МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательскийтехнический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

Выполнил: Дуненбаев Данияр Куанышевич

# Проектирование фасонного резца в системе САПР

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Зав. кафедрой «Индустриальная инженерия»
Доктор PhD.
_____ АрымбековБ.С.
«____» _____2020 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Проектирование фасонного резца в системе САПР»

по специальности 5В71200 – Машиностроение

Выполнил Дуненбаев Данияр Куанышевич

Рецензент
_____
_____ Ф.И.О.
«____» _____ 2020 г.

Научный руководитель
Канд.техн.наук, ассистент-профессор
_____ Орлова Е.П.
«____»_____ 2020 г.

Алматы 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**
Зав. кафедрой «Индустриальная инженерия»
Доктор PhD
_____ Арымбеков Б.С.
«____» _____2020 г.

**ЗАДАНИЕ**
**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся *Дуненбаеву Данияру Куанышевичу*
Тема: «*Проектирование фасонного резца в системе САПР*»
Утверждена приказом *Ректора Университета №762-б от «27» января 2020 г.*
Срок сдачи законченной работы *«20» _04____ 2020 г.*
Исходные данные к дипломной работе:

1. Размеры готовой детали
2. Марка стали обрабатываемой заготовки

Краткое содержание дипломной работы:

*а) общие сведения*
*б) графические материалы*
*в) расчет на прочность в системе САПР*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): чертеж *круглого фасонного резца*
Рекомендуемая основная литература:


1. Нефедов Н. А., Осипов К. А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учеб. пособие для техникумов по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 400 с., ил.
2. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание материалов и режущий инструмент. Изд. 3-е. М.: Машиностроение,1975. 440 с.
3. Мещеряков Р. К., Косилова А. Г. Справочник технолога – машиностроителя, Том 2, 1986.

**ГРАФИК**

Подготовки дипломной работы (проекта)

| Наименование разделов,перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю | Примечание |
|---|---|---|
| Введение<br>Общие сведения о круглых фасонных протяжках | 19.02.2020 | |
| Проектирование и расчет круглой фасонной протяжки | 27.03.2020 | |
| Расчет на прочность круглой фасонной протяжки | 29.04.2020 | |

**Подписи**

Консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы(проекта)

| **Наименование разделов** | **Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень,звание)** | **Дата подписания** | **Подпись** |
|---|---|---|---|
| Основная часть | Орлова Е.П., канд.техн.наук | 15.04.2020 | |
| Нормоконтролер | Орлова Е.П., канд.техн.наук | 20.04.2020 | |

Научный руководитель _____ Орлова Е.П.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Дуненбаев Д.К.

Дата «_30__» __01_____2020г.

# АННОТАЦИЯ

Дипломная работа включает в себя введение, два раздела, заключение и список использованной литературы. В проекте указывается информация о применении, назначении, и проектировании такого режущего инструмента, как фасонные резцы. Второй раздел проекта посвящен анализу полученных расчетных данных относительно известных параметров прочности и устойчивости инструментальной быстрорежущей стали Р6М5.

## ABSTRACT

The diploma work includes an introduction, two sections, conclusion and list of references. The project provides information about application, purpose and design of cutting tool instrument like round shaped tool. Second sections of project dedicated to analyze estimated data regarding known instrumental steel's (R6M5) parameters of strength and sustainability.

## АҢДАТПА

Дипломдықжұмыскіріспе, екібөлімнен, қорытындыжәнеқолданылғанәдебиеттізімінентұрады. Жобадафасондықкескішаттыкесетінқұралдыңқолданылуы, оныңміндетіжәнежобалауыжайлымәліметберілген. ЖобаныңекіншібөліміндеқұралханаР6М5 тезкезкішболаттыңбелгіліберіктікжәнетұрақтылыққөрсеткіштерінеқатыстыалынғанесептеудеректердіталдауақпаратыберілген.

## СОДЕРЖАНИЕ


| | | |
|---|---|---|
| | Введение | 10 |
| 1 | Проектирование круглого фасонного резца | 11 |
| 1.1 | Назначение инструмента | 11 |
| 1.2 | Выбор и обоснование инструментального материала | 12 |
| 1.3 | Обоснование элементов и параметров конструкции инструмента | 12 |
| 1.4 | Анализ исходных данных для проектирования | 13 |
| 1.5 | Коррекционный расчет Круглого фасонного резца | 15 |
| 1.6 | Изучение геометрических параметров инструмента | 17 |
| 1.7 | Расчет профиля режущей кромки резца, формирующей конический и радиусный участок детали | 19 |
| 1.8 | Анализ работы державки и заточка инструмента | 21 |
| | Расчет на прочность круглого фасонного резца | 24 |
| | Заключение | 32 |
| | Список использованной литературы | 33 |

# ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день многие виды обработки деталей ( точение, токарная, сверление, фрезерование и т.д.) остаются актуальными в разных отраслях, таких как машиностроение, приборостроение, авиастроение и т.д. Использование таких инструментов, как фасонные протяжки и резцы, сверла, и т.п. присутствует на всех этапах машиностроительного производства и выполняется в основном вручную мастерами, но также и автоматами, позволяющими сократить присутствие человеческого фактора, а также обеспечить повышение точности и производительности.

Основная задача дипломного проекта научиться проектировать пригодные к работе фасонные резцы, на примере круглого фасонного резца, учитывая все внешние и внутренние факторы, которые оказывают влияние на исправность нашего инструмента. Проектирование затрагивает все базовые навыки студента, выпускающегося со специальности «Машиностроение»: графический и аналитический расчет, умение работать с методологическими книжками и знакомство с САПР и CADсистемами. Проект полностью ознакомит, каждого читающего его человека, с таким видом обработки как точение с помощью резца и наглядно покажет весь процесс точения, начиная с проектирования заканчивая креплением и затачиванием инструмента.

## 1. Проектирование круглого фасонного резца

### 1.1 Назначение инструмента

В машиностроении заготовки, имеющие формы, отличные от цилиндрических и конических поверхностей, являются заготовками с фасонными поверхностями. Такие поверхности, как фасонныенужнообрабатывать фасонными резцами, проходными резцами с комбинированием ручной продольной и поперечной подач и проходными резцами по копиру с применением механической подачи[5].

Фасонный резец можно определить по режущей кромке, они принимают форму профиля детали, которая обрабатывается. [7]. Точно рассчитанные изготовленныерезцы при верной установкегарантируетотличнуюпроизводительность, безошибочное производство одинаковыхдеталей в многочисленных партиях, что дает возможность обеспечить взаимозаменяемость составляющих и безотказный процессконструирования машин[3]. Рабочие любой квалификации способныобрабатывать заготовки фасоннымирезцами на револьверных станках, полуавтоматах и автоматах. За точность фасонного профиля резцов ответственнывысококвалифицированные мастера инструментальных цехов. Одно из особых значенийимеют фасонные резцы из твердых сплавов, гарантирующие большую производительность в сравнении с фасонными резцами из быстрорежущей стали. Ниже Вы можете увидеть Круглый фасонный резец в соответствии с рисунком 1.1.

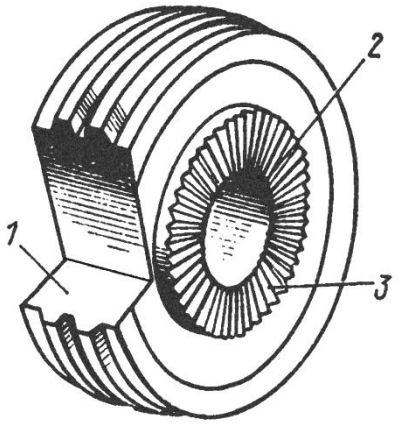



Рисунок 1.1- Круглый фасонный резец

Круглый фасонный резец определяется как диск, имеющий круглую форму с передней поверхностью *1*получаемой вырезом части диска. Глубина выреза и его направление определенны так, что стружка легко сбегает по передней поверхности и приобретает форму витка. Сквозь отверстие в центре *2*проводят болт, которым,используя гайку,крепят резец с державкой(в соответствии с рисунком 1.3). При этом резец не проворачивается при резании. На боковой поверхности находятся зубчики, имеющие треугольную форму*3*(в

соответствии с рисунком 1.2), которые переходят во впадины на державке резца[5].

## 1.2 Выбор и обоснование инструментального материала

Правильный выбор инструментального материала является значительным моментом получения максимальной эффективности производства. В важной степени выбор инструментального материала зависит от обрабатываемойзаготовки. Для изготовления фасонных резцов используются быстрорежущие стали и твердые сплавы. Для изготовления нужного мне фасонного резца я использовал быстрорежущую сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73. Это сталь нормальной производительности[3]. Выполнив термическую обработку, включающую закалку и многократный отпуск при температуре 550 – 600°С, инструмент из быстрорежущей сталибудет твердость *HRC* 62 – 65, и характеризуется высоким сопротивлением износу и теплостойкостью до 600°С.

## 1.3 Обоснование элементов и параметров конструкции инструмента

Главными конструктивными частями всех инструментов являются рабочая часть и крепежная часть, обеспечивающая расположение инструмента относительно координатной системы станка, передача сил и крутящих моментов от станка к инструменту, а также прочность и жесткость инструмента. К рабочей части любого фасонного резца относятся режущая часть, канавка для отвода стружки, а также ее размещения, и геометрические параметры. Державка относится к крепежной части. Особенностью проектирования фасонных резцов является выбор предполагаемой базовой точки либо же линии, расположенной на центральной линии, что показывает свое отражение вклассификации резцов. В соответствии с рисунком 1.2, *а*указан резец, для исправной работы которого нужно установить базовую точку *1* на высоте центров, а на рисунке 1.2, б, *в*— резцы с базовой линией *1*—2, находящейся на высоте центров.

