

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ТЕОРИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 531.8
ББК 22.21
Т33

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«11» апреля 2023 г., протокол № 12

Составитель канд. техн. наук, доц. С. Н. Хатетовский

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Учебное издание

ТЕОРИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 44 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Расчет геометрии режущего инструмента в кинематической системе координат.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля червячной фрезой.....	7
3 Лабораторная работа № 3. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля долбяком	9
4 Лабораторная работа № 4. Определение погрешности профиля зуба червячной фрезы для обработки прямобочных шлицев	11
5 Лабораторная работа № 5. Проектирование червячной фрезы для обработки прямобочных шлицев.....	12
6 Лабораторная работа № 6. Проектирование долбяка для обработки прямобочных шлицев.....	13
7 Лабораторная работа № 7. Проектирование фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности	14
8 Лабораторная работа № 8. Проектирование затыловочного резца.....	17
Список литературы	20

Меры безопасности при проведении лабораторных работ

Не работайте за компьютером при наличии внешних повреждений корпуса или изоляции силовых кабелей.

Не кладите на корпус системного блока и не храните на нем разные предметы, особенно тяжелые, т. к. в этом случае может возникнуть вибрация, которая может вызвать нарушения работы компьютера.

Не рекомендуется включать компьютер в розетки без заземления. Розетки и вилки должны быть цельными, без повреждений.

Не включайте компьютер в помещении с высокой влажностью.

Не оставляйте работающий ПК без присмотра длительное время.

Провода и силовые кабеля компьютера должны быть расположены так, чтобы исключить возможность наступить на них или поставить что-то тяжелое.

Нельзя работать с компьютером при открытом корпусе системного блока.

1 Лабораторная работа № 1. Расчет геометрии режущего инструмента в кинематической системе координат

Цель работы

Изучить зависимость кинематических переднего и заднего углов реза от подачи.

Краткие теоретические сведения

Кинематические передний и задний углы режущего инструмента отличаются от соответствующих так называемых статических значений. Это связано с тем, что кинематические значения указанных углов определяются с учетом скорости подачи.

В этом случае результирующая скорость точки режущей кромки раскладывается на проекции v_x , v_y и v_z (рисунок 1).

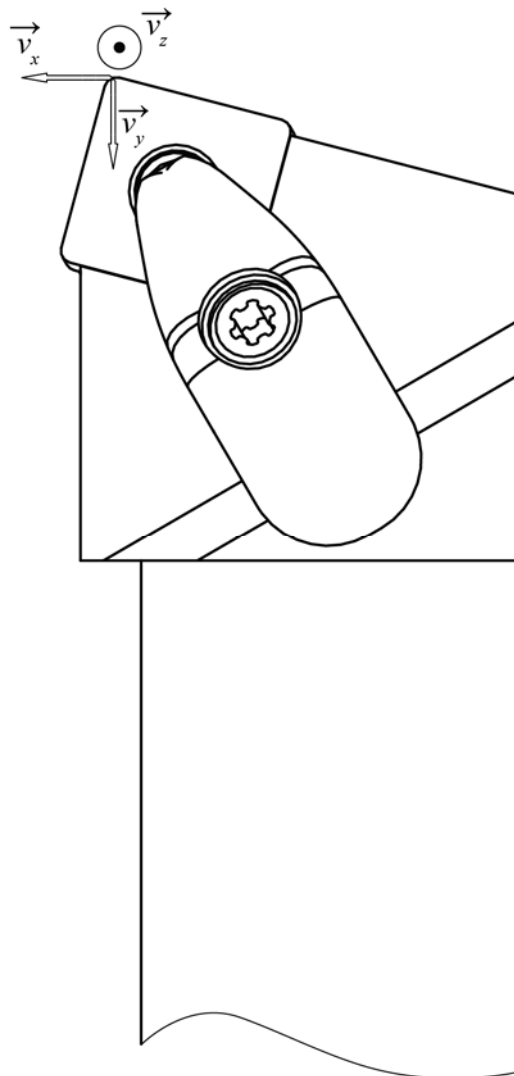


Рисунок 1 – Проекция скорости точки режущей кромки реза

Разница τ между статическими и кинематическими углами режущего инструмента определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{v_x \cdot \sin \varphi - v_y \cdot \cos \varphi}{v_z \cdot \cos \lambda - \sin \lambda \cdot (v_y \cdot \sin \varphi + v_x \cdot \cos \varphi)}, \quad (1)$$

где φ – главный угол в плане;
 λ – угол наклона главной режущей кромки.

