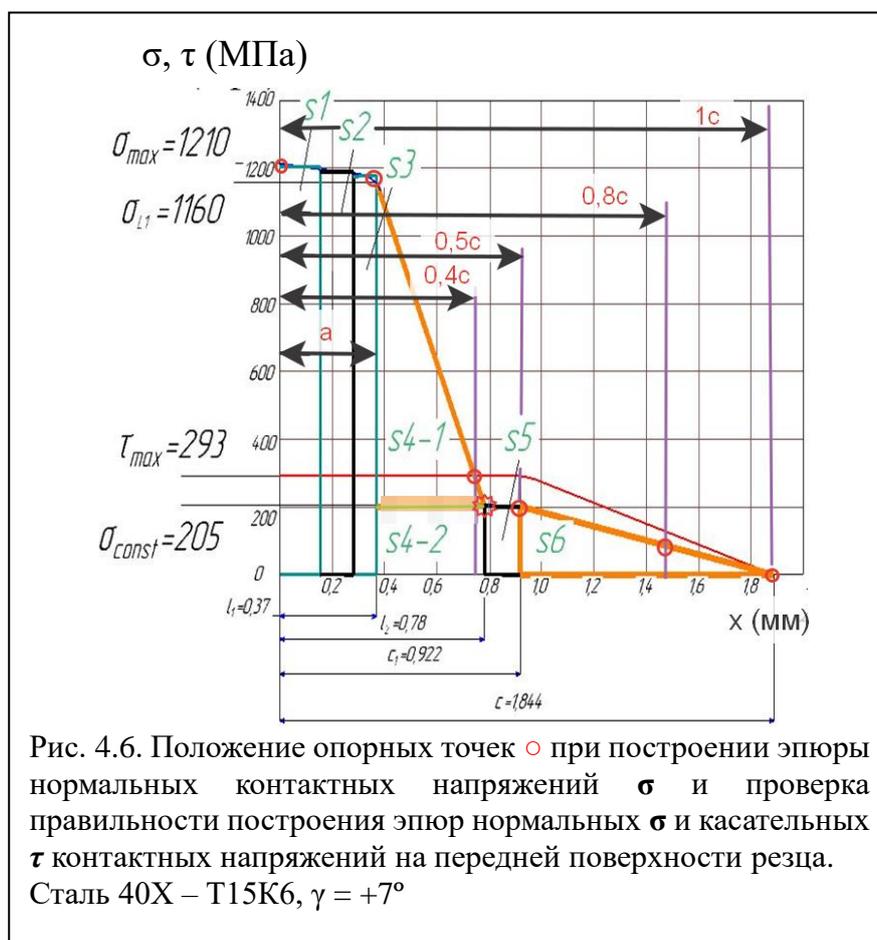
где τ_{const} - величина τ на горизонтальном участке этой эпюры;

F – касательная сила на передней поверхности (Н);

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

5) Строится эпюра касательных контактных напряжений (рис. 4.6).

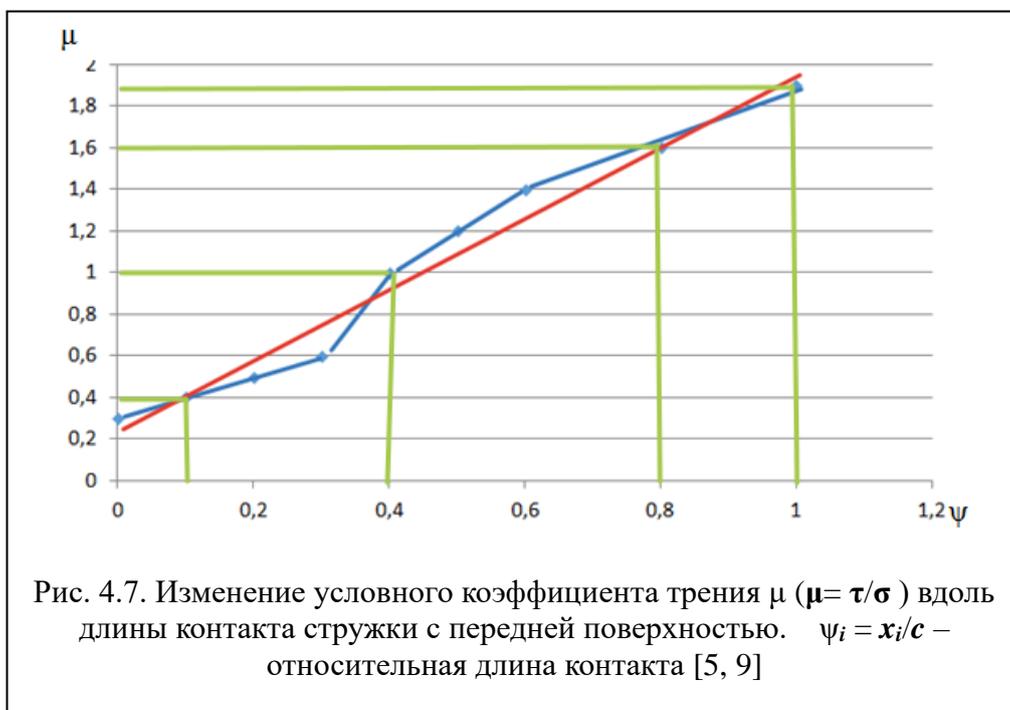
Касательные контактные напряжения τ на участке пластического контакта имеют постоянную величину, а затем начинают уменьшаться до нуля в месте отрыва стружки от передней поверхности.



б) Переходим к построению эпюры нормальных контактных напряжений σ (МПа). Нормальные контактные напряжения σ имеют наибольшую величину у вершины режущего клина инструмента (рис. 4.6), монотонно убывая до $\sigma = \sigma_{\text{const}}$ в месте, где расстояние от режущего клина инструмента равно l_2 (должен быть хоть небольшой, но горизонтальный участок на эпюре σ). Потом σ продолжают монотонно убывать до нуля в месте отрыва стружки от передней поверхности.

В основе лежит закономерность соотношения τ/σ , т.е. изменение условного коэффициента трения $\mu = \tau/\sigma$ вдоль передней поверхности, которая согласно многочисленным исследованиям [1-5] для одной и той же пары обрабатываемого и инструментального материала мало зависит от режимов резания и переднего угла γ (рис. 4.7).

7) При относительной длине контакта $\psi = x_i/c \approx 0,4$, т.е. при $x = 0,4 \times c = 0,4 \times 0,46 = 0,184$ мм будет пересечение графика σ с графиком τ , т.к. в этой точке коэффициент трения $\mu=1$, то есть там $\tau = \sigma$.



8) На участке от l_2 до $x \approx 0,5c$ имеется горизонтальная линия у эпюры нормальных контактных напряжений σ , а при дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры σ имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке $x=c$.

9) В конце контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента в точке $\psi \approx 0,8$ (т.е. при $x \approx 0,8c$) должно быть $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$.

10) На расстоянии от режущей кромки $l_1 \approx a$ (мм) $\sigma_{l1} \approx (0,92 \dots 0,93) \times \sigma_{\max}$, т.к. там ещё нет стружки, она только формируется, давление от режущего инструмента идёт на заготовку, поэтому там у режущей кромки имеется примерно равномерное распределение нормальных напряжений σ .

11) Величину σ_{\max} задаём *сначала* приблизительно сами. Непосредственно у режущей кромки $\sigma_{\max} \approx 2 \sigma_{\text{в}}$ (где $\sigma_{\text{в}}$ – временное сопротивление разрыву (МПа). Временное сопротивление разрыву определяем в справочнике для данного материала и при данной термообработке, т.е. твёрдости НВ. Например, для стали 40Х в прутках (в состоянии поставки, т.е. без дополнительной термообработки) $\sigma_{\text{в}}=560$ МПа).

12) Затем строим эпюру σ и корректируем её (поправляем), чтобы соблюдалось равенство $N = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx$, где x_i изменяется от 0 (координата у режущей кромки, т.е. при $x_i = 0$ мм) до $x_i = c$ (координата точки отрыва стружки от передней поверхности, т.е. при $x_i = c$). Для этого рассчитываем площадь эпюры σ как сумму площадей $s_{\sigma i}$ элементарных фигур (прямоугольников и треугольников), из которых можно отобразить эпюру σ : $S_{\sigma} = \sum s_{\sigma i}$ (МПа/мм).

13) Нормальная сила по эпюре σ $N_{\sigma} = S_{\sigma} \times b$ (Н) должна приблизительно быть равна нормальной к передней поверхности инструмента силе из эксперимента $N_{\text{эксперимента}}$ (Н), где b – ширины контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента, $b = t/\sin \varphi$.

Если требуется увеличить $N_{\text{эпюры}}$, то увеличиваем σ_{max} .

14) Касательная сила по эпюре τ $F_{\tau} = S_{\tau} \times b$ (Н) должна приблизительно быть равна касательной к передней поверхности инструмента силе из эксперимента $F_{\text{эксперимента}}$ (Н).

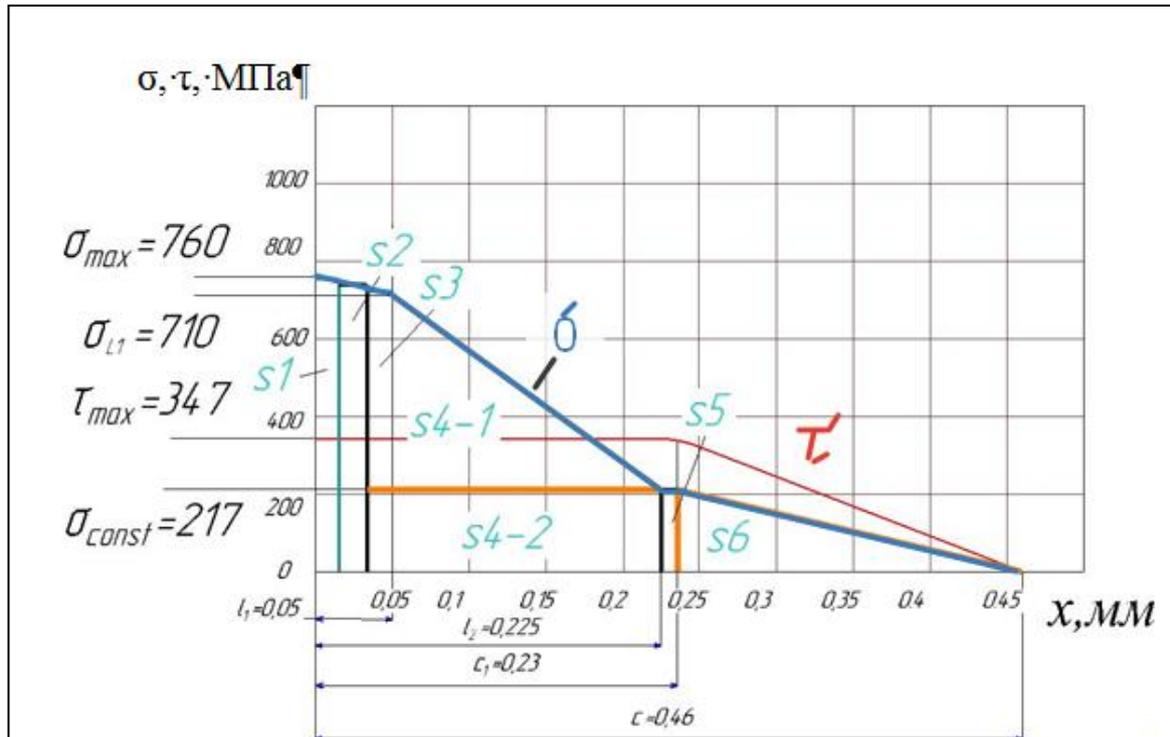


Рис. 4.8. Эпюры по физическим составляющим сил резания.

Сталь 40X – Т15К6, $\gamma = +7^\circ$, $s = 0,07$ мм/об, $F_{\text{эксн}} = 338$ Н, $N_{\text{эксн}} = 405$ Н.

Площадь эпюры σ : $S_{\sigma} = 143,9$ МПа/мм;

$N = 143,9 \times 2,82 = 405,8 \approx N_{\text{эксн}} = 405$ Н;

Площадь эпюры τ : $S_{\tau} = \frac{(0,23+0,46) \times 347}{2} = 119,72$ МПа/мм;

$F = S_{\tau} \times b = 119,72 \times 2,82 = 336$ Н $\approx F_{\text{эксн}} = 338$ Н.

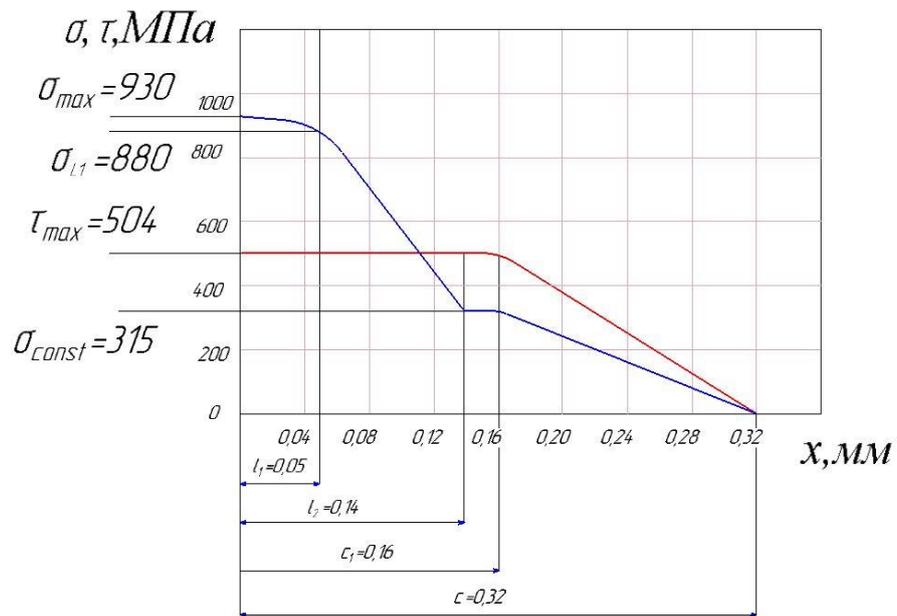


Рис. 4.9. Эпюры по физическим составляющим силам резания. Сталь 40X – Т15К6, $\gamma = +15^\circ$, $s = 0,07$ мм/об, $F_{\text{эксн}} = 341$ Н, $N_{\text{эксн}} = 335$ Н.

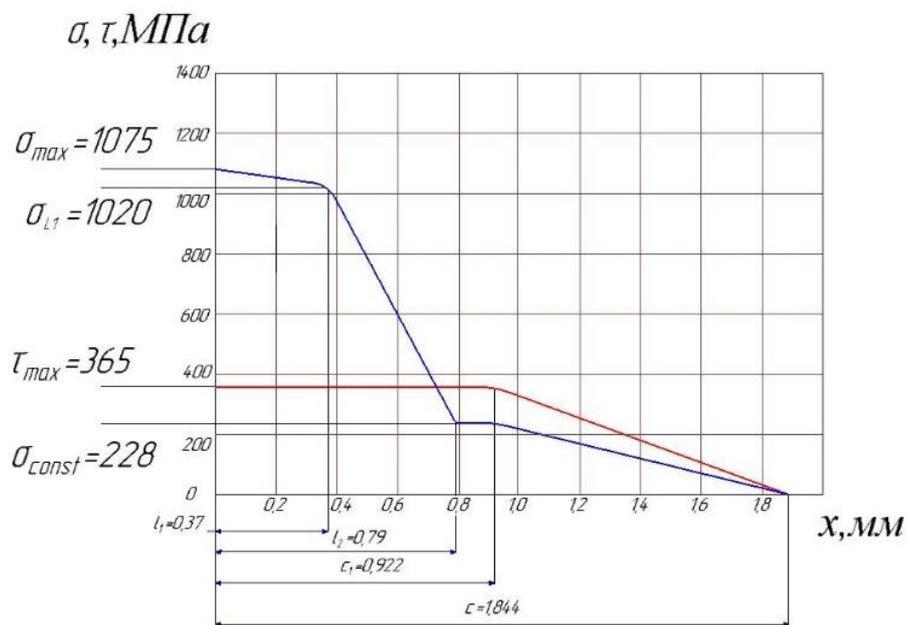


Рис. 4.10. Эпюра по физическим составляющим силам резания Сталь 40X – Т15К6, $\gamma = +7^\circ$, $s = 0,52$ мм/об, $F = 1425$ Н, $N = 2214$ Н

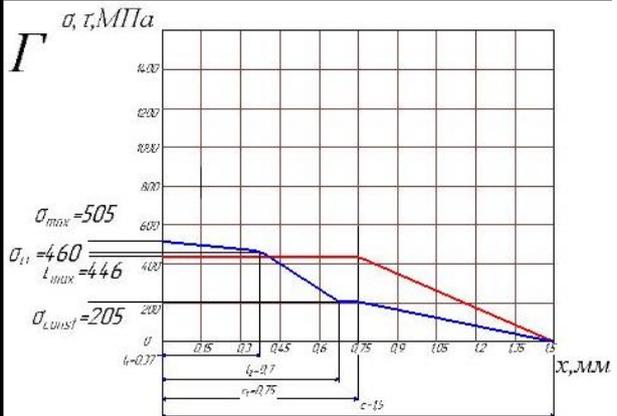
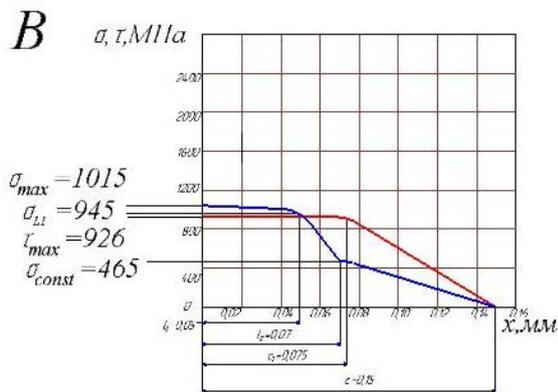
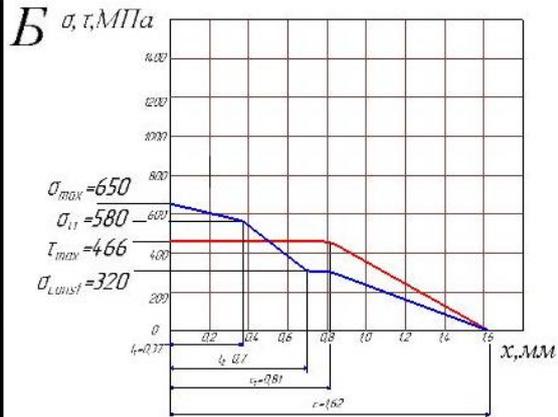
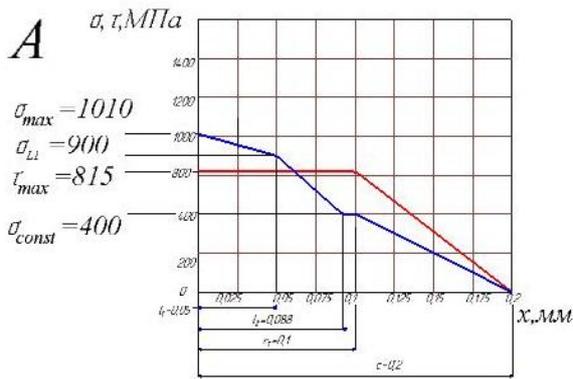


Рис. 4.11. Эпюры по физическим составляющим сил резания.
 Сталь 40Х – Т15К6, $t=1,99$ мм,
А - при $\gamma = +25^\circ$, $s=0,07$ мм/об; **Б** - при $\gamma = +25^\circ$, $s=0,52$ мм/об;
В - при $\gamma = +35^\circ$, $s=0,07$ мм/об; **Г** - при $\gamma = +35^\circ$, $s=0,52$ мм/об

4.4. Определение параметров эюр контактных напряжений

Для облегчения построения эюр контактных напряжений и анализа влияния переднего угла и толщины среза на эюры контактных напряжений были построены графики влияния толщины среза a на основные параметры эюр (рис. 4.12 – 4.15).

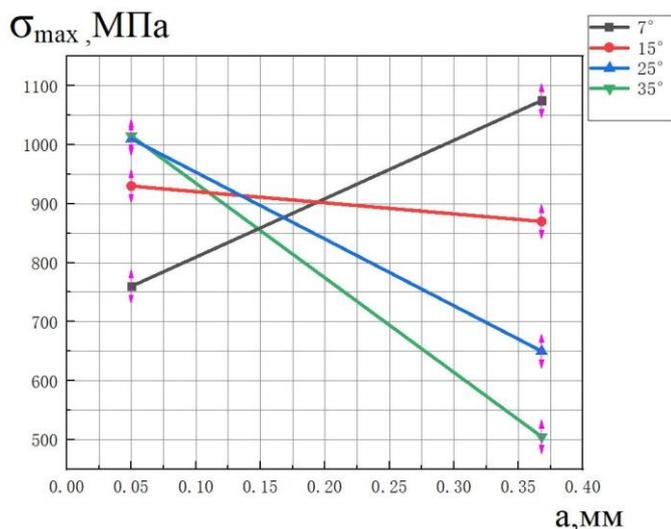


Рис. 4.12. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) на наибольшую величину нормального контактного напряжения σ_{max} (МПа) у режущей кромки на эюре нормальной физической составляющей силы резания N (Н) на передней поверхности. Сталь 40Х-Т15К6, $t=1,99$ мм.

Для $\gamma=7^\circ$: $\sigma_{max}=990,6a+710,5$ [МПа]; Для $\gamma=15^\circ$: $\sigma_{max}=-188,7a+939,4$ [МПа]
 Для $\gamma=25^\circ$: $\sigma_{max}=-1132,1a+1066,6$ [МПа]; Для $\gamma=35^\circ$: $\sigma_{max}=-1603,8a+1095,2$ [МПа]

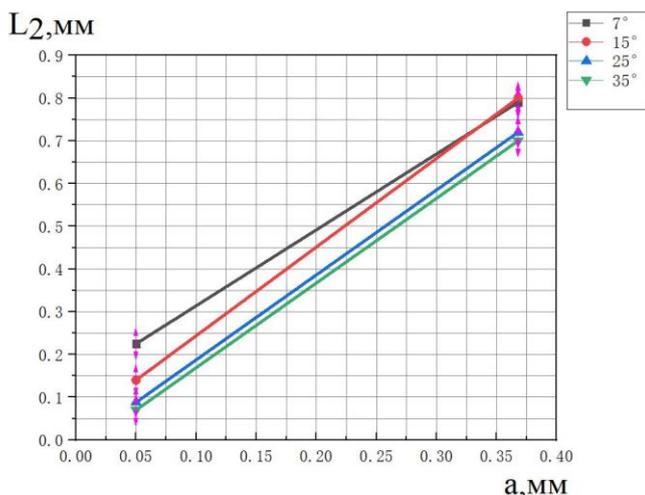


Рис. 4.13. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) на расстояние L_2 (мм) от режущей кромки до точки, где у эюры нормальных контактных напряжений σ начинается горизонтальный участок. Сталь 40Х-Т15К6, $t=1,99$ мм.