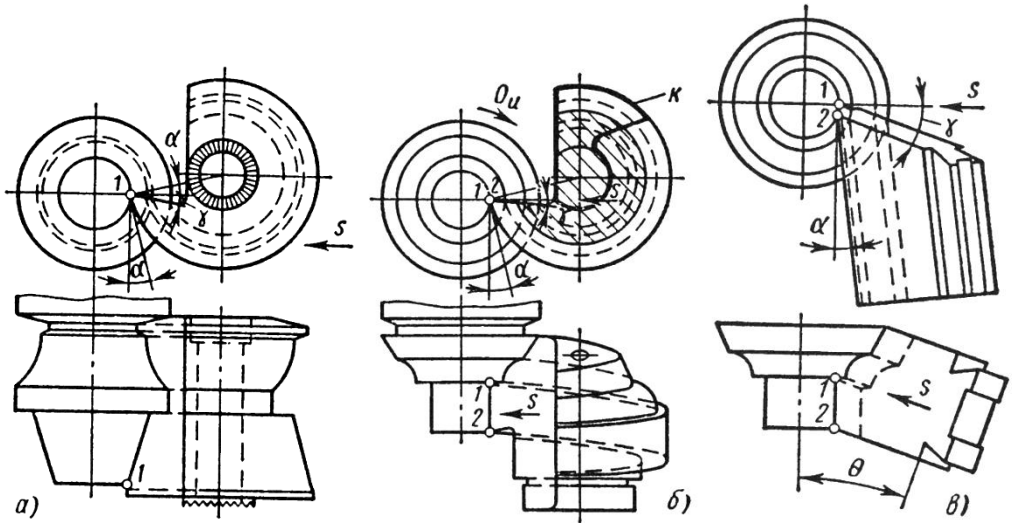


Рисунок1.2 - Фасонные резцы: а – круглый радиальный с базовой точкой 1; б – круглый радиальный с винтовой образующей; в – призматический с наклонной подачей и базовой линией 1 – 2[5]

### 1.4 Анализ исходных данных для проектирования

За исходные данные для проектирования принимаются данные об обрабатываемой детали (в соответствии с рисунком 1.1): форма и размер поверхностей, попадающих под обработку; требуемая точность и допустимая шероховатость; технологические свойства материала.

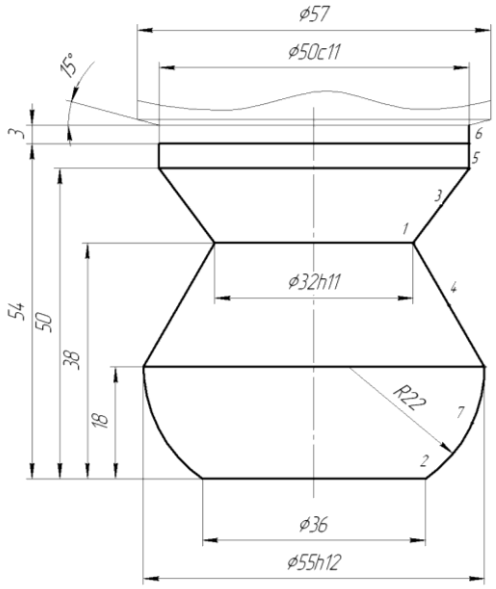



Рисунок 1.3 - Обрабатываемая деталь

Обрабатываемая деталь представляет собой тело вращения и имеет один цилиндрический, два конических и радиусный участки. Длина детали относительно небольшая и равна 57 мм. Наибольший диаметр детали 55 мм, наименьший равен 32 мм. Материал заготовки: сталь 30ХГС.

Используемый материал обладает ограниченной свариваемостью и предрасположенностью к отпускной хрупкости.Предел прочности детали $\sigma_в$ = 1100 МПа.

Корректировку профиля фасонного резца производят по характерным точкам детали (1-7). Точки располагаются на стыке участков профиля с различным характером образующих[6].

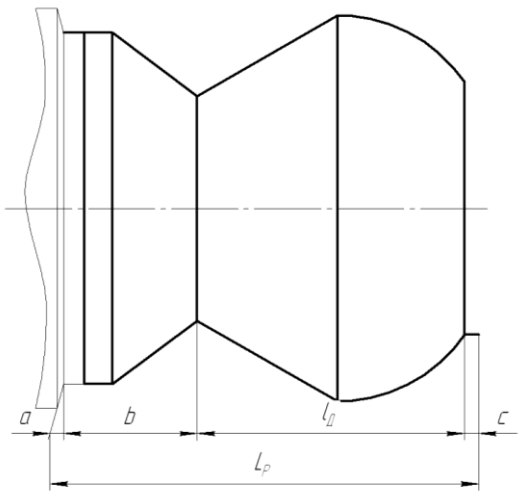



Рисунок1.4 - Эскиз заготовки

1) Общая длина круглого фасонного резца:

$$\mathbf{L_р = l_д + a + b + c} \qquad (1.1)$$

$\mathbf{L_р = 61}$ мм.

где $l_д$ – длина обрабатываемой детали, мм;

$a$ – участок для проточки канавки под последующую отрезку, мм;

$b$ – участок для перекрывания профиля детали, мм;

$c$ – длина буртика с радиальным рифлением, мм.

2) Параметры зубчатых рефелей:

$\mathbf{z = 32 \ldots 36}$. Выбираем $\mathbf{z = 36}$.

3) Наружный диаметр резца:

Наружный диаметр резца выбирается в зависимости от $\mathbf{t_{max}}$.

$$\boldsymbol{t_{max}} = \frac{\boldsymbol{d_{max} - d_{min}}}{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{55 - 32}}{\mathbf{2}} = \mathbf{11,5} \text{ мм.} \qquad (1.2)$$

Выбираем$\boldsymbol{D_{max}} = \mathbf{90}$ мм, $\boldsymbol{e} = \mathbf{4}$.

3) Выбор углов в базовых точках:

Передний угол$\gamma$, величина которого зависит от свойств обрабатываемого материала (сталь 30ХГС), принимаем 11° — для твердой стали и мягкого чугуна. Задний угол$\alpha$принимаем в зависимости от конструктивных свойств резца: 10—12° для дисковых фасонных резцов. Выбираем$\alpha$=10°[1].

Указанные значения $\boldsymbol{\gamma}$ и $\alpha$имеют свое значение только к наружным точкам профиля резца. Приближаясь к центру деталикруглого фасонного резца передний угол - начинает идти на уменьшение, а задний на увеличение[2]. Размеры рабочей части и высота профиля резца подобна профилю, который возникает в пересечении фасонной поверхности ипередней поверхностью резца. Одну поверхность торца круглого фасонного резца занимают зубцы, которые предназначены для закрепления резца в резцедержателе станка и при заточке[3].

## 1.5 Коррекционный расчет Круглого фасонного резца

1.5.1.Находим сумму переднего и заднего углов базовой точки резца:

$$\psi(\varepsilon_Б) = \alpha_Б + \gamma_Б, \quad (1.3)$$

$\psi(\varepsilon_Б) = 10^\circ + 11^\circ = 21^\circ$.

1.5.2.Находим смещение передней грани круглого фасонного резца относительно его оси в плоскости нормальной к передней поверхности:

$$H = R_{max} \cdot \sin\psi_Б \quad (1.4)$$

$$H = 45 \cdot \sin 21^\circ = 16{,}1266 \text{ мм.}$$

1.5.3.Определяем высоту установки оси инструмента относительно оси детали:

$$h_p = R_{max} \cdot \sin\alpha_Б \quad (1.5)$$

$h_p = 45 \cdot \sin 10^\circ = 7{,}8142$ мм.

1.5.4.Рассчитываем положение вершины инструмента относительно заготовки в плоскости нормальной передней поверхности резца:

$$h_u = r_1 \cdot \sin\gamma_Б \quad (1.6)$$

$h_u = 16 \cdot \sin 11^\circ = 3{,}0529$ мм.

1.5.5.Рассчитываемразницу от центра детали до базовой точки инструмента на передней поверхности:

$$A_Б = r_1 \cdot \cos\gamma_Б \quad (1.7)$$

$\text{А}_Б = 16 \cdot \cos 11^\circ = 15{,}706$ мм.

1.5.6.Определяемотрезок от центра инструмента до базовой точки инструментана передней поверхности:

$$B = R_{max} \cdot \cos\psi_Б \quad (1.8)$$

$B_Б = 45 \cdot \cos 21^\circ = 42{,}0111$ мм.

1.5.7.Рассчитываютвелечину переднего угла в $i$ – ой точке профиля:

$$\gamma_i = \arcsin\left(\frac{h_u}{r_i}\right) \quad (1.9)$$

$\gamma_1 = \arcsin\left(\frac{3.0529}{16}\right) = 10.9998^\circ$,

$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{3.0529}{18}\right) = 9.7649^\circ$,

$\gamma_3 = \arcsin\left(\frac{3.0529}{20.5}\right) = 8.5645^\circ$,

$\gamma_4 = \arcsin\left(\frac{3.0529}{21.75}\right) = 8.0689^\circ$,

$\gamma_{5,6} = \arcsin\left(\frac{3.0529}{25}\right) = 7.0142^\circ$,

$\gamma_7 = \arcsin\left(\frac{3.0529}{25.53}\right) = 6.8679^\circ$,

$\gamma_8 = \arcsin\left(\frac{3.0529}{27.5}\right) = 6.3738^\circ$.

1.5.8 Рассчитываем расстояние от центра инструмента до $i$ – ой точки инструментана передней поверхности:

$$A_i = r_i \cdot \cos\gamma_i \quad (1.10)$$

$A_1 = 16 \cdot \cos 10{,}9998^\circ = 15{,}706$ мм.,
$A_2 = 18 \cdot \cos 9{,}7649^\circ = 17{,}7392$ мм.,
$A_3 = 20{,}5 \cdot \cos 8{,}5645^\circ = 20{,}2714$ мм.,
$A_4 = 21{,}75 \cdot \cos 8{,}0689^\circ = 21{,}5347$ мм.,
$A_{5,6} = 25 \cdot \cos 7{,}0142^\circ = 24{,}8129$ мм.,
$A_7 = 25{,}53 \cdot \cos 6{,}8679^\circ = 25{,}3468$ мм.,
$A_8 = 27{,}5 \cdot \cos 6{,}3738^\circ = 27{,}33$ мм.

1.5.9 Рассчитываем расстояние от $i$ – ой точки до базовой точки инструментана передней поверхности:

$$l_i = A_i - A_Б \tag{1.11}$$

$l_i = A_i - A_Б$
$l_1 = 15{,}706 - 15{,}706 = 0,$
$l_2 = 17{,}7392 - 15{,}706 = 2{,}0332$ мм,
$l_3 = 20{,}2714 - 15{,}706 = 4{,}5654$ мм,
$l_4 = 21{,}5347 - 15{,}706 = 5{,}8287$ мм,
$l_{5,6} = 24{,}8129 - 15{,}706 = 9{,}1069$ мм,
$l_7 = 25{,}3468 - 15{,}706 = 9{,}6408$ мм,
$l_8 = 27{,}33 - 15{,}706 = 11{,}624$ мм.

1.5.10 Определяем расстояние от центра инструмента до $i$ – ой точки инструментана передней поверхности:

$$B_i = B_Б - l_i \tag{1.12}$$

$B_1 = 42{,}0111 - 0 = 42{,}0111$ мм,
$B_2 = 42{,}0111 - 2{,}0332 = 39{,}9779$ мм,
$B_3 = 42{,}0111 - 4{,}5654 = 37{,}4457$ мм,
$B_4 = 42{,}0111 - 5{,}8287 = 36{,}1824$ мм,
$B_{5,6} = 42{,}0111 - 9{,}1069 = 32{,}9042$ мм,
$B_7 = 42{,}0111 - 9{,}6408 = 32{,}3703$ мм,
$B_8 = 42{,}0111 - 11{,}624 = 30{,}3871$ мм.

1.5.11 Находим угол, показывающийсовокупность переднего и заднего углов в $i$ – ой точке:

$$\psi_i = arctg\left(\frac{16{,}1266}{B_i}\right) \tag{1.13}$$

$\psi_1 = arctg\left(\frac{16{,}1266}{42{,}0111}\right) = 21^\circ,$
$\psi_2 = arctg\left(\frac{16{,}1266}{39{,}9779}\right) = 21{,}9686^\circ,$
$\psi_3 = arctg\left(\frac{16{,}1266}{37{,}4457}\right) = 23{,}2999^\circ,$
$\psi_4 = arctg\left(\frac{16{,}1266}{36{,}1824}\right) = 24{,}0227^\circ,$
$\psi_{5,6} = arctg\left(\frac{16{,}1266}{32{,}9042}\right) = 26{,}1098^\circ,$

$$\psi_7 = arctg\left(\frac{16{,}1266}{32{,}3703}\right) = 26{,}4821^\circ,$$
$$\psi_8 = arctg\left(\frac{16{,}1266}{30{,}3871}\right) = 27{,}9551^\circ.$$

1.5.12 Находим радиус инструмента в $i$ – ой точке:

$$R_i = \frac{H}{\sin\psi_i} \tag{1.14}$$

$$R_1 = \frac{16{,}1266}{\sin 21^\circ} = 45 \text{ мм},$$
$$R_2 = \frac{16{,}1266}{\sin 23{,}9686^\circ} = 43{,}1079 \text{ мм},$$
$$R_3 = \frac{16{,}1266}{\sin 23{,}2999^\circ} = 40{,}7707 \text{ мм},$$
$$R_4 = \frac{16{,}1266}{\sin 24{,}0227^\circ} = 39{,}6135 \text{ мм},$$
$$R_{5,6} = \frac{16{,}1266}{\sin 26{,}1098^\circ} = 36{,}6436 \text{ мм},$$
$$R_7 = \frac{16{,}1266}{\sin 26{,}4821^\circ} = 36{,}1649 \text{ мм},$$
$$R_8 = \frac{16{,}1266}{\sin 27{,}9551^\circ} = 34{,}4012 \text{ мм}.$$

1.5.13 Определяем задний угол резца в $i$ – ой точке:

$$\alpha_i = \psi_i - \gamma_i \tag{1.15}$$

$$\alpha_1 = 21^\circ - 10{,}9998^\circ = 10^\circ,$$
$$\alpha_2 = 21{,}9686^\circ - 9{,}7649^\circ = 12{,}2037^\circ,$$
$$\alpha_3 = 23{,}2999^\circ - 8{,}5645^\circ = 14{,}7354^\circ,$$
$$\alpha_4 = 24{,}0227^\circ - 8{,}0689^\circ = 15{,}9538^\circ,$$
$$\alpha_{5,6} = 26{,}1098^\circ - 7{,}0142^\circ = 19{,}0956^\circ,$$
$$\alpha_7 = 26{,}4821^\circ - 6{,}8679^\circ = 19{,}6142^\circ,$$
$$\alpha_8 = 27{,}9551^\circ - 6{,}3738^\circ = 21{,}5813^\circ.$$

## 1.6 Изучение геометрических параметров инструмента

Во время проектированияинструментаопределяют передний угол и задний угол $\alpha$. Углы $\gamma$ и $\alpha$называются радиальными и их величина меняется для всех точек профиля инструмента, чей радиус меньше максимального радиуса инструмента[1].

1.6.1Определяем передний угол резца в $i$ – ой точке в нормальном сечении к профилю кромок, влияющих на процесс резания:

$$\mathrm{tg}\gamma_{Ni} = \mathrm{tg}\gamma_i \cdot \sin\varphi_i \tag{1.16}$$

$tg\gamma_{N1} = tg\gamma_1 \cdot \sin\varphi_1 = tg10{,}9998° \cdot \sin60°6' = 0{,}1693$, $\gamma_{N1} = 9{,}6115°$
$tg\gamma'_{N1} = tg\gamma_1 \cdot \sin\varphi'_1 = tg10{,}9998° \cdot \sin53°8' = 0{,}1569$, $\gamma'_{N1} = 8{,}9145°$
$tg\gamma_{N2} = tg\gamma_2 \cdot \sin\varphi_2 = tg9{,}7649° \cdot \sin180° = 0$
$tg\gamma'_{N2} = tg\gamma_2 \cdot \sin\varphi'_2 = tg9{,}7649° \cdot \sin34°37' = 0{,}0972$, $\gamma'_{N2} = 5{,}5492°$
$tg\gamma_{N3} = tg\gamma_3 \cdot \sin\varphi_3 = tg8{,}5645° \cdot \sin126°52' = 0{,}1210$, $\gamma_{N3} = 6{,}9010°$
$tg\gamma'_{N3} = tg\gamma_3 \cdot \sin\varphi'_3 = tg8{,}5645° \cdot \sin53°8' = 0{,}1215$, $\gamma'_{N3} = 6{,}9292°$
$tg\gamma_{N4} = tg\gamma_4 \cdot \sin\varphi_4 = tg8{,}0689° \cdot \sin60°6' = 0{,}1235$, $\gamma_{N4} = 7{,}0409°$
$tg\gamma'_{N4} = tg\gamma_4 \cdot \sin\varphi'_4 = tg8{,}0689° \cdot \sin119°54' = 0{,}1233$, $\gamma'_{N4} = 7{,}0313°$
$tg\gamma_{N5} = tg\gamma_5 \cdot \sin\varphi_5 = tg7{,}0142° \cdot \sin126°52' = 0{,}0989$, $\gamma_{N5} = 5{,}6469°$
$tg\gamma'_{N5} = tg\gamma_5 \cdot \sin\varphi'_5 = tg7{,}0142° \cdot \sin90° = 0{,}1230$, $\gamma'_{N5} = 7{,}0142°$
$tg\gamma_{N6} = tg\gamma_6 \cdot \sin\varphi_6 = tg7{,}0142° \cdot \sin90° = 0{,}1230$, $\gamma_{N6} = 7{,}0142°$
$tg\gamma'_{N6} = tg\gamma_6 \cdot \sin\varphi'_6 = tg70{,}142° \cdot \sin180° = 0$
$tg\gamma_{N7} = tg\gamma_7 \cdot \sin\varphi_7 = tg6{,}8679° \cdot \sin114°27' = 0{,}1098$, $\gamma_{N7} = 6{,}2660°$
$tg\gamma'_{N7} = tg\gamma_7 \cdot \sin\varphi'_7 = tg6{,}8679° \cdot \sin65°33' = 0{,}1095$, $\gamma'_{N7} = 6{,}2462°$
$tg\gamma_{N8} = tg\gamma_8 \cdot \sin\varphi_8 = tg6{,}3738° \cdot \sin90° = 0{,}1117$, $\gamma_{N8} = 6{,}3738°$
$tg\gamma'_{N8} = tg\gamma_8 \cdot \sin\varphi'_8 = tg6{,}3738° \cdot \sin119°54' = 0{,}0972$, $\gamma'_{N8} = 5{,}5508°$