Для $\gamma=7^\circ$ $L_2=1,78a+0,136$ [мм]; для $\gamma=15^\circ$ $L_2=2,08a+0,036$ [мм];
 для $\gamma=25^\circ$ $L_2=1,987a-0,0114$ [мм]; для $\gamma=35^\circ$ $L_2=1,981a-0,029$ [мм]

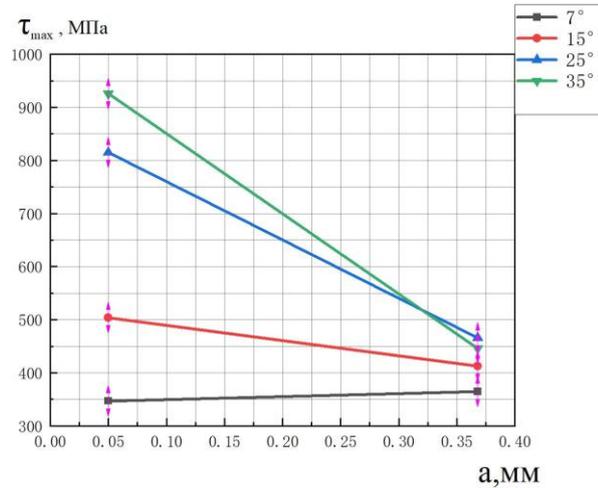


Рис. 4.14. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^{\circ}$) на наибольшую величину касательного контактного напряжения τ_{max} (МПа) у режущей кромки.
Сталь 40Х-Т15К6.

Для $\gamma=7^{\circ}$: $\tau_{max}=56.6a+344.2$ [МПа]; для $\gamma=15^{\circ}$: $\tau_{max}=-286,16a+518,3$ [МПа]
для $\gamma=25^{\circ}$: $\tau_{max}=-1097,48a+869,87$ [МПа]; для $\gamma=35^{\circ}$: $\tau_{max}=-1509,43a+1001,47$ [МПа]

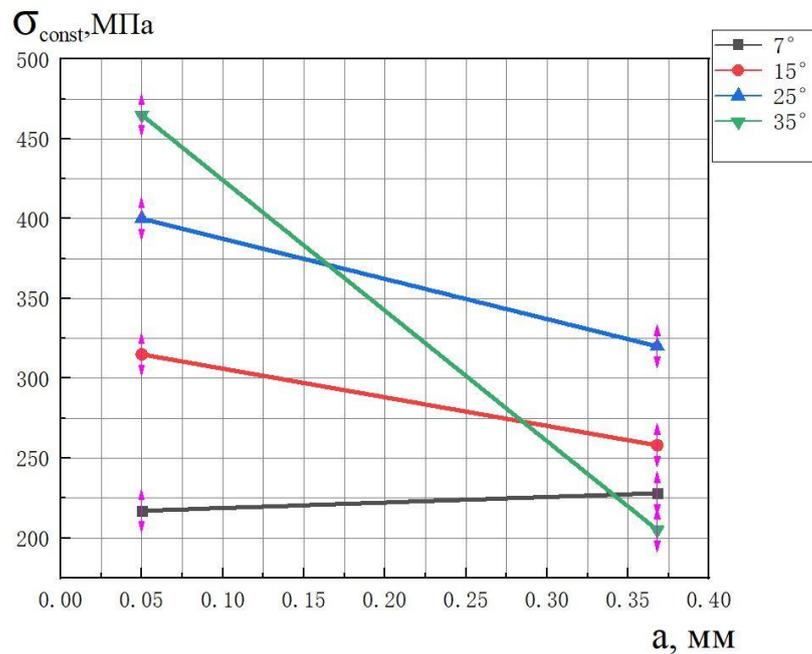


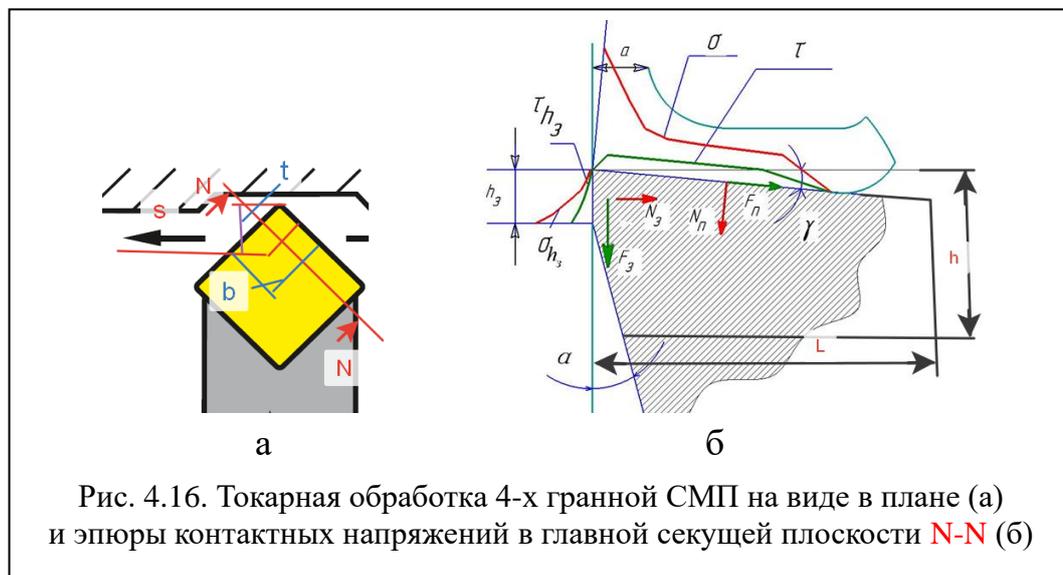
Рис. 4.15. Влияние толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^{\circ}$) на величину нормального контактного напряжения σ_{const} (МПа) на горизонтальном участке эпюры σ .
Сталь 40Х-Т15К6.

Для $\gamma=7^{\circ}$: $\sigma_{const}=34,59a+215,27$ [МПа]; для $\gamma=15^{\circ}$: $\sigma_{const}=-179,25a+323,96$ [МПа];
для $\gamma=25^{\circ}$: $\sigma_{const}=-251,57a+412,58$ [МПа]; для $\gamma=35^{\circ}$: $\sigma_{const}=-817,61a+505,88$ [МПа]

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

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

При рассмотрении нагружения СМП в главной секущей плоскости оперируют обычно осью OZ и дополнительной осью, проходящей в главной секущей плоскости параллельно основной плоскости. При этом часто принимается, что составляющая сила резания $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ проходит в этой главной секущей плоскости N-N или в секущей плоскости $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$, приблизительно совпадающей с N-N.



В главной секущей плоскости определяется (измеряется) главный передний угол γ . Если секущая плоскость $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$ не совпадает N-N, то передний угол γ^* в ней не будет равен γ , т.е. $\gamma^* \neq \gamma$. Т.к. погрешность $\Delta_\gamma = (\gamma - \gamma^*) \times 100\%$ не превышает обычно 10 %, то можно рассматривать силовое воздействие на резец в плоскости $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$, считая, что $\gamma^* \approx \gamma$.

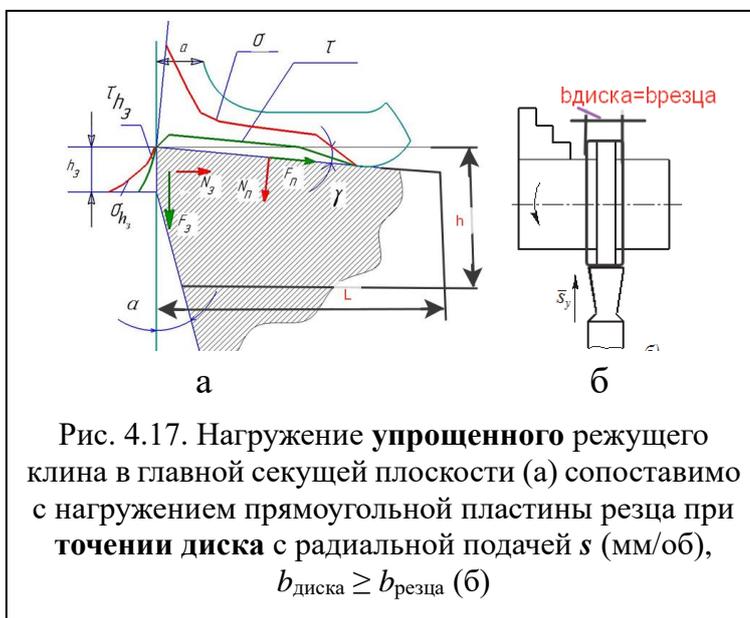
В этом случае для нагружения СМП внешними нагрузками можно

использовать все полученные эпюры при соответствующем переднем угле γ . Для упрощения описания дальнейших рассуждений вместо символа силы P_{xy} будем в дальнейшем использовать символ P'_y , т.е. $P'_y = P_{xy}$, а вместо обозначения дополнительной оси OXY писать «ось OY' ».

При таком небольшом допущении для расчёта **упрощенного** режущего клина в сечении $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$ по программе ANSYS необходимо задавать нагрузку на каждом ограниченном участке поверхности контакта стружки с передней поверхностью инструмента в направлении технологических осей OZ и OY' . НДС **упрощенного** режущего клина в сечении $N_{P_{xy}} - N_{P_{xy}}$ сопоставимо с НДС резца при прямоугольном свободном

резании (рис. 4.17 б).

Размеры **h** и **L** (рис. 4.17 а) устанавливаются при ограничении зоны расчёта НДС для уменьшения вероятности сбоя работы программы ANSYS при использовании компьютера недостаточной мощности.



При приложении внешней нагрузки в программе ANSYS переднюю поверхность модели режущего инструмента разбиваем на небольшие участки длиной $L_{\pi i} = 0,05-0,1$ мм и шириной b , равной ширине контакта стружки с передней поверхностью (рис. 4.18). На каждом i -том участке по эпюрам контактных напряжений определяем физические силы N_i и F_i , которые прикладываем к соответствующему i -тому участку.

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

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

τ_{icp} - среднее контактное касательное напряжение на участке $L_{\pi i}$.

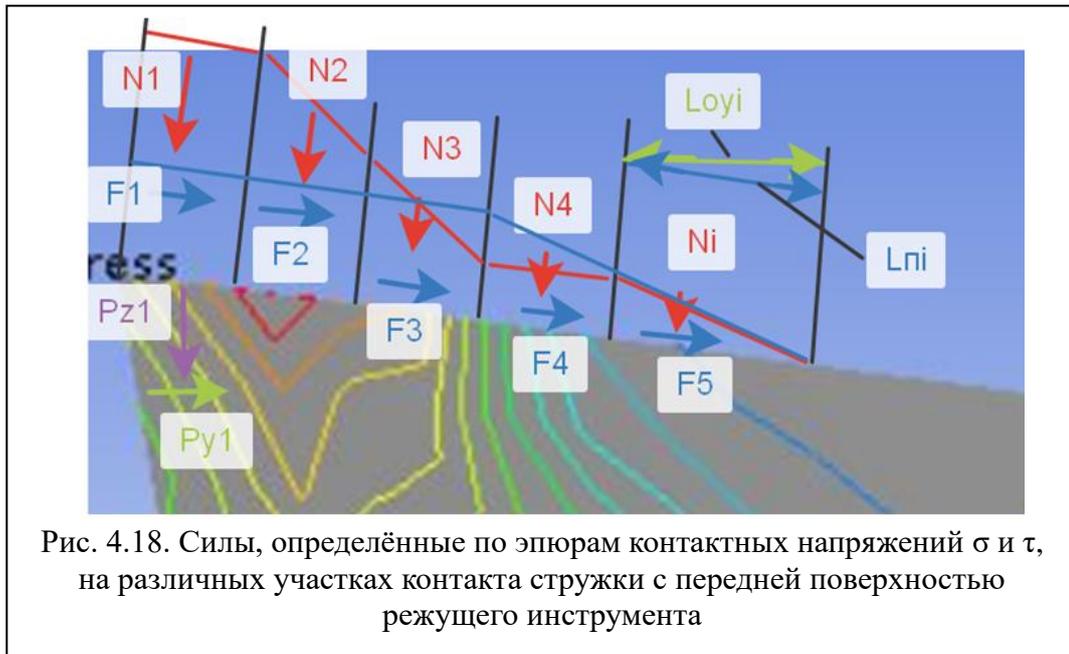


Рис. 4.18. Силы, определённые по эпюрам контактных напряжений σ и τ , на различных участках контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента

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

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

и записываются в таблицу 4.2.

Результирующие $P_{z i}$ и $P_{y i}$ этих технологических составляющих прикладываются на передней поверхности режущего инструмента к рассматриваемому участку i длиной L_{pi} :

$$P_{z i} = P_{z N_i} + P_{z F_i}; \quad P_{y i} = P_{y F_i} - P_{y N_i}.$$

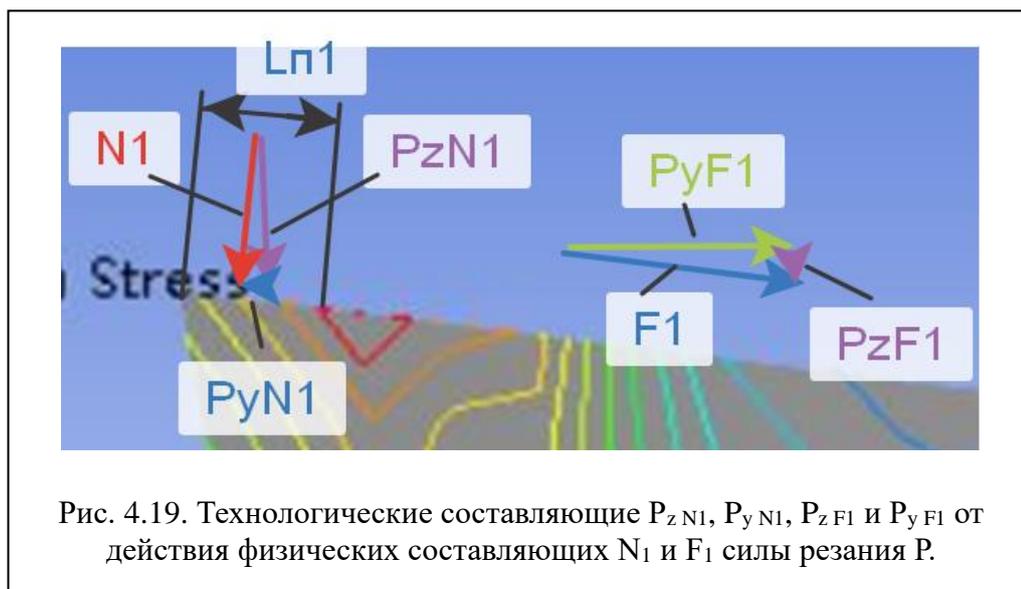
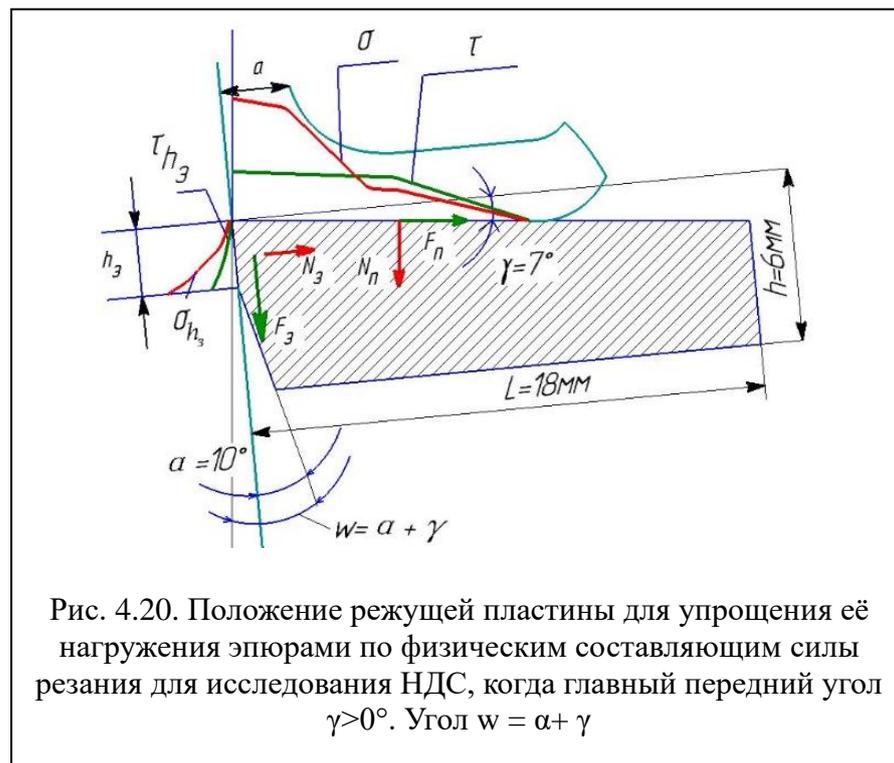


Таблица 4.2 – Составляющие силы резания при расчёте НДС резца с шириной $b=5,64$ мм ($\gamma=7^\circ$, $s = 0,07$ мм ($a=0,05$ мм), $c=0,46$ мм, сталь 40X - Т15К6)

№ участка от режущей кромки	Длина уч-ка L_{ni} , мм	σ_i , МПа	N_i , Н	P_{zN_i} , Н	P_{yN_i} , Н	τ_i , МПа	F_i , Н	P_{yF_i} , Н	P_{zF_i} , Н	P_{z_i} , Н	P_{y_i} , Н
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
1	0-0,05	735	207	205	25	347	98	97	12	217	72
2	0,05-0,1	638	180	179	22	347	98	97	12	191	75
3	0,1-0,15	498	140	139	17	347	98	97	12	151	80
4	0,15-0,2	357	101	100	12	347	98	97	12	112	85
5	0,2-0,25	242	68	67,5	8	347	98	97	12	79,5	89
6	0,25-0,3	175	49	48,63	6	287	81	80	9,7	58,3	74
7	0,3-0,35	127	36	35,73	4	204	58	57,6	7	42,7	53,6
8	0,35-0,4	80	23	22,83	3	128	36	35,7	4,4	27	32,7
9	0,4-0,46	29	10	9,93	1,2	45	13	12,9	1,6	11,5	11,7
<i>i</i>											

Для уменьшения трудоёмкости подготовки к нагружению модели внешними нагрузками было предложено перед нагружением поворачивать модель так, чтобы передняя поверхность была горизонтальна, т.е. как бы передний угол γ равен нулю ($\gamma^*=0^\circ$)

(рис. 4.20). Это избавит от необходимости пересчитывать распределение физических составляющих сил резания в технологические. При этом новый «задний» угол w будет равен сумме α и γ ($w = \alpha + \gamma$). Для проверки правомерности такого преобразования был выполнен расчёт НДС по прежней традиционной схеме расположения модели реза и по новой предложенной (рис. 4.20).



5. Исследование НДС режущего клина с помощью программы ANSYS

Перед расчётом НДС необходимо создать модель резца (рис. 5.1), задать свойства материала модели резца (рис. 5.2), задать (приложить) внешние нагрузки (рис. 5.3).

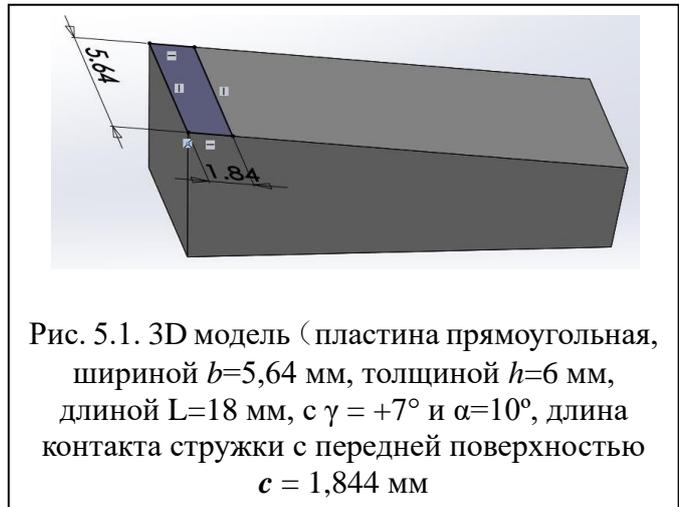


Рис. 5.1. 3D модель (пластина прямоугольная, шириной $b=5,64$ мм, толщиной $h=6$ мм, длиной $L=18$ мм, с $\gamma = +7^\circ$ и $\alpha=10^\circ$, длина контакта стружки с передней поверхностью $c = 1,844$ мм)

Properties of Outline Row 4: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	11.5	g cm ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisso...		
8	Young's Modulus	5.25E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0.29		
10	Bulk Modulus	4.1667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	2.0349E+11	Pa	