1.6.2 Рассчитываем задний угол резца в *i* – ой точке в нормальном сечении к профилю кромок:

$$tg\alpha_{Ni} = tg\alpha_i \cdot \sin\varphi_i \qquad (1.17)$$

$tg\alpha_{N1} = tg\alpha_1 \cdot \sin\varphi_1 = tg10° \cdot \sin60°6' = 0{,}1536$, $\alpha_{N1} = 8{,}7334°$
$tg\alpha'_{N1} = tg\alpha_1 \cdot \sin\varphi'_1 = tg10° \cdot \sin53°8' = 0{,}1423$, $\alpha'_{N1} = 8{,}0982°$
$tg\alpha_{N2} = tg\alpha_2 \cdot \sin\varphi_2 = tg12{,}2037° \cdot \sin180° = 0$
$tg\alpha'_{N2} = tg\alpha_2 \cdot \sin\varphi'_2 = tg12{,}2037° \cdot \sin34°37' = 0{,}1221$, $\alpha'_{N2} = 6{,}9611°$
$tg\alpha_{N3} = tg\alpha_3 \cdot \sin\varphi_3 = tg14{,}7354° \cdot \sin126°52' = 0{,}2114$, $\alpha_{N3} = 11{,}9346°$
$tg\alpha'_{N3} = tg\alpha_3 \cdot \sin\varphi'_3 = tg14{,}7354° \cdot \sin53°8' = 0{,}2122$, $\alpha'_{N3} = 11{,}9824°$
$tg\alpha_{N4} = tg\alpha_4 \cdot \sin\varphi_4 = tg15{,}9538° \cdot \sin60°6' = 0{,}2491$, $\alpha_{N4} = 13{,}9854°$
$tg\alpha'_{N4} = tg\alpha_4 \cdot \sin\varphi'_4 = tg15{,}9538° \cdot \sin119°54' = 0{,}2487$, $\alpha'_{N4} = 13{,}9668°$
$tg\alpha_{N5} = tg\alpha_5 \cdot \sin\varphi_5 = tg19{,}0956° \cdot \sin126°52' = 0{,}2782$, $\alpha_{N5} = 15{,}5476°$
$tg\alpha'_{N5} = tg\alpha_5 \cdot \sin\varphi'_5 = tg19{,}0956° \cdot \sin90° = 0{,}3461$, $\alpha'_{N5} = 19{,}0956°$
$tg\alpha_{N6} = tg\alpha_6 \cdot \sin\varphi_6 = tg19{,}0956° \cdot \sin90° = 0{,}3461$, $\alpha_{N6} = 19{,}0956°$
$tg\alpha'_{N6} = tg\alpha_6 \cdot \sin\varphi'_6 = tg19{,}0956° \cdot \sin180° = 0$
$tg\alpha_{N7} = tg\alpha_7 \cdot \sin\varphi_7 = tg19{,}6142° \cdot \sin114°27' = 0{,}3249$, $\alpha_{N7} = 17{,}9973°$
$tg\alpha'_{N7} = tg\alpha_7 \cdot \sin\varphi'_7 = tg19{,}6142° \cdot \sin65°33' = 0{,}3238$, $\alpha'_{N7} = 17{,}9439°$
$tg\alpha_{N8} = tg\alpha_8 \cdot \sin\varphi_8 = tg21{,}5813° \cdot \sin90° = 0{,}3956$, $\alpha_{N8} = 21{,}5813°$
$tg\alpha'_{N8} = tg\alpha_8 \cdot \sin\varphi'_8 = tg21{,}5813° \cdot \sin119°54' = 0{,}3441$, $\alpha'_{N8} = 18{,}9901°$

В соответствии с рисунком 1.5представлены графики изменения углов фасонного резца, построенные по результатам вышеуказанных расчетов[3].

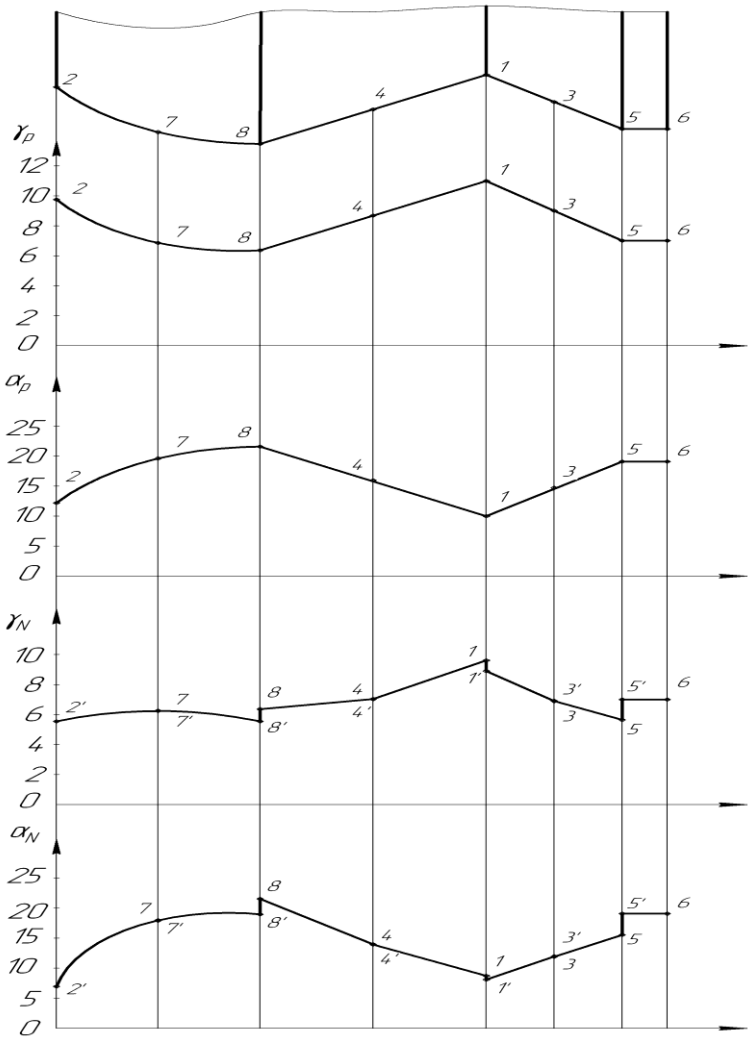



Рисунок1.5 - Графики изменения углов фасонного резца

## 1.7 Расчет профиля режущей кромки резца, формирующей конический участок детали

1.7.1Определяем высотнуювеличинуотрезка режущей кромки, образующего коническую часть детали, рассчитываемый в нормальной плоскости к задней поверхности инструмента,учитывая размеры, полученные при коррекционном расчете:

$$T_i = |R_к - R_н| \qquad (1.18)$$

где $R_к$ и $R_н$ – радиусы инструмента в конечныхи начальныхкоординатах,определяемого участка профиля режущей кромки;

$T_{7'}$ =|55 – 32| = 23 мм.

1.7.2 Определяем угол профиля рассматриваемого участка режущей кромки фасонного резца:

$$\varphi_{ti} = \mathrm{arctg}(X_{Ki}/ T_i) \qquad (1.19)$$

где $X_{Ki}$ – длина определяемого конического участка;

$$\varphi_{t7'} = \mathrm{arctg}(X_{K7'}/ T_{7'}) = \mathrm{arctg}(20/23) = 41{,}0091°.$$

Расчет профиля режущей кромки инструмента, формирующей радиусный участок заготовки: в соответствии с рисунком 1.6 указаны координаты и расчеты радиусного участка заготовки.

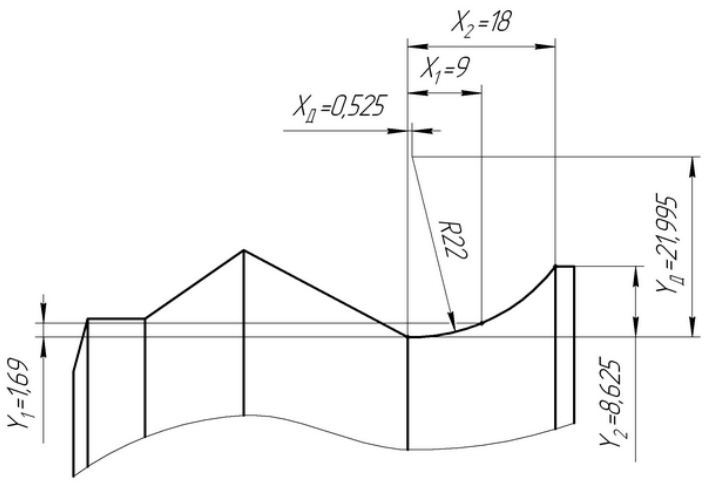



Рисунок 1.6 - Расчет радиусного участка детали

1.8.1 Определяемположение центра дуги:

$$x_{Д} = \frac{a^2 Y_1 - b^2 Y_2}{c} \tag{1.20}$$

$$y_{Д} = \frac{b^2 X_1 - a^2 X_2}{c} \tag{1.21}$$

$X_1$ и $Y_1$– координаты профиля инструмента, находящейся в центре радиального участка;

$X_2$ и $Y_2$– координаты точки профиля инструмента расположенной на конце радиусного участка;

$a, b, c$–дополнительныезначения,рассчитываемые из соотношений:

$a = X_2 + Y_2,\ b = X_1 + Y_1,\ c = 2(X_2 Y_1 - X_1 Y_2);$

$a = 18 + 8.625 = 26.625$ мм, $b = 9 + 6.935 = 15.935$ мм, $c = 2(18 \cdot 6.935 - 9 \cdot 8.625) = -94.41$ мм.

$$x_{Д} = \frac{26.625^2 \cdot 6.935 - 15.935^2 \cdot 8.625}{-94.41} = -28.8747 \text{ мм.}$$

$$y_{Д} = \frac{15.935^2 \cdot 9 - 26.625^2 \cdot 18}{-94.41} = 110.9492 \text{ мм.}$$

1.8.2 Рассчитываемполовину диаметра заменяемой окружности:

$$R_{Д} = X_{Д} + Y_{Д} \tag{1.22}$$

$R_{Д} = -28.8747 + 110.9492 = 82.0745$ мм.

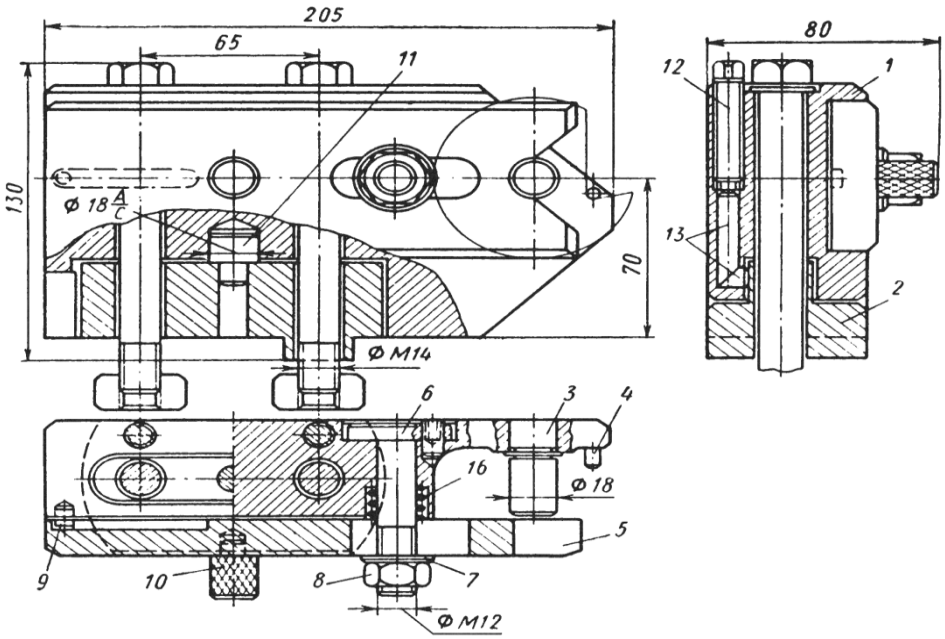
## 1.8Анализ работы державки и заточка инструмента

Для установки, регулирования и крепления резцов на станках в основном применяются державки различныхформ, относительно типа станка и резца, эргономичности и удобностиположения его на суппорте[8].

Можно различать следующие державки: 1) тип станка, для которого основное назначение; 2) методзакрепления в станках; 3) в зависимости отинструментов; 4) отметода регулирования инструментовв зависимостизаготовки.

Наличие зубчатого венца в механизме фиксаций дает возможностьвыполнять грубую регулировку положения вершины резца по высоте центра обрабатываемой заготовки. Для проектируемого фасонного резца воспользуемся методом фиксации,включающим наличие зубчатого венца[6].

Применяембыстросменную двухопорную державку. Ниже представленпример державки для круглых резцов (в соответствии с рисунком 1.7).




1 - корпус; 2 - подкладка; 3 – опорный палец; 4 – ограничитель; 5 - прижим; 6 – зажимной болт; 7 - шайба; 8 – гайка; 9 – штифт; 10 – ручка прижима; 11 – поворотная опора; 12 – регулировочные винты; 13 – вставка.

Рисунок1.7- Быстросменная державка для круглых резцов

В быстросменной двухопорной державке (рисунок1.7 )для широких круглых резцов крепление резца, находящемся на пальце3 производится с помощью прижима, двигающегося в сторону при легком ослаблении гайки 8. В державке есть возможностьизменять параллельность оси резца в зависимости от оси заготовки в горизонтальной плоскости, что выполняется поворотом корпуса державки вокруг цилиндрической опоры 11 двумя регулировочными винтами 12[6].

Заточкавыполняется заключающей операцией в целом технологическом процессе изготовления резцов и является необходимым средством для восстановления режущей способности резцов, затупленных в процессе эксплуатации. Заточка проводится на универсально-заточных станках,используя шлифовальные чашечные круги[4]. Для закрепления круглых резцов часто используются приспособления, имеющие возможность поворачивать резец вокруг оси и способные наклонить его на угол $\lambda$ в частном случае применения резцов, устанавливаемых базовой линией по центру детали.В соответствии с рисунком 1.7 предоставлена схема установки резца для заточки, в тот момент, когда в рабочем состоянии одна точка режущего лезвия находится на высоте центра $O_и$заготовки, в соответствии с рисунком 1.8 схема установки резца, когда в рабочемсостоянии на высоте центра $O_и$ детали находится базовая линия[8]. Правильную установку затачиваемыхкруглых резцов в зависимости от плоскости действия шлифовального круга упрощают круговые риски на торцах резцов (контрольные окружности).

Чтобы заточить переднюю поверхность на требуемую глубину и под нужными углами $\alpha$и $\gamma$, нужнопередвинуть центр затачиваемого резца относительно торцовой поверхности шлифовального круга на величину радиуса $r_к$ контрольной окружности[5]. Смещение будет зависеть от радиуса контрольной окружности, если ребро линейки, прикладываемой к торцу шлифовального круга, одновременно коснется контрольной окружности на торце резца. Закрепив в этом положении поперечные салазки станка, подъемом стола перемещаем резец вверх до того момента, пока закругленный край шлифовального круга не коснется контрольной риски. При заточке передней поверхности резцов с расположением базовой линии на высоте центра детали необходимо совершить дополнительный поворот приспособления и резца вокруг вертикальной оси на угол $\lambda$[4]. Поворачивая резец вокруг оси, стачивают с его передней поверхности слой металла, необходимый для восстановления режущих лезвий и исключения признаков износа фасонного профиля. Если поворот резца вокруг оси затруднен, томожно закрепить резец в нужном положении и, перемещая поперечные салазки, убратьполностью необходимый слой. Схема заточки передней поверхности круглого фасонного резца указана на рисунке 8 и 9[8] .

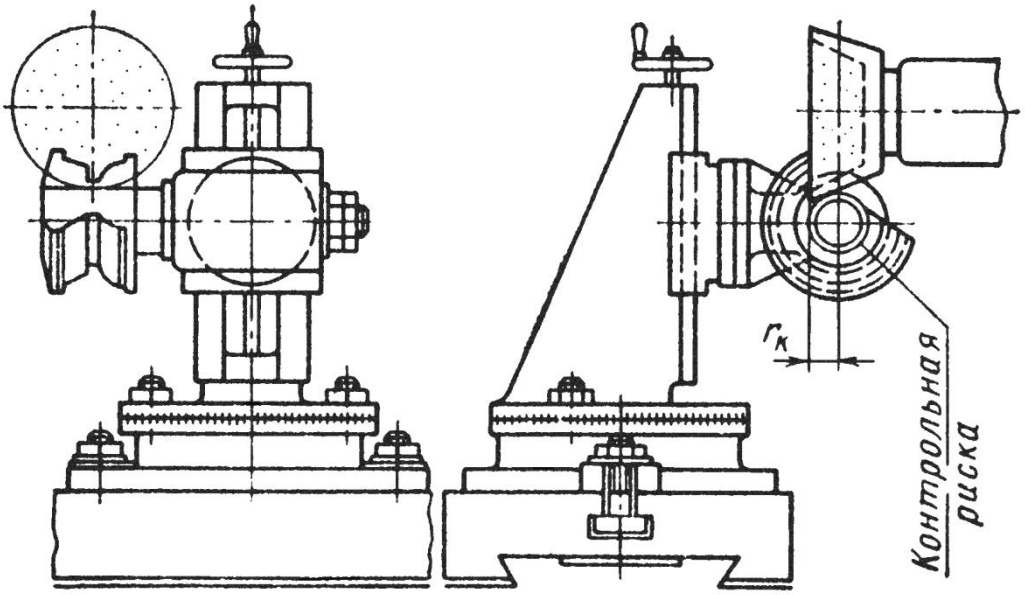



Рисунок1.8- Схема заточки передней поверхности круглого фасонного резца, базовая точка которого расположена на высотецентра детали

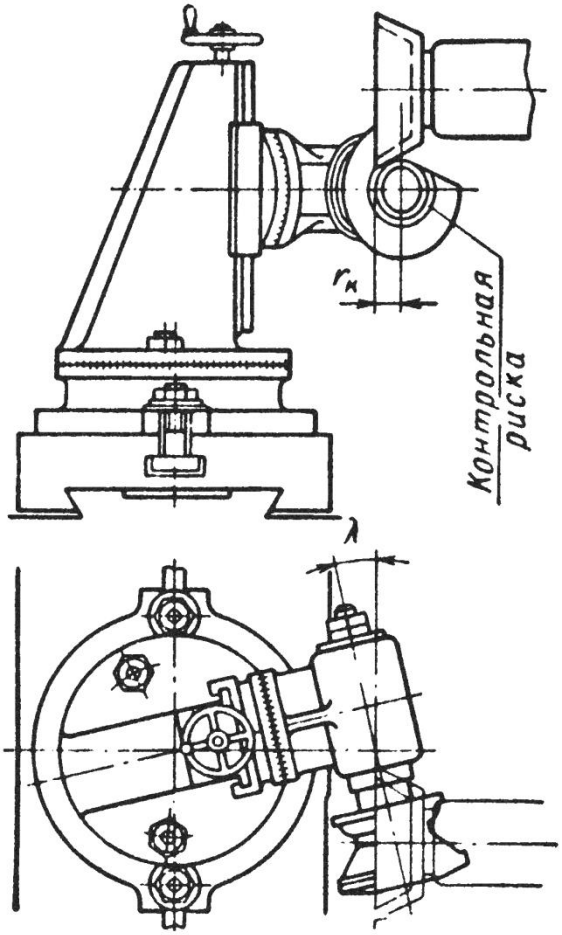



Рисунок 1.9- Схема заточки передней поверхности круглого фасонного резца, базовая линия которого расположена по центру детали

## 2 Расчет на прочность Круглого фасонного резца

Чтобы провести расчет на прочность изначально нужно полностью спроектировать инструмент в любой САПР системе. Для решения данной задачи я использовал актуальную версию систем Компас - 3Dv18, а также, необходимую дополнительную машиностроительную конфигурацию. Все конечные величины, полученные в результате расчета и уже имеющиеся у нас исходные данные, потребуются нам для создания чертежа, а именно 2Dмодели, которую в дальнейшем преобразуем в нужную нам 3D–модель (в соответствии с рисунком 2.1 и 2.2).