Рис. 5.2. Свойства сплава Т15К6 при задании инструментального материала в ANSYS

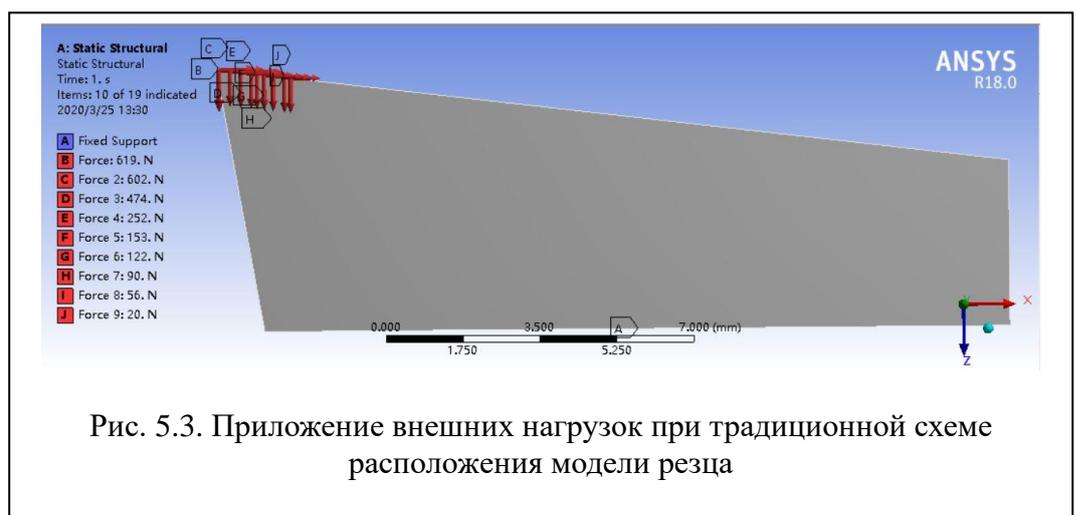
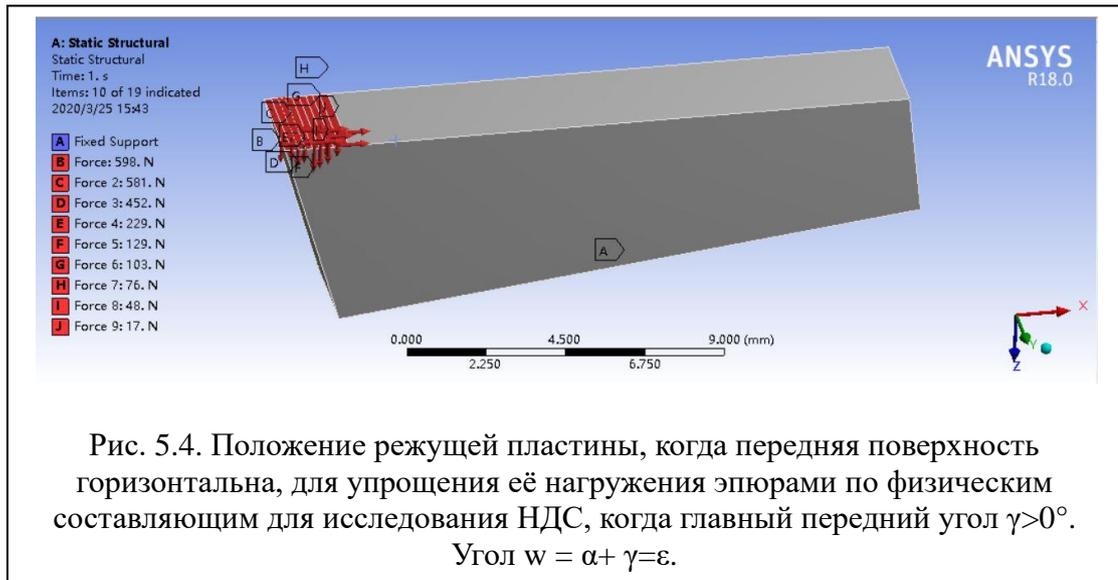
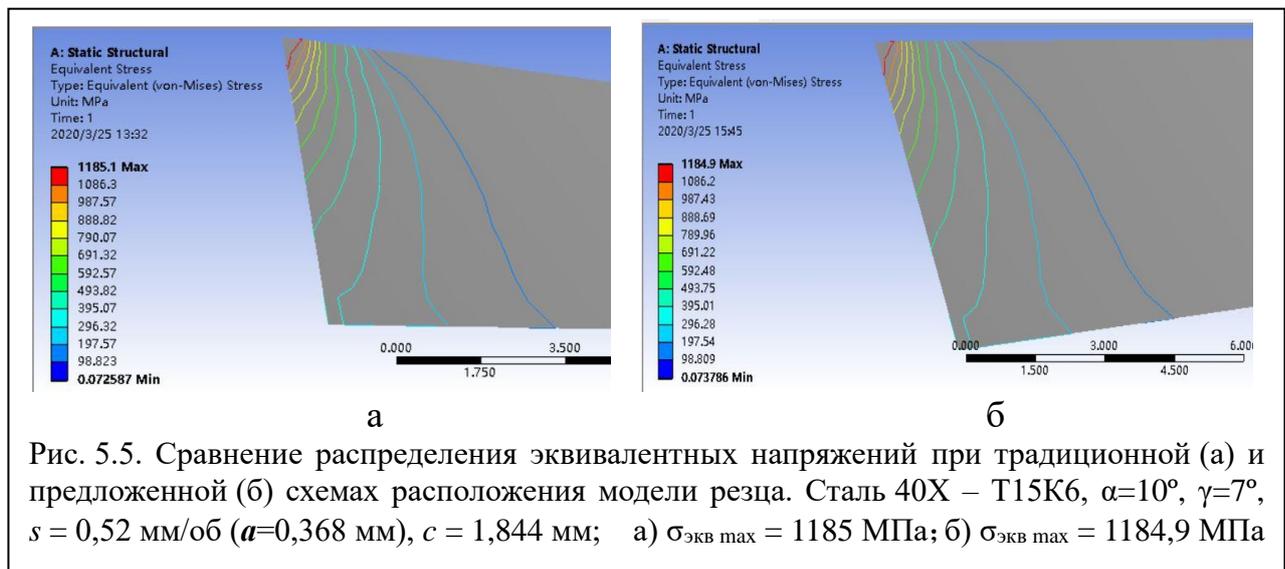


Рис. 5.3. Приложение внешних нагрузок при традиционной схеме расположения модели резца



Сравнение НДС, рассчитанное по традиционной и предложенной схеме расположения модели резца, показало одинаковое распределение эквивалентных напряжений (рис. 5.5).

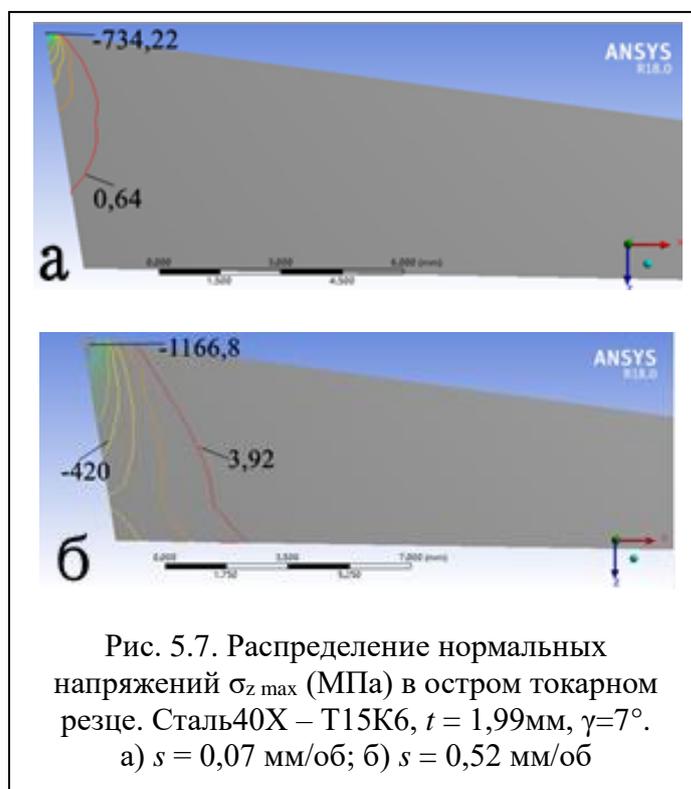
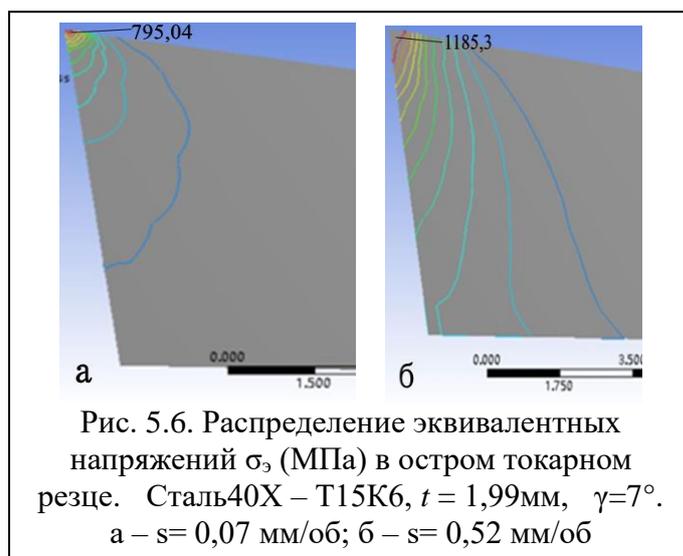


Предложенная схема расположения модели резца избавит от необходимости пересчитывать распределение физических составляющих в технологические при нагружении модели режущего инструмента внешними нагрузками.

Расчёт внутренних напряжений в упрощенном режущем клине (см. рис. 4.17 а) выполнялся с использованием программного обеспечения ANSYS. При переднем угле $\gamma = +7^\circ$ и подаче $s = 0,07$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв max}} = 795$ МПа (рис. 5.6 а), а наибольшие напряжения вдоль оси OZ равны $\sigma_{z \text{ max}} = 734$ МПа (рис. 5.7 а).

При подаче $s = 0,52$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения увеличиваются приблизительно в 1,5 раза, до $\sigma_{\text{экв max}} = 1185$ МПа (рис. 5.6 б), наибольшие напряжения вдоль оси OZ увеличиваются приблизительно в 1,6 раза, до $\sigma_{z \text{ max}} = 1166$ МПа (рис. 5.7 б).

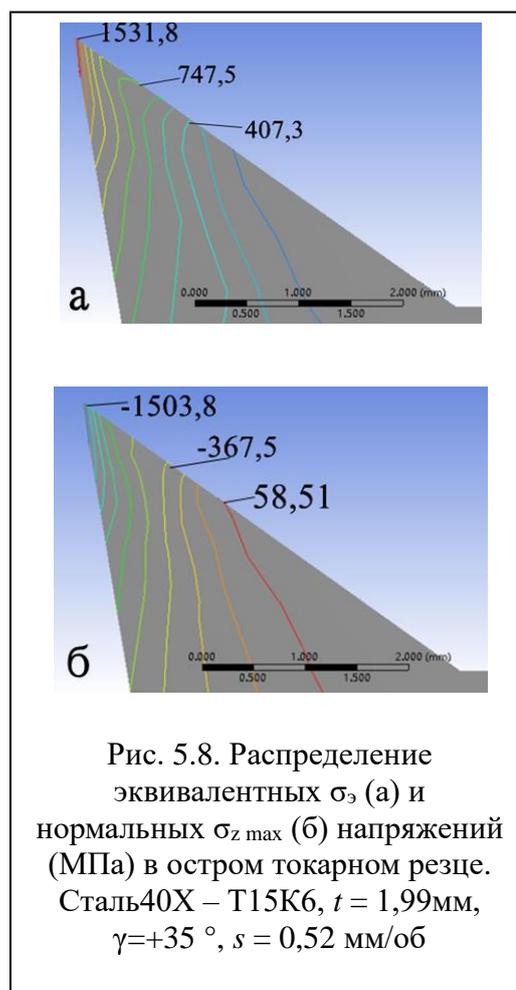
При увеличении переднего угла до $\gamma = +35^\circ$ и применении подачи $s = 0,52$ мм/об (толщина среза $a = 0,368$ мм, длина контакта стружки $c = 1,5$ мм) наибольшие эквивалентные напряжения увеличиваются несущественно для такого большого переднего угла – приблизительно в 1,3 раза, до $\sigma_{\text{экв max}} = 1531$ МПа (Рис.5.8 а). То же самое происходит и с наибольшими напряжениями вдоль оси OZ: $\sigma_{z \text{ max}} = 1503$ МПа.



Этот с виду парадоксальный результат расчётов объясняется нами существенным **уменьшением нормальной силы N** на передней поверхности при увеличении переднего угла γ (см. уравнение $N = N_{P_z} - N_{P_{xy}} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma$), которая наиболее существенно влияет на прочность режущего клина из-за её направления.

Анализ результатов расчётов НДС резца показывает, что при создании твёрдосплавного материала достаточно высокой прочности можно обрабатывать сталь даже при очень большом переднем угле (около $+35^\circ$). Предел прочности на изгиб такого материала должен быть больше 1900 МПа.

Твёрдые сплавы с размером зёрен более 1 мкм имеют прочность на изгиб $\sigma_{и} = 900 \dots 1600$ МПа и в 2...3 раза уступают быстрорежущим сталям. Но особо мелкозернистые твердые сплавы (размер зерна менее 0,1-0,05 мкм) имеют прочность на изгиб $\sigma_{и} = 2000 \dots 3500$ МПа, поэтому рекомендуется их использовать при изготовлении режущих инструментов с большим передним углом.



6. Исследования НДС неизношенных СМП торцовых фрез

Режим резания легированной стали 40Х фрезой со сменной многогранной пластиной (СМП) из твёрдого сплава без покрытия Н10 (обозначение марки твёрдого сплава по международному стандарту, используемому на Кировоградском заводе твёрдых сплавов, – легированный среднезернистый сплав Т15К6) при получистовом и черновом точении ($s=0,3 - 0,5$ мм/об, $t=1,5-4$ мм, $v \approx 180$ м/мин), диапазон твёрдости обрабатываемой стали по Бринеллю от 180 до 350 НВ.

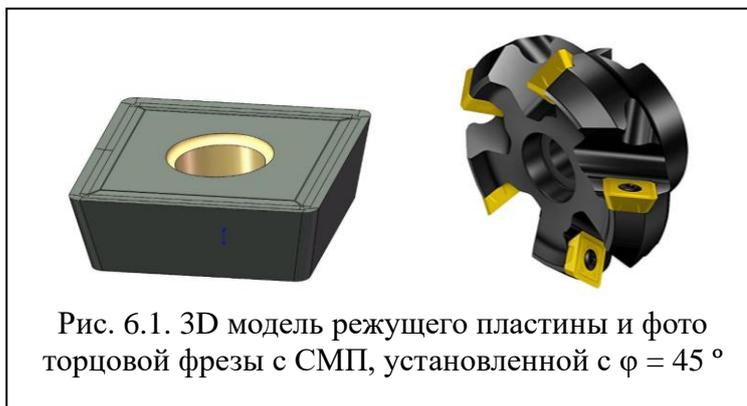


Рис. 6.1. 3D модель режущей пластины и фото торцовой фрезы с СМП, установленной с $\varphi = 45^\circ$

Для расчёта НДС была использована упрощённая модель СМП, у которой внешние связи были наложены не на всю пластину, а на её часть, как бы на вырезку из исследуемой СМП (рис. 6.2) для уменьшения объёма выполняемых расчётов. Это позволило при той же мощности компьютера уменьшить размер сетки и, следовательно, увеличить точность расчётов в области режущей кромки. Использование такого решения для твёрдых сплавов с большим модулем упругости Юнга $E = 5,2$ МПа не вызывает существенного изменения результатов расчёта НДС, т.к. на удаление более 5 мм от места приложения внешней нагрузки у режущей кромки в деформация твёрдого сплава практически отсутствует [1, 2]. Это подтвердили и наши расчёты (см. рис. далее).



Рис. 6.2. Упрощение режущей пластины (вырезка из СМП) для модели СМП торцовых фрез: $b = 5,64$ мм, $L = 12,7$ мм, толщина СМП $h = 6$ мм, $\gamma = +7^\circ \dots +35^\circ$

Перед приложением сил на рабочие части нам нужно закрепить пластину (наложить внешние связи) с помощью программы ANSYS (рис. 6.3).

ANSYS Meshing — это универсальный сеточный генератор, интегрированный в расчетную среду ANSYS Workbench и позволяющий создавать конечно-элементную сетку автоматически или с участием пользователя. Размер сетки этой модели был первоначально установлен 0,2 мм, затем уменьшен для увеличения точности расчётов (рис. 6.4).

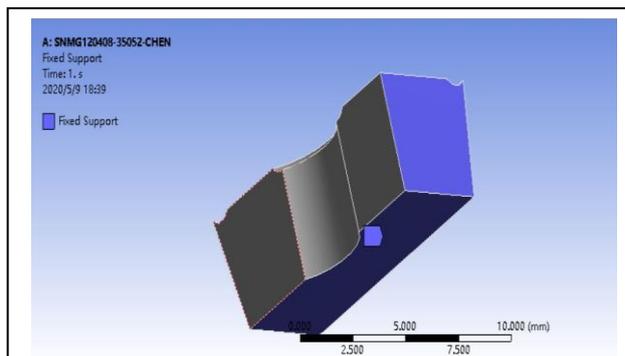


Рис. 6.3. Закрепление режущей пластины

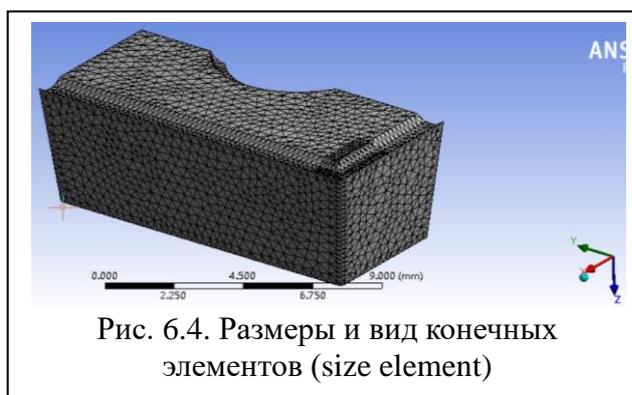


Рис. 6.4. Размеры и вид конечных элементов (size element)

Пример приложения внешней нагрузки (составляющих сил на передней поверхности) приведен на рис. 6.5.

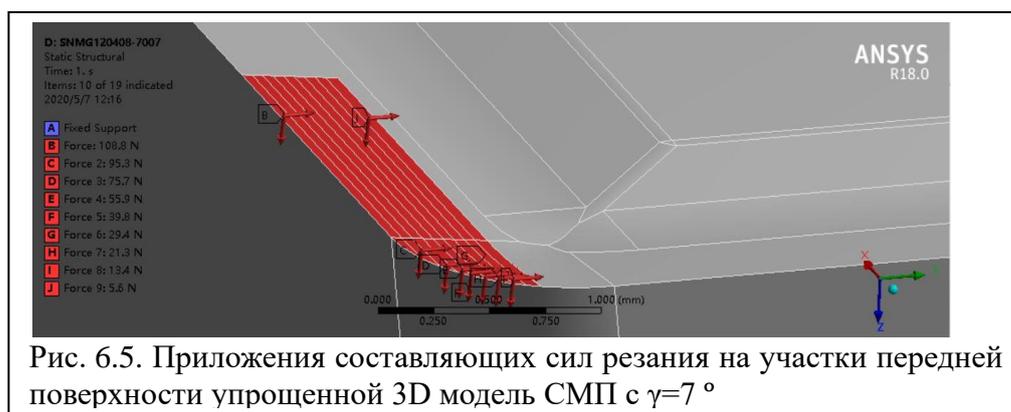
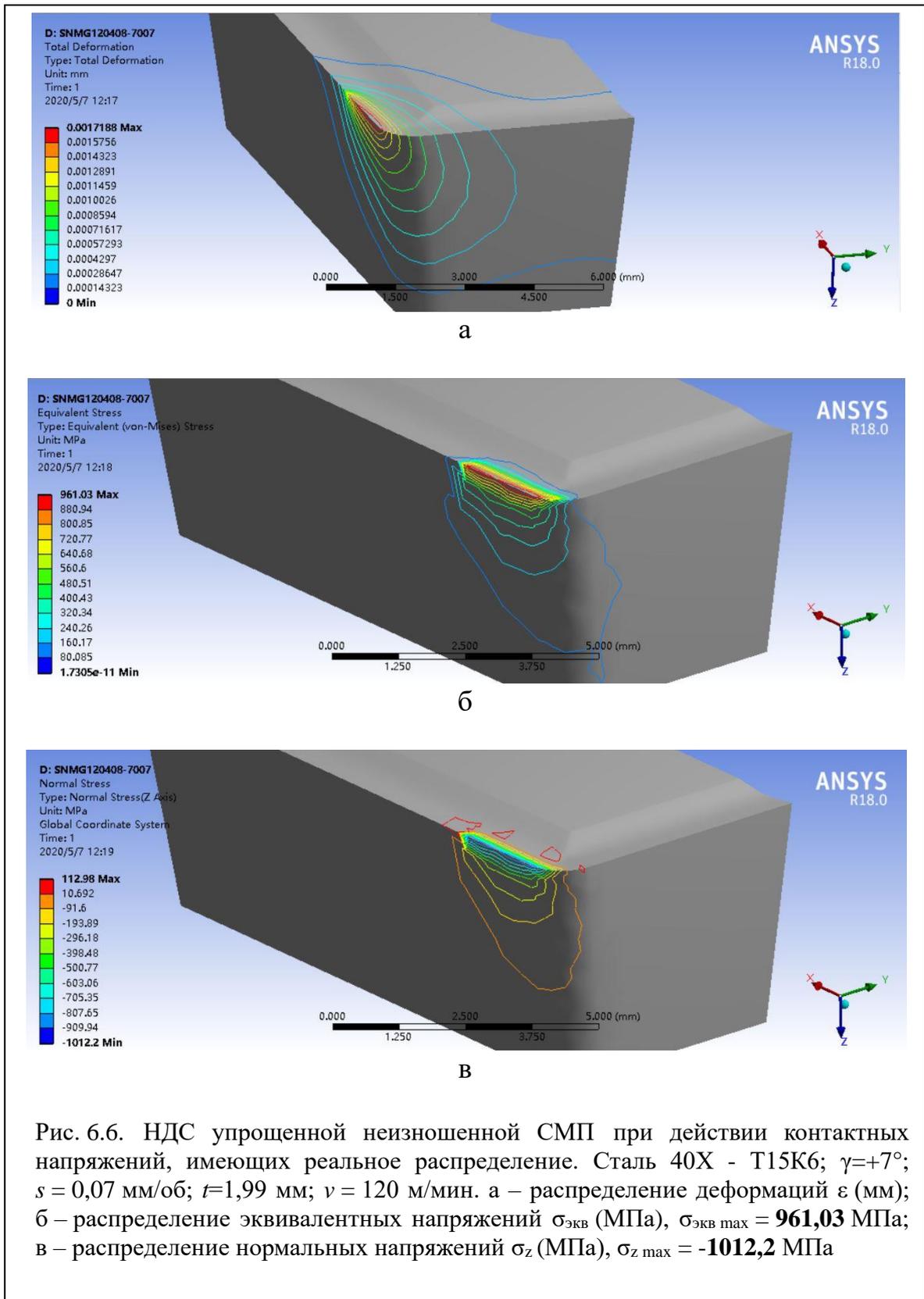
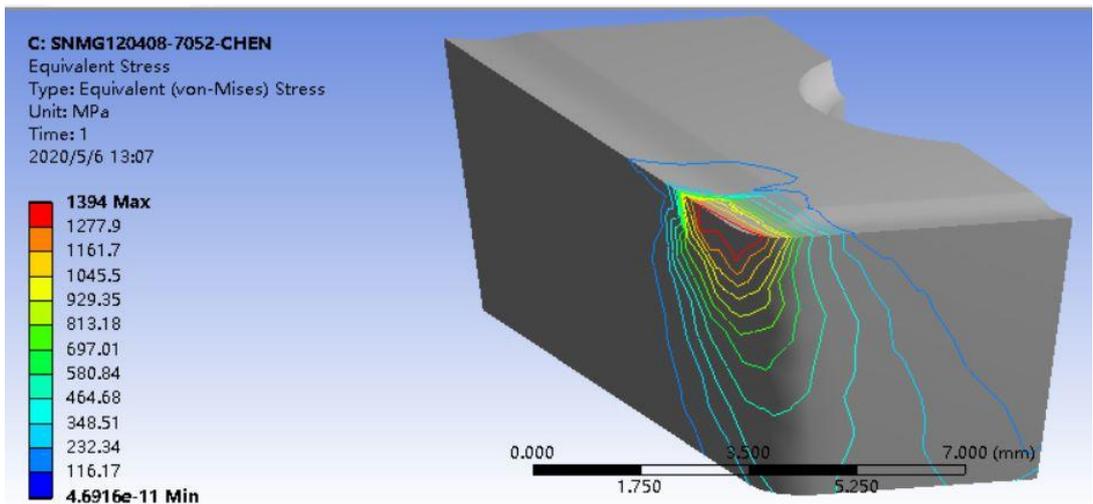


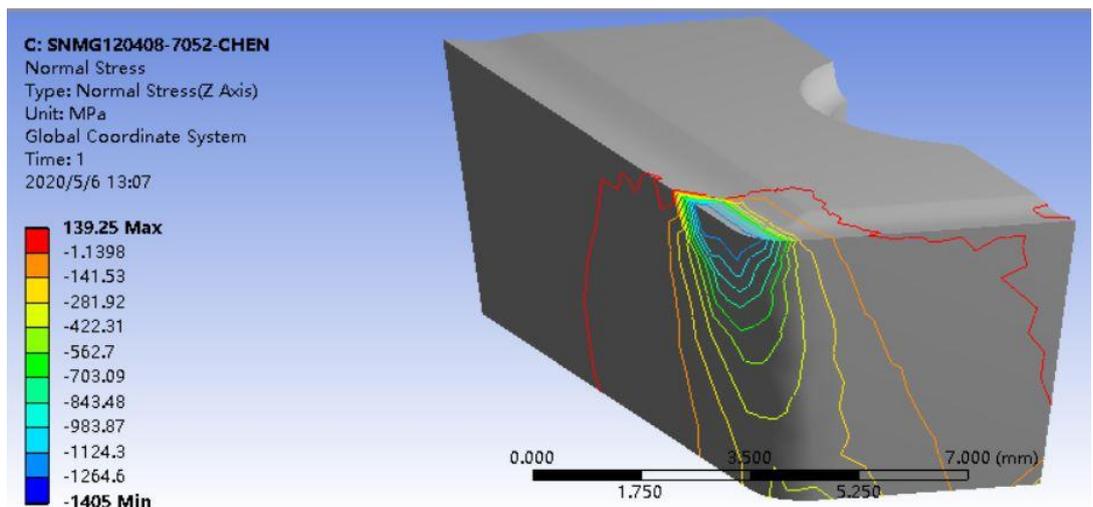
Рис. 6.5. Приложения составляющих сил резания на участки передней поверхности упрощенной 3D модель СМП с $\gamma=7^\circ$

Некоторые результаты расчёта НДС острых СМП (без признаков износа) представлен на рис. 6.6 – 6.8.





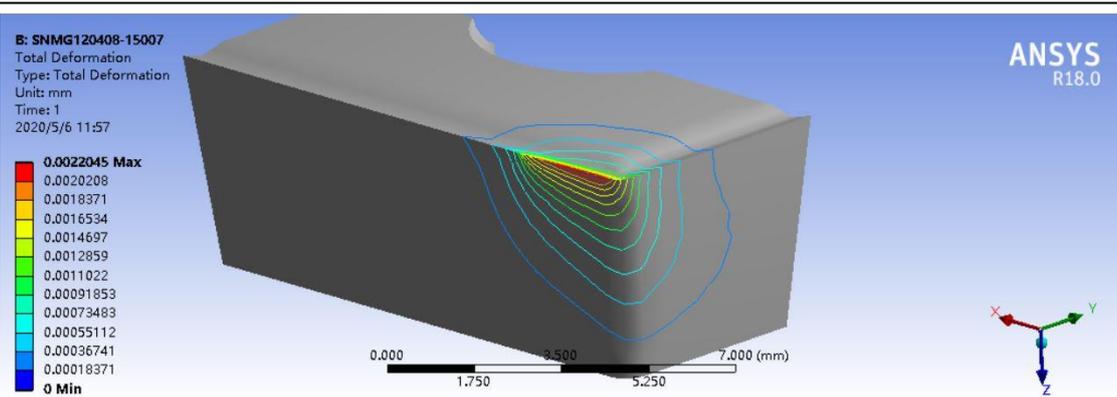
а



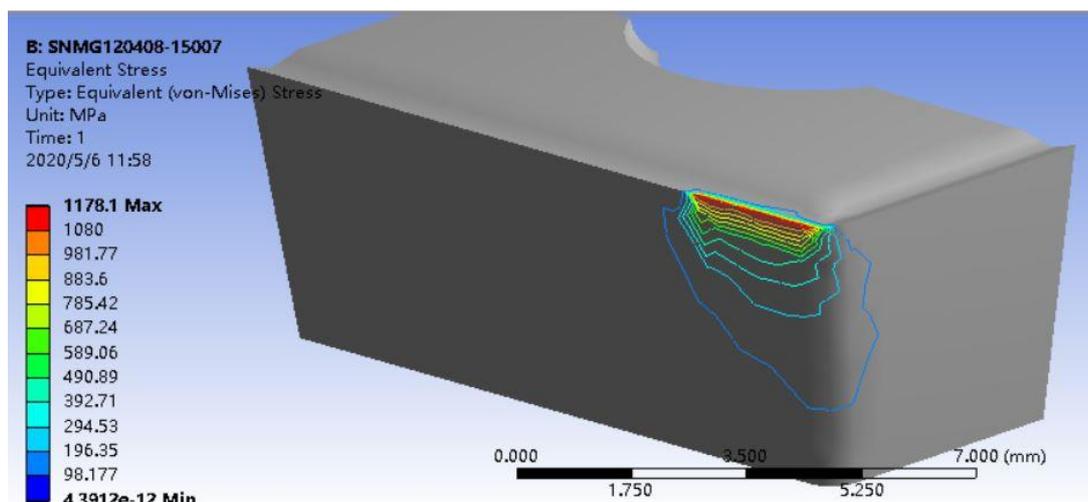
б

Рис. 6.7. НДС упрощенной неизношенной СМП при действии контактных напряжений, имеющих реальное распределение. Сталь 40Х - Т15К6; $\gamma=+7^\circ$; $s = 0,52$ мм/об; $t=1,99$ мм; $v = 120$ м/мин. а – распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа), $\sigma_{\text{экв max}} = 1394$ МПа; б – распределение нормальных напряжений σ_z (МПа), $\sigma_{z \text{ max}} = -1405$ МПа

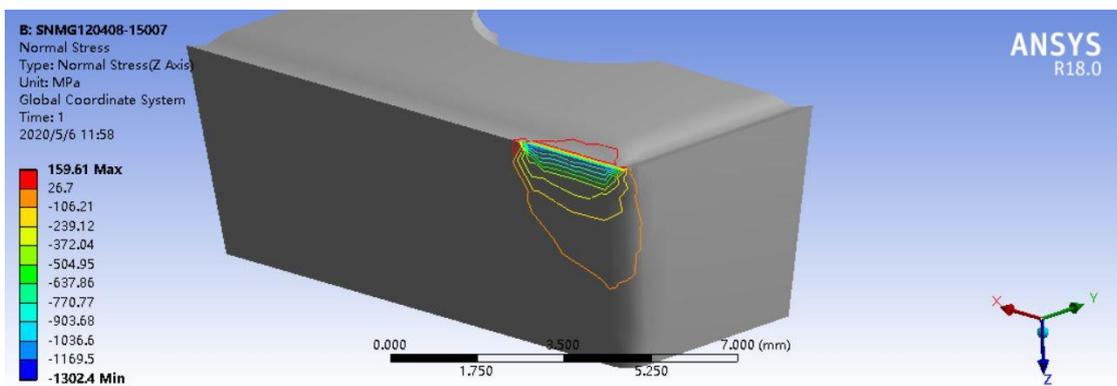
Расчёты показали, что у СМП с $\gamma=+7^\circ$ при увеличении подачи с 0,05 мм/об до 0,52 мм/об наибольшие внутренние напряжения увеличиваются почти в 1,5 раза и приближаются к предельно допустимым на изгиб (рис. 6.7). Увеличение переднего угла с 7° до 15° при подаче $s = 0,07$ мм/об приводит к увеличению $\sigma_{\text{экв max}}$ в 1,2 раза (см. рис. 6.8).



a



б



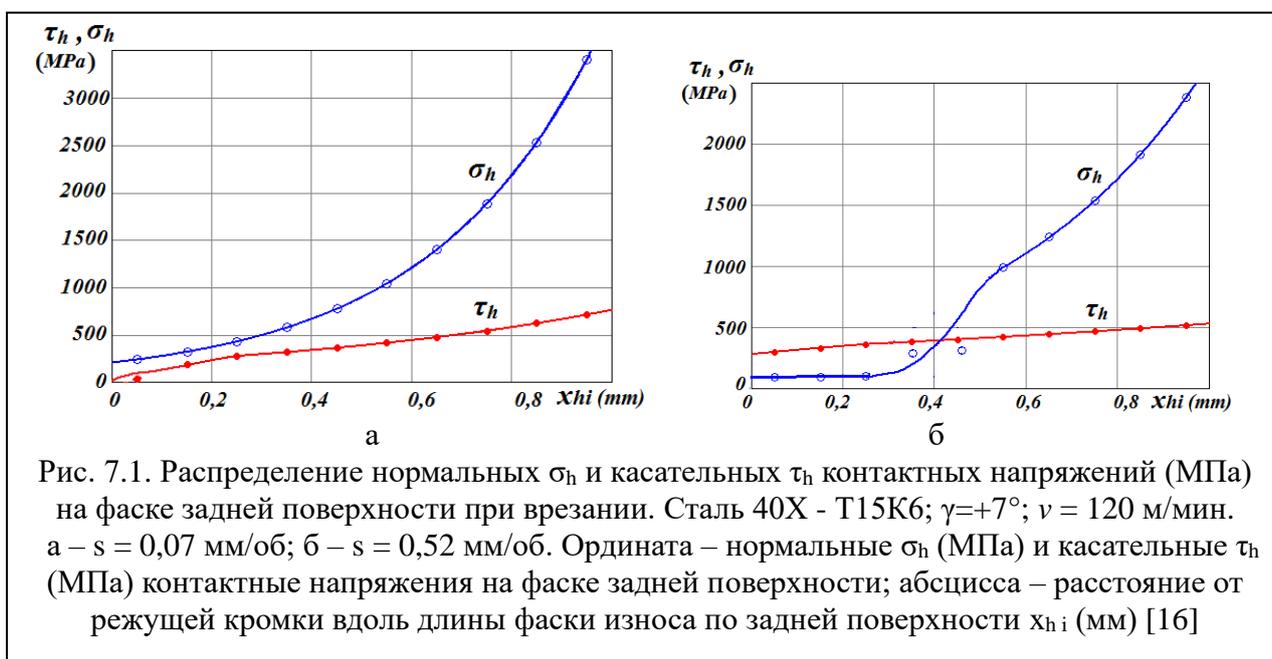
в

Рис. 6.8. НДС упрощенной неизношенной СМП при действии контактных напряжений, имеющих реальное распределение. Сталь 40X - Т15К6; $\gamma=+15^\circ$; $s = 0,07$ мм/об; $t=1,99$ мм; $v = 120$ м/мин. а – распределение деформаций ε (мм); б – распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа), $\sigma_{\text{экв max}} = 1178,1$ МПа; в – распределение нормальных напряжений σ_z (МПа), $\sigma_{z \text{ max}} = -1302,4$ МПа

7. Исследования НДС СМП с фаской по задней поверхности

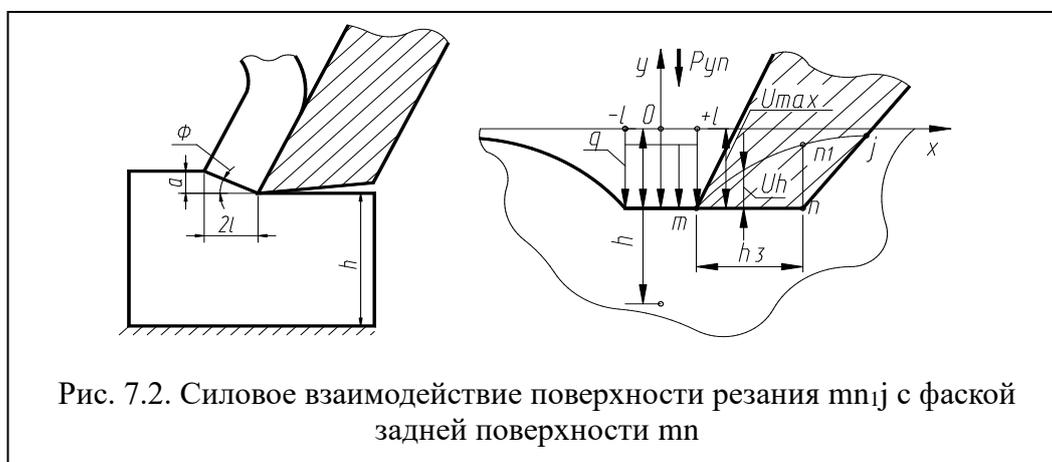
В процессе резания у режущих инструментов появляется износ. Наиболее интенсивно он происходит на задней поверхности в виде фаски длиной h_z (мм), увеличение которой больше $h_{z \text{ критич}}$ приводит к разрушению режущего клина. Как правило, при длине фаски износа менее 0,7-0,9 мм задний угол на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

Исследования распределения контактных напряжений на искусственной фаске задней поверхности с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$ показали, что при обработке стали у режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются. Особо опасное состояние появляется при врезании, когда силы на задней поверхности быстро увеличиваются до появления стружки (рис. 7.2).



Это объясняется тем, что на передней поверхности инструмента даже во время только формирования стружки действует радиальная составляющая сила P_y (рис. 7.2), которая оказывает давление на

поверхность резания (перпендикулярно поверхности среза), тем самым способствуя появлению прогиба mn_1j этой поверхности. Из-за наличия прогиба поверхность резания mn_1j , контактирующая с поверхностью фаски задней поверхности на участке mn , оказывает небольшое силовое воздействие непосредственно у режущей кромки, поэтому на этом участке контактные напряжения малы. При отдалении от режущей кромки происходит упругое восстановление прогиба поверхности резания, силовое воздействие увеличивается, поэтому контактные напряжения возрастают.



Для оценки влияния длины фаски на задней поверхности на НДС СМП было предложено рассчитать НДС СМП с фаской износа по задней поверхности, т.е. создать новые модели СМП с фаской $h_3 = 0,2$ мм, 0,5 мм, 0,7 мм и 0,9 мм. Эти 4 фаски необходимо использовать для того, чтобы потом построить графики с более точным характером. Если построить по двум точкам, например, $h_3 = 0,2$ мм (мало изношенный режущий клин) и 0,9 мм (сильно изношенный), то характер зависимости напряжений в СМП от длины фаски h_3 выявлен не будет.

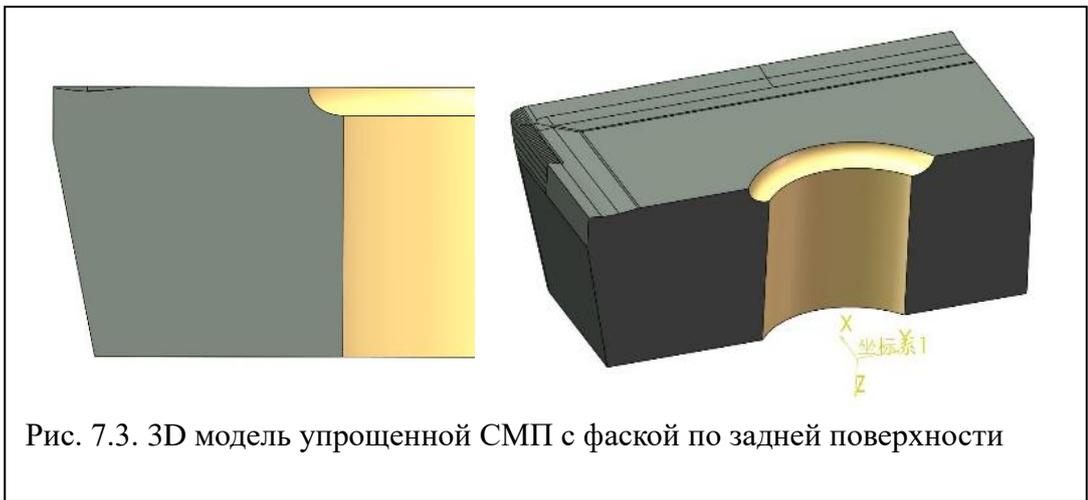


Рис. 7.3. 3D модель упрощенной СМП с фаской по задней поверхности

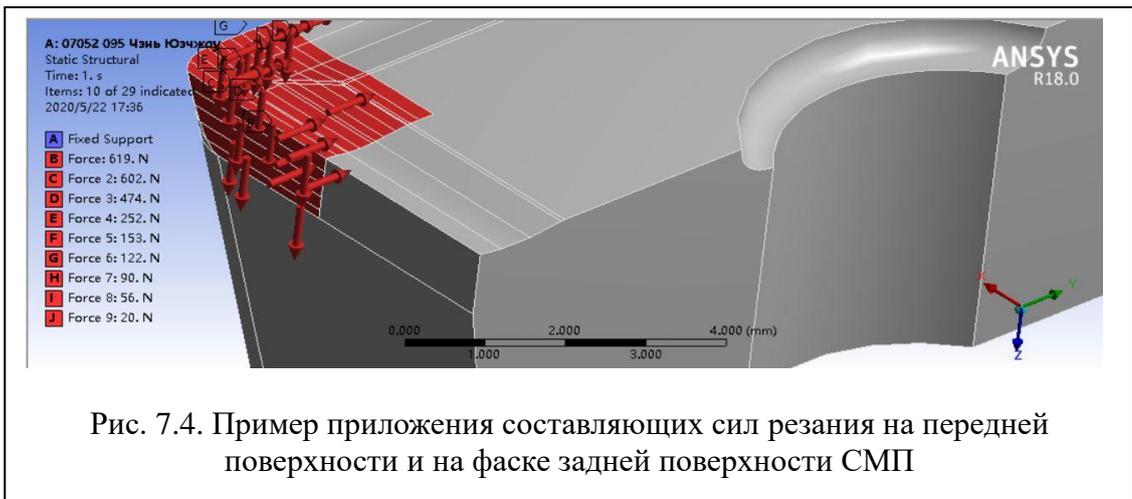
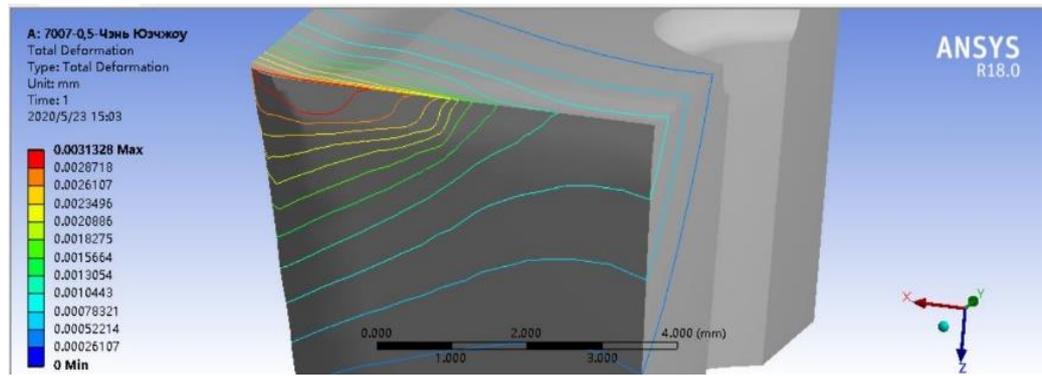
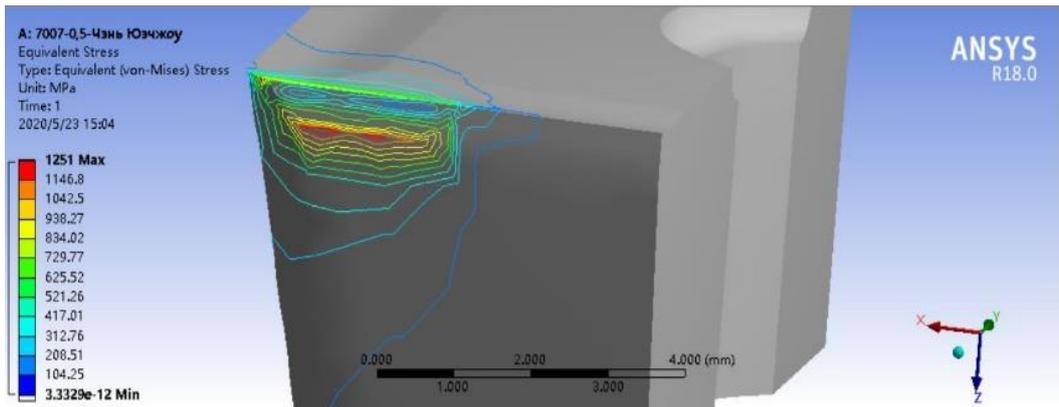


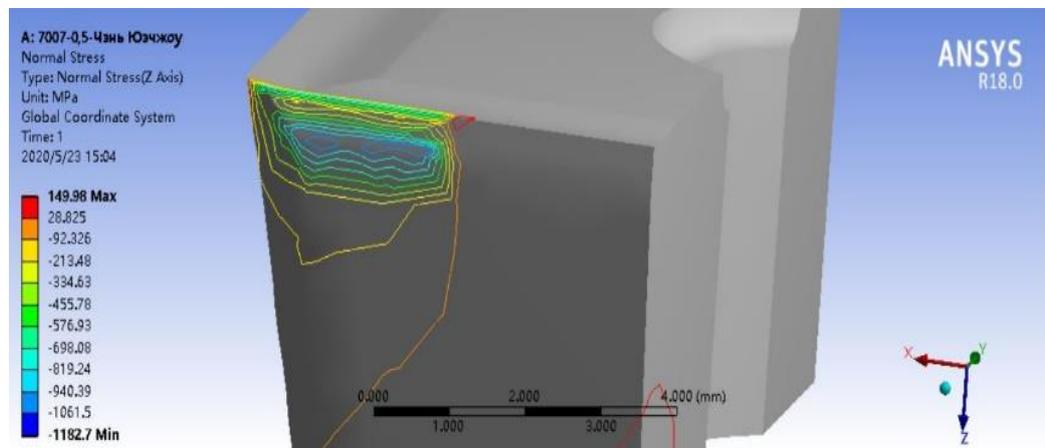
Рис. 7.4. Пример приложения составляющих сил резания на передней поверхности и на фаске задней поверхности СМП