Получив готовый инструмент,далее сохраняем полученный готовый файл в формате «.stp» для проведения дальнейших расчетов круглого фасонного резца на прочность в программе APMStudioи APMStructure. Ниже, Вы можете увидеть пошаговый расчет на прочность фасонного круглого резца в системе APMStudioи APMStructure, изначально спроектированного в САПР системе «Компас 3Dv18». Устанавливаем закрепления, а также распределенную силу, выражаемую векторной величиной. Сила резания, заранее находится по формуле:

$$P_{z,y,x} = 10C_p t^x s^y v^n K_p \qquad (2.1)$$

Силу резания Н, раскладываем на образующие силы, направленные по осям координат станка (Тангенциальную $P_z$, радиальную $P_y$ и осевую$P_x$). $C_p$= 212 – коэффициент для расчета силы резания при точении, выбираем относительно материала детали и материала режущей части резца Р6М5.[1]t =11.5мм – глубина резания.

Величину подачи $S$ определяем по таблице 16([3], страница 269)в зависимости от длины и ширины резца. $S$ = 0.45 мм/об. $x$ =1; $y$ = 0.75; $n$ = 0 – показатели степеней ([3], страница 273, таблица22).

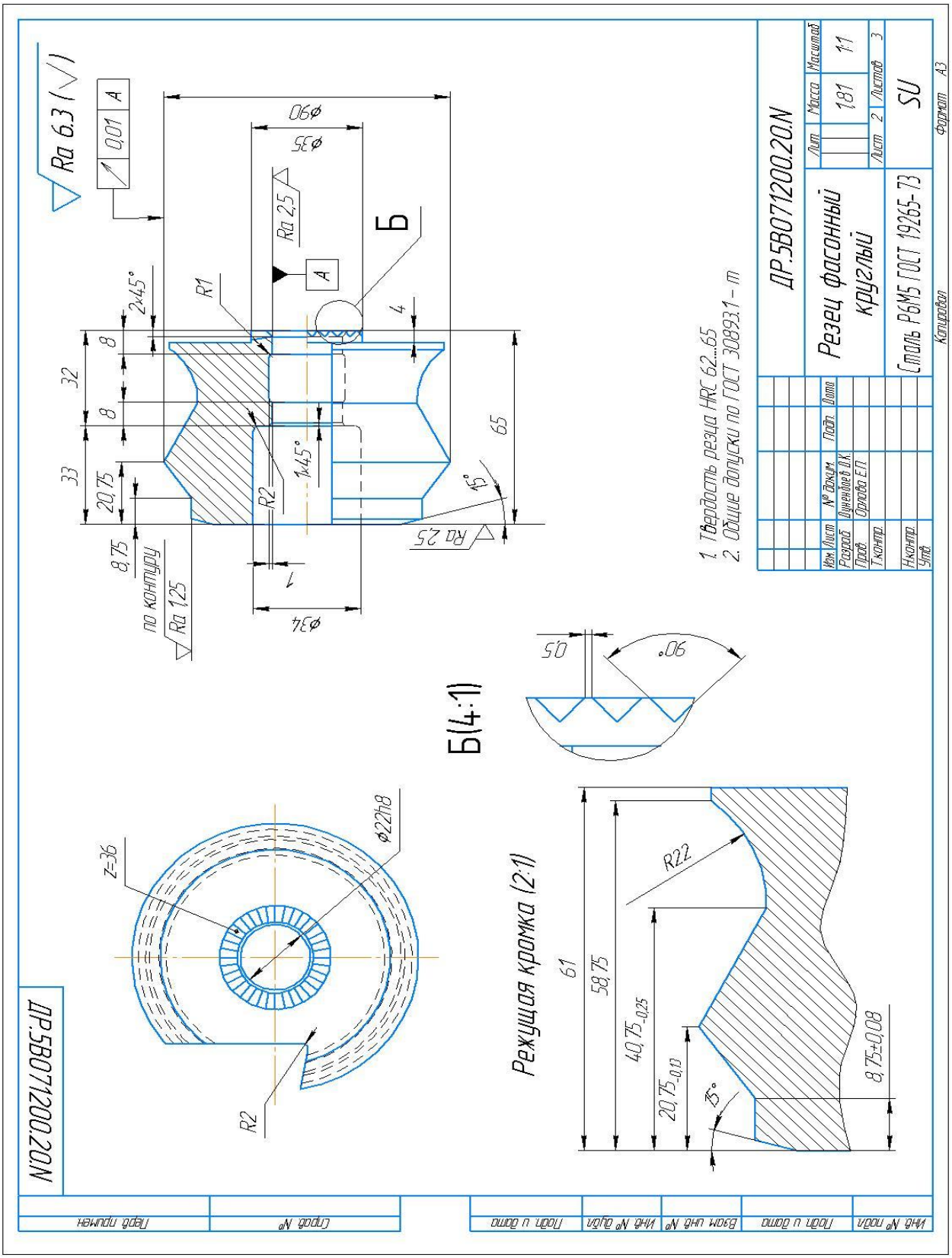



Рисунок 2.1 - Чертеж круглого фасонного резца

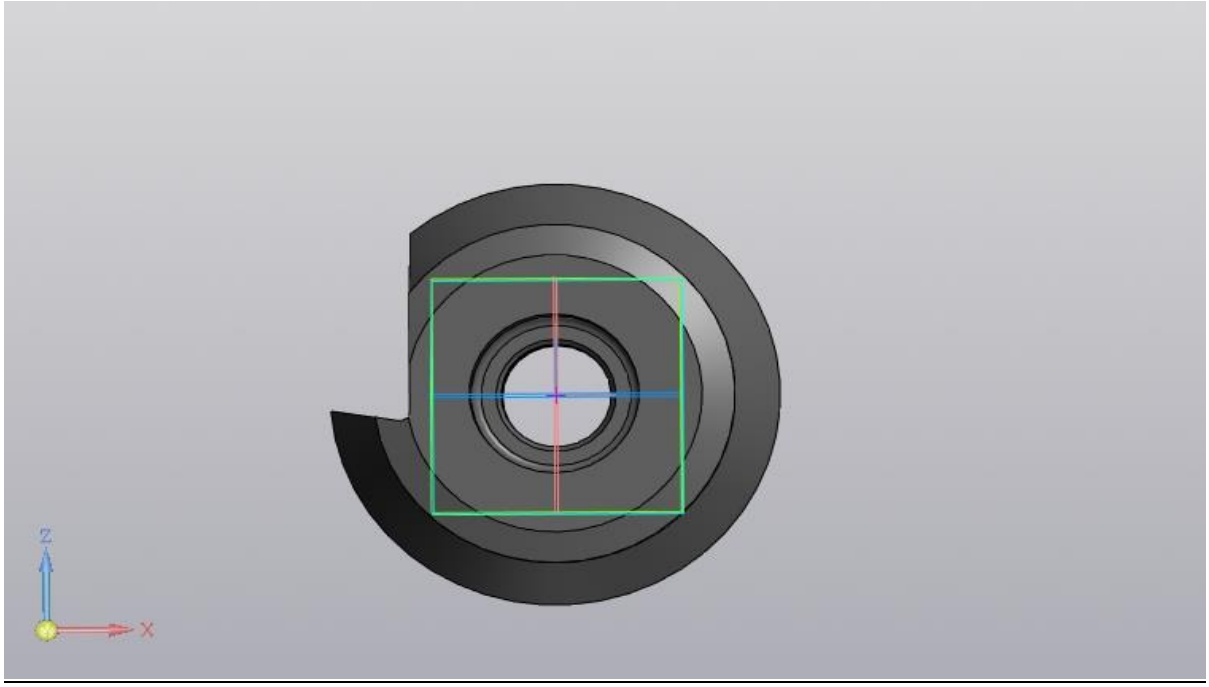



Рисунок 2.2 - 3D – модель Круглого Фасонного резца.

Общий поправочный коэффициент $K_p$- коэффициент, включающий в себя измененные условия резания. Находитсякак произведение из ряда коэффициентов.Направляющим изних является коэффициент $K_{мр}$, учитывающий качество обрабатываемого материала.

$$K_p = K_{мр} K_{jp} K_{gp} K_{ip} K_{rp} \tag{2.2}$$

где$K_{мр}$ = 1,33– поправочный коэффициент, показывающийзначение качества стальных и чугунных сплавов на силовые зависимости([3], с. 275, табл. 23); $K_{jp}$= 1,0 (табл. 23);$K_{gp}$= 1,0 (табл. 23);$K_{ip}$= 1,0 ( табл. 23);$K_{rp=}$ 1,0 (табл. 23);$K_p = 1{,}33$

$K_{jp}, K_{gp}, K_{ip}, K_{rp}$-поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна[3].

$v$ = Скорость резания при точении круглым фасонным резцом. Определяется формулой:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v \tag{2.3}$$

Находим значения $C_v, m,\ x, y$ по таблице n , оно равно $C_v$ =350;$m = 0{,}20$; $x, = 0{,}15, y = 0{,}35$.Так как у нас одноинструментная обработка, то среднее значение стойкости «Т» принимаем за 60 минут[3].

Коэффициент $K_v$ определяем по формуле:

$$K_v = K_{мv} K_{пv} K_{иv} \tag{2.4}$$

где $K_{мv}$ – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;
$K_{пv}$– коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки;
$K_{иv}$ – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента.
Коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала:
$K_{мv}$ = 0,6 ([3], страница 263, таблица 4).
Коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки:$K_{пv}$=1([4], страница 263, таблица 5).
Коэффициент, учитывающий качество материала инструмента:$K_{иv}$ =1([4], страница 263, таблица 6); марка инструментального материала: Р6М5.
$K_v$=0,6 · 1·1 = 0,6
Находим$v = \frac{350}{60^{0,20} \cdot 11,5^{0,15} 0,045^{0,35}} \cdot 0,6 = 319 \frac{м}{мин}$.
Теперь мы можем найти силу резания:
$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 212 * 11,5^1 * 0,45^{0,75} * 319^0 * 1,33 = 17815,36\ H$.

Ниже представлена модель КФР с установленными закреплениями и силой резания в APMStudio (в соответствии с рисунком2.3).

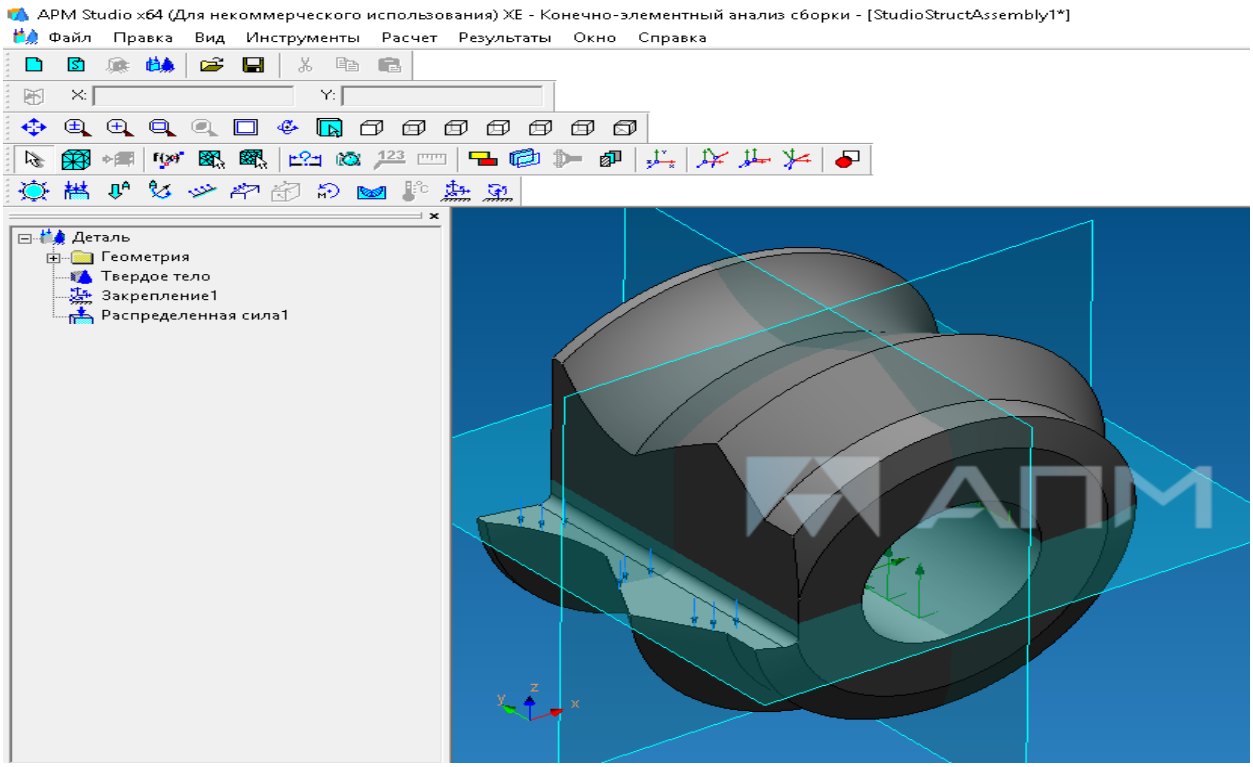



Рисунок 2.3 - 3D–модель КФР с установленными закреплениями и силой резания в APMStudio

Следующий шаг – генерация КЭ сетки. Задаем следующие параметры разбиения для генерации сетки:
Тип объемных элементов – 4-х узловые тетраэдры;
Максимальная длина стороны элементы – 15 [мм];
Минимальная длина стороны элементы – 5[мм];

Максимальный коэффициент сгущения на поверхности – 1,2;
Коэффициент разрежения в объеме – 1,43;

Генерация КЭ сетки (в соответствии с рисунком2.4) позволяет нам выполнить расчет на прочность и получить результаты расчета на получение коэффициента запаса и напряжений.

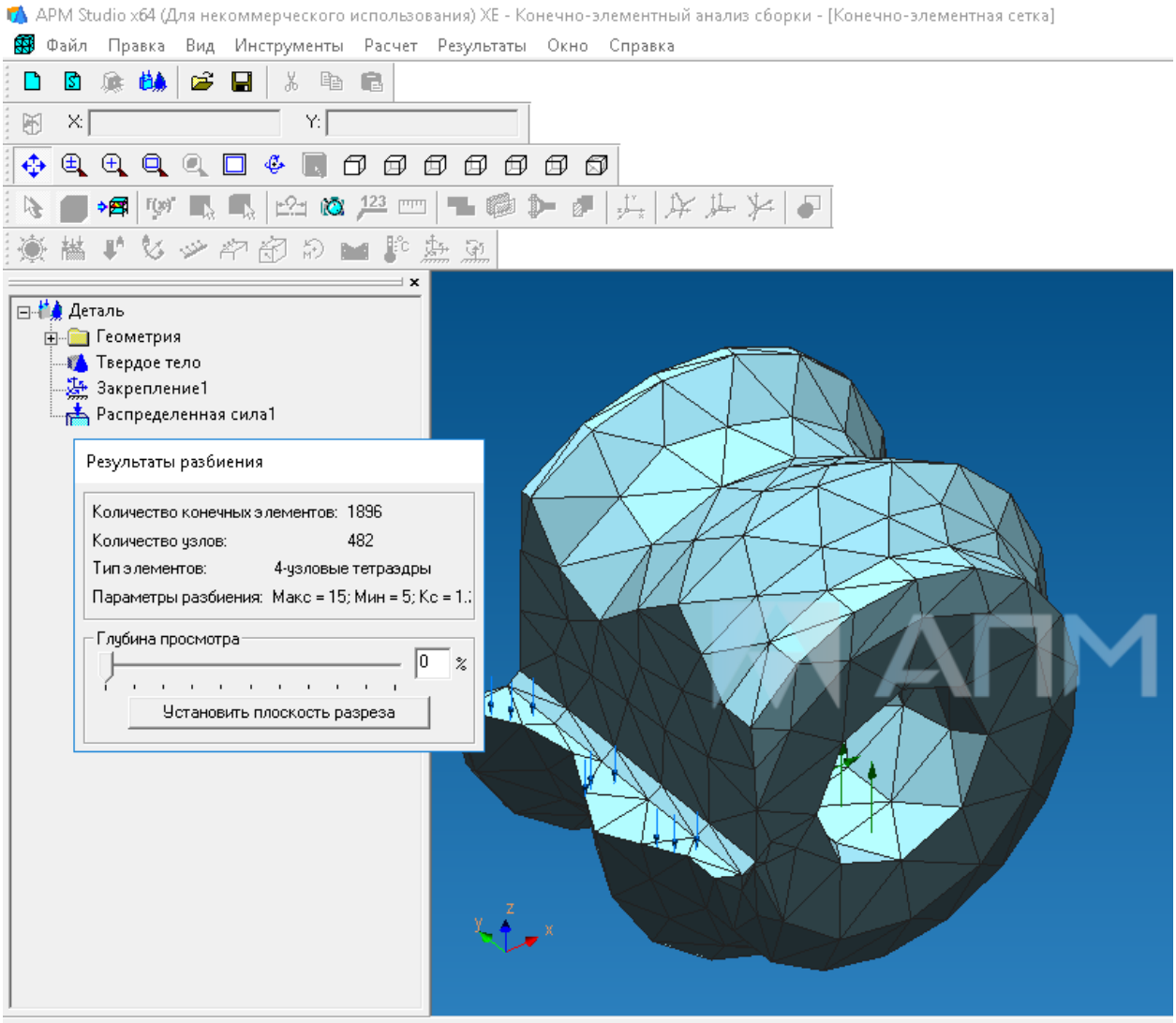



Рисунок 2.4- Генерированная КЭ сетка для Круглого фасонного резца

Передаем КЭ сетку в APMStructure и уже задаем материал для инструмента. Так как в базе данных APMStructureотсутствуют инструментальные материалы, то добавляем материал вручную: «Свойства» - «Материалы» - «Изменить» и задаем характеристики материала Р6М5:Предел текучести по сжатию и растяжению = 490[Н/мм$^2$];Предел текучести по сдвигу =141[Н/мм$^2$];Предел прочности по сжатию = 4050[Н/мм$^2$];Предел прочности по растяжению = 2120[Н/мм$^2$].