а

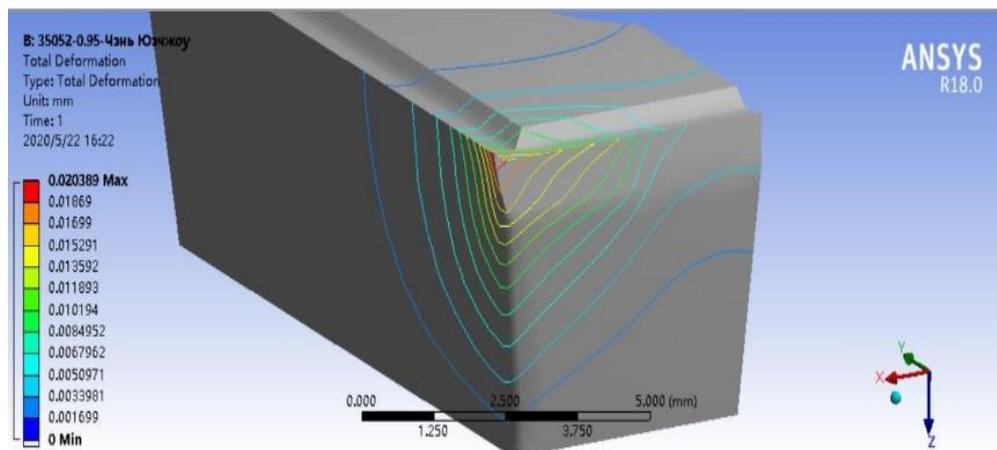


б

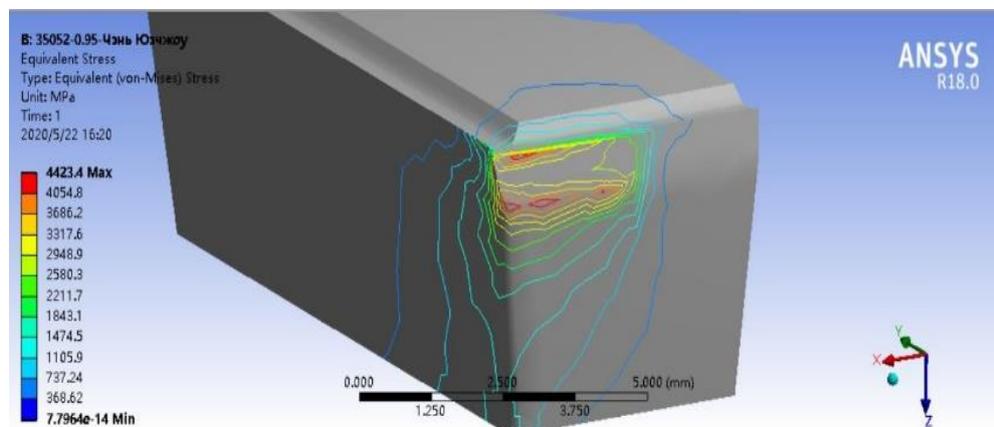


в

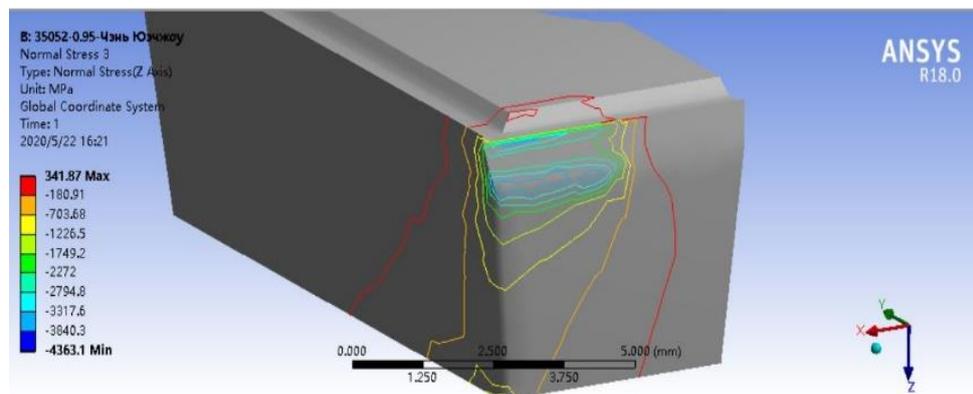
Рис. 7.5. НДС упрощенной СМП с фаской по задней поверхности при действии контактных напряжений, имеющих реальное распределение. Сталь 40X - T15K6; $\gamma=+7^\circ$; $a=0,05$ мм; $h_3=0,5$ мм; $t=1,99$ мм; $v=120$ м/мин.
 а – распределение деформаций ε (мм); б – распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ (МПа), $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1251$ МПа; в – распределение нормальных напряжений σ_z (МПа), $\sigma_{z \text{ max}} = -1182,7$ МПа



а



б



в

Рис. 7.6. НДС упрощенной СМП с фаской по задней поверхности при действии контактных напряжений, имеющих реальное распределение. Сталь 40X - T15K6; $v = 120$ м/мин, $t = 1,99$ мм, $\gamma = +35^\circ$; $a = 0,368$ мм; $h_3 = 0,95$ мм.

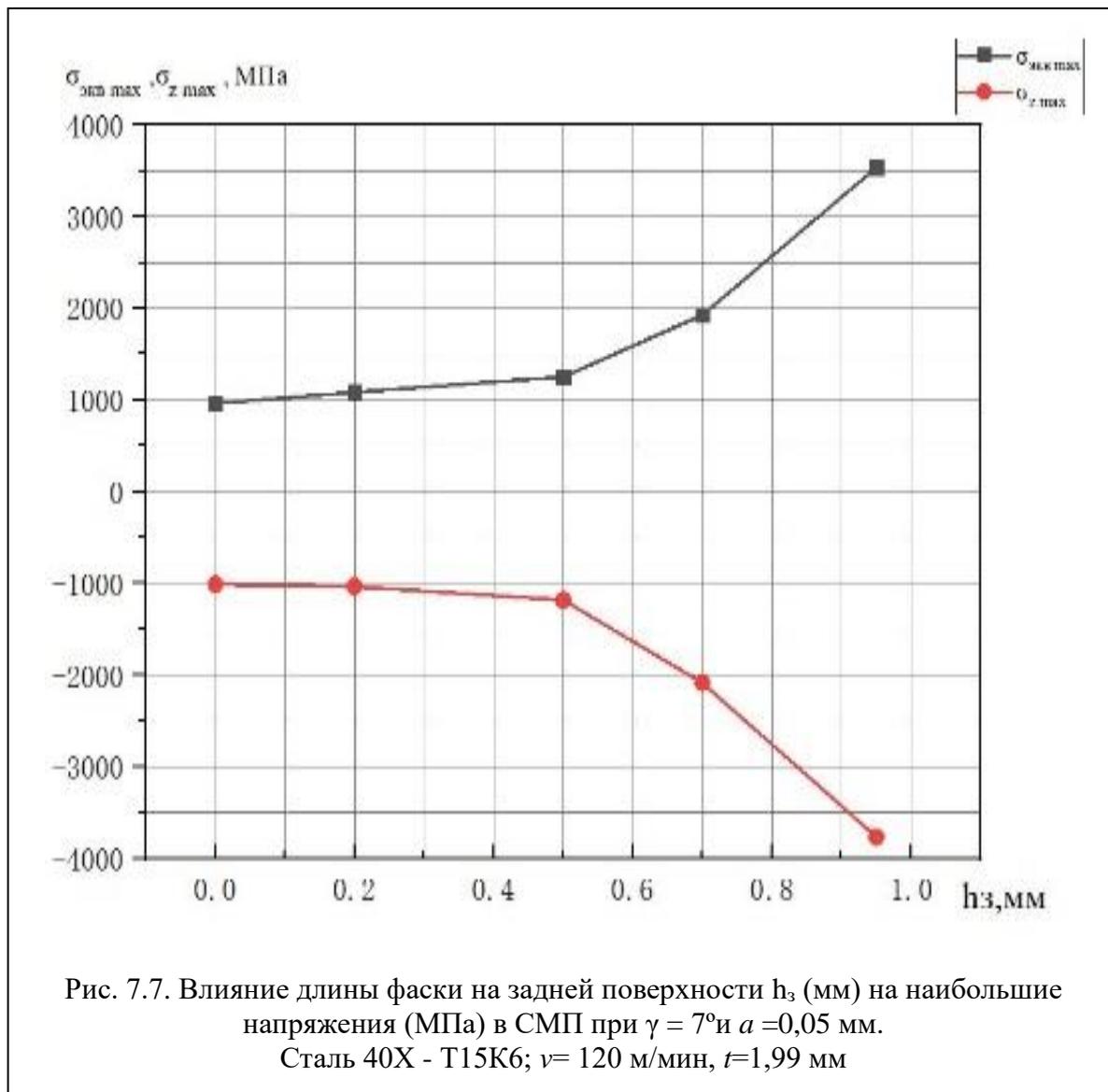
а – распределение деформаций ε (мм); б – распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа), $\sigma_{\text{экв max}} = 4423,4$ МПа; в – распределение нормальных напряжений σ_z (МПа), $\sigma_z \text{ max} = -4363,1$ МПа

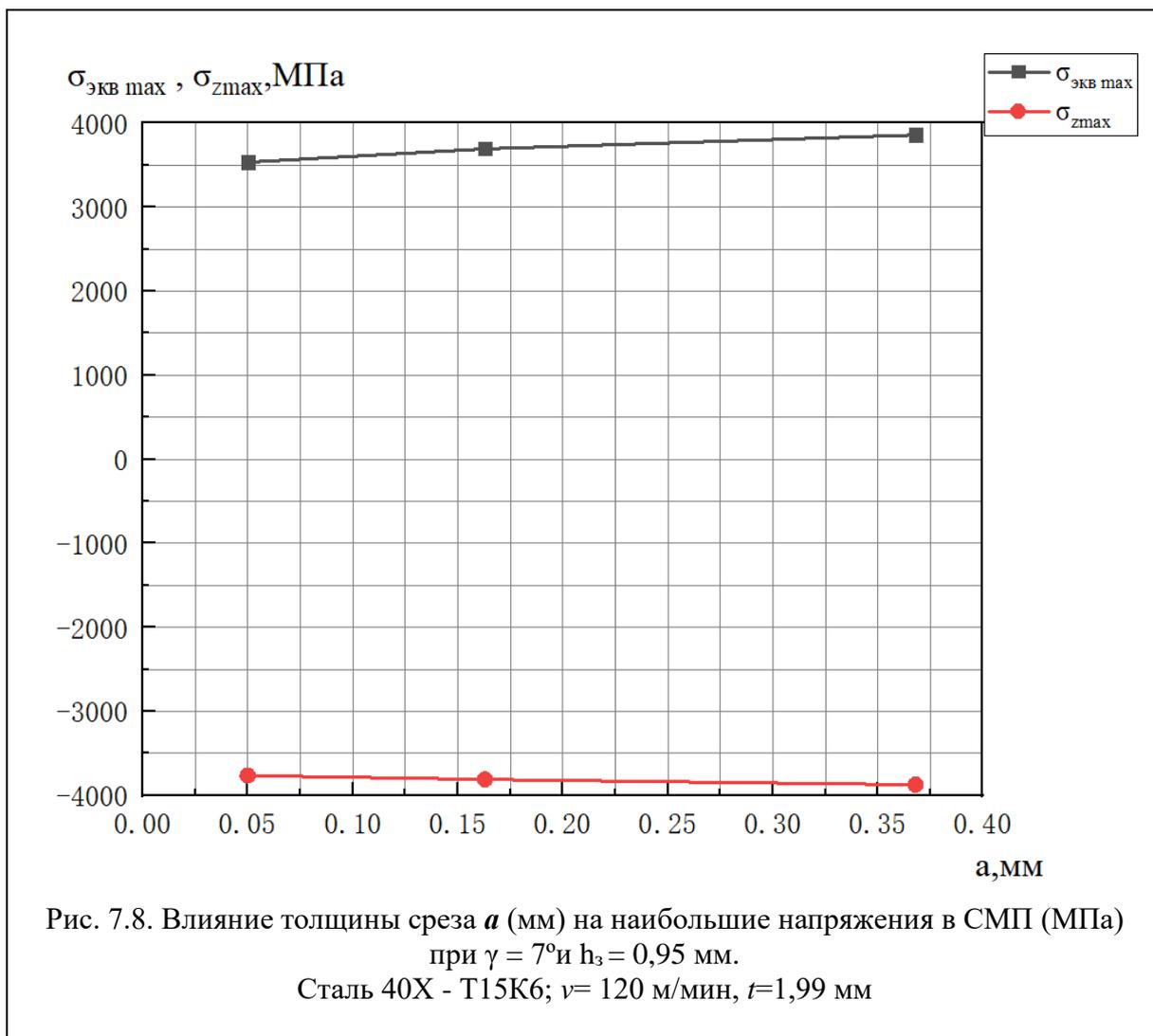
При $h_3 = 0,95$ мм и $\gamma = +35^\circ$ (рис. 7.6) величина наибольших внутренних напряжений располагается у задней поверхности и они больше, чем предел прочности даже на сжатие твёрдого сплава, режущая пластина будет ломаться. Результаты расчётов остальных случаях представлены в Табл. 7.1.

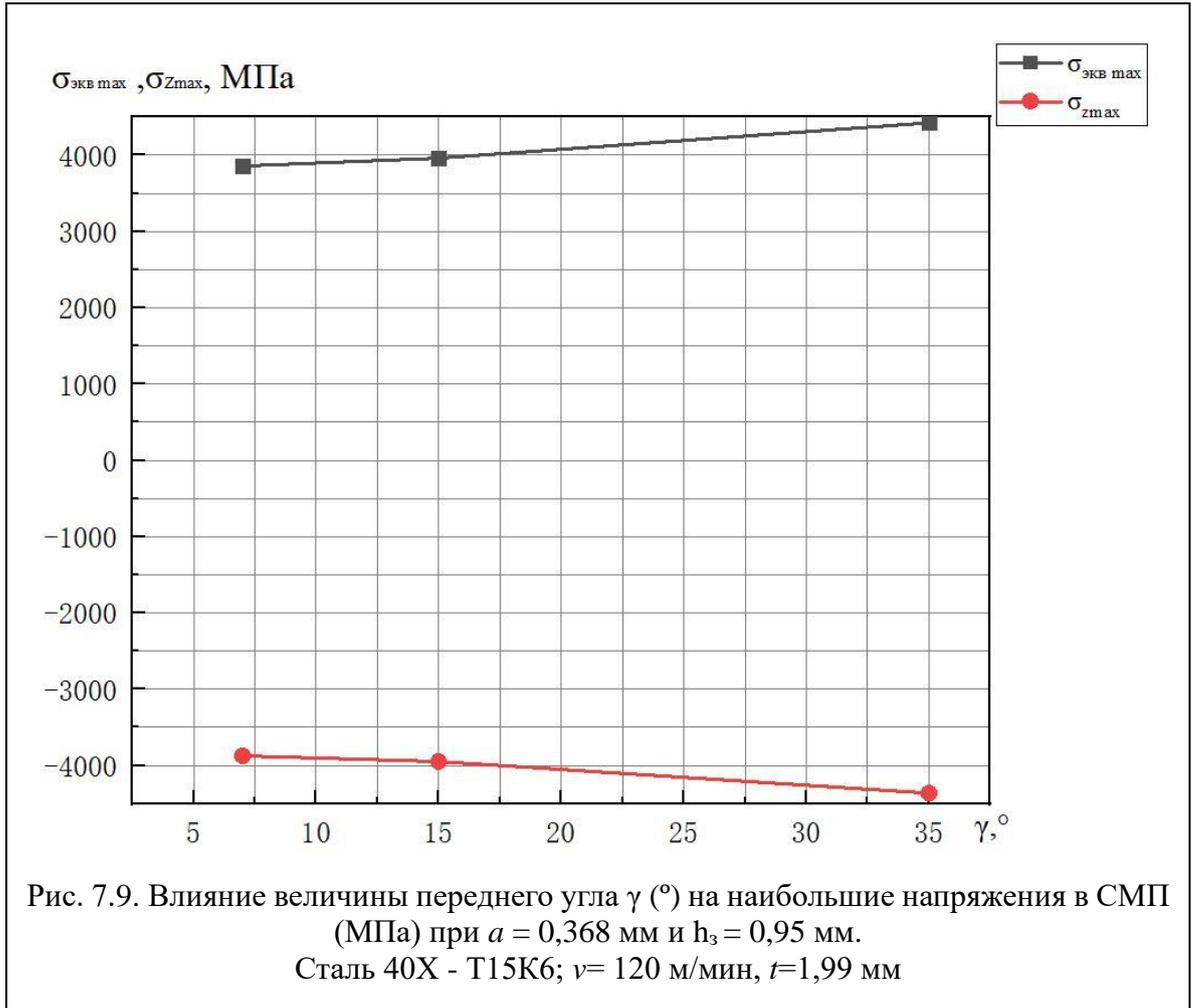
Табл. 7.1. Наибольшие напряжения и деформации в СМП с различными величинами переднего угла γ° и длины фаски задней поверхности h_3 (мм)

γ	h_3 , мм	a , мм	$\sigma_{\text{ЭКВ max}}$, МПа	$\sigma_z \text{ max}$, МПа	$\varepsilon \text{ max}$, мм
1	2	3	4	5	6
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,7$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1925,8$	$\sigma_z \text{ max} = -2085,8$	0,00431
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,5$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1251$	$\sigma_z \text{ max} = -1182,7$	0,0031
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 961,03$	$\sigma_z \text{ max} = -1012,2$	0,0017
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1085,05$	$\sigma_z \text{ max} = -1035,63$	0,0026
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,05$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 3533,2$	$\sigma_z \text{ max} = -3763,8$	0,0076
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1179,8$	$\sigma_z \text{ max} = -1239,4$	0,002
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1293,5$	$\sigma_z \text{ max} = -1289,9$	0,003
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,5$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1726,3$	$\sigma_z \text{ max} = -1673,8$	0,0038
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,163$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 3661,9$	$\sigma_z \text{ max} = -3810,2$	0,008
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1835,9$	$\sigma_z \text{ max} = -1795,2$	0,0109
$\gamma = 7^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 3858,3$	$\sigma_z \text{ max} = -3872,6$	0,0128
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2185,6$	$\sigma_z \text{ max} = -2058,1$	0,0089
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0,2$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2231,4$	$\sigma_z \text{ max} = -2168,1$	0,0110
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0,5$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2698,4$	$\sigma_z \text{ max} = -2532,1$	0,0179
$\gamma = 35^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 4423,4$	$\sigma_z \text{ max} = -4363,1$	0,0204
$\gamma = 15^\circ$	$h_3=0,95$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 3992,6$	$\sigma_z \text{ max} = -3947,7$	0,0141
$\gamma = 15^\circ$	$h_3=0$	$a=0,368$	$\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1574,1$	$\sigma_z \text{ max} = -1724,3$	0,0079

По результатам расчётов были построены графики зависимости внутренних напряжений от величины переднего угла γ° , длины фаски задней поверхности h_3 (мм) и толщины среза a (мм).







$\sigma_{\text{экв max}}, \sigma_{z \text{ max}}, \text{ МПа}$

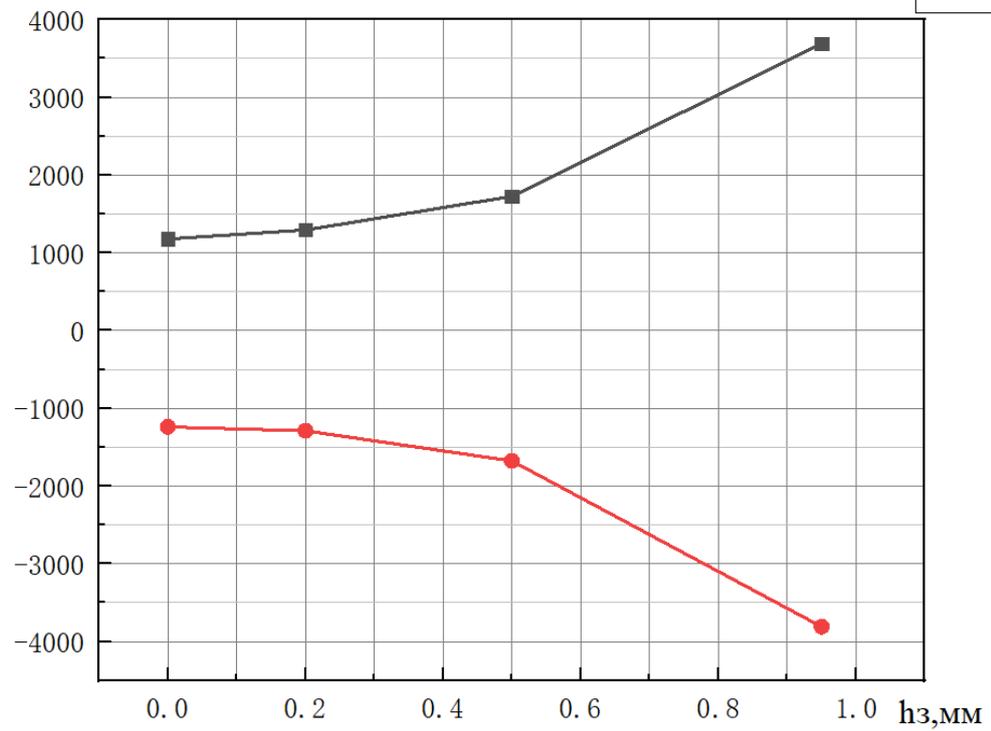
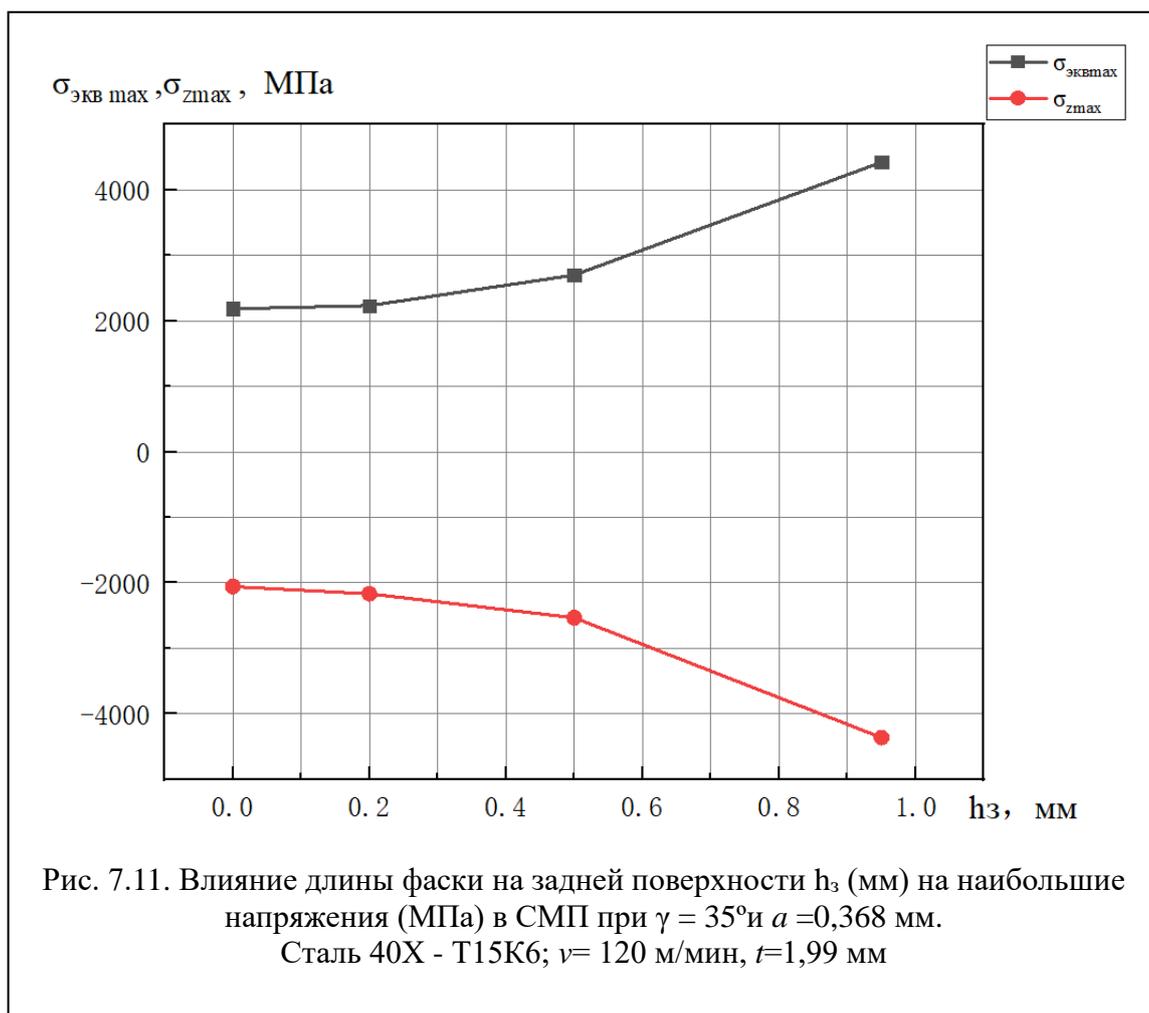