Указав характеристик металла, применяем их и нажимаем «Задать всем» - «Расчеты» - Линейный статический расчет» - «ОК».

После того, как система произведет расчеты, следующим шагом, в основной панели инструментов нажимаем «Результаты» - «Карта результатов» - «Тип результатов» - «Напряжения» / «Коэффициент запаса» - «ОК». На рисунке 2.5 и 2.6 можно увидеть полученные результаты.

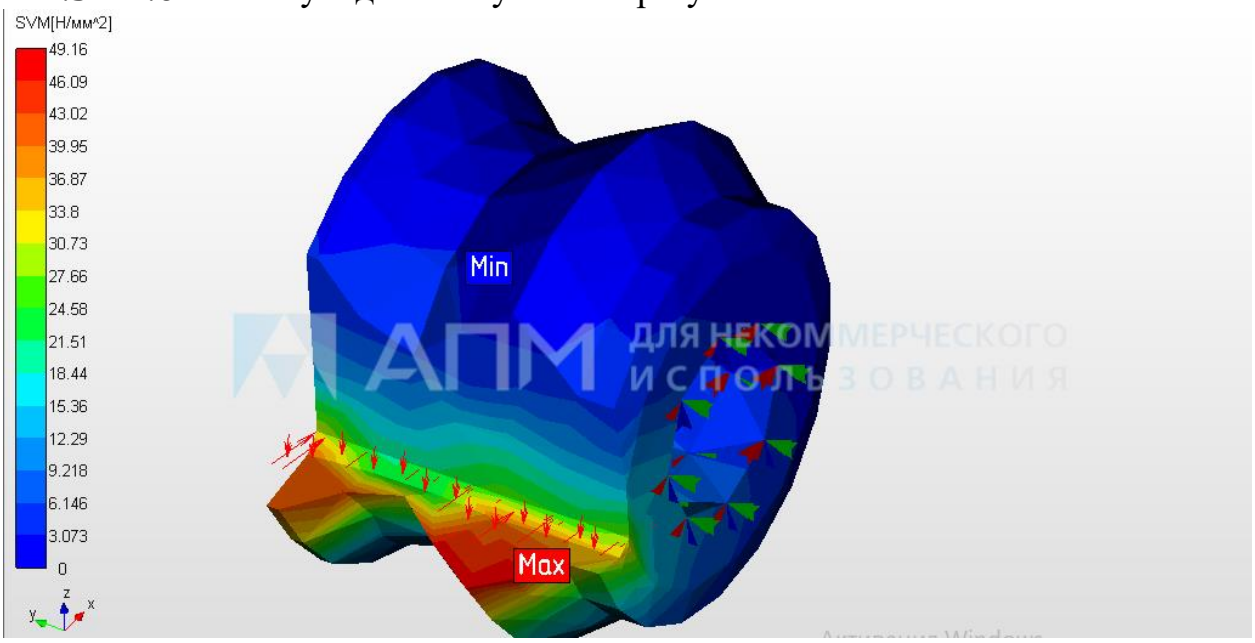



Рисунок 2.5- Результат расчета напряжений.

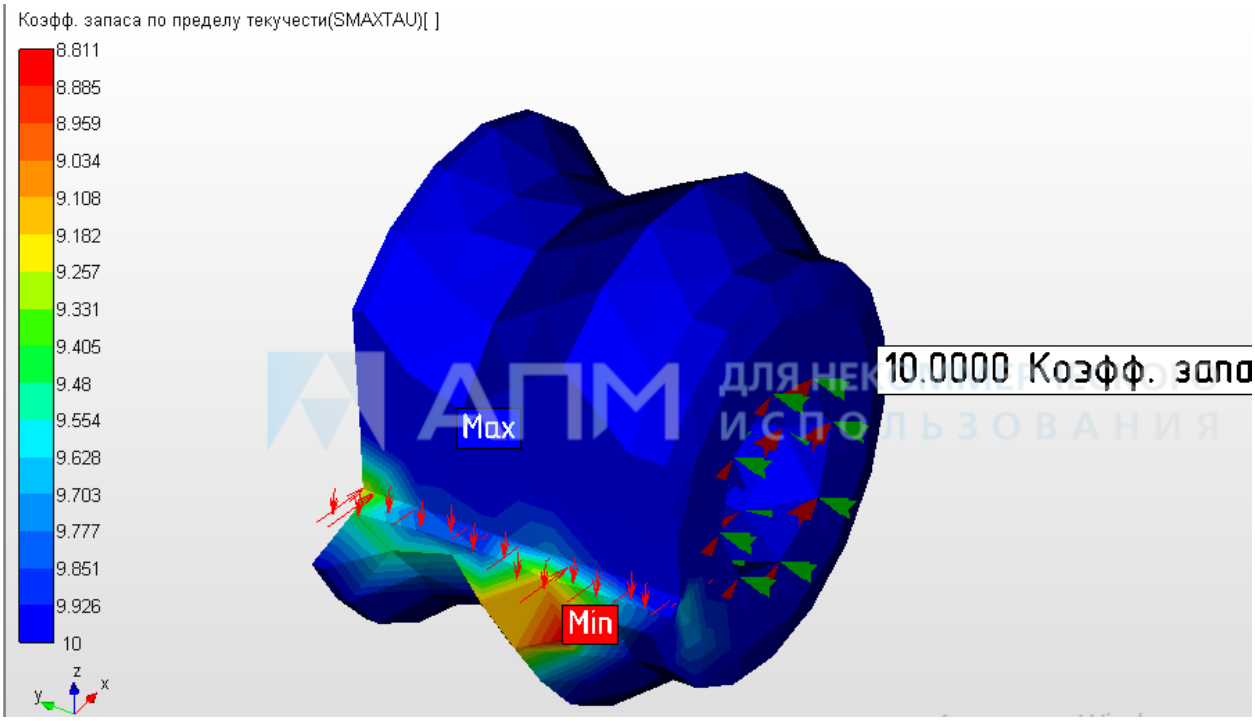



Рисунок 2.6-Результат расчета коэффициента запаса.

В соответствии с указанными рисунками2.5 и 2.6 можно определить участки, где указаны минимальный и максимальный коэффициент запаса, и проследить воздействие напряжений на инструмент. По рисунку мы видим, что основной износ детали приходится на лезвие инструмента, находящееся под постоянной нагрузкой во время эксплуатации. По уже известным нам данным, предел прочности материала колеблется от 400 МПа до 490МПА, а по полученным в ходе расчета данным, видим, что максимальная нагрузка 49 $\frac{Н}{мм^2}$, что переводя в Паскали равно 49 МПа.

Проведя анализ, полученных данных, можно сказать, что если задаетсявеличина напряжений, задающихся в пределах нормы и приходящихся на инструмент, позволит резцу работать исправно на протяжении долгого периода времени и выдерживать высокие нагрузки. Наличиеколоссального запаса прочности для любого инструмента обеспечивает дополнительную надёжность, чтобы максимально исключить катастрофы в случае допустимых ошибок проектирования, изготовления или использования. Минимальный коэффициент запаса в данном случае равен 8,811, что указывает на маловероятную возможность внезапной неисправности инструмента во время эксплуатации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью дипломной работой было проектирование круглого фасонного резца в системе САПР. Для этого мной был выполнен ряд следующих работ: определение назначения инструмента, выбор материала инструмента, коррекционный расчет, определение геометрических параметров резца, а также проектирование инструмента в «Компас 3D». Произведя все нужные аналитические и коррекционные расчеты, построил 3D–модель круглого фасонного резца и выполнил чертеж по нему.

Закончив основную часть, перешел к выполнению дополнительного задания - провести расчет на прочность полученного инструмента. Задание, выполненное в системах APMStudioи APMStructure. На основе полученных данных и выполненного анализа последних, инструмент исправен и пригодный к эксплуатации на длительный срок. Высокий коэффициент запаса уменьшает возможность инструмента придти в непригодное состояние и дополнительно позволяет инструменту выдерживать большие нагрузки на режущую часть инструмента. Материал, применяющийся для проектирования и изготовления данного резца, позволяет нам изготавливать большое количество подобных резцов, с видоизмененным лезвием, специализированным для обработки деталей с разным профилем. Эргономичность инструмента позволяет применять его на любом производстве, в независимости от квалификации работника и не имеет никаких трудностей в установке и креплении инструмента к рабочему станку.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Нефедов Н. А., Осипов К. А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учеб. пособие для техникумов по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 400 с., ил.
2. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание материалов и режущий инструмент. Изд. 3-е. М.: Машиностроение,1975. 440 с.
3. Мещеряков Р. К., Косилова А. Г. Справочник технолога – машиностроителя, Том 2, 1986.
4. Попов С. А. Заточка режущего инструмента. Учеб. пособие для проф. – техн. училищ. М., «Высш. школа», 1970 – 320 с. с илл.
5. Иванова Г. А. Основы теории резания, инструменты, станки. Учеб. пособие для студентов индустриально-педагогических факультетов педагогических институтов. Москва 1963 г., 264 с.
6. Основы механической обработки металлов. Н. М. Орнис. М., «Машиностроение», 1968. – 230 стр.
7. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: Учеб. пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»/Под общ. ред. Г. Н. Кирсанова – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.: ил.
8. Попов С. А. Заточка и доводка режущего инструмента: Учебник для техн. училищ. – М.: Высш. школа, 1981 – 200 с., ил. – (Профтехобразование. Инструментальная промышленность).