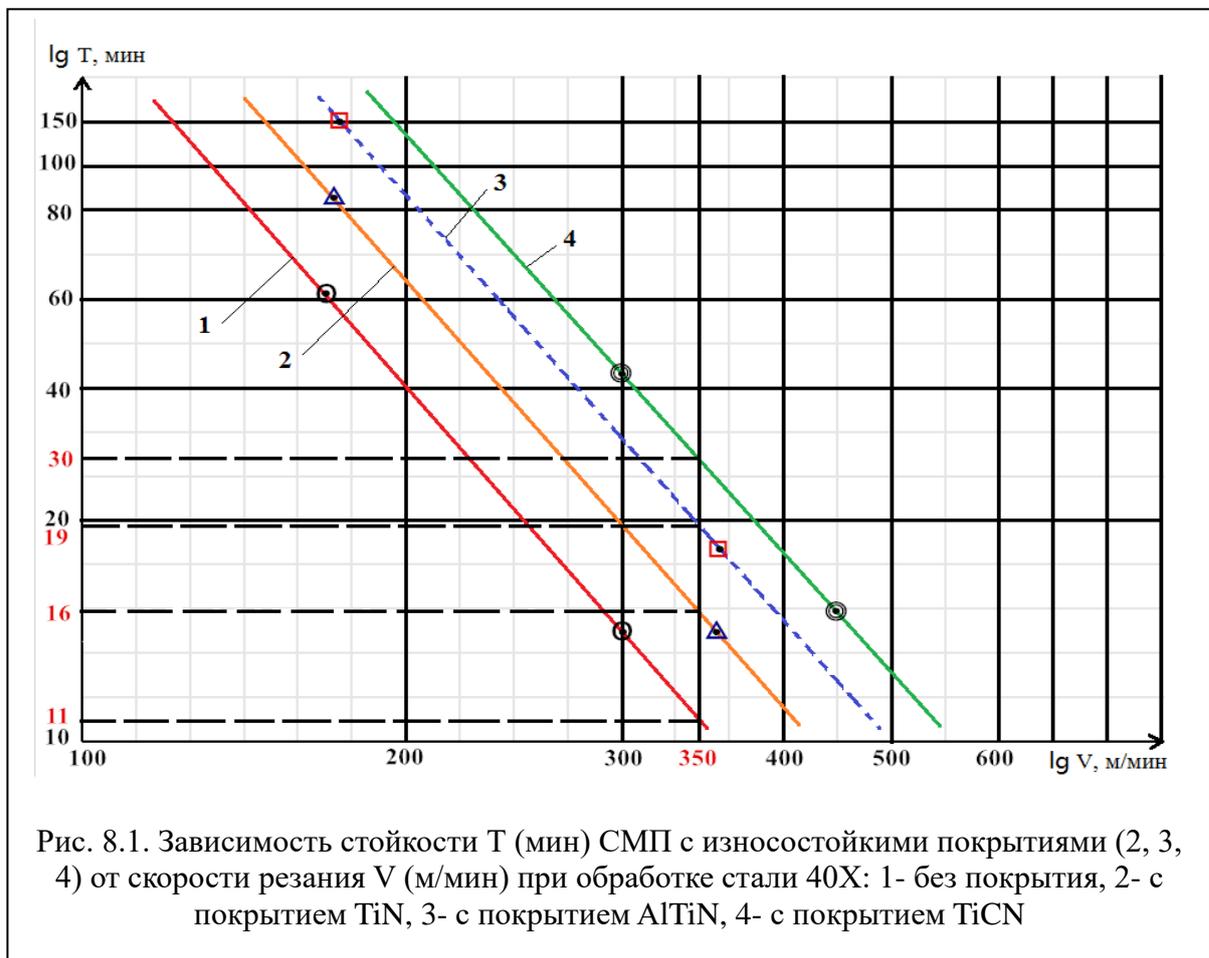
Рис. 7.10. Влияние длины фаски на задней поверхности h_3 (мм) на наибольшие напряжения (МПа) в СМП при $\gamma = 7^\circ$ и $a = 0,163$ мм.
Сталь 40Х - Т15К6; $v = 120$ м/мин, $t = 1,99$ мм



При длине фаски на задней поверхности $h_3 = 0,95$ мм и величине переднего угла $\gamma = +35^\circ$ величина наибольших внутренних напряжений в СМП больше, чем предел прочности даже на сжатие твёрдого сплава, режущая пластина будет ломаться.. При $h_3 = 0,2$ мм наибольшие напряжения в СМП ещё не очень большие, почти такие, что и у неизношенного резца ($h_3 = 0$ мм), но режущий клин более прочный из-за этой небольшой фаски.

8. Исследования стойкости СМП

На рис. 8.1 представлена зависимость стойкости T (мин) СМП с различными покрытиями от скорости резания V (м/мин), полученная при точении стали 40X исследуемыми СМП. Наибольшая допустимая длина фаски по задней поверхности была принята 0,25 мм ($h_{з\ доп} = 0,25\text{мм}$) из-за прекращения дробления стружки при увеличении фаски износа, появления путанной стружки, ухудшения её удаления и увеличения вероятности поражения оператора от разлетающейся стружки [9,19].



СМП без покрытия имеет наименьшую стойкость, а наибольшую — с покрытием TiCN. Однако требуется рассчитать экономическую эффективность использования СМП с износостойкими покрытиями.

Сравнение эффективности применения пластин

Длина обработки за период стойкости равна: $L_{обр} = v \cdot T$ (мм),

где v – скорость резания (м/мин), T – стойкость пластины (мин).

Обработанная площадь поверхности равна: $S_{обр} = L_{обр} \cdot s$ (мм²),

где s – подача (мм/об).

Оценку эффективности применения режущих пластин лучше выполнять по удельной стоимости обработки длины пройденного пути:

$$C_{уд} = \frac{ЦЕНА}{L_{обр}} \text{ (руб/м)}.$$

Для получистовой обработки рациональная скорость резания $v = 350$ м/мин и подача $s = 0,13$ мм/об. Рассчитываем длину одного витка при обточке прутка с диаметром $d = 60$ мм:

$$L_{\text{одного витка}} \approx L_{\text{окр.детали}} = \pi \cdot d = 188 \text{ мм}.$$

Результаты расчётов записываем в табл. 8.1.

Табл. 8.1. Оценка эффективности применения СМП с различными видами износостойких покрытий

Тип пластин	Цена, руб	Стойкость T, мин	L _{обр} , м	S _{обр} , м ²	C _{уд} , руб/м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1. СМП без покрытия	100	11	3850	0,50	0,026
2. СМП с покрытием TiN	120	16	5600	0,73	0,021
3. СМП с покрытием AlTiN	150	19	6650	0,86	0,023
4. СМП с покрытием TiCN	200	30	10500	1,37	0,019

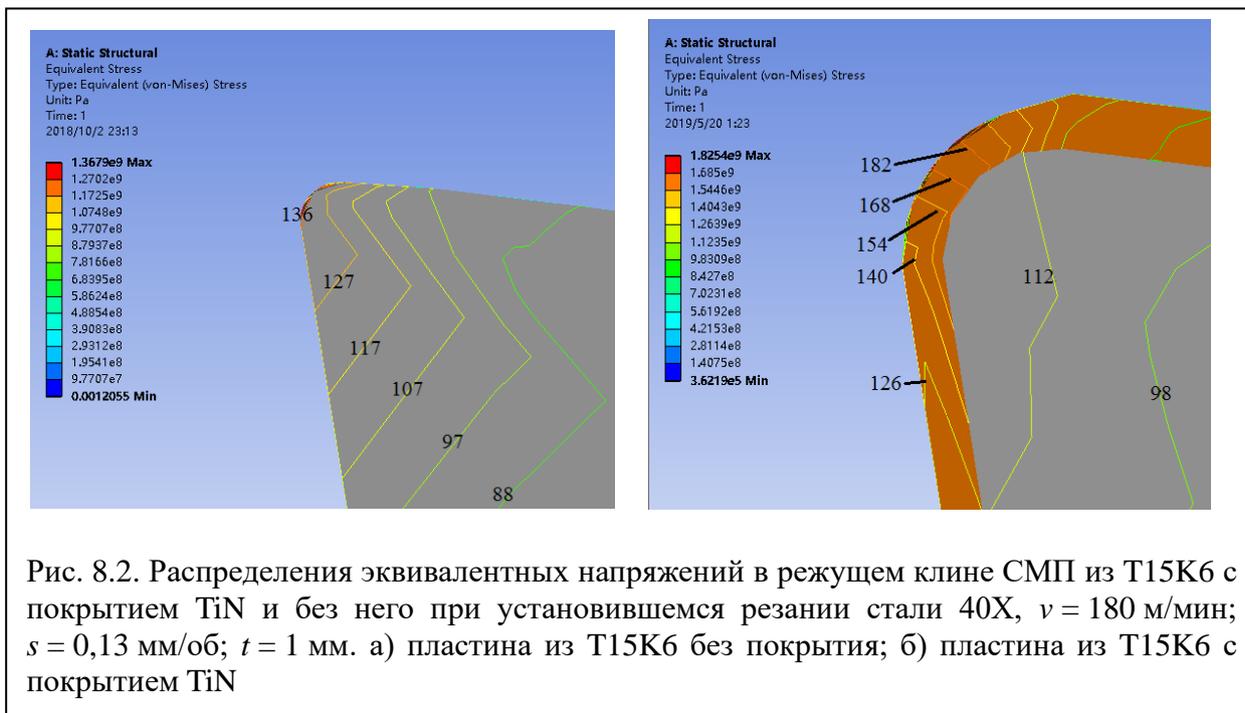
Из столбца № 6 таблицы 8.1 видно, что СМП с покрытием TiCN имеют наименьшую стоимость обработки 1 м ($C_{уд} = 0,019$ руб/м), а СМП с покрытием TiN лучше, чем с покрытием AlTiN. Наибольшую удельную стоимость имеют СМП без покрытия.

Рекомендации по выбору износостойкого покрытия для получистовой обработки стали 40X: СМП с покрытием TiCN и СМП с покрытием TiN.

Расчёты НДС СМП с покрытиями показали, что внутренние напряжения в режущем клине инструмента с износостойким покрытием TiN

уменьшаются на 18% по сравнению с режущей пластиной без покрытия:

$\sigma_{\text{Э}} \text{ наиб р.клина с покр}} = 112 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{Э}} \text{ наиб р.клина без покр}} = 136 \text{ МПа}$ (рис. 8.2).



Выводы

1. В основе построения эпюр контактных напряжений на передней поверхности лежит определение физических составляющих N и F силы резания, длины контакта стружки с инструментом, стабильность характера эпюры касательных контактных напряжений и изменение коэффициента трения на передней поверхности.

2. После построения эпюр обязательно должна быть выполнена проверка равенства физических составляющих силы резания, рассчитанных по эпюрам, с физическими составляющими силы резания, измеренными при резании.

3. С увеличением переднего угла нормальные контактные напряжения на передней поверхности существенно уменьшаются, что приводит к не очень большому увеличению напряжений в режущем клине.

4. Чем больше передний угол, тем больше внутренние напряжения в режущем клине, но увеличение переднего угла до $+35^\circ$ не приводит к катастрофическому увеличению напряжений при обработке стали 40Х, при этом лучше удаляется стружка и улучшается качество обработанной поверхности. Но в реальном производстве, режущий клин с передним углом 35° будет ломаться.

5. С увеличением длины фаски задней поверхности h_z и толщины среза a внутренние напряжения в СМП значительно увеличиваются.

6. При $h_z=0,95$ мм и $\gamma = +35^\circ$ внутренние напряжения на задней поверхности больше чем предел прочности на сжатие твёрдого сплава, режущая пластина будет ломаться.

7. Передний угол и толщины фрезерования и длины фаски по задней поверхности СМП больше влияют на работоспособности и стойкости СМП. Для повышения работоспособности СМП рекомендую использовать СМП торцовых фрез с передним углом 10-15°, длина фаски износа по задней поверхности не должна превышать 0,5мм.

8. Для улучшения работоспособности СМП необходимо использовать износостойкие покрытия. Они увеличивают не только износостойкость, но и прочность режущего клина, а значит повышают работоспособность торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин.

Раздел ВКР на иностранном языке

Calculation of the distribution of normal and shear contact stresses in cutting of steel

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Чэнь Юэчжоу		25.05.20

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		25.05.20

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кобзева Н.А.	к.п.н.		25.05.20

INTRODUCTION

For calculation of a cutting tool strength, it is necessary to know not only component forces of cutting, but also distribution of contact stresses (contact loads) on rake surfaces .

This task is especially important for the processing of difficult-to-machine materials and for rough cutting by the worn out instrument when on a cutting edge occurs chipping and failure of a cutting plate.

Wear on a flank surface with appearance of chamfer on a flank surface (flank-land) and the big contact loads leading to a tool failure is the most dangerous.

Therefore we had been carried out research on the calculation of epures' parametres of contact stresses which use the measured or calculated technological components of cutting force.

1. Materials and methods

Research of force dependences was executed in turning a workpiece made from a steel 40X (steel 5140 in accordance to ASTM-SAE) with hardness HB 190 ... 210 and ultimate tensile stress $\sigma_B=560$ MPa by a cutter at through passage with a cutting plate made from cemented carbide T15K6 with hardness HRA 95 and bending strength $\sigma=1200$ MPa with the principal edge angle in the plan $\varphi = 45^\circ$, the end cutting-edge angle (the auxiliary edge angle in the plan) $\varphi_1=45^\circ$, the nose radius $r=0,1$ mm (fig. 1), the side-rake angle $\gamma=+7^\circ, +15^\circ, +25^\circ, +35^\circ$, the side-relief angle (the principal clearance angle) $\alpha = 10^\circ$, the angle of the principal cutting edge inclination $\lambda=0^\circ$.

2. Calculation of the contact stress diagram in cutting of steel

1) Determination of the technological components of the cutting forces (experimentally using a dynamometer Kistler);

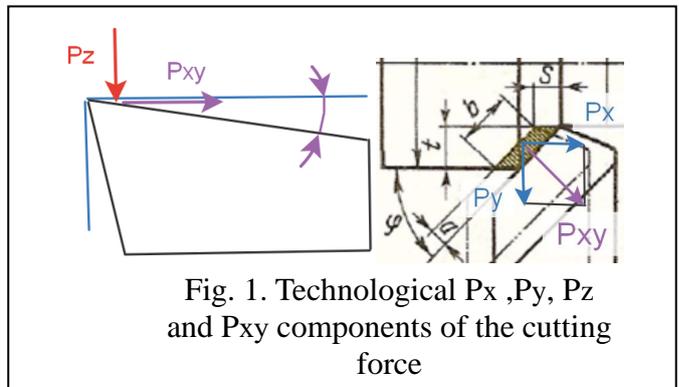
Calculation of the physical components of the cutting force by the technological components of the cutting force is very important for plotting epures of contact stresses.

If the main rake angle γ is not equal to zero, then directly the physical components of the cutting force N_Π and F_Π cannot be measured. Therefore, when using a dynamometer, the technological components of the cutting force are measured:

Tangential component P_z directed vertically downward (Fig.1.);

The radial component P_y directed from the axis of rotation of the workpiece towards the operator in the main plane (horizontally);

Axial component P_x directed along the axis of rotation of the workpiece

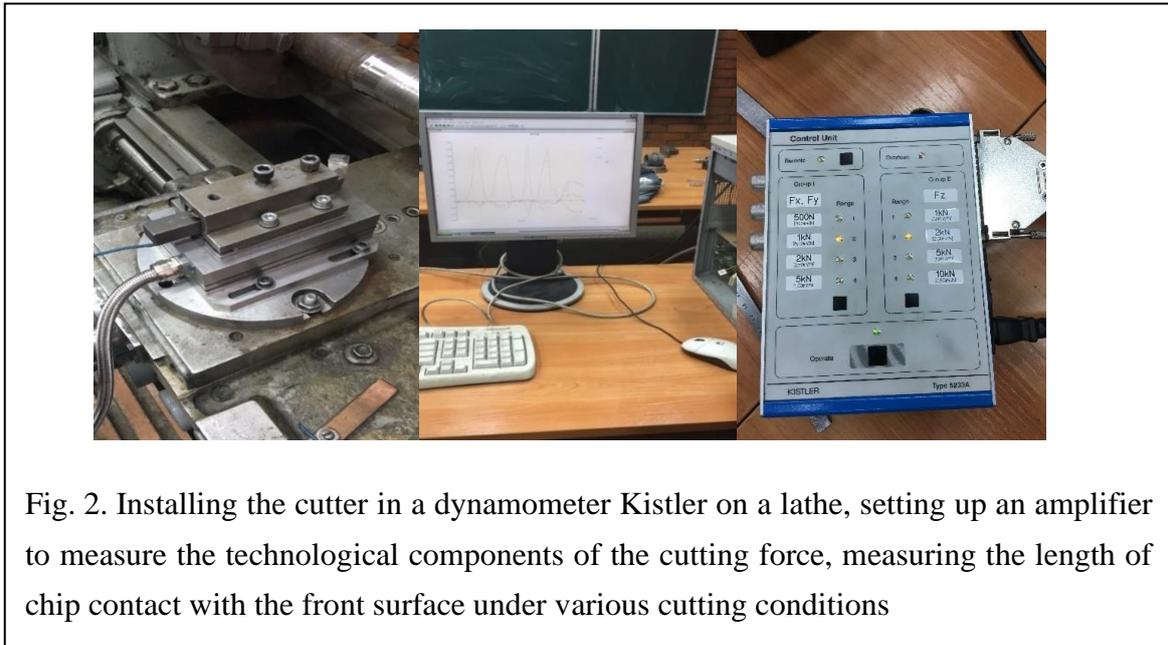


from the spindle in the main plane (horizontally).

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

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

Measurement of technological components of forces on a lathe using a dynamometer Kistler (Fig. 2.).



2) Determination of the contact length of the chip with the rake surface;

After the experiment, the contact length with the chips with the front surface of the tool c is measured at various front angles γ (Fig.3.).

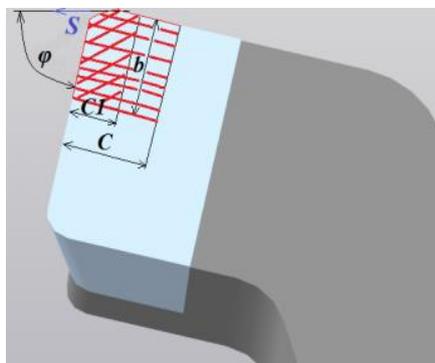


Fig.3. Measurement of total contact length c and length of plastic contact c_1 of a chip with a rake surface of a cutter

From the experimental points of the graphs of the change in the contact length c from the slice thickness a using the MatLab software, the functional relationship between c and a is determined for different rake angles γ [$c = f(a)$]

(Fig. 4):

When $\gamma=7^\circ$ $c=0,026+8,955a-10,903a^2$ (MM);

When $\gamma=15^\circ$ $c=-0,1028+9,564a-12,483a^2$ (MM).

When $\gamma=25^\circ$ $c=-0,0164+8,728a-10,638a^2$ (MM).

When $\gamma=35^\circ$ $c=-0,205+8,105a-9,507a^2$ (MM).

Determine the equations $c = f(\gamma)$ (Fig. 5.) for $s = 0.07-0.52$ mm / rev by using the MatLab software;

When $a=0,05$ MM $c = -0.01*\gamma + 0.5$ (MM);

When $a=0,078$ MM $c = -0.01015*\gamma + 0.75$ (MM);

When $a=0,163$ MM $c = -0.01074*\gamma + 1.28$ (MM);

When $a=0,24$ MM $c = -0.01137*\gamma + 1.55$ (MM);

When $a=0,368$ MM $c = -0.0115*\gamma + 1.905$ (MM).

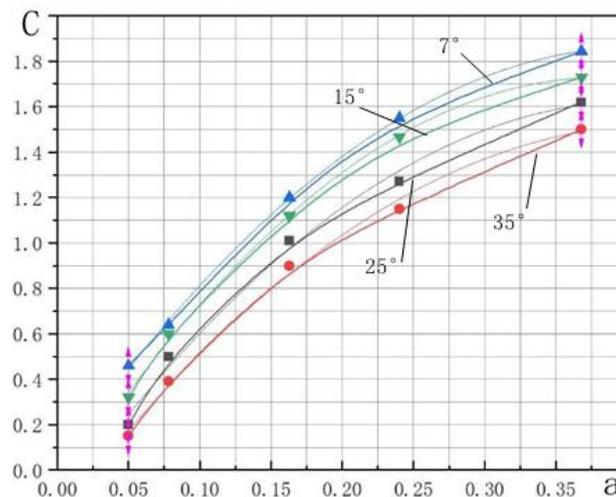


Fig. 4. Determine the equation of change in the contact length $C(C = f(a))$ depending on the cut depth a for the rake angle $\gamma=7^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ and 35° when processing 40x steel;

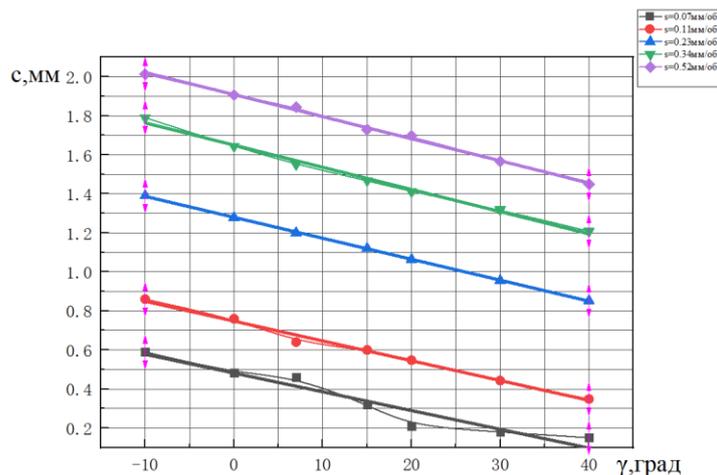


Fig. 5. Determine the equation of change in the contact length $C(C = f(\gamma))$ depending on the rake angle γ for the cut depth $a = 0.05-0.37\text{mm}$ when processing 40x steel;

3) The calculation of physical components of the cutting force

The calculation of the physical components of the cutting force N and F according to the technological components P_z and P_{xy} at a rake angle $\gamma \neq 0^\circ$ is carried out according to the formulas obtained from vector sums (Fig.6.):

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

From these formulas we get 2 equations for calculating the physical cutting forces: 1) $N = NP_z - NP_{xy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma$;

$$2) F = FP_{xy} + FP_z = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma.$$

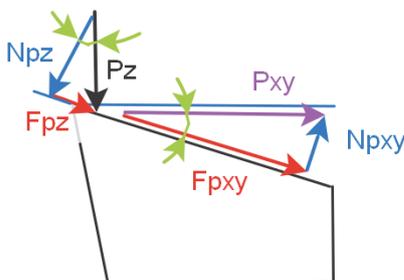


Fig. 6. Components of cutting forces on the rake surface in the main secant plane

4) The calculation of the shear contact stresses diagrams

Shear contact stress on a front surface in steel 40X machining on the area with length c_1 does not vary at moving far from the cutting edge, which confirms plastic character of the chip contact with the rake surface. It has magnitude $\tau_{\max} \approx (P_{xy} / c \times 0,75 \times b)$ MPa that is equal to shear strength of this steel at temperature nearby 700 °C that corresponds to knowledge about the processes occurring on a rake surface .

5) Determination of the parameters of the diagrams of normal contact stresses relative to shear stresses

1. We proceed to the construction of the diagram of normal contact stresses σ (MPa). It is based on the regularity of the ratio τ / σ , i.e. a change in the conditional coefficient of friction $\mu = \tau / \sigma$ along the front surface, which is little dependent on the cutting conditions and the rake angle γ (Fig.7.).

2. With a relative contact length $\psi = x_i / a \approx 0.4$, i.e. at $x = 0.4 \times c = 0.4 \times 0.46 = 0.184$ mm, the graph σ will intersect with the graph τ , because at this point friction $\mu = 1$, i.e., there $\tau = \sigma$.

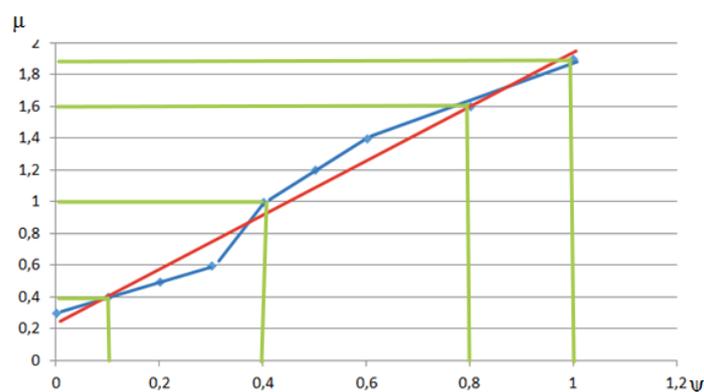


Fig.7. Change in the conditional coefficient of friction μ ($\mu = \tau / \sigma$) along the contact length of the chip with the front surface. $\psi_i = x_i / c$ - relative contact length [5]

3. In the area up to $x \approx 0.5c$ there is a horizontal line at the plot of normal cont. for example, σ , and at a further distance from the cutting edge, the plot σ has a rectilinear decrease to zero at the point $x = c$.
4. At the end of the chip contact with the cutter point $\psi \approx 0,8$ (i.e. at $x \approx 0,8c$) there should be $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$.
5. At a distance from the cutting edge $l_1 \approx a$, $\sigma_{l1} \approx (0,92 \dots 0,93) \times \sigma_{max}$, because there is no chip yet, it is only formed, the pressure from the cutter goes to the workpiece, so there is an approximately uniform distribution of normal stresses σ .
6. First set the value σ_{max} approximately ourselves. Approximately $\sigma_{max} \approx 2 \sigma_B$ (σ_B is the time resistance to rupture (MPa), we look in the reference for this material and for this heat treatment, i.e. the hardness of HB. For example, for steel 40X in bars (in the state of delivery, i.e. without additional heat treatment) $\sigma_B = 560$ MPa).

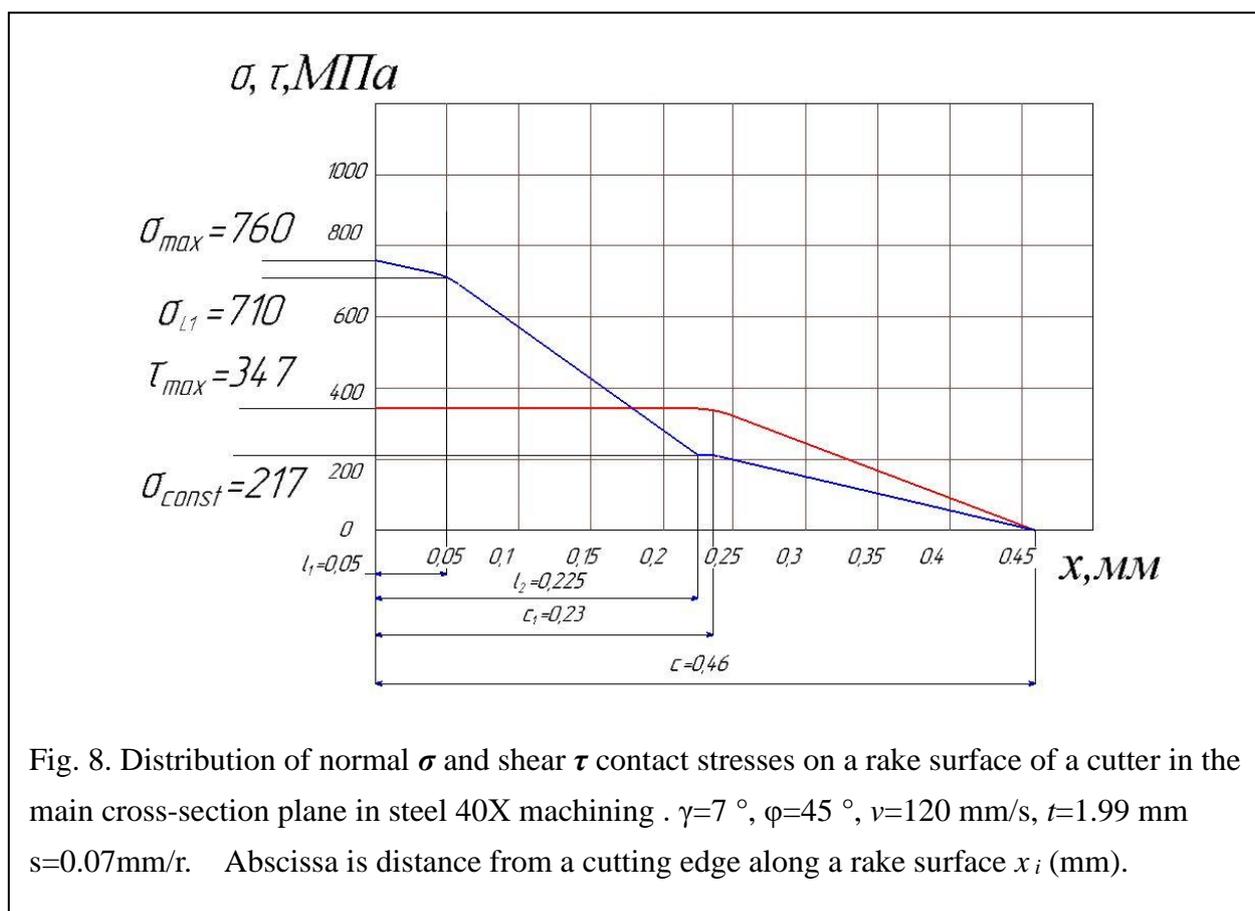


Fig. 8. Distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter in the main cross-section plane in steel 40X machining . $\gamma=7^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $v=120$ mm/s, $t=1.99$ mm $s=0.07$ mm/r. Abscissa is distance from a cutting edge along a rake surface x_i (mm).

6) Checking the correctness of distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter

1. Then build the plot σ and correct it (correct), so that the equality $N = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx$ is observed, where x_i changes from 0 (the coordinate at the cutting edge, i.e. at $x_i = 0$ mm) to $x_i = c$ (the coordinate of the chip separation point from the front surface, i.e. at $x_i = c$). To do this, we calculate the plot area σ : $S\sigma = \sum \sigma_i$ (MPa / mm);

2. The normal force on the plot $N\sigma = S\sigma \times b$ (H) must be $\approx N_{\text{experiment}}$; where **b** is the width of the chip contact with the cutter point, $b = t / \sin \varphi$.

If you want to increase the N diagram, then increase the σ_{max}

3. The shear force along the plot $F\tau = S\tau \times b$ (H) must be $\approx F_{\text{experiment}}$;

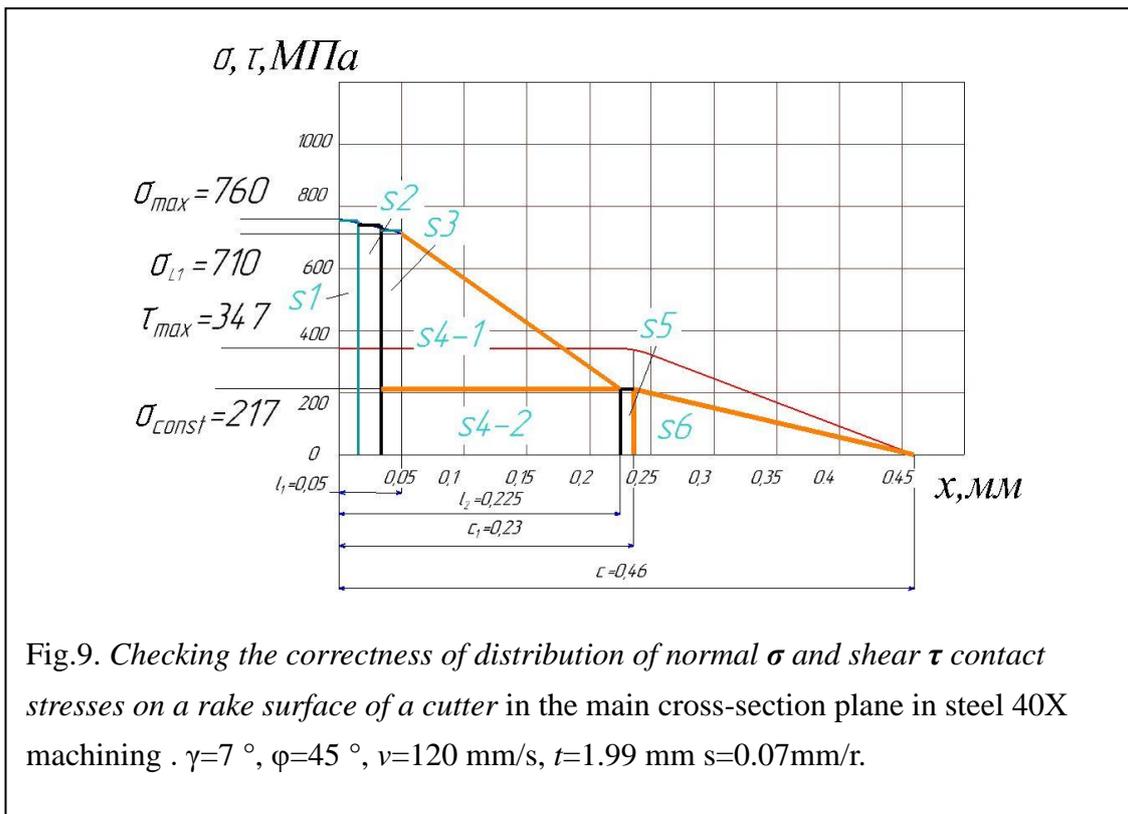


Fig.9. Checking the correctness of distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter in the main cross-section plane in steel 40X machining . $\gamma = 7^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $v = 120$ mm/s, $t = 1.99$ mm $s = 0.07$ mm/r.

7) Determination of the parameters of the diagrams of contact stresses relative to distribution of normal and shear contact stresses

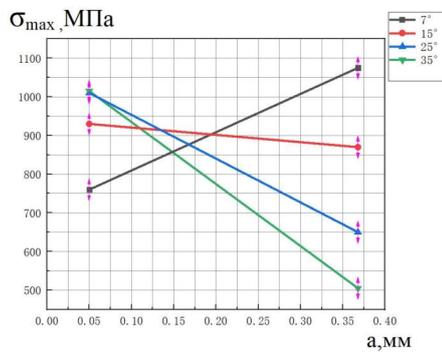


Fig. 10. Cut depth a (mm) influence on magnitude of the greatest normal contact stress at a cutting edge in steel 40X machining.

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: \sigma_{max} &= 990,6a + 710,5 \text{ [MPa]} \\ \gamma=15^\circ: \sigma_{max} &= -188,7a + 939,4 \text{ [MPa]} \\ \gamma=25^\circ: \sigma_{max} &= -1132,1a + 1066,6 \text{ [MPa]} \\ \gamma=35^\circ: \sigma_{max} &= -1603,8a + 1095,2 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

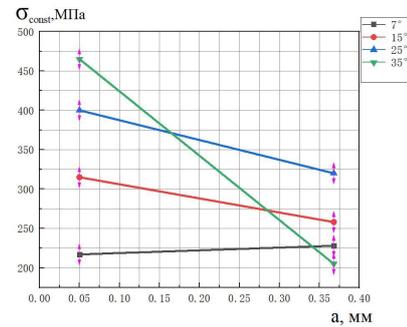


Fig. 11. Cut depth a (mm) influence on magnitude of the normal contact stress on the horizontal area of diagram in steel 40X machining. $\sigma_{const} = 792 \cdot s + 1900$ (MPa)

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: \sigma_{const} &= 34,59a + 215,27 \text{ [MPa]} \\ \gamma=15^\circ: \sigma_{const} &= -179,25a + 323,96 \text{ [MPa]} \\ \gamma=25^\circ: \sigma_{const} &= -251,57a + 412,58 \text{ [MPa]} \\ \gamma=35^\circ: \sigma_{const} &= -817,61a + 505,88 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

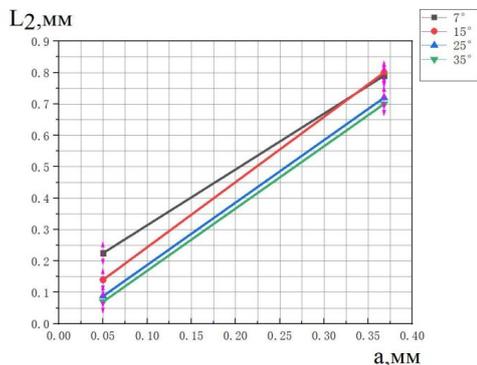


Fig. 12. Cut depth a (mm) influence on distance from the cutting edge to the start of a horizontal area of normal contact stress epure on a epure' horizontal area l_2 (mm) in steel machining.

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: L_2 &= 1,78a + 0,136 \text{ [mm]} \\ \gamma=15^\circ: L_2 &= 2,08a + 0,036 \text{ [mm]} \\ \gamma=25^\circ: L_2 &= 1,987a - 0,0114 \text{ [mm]} \\ \gamma=35^\circ: L_2 &= 1,981a - 0,029 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

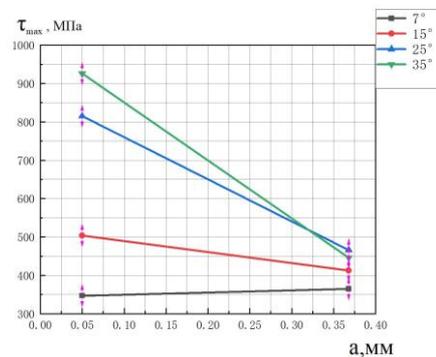


Fig. 13. Cut depth a (mm) influence on magnitude of the greatest tangential contact stress at a cutting edge in steel 40X machining.

$$\begin{aligned} \gamma=7^\circ: \tau_{max} &= 56,6a + 344,2 \text{ [MPa]} \\ \gamma=15^\circ: \tau_{max} &= -286,16a + 518,3 \text{ [MPa]} \\ \gamma=25^\circ: \tau_{max} &= -1097,48a + 869,87 \text{ [MPa]} \\ \gamma=35^\circ: \tau_{max} &= -1509,43a + 1001,47 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

Conclusions

1. In steel machining on the first half of a chip contact with a rake surface of a cutter the uniform shear contact stresses $\tau_{\max} \approx P_{xy} / (c \times 0,75 \times b)$ MPa act, that speaks about plastic character of contact on this section.

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

3. In machining steel 40X we accept that length of contact of a chip with a rake surface $c=f(a)$, where a – is uncut chip thickness (mm);

4. In machining steel 40X the greatest normal contact stress on a rake surface $\sigma_{\max} \approx 500-1200$ (MPa) depends on feed rate;

5. According to the established distribution of normal σ and shear τ contact stresses on a rake surface of a cutter, it is concluded that the contact between the chip of steel 40X and the rake face of the cutter can be divided into two parts: the internal friction area and the external friction area. Plastic deformation occurs in the internal friction area, elastic deformation occurs in the external friction area;

6. Under our formulas, output on the basis of experimental data, it is possible to calculate component forces of cutting and contact stresses on a rake surface of a cutter in turning steel 40X.

Acknowledgments

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM82	Чэнь Юэчжоу

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 16%; - норма амортизации 40%.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования-</i>	Налог на прибыль – 20%; НДС -20%; отчисления во внебюджетные фонды – 30,2 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение структур работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Карта сегментирования рынка. 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных решений 3. Матрица SWOT 4. Календарный план график проведения работ 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.20
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		16.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Чэнь Юэчжоу		16.03.20

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

Результаты исследования являются актуальными в механической промышленности, они способствуют уменьшению износа режущих инструментов и увеличению стойкости режущих инструментов, который должен удешевить и сделать более возможным производство в России различных режущих инструментов с большим передним углом. Кроме того, компании могут приобрести наиболее подходящий режущий инструмент, сравнив параметры различных режущих инструментов, представленных в этой статье.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Определить возможные альтернативы проведения научных исследований, которые отвечают современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Планировать научно-исследовательские работы;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

1.1 Анализ потенциальных потребителей

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть и сегментировать целевой рынок, который поможет найти наименее трудоемкие области для продвижения новых продуктов в будущем.

Таблица 1.1 – Карта сегментирования рынка

Компания	Вид СМП концевых и торцовых фрезы		
	Традиционные фрезы	SEHT1204	APMT1605
Крупные	+	+	+
Средние	+	+	+
Мелкие	+		

По карте сегментирования видно, что традиционные концевые и торцовые фрезы являются актуальными и впишутся в российский рынок. Сменный режущий пластин SEHT1204 и APMT1605 фрезы представляет наибольший интерес для средних механических компаний, а также и для больших предприятий потому что, несмотря на высокую цену, они отличаются высокой производительностью и качеством.

1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Существуют различные концевые и торцовые фрезы на рынке. В работе в основном анализируются сменные многогранные пластины SEHT1204 и APMT1605 по сравнению с традиционными фрезами по ресурсоэффективности.

Таблица 1.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _г	Б _{с1}	Б _{с2}	К _с	К _{с1}	К _{с2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность устройства	9	8	8	9	72	72	81
2. Удобство в эксплуатации	8	5	6	8	40	48	64

3. Энергоэкономичность	6	4	5	4	24	30	24
4. Надежность	9	3	7	6	27	63	54
5. Уровень шума	7	5	6	6	35	42	42
6. Безопасность	9	3	6	7	27	54	63
7. Простота эксплуатации	7	6	7	7	42	49	49
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	9	9	8	9	81	72	81
2. Уровень проникновения на рынок	9	9	8	8	81	72	72
3. Цена	7	3	5	7	21	35	49
4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	5	4	4	30	24	24
5. Послепродажное обслуживание	7	6	6	6	42	42	42
6. Срок выхода на рынок	7	7	6	6	49	42	42
Итого:	100	73	82	87	571	645	687

Традиционные фрезы по-прежнему занимают большую долю рынка из-за своей относительно низкой цены, но SENT1204 и АРМТ1605 обладают относительно высокой надежностью, безопасностью и простотой замены. Из анализа результатов преимущество АРМТ1605 среди трех продуктов становится более очевидным.

1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – Это комплексный анализ исследовательских проектов. SWOT-анализ используется для изучения внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 1.3 - Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Достаточная эффективность продукции.	Сл1. Относительно высокая цена
		Сл2. Высокие требования к моделям оборудования.
	С2. Достаточная надежность продукции.	Сл3. Относительно высокая сложность установки.
	С3. Регулировка продукции.	
	С4. Новизна идеи научного	

	исследования.	
	С5. Универсальность продукции	
	С6. Относительно экологически чистый	
	С7. Низкая энергоёмкость продукции	
	С8. Простота эксплуатации	
Возможности:	В1С1С2С3С4С6С7 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства	В1Сл1 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем
В1. Быстрое продвижение на рынок		
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	В2С2С3С4С5 – дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства	В2 Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за больших габаритов устройства
В3. Сотрудничество с рядом новых организаций	В3С1С6С8 - Сотрудничество с рядом новых организаций	
В4. Усовершенствование продукции	В4С2С3 – усовершенствование продукции за счёт его переналадки и возможности адаптации	В3Сл1 - сотрудничество с рядом новых организаций может не быть, так как ранее устройство не продавалось, и потребители не знают о нем.
Угрозы:	У1С1С2С7 - устойчивость к борьбе с конкурентами за счет новизны идеи.	У1Сл1 – в связи с тем, что продукт не продавался, может быть, отсутствие спроса.
У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства	У2С1С6С7С8 – возможность быстрого продвижения на рынок потребителей	
У2. Незаинтересованность потребителей в разработке	У3С2С3С4С5 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	У3Сл2Сл3 – из-за монтажа и больших габаритов могут возникнуть проблемы с продажей данного продукции.
У3. Конкуренция.		
У4. Кризис		

Таблица 1.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	+	+	+	+	-	+	+	-
	B2	-	+	+	+	+	-	-	-
	B3	+	-	-	-	-	+	-	+
	B4	-	+	+	-	-	-	-	-

Таблица 1.5 – Интерактивная матрица проекта

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

Таблица 1.6 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	+	+	-	-	-	-	+	-
	У2	+	-	-	-	-	+	+	+
	У3	-	+	+	+	+	-	-	-

Таблица 1.7 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	-
	У2	0	0	0
	У3	-	+	+

На основе результатов анализа матрицы можно сделать вывод, что трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

2.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретных проектов необходимо разумно планировать время для занятости каждого участника и его личной работы. В данном пункте составлен полный

перечень проводимых работ по исследованию надёжности инструмента титанового сплава и влияния переднего угла концевых и торцовых фрез или резец на их напряженно-деформационные состояния при резании стали или титанового сплава, определены исполнители и рациональная продолжительность.

Перечень работ и сроки их реализации приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Выбор темы исследования	Руководитель, студент	НР – 100% С – 30%
Обсуждение актуальности исследования	Руководитель, студент	НР – 100% С – 40%
Постановка целей и задач	Руководитель	НР – 100%
Формирование плана исследования	Руководитель, студент	НР – 100% С – 30%
Поиск и анализ литературы по тематике	Руководитель, студент	НР – 20% С – 100%
Обсуждение литературы	Руководитель, студент	НР – 30% С – 100%
Планирование экспериментов	Руководитель, студент	НР – 100% С – 40%
Подготовка к экспериментам	Руководитель, студент	НР – 10% С – 100%
Проведение предварительных экспериментов	Руководитель, студент	НР – 100% С – 100%
Измерение силы резания с помощью динамометра Kistler	Руководитель, студент	НР – 40% С – 100%
Построение эпюры распределения контактных направлений по экспериментальным данным	Руководитель, студент	НР – 80% С – 100%
Создание 3D модель режущей пластины с помощью SOLIDWORKS	Студент	С – 100%
Расчёт НДС режущей пластины с помощью	Студент	С – 100%

ANSYS		
Исследование НДС режущей пластины	Студент	С – 100%
Выключение по проведенной работе	Руководитель, студент	НР – 60% С – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	Студент	С – 100%
Оформление графического материала	Студент	С – 100%
Подведение итогов	Руководитель, студент	НР – 60% С – 100%

2.2 Продолжительность этапов работ

Ожидаемая продолжительность этапов работ $t_{ож}$ рассчитывается по формуле

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

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

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

Для примера рассчитаем этап работы №1 – Выбор темы исследования. Минимальное время выполнения t_{min} равняется одним, максимальное t_{max} трети дням (Таблица 2.2).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = \frac{9}{5} = 1,8 \text{ дн}$$

Чтобы построить линейный график, необходимо рассчитать продолжительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) осуществляется по формуле:

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

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

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных

длительностей, принимаем $K_{ВН} = 1$;

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_D = 1 \div 1,2$; принимаем $K_D = 1,2$).

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_D = \frac{1,8}{1} \cdot 1,2 = 2,16 \text{ дн};$$

Так как загрузка научного руководителя составляет 100%, в таблицу заносится значение $T_{РД} = 2,16$. Загрузка студента равна 30%, то есть

$$T_{РД} = 2,16 \cdot 0,3 = 0,648$$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_K$$

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

T_K – Календарный коэффициент позволяет переключаться с рабочего времени в рабочие дни на рабочее время в календарных днях, а шестидневную рабочую неделю можно рассчитать по формуле

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

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

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

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

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

Продолжительность этапа в календарных днях для научного руководителя и студента соответственно:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_K = 2,16 \cdot 1,205 = 2,60 \text{ дн};$$

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_K = 0,648 \cdot 1,205 \approx 0,78 \text{ дн}.$$

Таблица 2.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Номер	Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Труд-сть работ по исполнителям чел.-дн.			
			t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{рд}		Т _{кд}	
						НР	С	НР	С
	Выбор темы исследования	НР, С	1	3	1,80	2,16	0,65	2,60	0,78
2	Обсуждение актуальности исследования	НР, С	2	4	2,80	3,36	1,34	4,05	1,62
3	Постановка целей и задач	НР	10	20	14,0	16,80	-	20,24	-
4	Формирование плана исследования	НР, С	5	10	7,00	8,40	2,52	10,12	3,04
5	Поиск и анализ литературы по тематике	НР, С	7	14	9,80	2,35	11,76	2,83	14,17
6	Обсуждение литературы	НР, С	3	7	4,60	1,66	5,52	2,00	6,65
7	Планирование экспериментов	НР, С	3	7	4,60	5,52	2,21	6,65	2,66
8	Подготовка к экспериментам	НР, С	2	4	2,80	0,34	3,36	0,40	4,05
9	Проведение предварительных экспериментов	НР, С	7	14	9,80	11,76	11,76	14,17	14,17
10	Измерение силы резание с помощью динамометра Kistler	НР, С	2	3	2,40	1,15	2,88	1,39	3,47
11	Построение эпюры распределения контактных направлений по экспериментальным данным	НР, С	5	7	5,80	5,57	6,96	6,71	8,39
12	Создание 3D модель режущей пластины с помощью solidworks	С	10	15	12,0	-	14,40	-	17,35
13	Расчёт НДС режущей пластины с помощью	С	10	14	11,6	-	13,92	-	16,77

	ANSYS								
14	Исследование НДС режущей пластины	С	10	14	11,6	-	13,92	-	16,77
15	Выключение по проведенной работе	НР, С	2	3	2,4	1,15	2,88	1,39	3,47
16	Оформление расчетно-пояснительной записки	С	2	5	3,2	-	3,84	-	4,63
17	Оформление графического материала	С	2	5	3,2	-	3,84	-	4,63
18	Подведение итогов	НР, С	2	3	2,4	1,73	2,88	2,08	3,47
	Итого:					61,95	104,64	74,63	126,09

Таблица 2.3 – Линейный график работ

Этап	НР	С	январь			Февраль			Март			Апрель			Май			
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
1	2,60	0,78	■															
2	4,05	1,62	■	■														
3	20,24	-		■	■	■												
4	10,12	3,04				■	■											
5	2,83	14,17					■	■	■									
6	2,00	6,65						■	■									
7	6,65	2,66							■	■								
8	0,40	4,05								■								
9	14,17	14,17								■	■							
10	1,39	3,47									■							
11	6,71	8,39										■	■					
12	-	17,35											■	■	■			
13	-	16,77												■	■	■		
14	-	16,77													■	■	■	
15	1,39	3,47															■	■
16	-	4,63																■
17	-	4,63																■
18	2,08	3,47																■

НР - Научный руководитель



С - Студент



2.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включает в себя сумму всех затрат, необходимых для реализации комплекса проекта, составляющего содержание разработки. Сметная стоимость его реализации рассчитывается исходя из следующих статей затрат:

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

Расчет затрат на материалы

Эта статья затрат включает материалы, непосредственно потраченные в процессе выполнения работ на объекте проектирования, стоимость закупки продукции, полуфабрикатов и другие материальные ценности. Это также включает специально приобретенное оборудование, инструменты и другие объекты, связанные с основными средствами. Цена материальных ресурсов определяется соответствующим ценником или договором поставки. Кроме того, эта статья также включает так называемые транспортные и закупочные расходы, связанные с транспортировкой, хранением и другими процессами от поставщиков к потребителям. Эти затраты и процессы обеспечивают движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителям. Сюда также входят расходы по сделке купли-продажи (так называемая транзакция).

Ориентировочно они оцениваются в процентах от продажной цены закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20%. Результаты этой статьи приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Заготовка(круглый прокат)	52 руб/кг	800мм ~5,05кг	262,6
Режущие инструменты СЕНТ1204	150	3	450
Приспособление	500	1	500
Бумага для принтера формата А4	280 руб/уп	1	280
Оплетка расчетно- пояснительной записки	100	1	100
Итого:			1592,6

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

$$C_{\text{мат}} = 1592,6 \cdot 1,05 = 1672,23 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы

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

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

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

Таблица 2.5 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб. дни	Районный коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	35120	1400,15	61,95	1,3	112761,08
С	12130	483,6	104,64	1,3	65785,08
Итого:					178546,16

В соответствии с приказом 16544 от 18.12.19 оклад доцента – 35120 руб., минимальный размер оклада (1 квалификационный уровень) -12130 руб.

Расчет затрат на социальные отчисления во внебюджетные фонды

Затраты на социальные отчисления во внебюджетные фонды, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30,2 % от полной заработной платы, т.е. $C_{соц} = C_{зп} \cdot 0,302$.

$$C_{соц} = 178546,16 \cdot 0,302 = 53920,94 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на электроэнергию

В этот вид расходов включается стоимость электроэнергии, затраченной в ходе проекта на работу используемого оборудования, рассчитанная по формуле:

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

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

$Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

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

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 1 для инженера/оператора станка ($T_{рд}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} \cdot K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – Коэффициент своевременного использования оборудования равен отношению времени работы в ходе реализации проекта к $T_{рд}$. В некоторых случаях $t_{об}$ может быть определен путем прямого учета, особенно в случае ограниченного использования соответствующего оборудования. Для станка с ЧПУ во время проведения экспериментов примем $K_t = 0,8$; для микроскопа $K_t = 0,3$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} \cdot K_c,$$

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

$K_c \leq 1$ – Коэффициент загрузки зависит от среднего использования номинальной мощности. Для маломощного технического оборудования $K_c = 1$.

Таблица 2.6 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты на электроэнергию $C_{эл. об.}$, руб.
Персональный компьютер	837,12*0,6	0,3	866,12
Токарный станок 1К62	8	5,5	252,91
Динамометр Kistler	8	1	45,98
Итого:			1165,01

Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизация» рассчитывается амортизация оборудования, использованного при реализации проекта. Формула используется:

$$C_{ам} = \frac{N_A \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D},$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

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

$C_{об} = 50000$ руб;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени. Например, для

ПК в 2019 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $C_{ам} = 298 \times 8 = 2384$ часа;

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

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

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

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

Расчёт прочих расходов

Расчёт «прочие расходы» отражает стоимость проекта, которая не рассматривалась в предыдущей статье и должна рассматриваться как 10% от суммы всех предыдущих затрат, т.е.

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

Для данной работы это: $C_{проч} = (1672,23 + 178546,16 + 53920,94 + 1165,01 + 7122,48 + 0) \cdot 0,1 = 24242,68$ руб.

Расчет общей себестоимости разработки

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

Таблица 2.7 – Общая себестоимость разработки

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	1672,23
Основная заработная плата	$C_{зп}$	178546,16
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	53920,94
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.об}$	1165,01
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	7122,48
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{нр}$	-
Прочие расходы	$C_{проч}$	24242,68
Итого:		266669,5

Таким образом, затраты на исследование составили $C = 266669,5$ руб.

2.4 Расчет прибыли

В зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.), можно получить прибыль от реализации проекта. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 - 20% от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет **26666,95руб.** (10%) от расходов на разработку проекта.

2.5 Расчет НДС

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

$$\text{НДС} = (266669,5 + 26666,95) \cdot 0,2 = 58667,29 \text{ руб.}$$

2.6 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 266669,5 + 26666,95 + 58667,29 = 352003,74 \text{ руб.}$$

Выводы

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

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4AM82	Чэнь Юэчжоу

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение работоспособности торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является участок цеха по производству образцов для дорнования, в частности оборудование, находящееся в нём</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Анализ показателей микроклимата 2. Анализ показателей шума 3. Анализ освещенности рабочей зоны 4. Анализ значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность	1. Защита селитебной зоны 2. Анализ воздействия объекта на атмосферу ; 3. Анализ воздействия объекта на гидросферу; 4. Анализ воздействия объекта на литосферу ; 5. Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	1.Перечень возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия; 2.Выбор наиболее типичной ЧС; 3.Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук, профессор		16.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Чэнь Юэчжоу		16.03.20

Социальная ответственность

Введение

При выполнении работы большая часть времени проводилась в 16А корпусе ТПУ. В лаборатории № 101 проводилось исследование стойкости и прочности сменного многогранного пластины SEHT1204 при точении стали 40X.

В результате экспериментов было установлено влияние толщины резания при чистовой обработке на износа передней поверхности режущих пластин и изменение составляющих сил резания с учётом выбранного переднего угол СМП SEHT1204. Используемое оборудование и материалы имеют следующие виды: 1) Станок универсальный токарно-винторезный модели 1К62. 2) динамометр фирмы Kistler (Германия) с интерфейсом для подключения к персональному компьютеру. 3) Микроскоп БМИ-1. 4) Прутки из стали марки 40X. 5) Державка токарная с набором твёрдосплавных сменных многогранных пластин с разными передними углами.

Полученные результаты позволяют инженерам знать стойкости и надежности инструмента и оптимальные параметры обработки

В этом разделе рассматриваются вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии со стандартами промышленной санитарии, промышленной безопасности и охраны окружающей среды.

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На рисунке 1 показано спроектированное рабочее место.

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

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

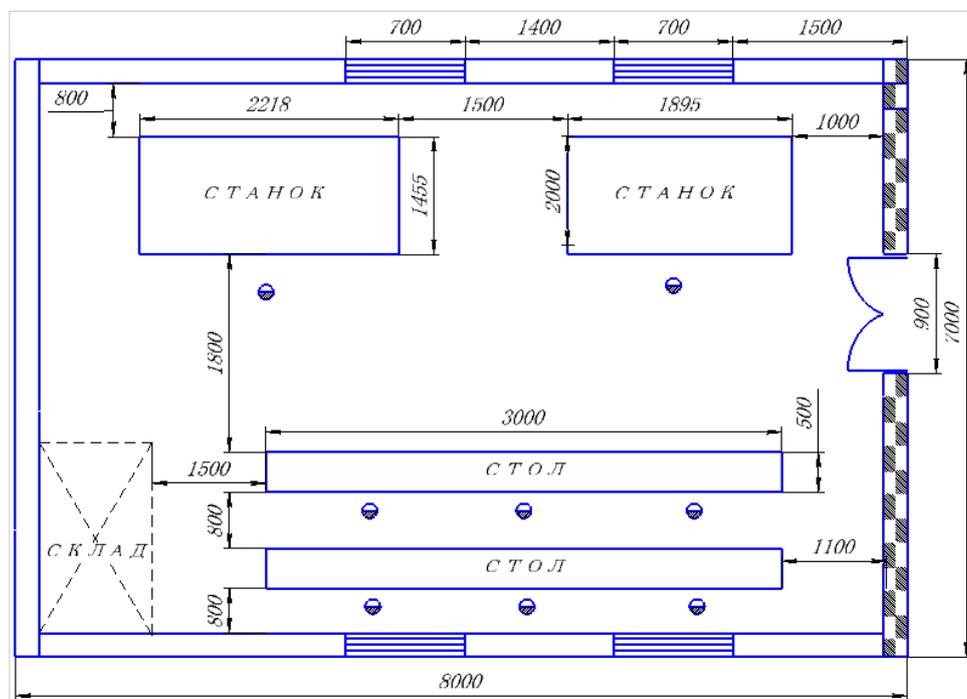


Рис.1.1 Рабочее место (Аудитория101А в 16А корпусе ТПУ)

2. Производственная безопасность

а) Анализ условий труда на рабочем месте

Эксперименты проводились на металлообрабатывающем оборудовании, а по измерению – на динамометр :

1) Токарный станок 1К62;

2) Динамометр Kistler.

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

Таблица 2.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
2. Превышение уровня шума		+	+	
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5. Повышенное значение напряжения в	+	+	+	

электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				
6. Движущиеся машины и механизмы, передвижающиеся заготовки и материалы;	+	+	+	

б) Анализ показателей шума и вибрации

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

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

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

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

шлемы, противошумные костюмы.

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

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

Настольные шумящие аппараты, счетные, перфорационные машины можно устанавливать на мягкие коврики из синтетических материалов, а под ножки столов - прокладки из резины, войлока толщиной 6-8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям. Замена - через 4-5 лет (из резины) и через 2-2,5 года (из войлока).

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

в) Анализ показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

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

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к

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

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

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений соответствуют значениям, приведенным в таблице 2.2. [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 теплое время года необходимо обеспечить защиту от прямых солнечных лучей.

По общему энергопотреблению организма человека эти задачи делятся на три категории. Работа, связанная с разработчиками, попадает в категорию легких работ. В таблице 2.2 приведены допустимые значения микроклимата в этом случае.

Таблица 2.2. - Допустимые значения микроклимата

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

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

г) Анализ освещенности рабочей зоны

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

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

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

Освещенность системы общего освещения на рабочем месте оператора составляет не менее 200 лк, а комбинированная система освещения - не менее 750 лк. Для освещения помещения чаще всего используются светильники серии ЛБ 036 с зеркальными решетками, оснащенные высокочастотными балластами (ВЧ ПРА). Применение

светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

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

Рассчитаем искусственное освещение в помещении.

Проектирование искусственного освещения рабочего места будет сводиться к следующему:

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

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, [м]:

H – высота помещения = 4;

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

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

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

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

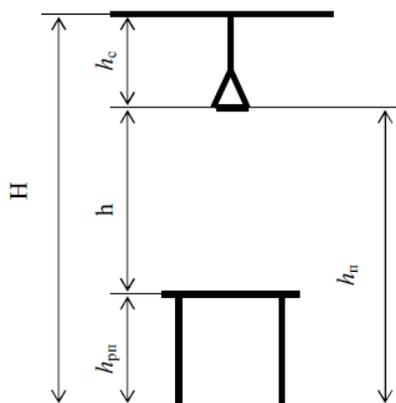


Рис.2.1 Основные расчетные параметры

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

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

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

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

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$L/3 = 3,78/3 = 1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составит 52 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения в нем светильников (рис.2.2). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 8 \cdot 1 \cdot 2 = 16$ ламп.

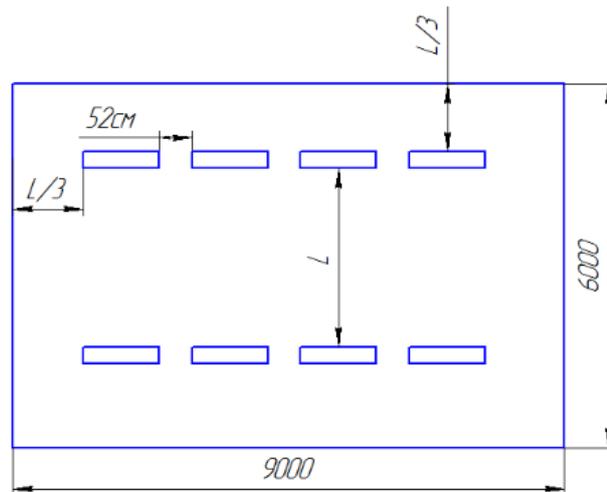


Рис.2.2 План размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле $i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}$.

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

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

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

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

$$\hat{O} = \frac{E_i \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta}, \text{ где:}$$

E_i – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95,лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

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

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

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 54 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,54} = \frac{24255}{5,76} \approx 3094 \text{ Лм}$$

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

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

$$-10\% \leq \frac{2850 - 3094}{3094} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем

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

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

Определим электрическую мощность осветительной установки:

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

Тогда мощность каждой лампы:

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

Определим электрическую мощность осветительной установки

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт.}$$

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

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

В нашей рабочей области освещение является достаточным.

д) Анализ электробезопасности

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

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

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

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

По электрической опасности помещение относится к категории без повышенной опасности.

При эксплуатации электрического оборудования необходимо помнить о возможности случайного прикосновения или приближения к токоведущим частям и прикосновения к металлическим нетокведущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, о переходе в трансформаторе высокого напряжения на низкое, о переходе тока низкой частоты в цепь высокой, об образовании электроискр, дуг или о нагреве токоведущих частей.

е) Анализ пожарной безопасности

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

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

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

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

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

3. Анализ экологической безопасности.

Охрана окружающей среды является сложной проблемой, и наиболее активной формой её решения является снижение вредных выбросов промышленных предприятий путем полного перехода на безотходную или малоотходную технологию производства.

3.1 Защита селитебной зоны

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

3.2. Анализ воздействия объекта на атмосферу

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

3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу

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

3.4 Анализ воздействия объекта на литосферу

В моем эксперименте не влияет состояние литосферы.

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

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

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

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

4.1 Наиболее типичной ЧС в 1-ом этаже корпуса 16А, ТПУ :

- возгорание устройств искусственного освещения.

- возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электро-соединений и электрораспределительных щитов;

- возгорание устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;

- возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок;

Рассматриваем две ситуации ЧС:

1). Природная– сильные морозы зимой;

Производственный цех находится в городе Томск с континентально- циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в Томске отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы.

Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

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

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

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

2)Техногенная– шпионаж, диверсия;

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. В большинстве случаев такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно не прекращаются.

Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключить распространение информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица проводят обучение каждые шесть месяцев, чтобы сформулировать действия в чрезвычайных ситуациях.

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



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

5. Заключение

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

Предоставлены сведения об опасных веществах, обращающихся на эксперименте.

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

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

В соответствии со стандартом, целями составления доклада настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду. Данные цели достигнуты.

Список литературы

1. Энциклопедия по машиностроению XXL
2. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с..
3. 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.
4. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
5. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
6. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.
7. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
8. Каталог инструментов. Твёрдосплавный инструмент российского производства. АО «Кировоградский завод твёрдых сплавов» 2019, открытый доступ www.kzts.ru.
9. Чэнь Юэчжоу. Особенности исследования контактных напряжений на поверхностях резца / Чэнь Юэчжоу, Чжао Цзялунь, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 24-26 апреля 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 59-66] .
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т.2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
11. Zhang J., Kozlov V. N., Guo Y., Sabavath S. K. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V. N. Kozlov // Научная инициатива иностранных студентов и

аспирантов российских вузов : сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 39-45].

12. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014, № 2, с. 100–113.

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

14. Козлов В.Н., Чжан Ц. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 8, ч. 2. – с. 88-94.

15. 77-48211/492011, 10 октябрь 2012 г, УДК621.914, Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков, Утенков В. М., Быков П. А

16. Чжан Цзяюй. Прочность режущего инструмента при врезании / Чжан Цзяюй, Ли Ян, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 24-26 апреля 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 46-52] .

17. Полетика М.Ф., Собанин А.Л., Кужларов В.Н. Силы и деформации на различных участках задней поверхности резца // Вопросы оптимального резания металлов. – Уфа, Изд-во УФАИ, 1976. – С. 76-78.

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

19. Чжан, Ц.. Влияние вида износостойкого покрытия на стойкость режущего инструмента [Электронный ресурс] / Ц. Чжан, В. Н. Козлов, Ш. Лю // Современные проблемы машиностроения сборник научных трудов XII

Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Ю. Арляпова [и др.] . — Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . — [С. 160-163] . — Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.

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

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

22. 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.

23. Kirsanov S. V., Babaev A. S. Study of Accuracy and Surface Roughness of Holes in Comparative Testing of Small Diameters Gun Drills // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 66. – I. 1. – P. 1-5.