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX. Табличный процессор.

Порядок выполнения работы

В среде САПР NX загрузить модель режущего инструмента.

Создать основную плоскость, плоскость резания и главную секущую плоскость.

Измерить статические передний и задний углы, главный угол в плане, угол наклона главной режущей кромки.

Варьируя скорость продольной подачи от 0,25 до 0,5 мм/об при скорости резания 210 м/мин, определить ряды кинематических переднего и заднего углов.

Построить графики функций в среде табличного процессора.

Содержание отчета

График зависимости кинематического переднего угла от скорости продольной подачи.

График зависимости кинематического заднего угла от скорости продольной подачи.

Контрольные вопросы

1 Какие проекции результирующей скорости точки режущей кромки инструмента соответствуют продольной подаче и скорости резания?

2 Какому материалу детали может соответствовать геометрия режущей части инструмента?

3 Как измерить значения углов режущей части инструмента в среде САПР NX?

2 Лабораторная работа № 2. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля червячной фрезой

Цель работы

Освоить методику расчета переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля червячной фрезой.

Краткие теоретические сведения

В системе координат рейки задаются координаты центра закругления вершины (рисунок 2), которые удобно представить в виде вектор-столбца

$$M_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

тогда в системе координат детали эта точка будет иметь следующие координаты, также представляемые в виде вектор-столбца

$$M = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = T_2 \cdot T_1 \cdot M_0, \quad (3)$$

где T_1, T_2 – матрицы преобразования.

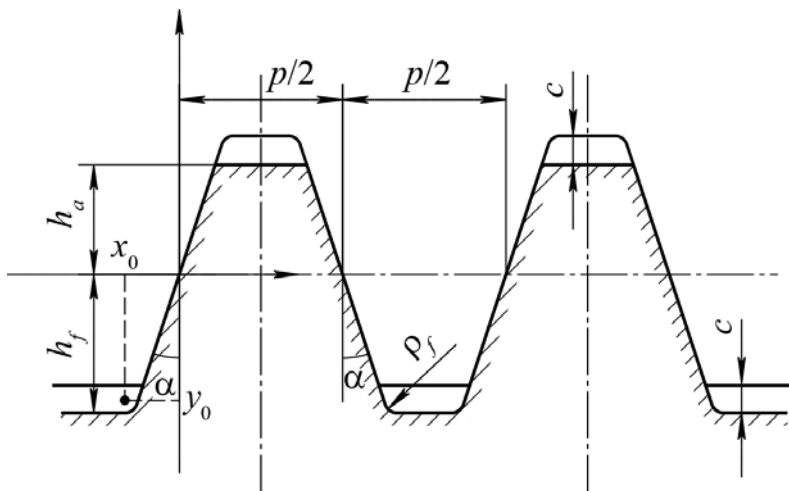


Рисунок 2 – Схема рейки

Матрицы преобразования определяются следующим образом:

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -s \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где s – смещение рейки вдоль начальной прямой;
 φ – соответствующий угол поворота детали.
 Указанный угол определяем по формуле

$$\varphi = -\frac{s}{r}, \quad (6)$$

где r – делительный радиус детали.

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

Порядок выполнения работы

В среде математического программного пакета в системе координат детали определить уравнения траектории точки рейки с параметром s .

Задать стандартные параметры рейки (рисунок 2).

В среде САПР NX построить по найденным уравнениям траекторию.

Средствами САПР NX найти эквидистанту к траектории на расстоянии ρ_f (рисунок 2).

Содержание отчета

Модель переходной кривой в файле САПР NX.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое переходная кривая зуба эвольвентного колеса?
- 2 В каком случае возникает подрезание зуба?
- 3 В каком случае возникает срезание зуба?

3 Лабораторная работа № 3. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля долбяком

Цель работы

Освоить методику расчета переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля долбяком.

Краткие теоретические сведения

В системе координат долбяка задаются координаты вершины (рисунок 3), которые удобно представить в виде вектор-столбца (2), тогда в системе координат детали эта точка будет иметь следующие координаты, также представляемые в виде вектор-столбца

$$M = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = T_3 \cdot T_2 \cdot T_1 \cdot M_0, \quad (7)$$

где T_1, T_2, T_3 – матрицы преобразования.

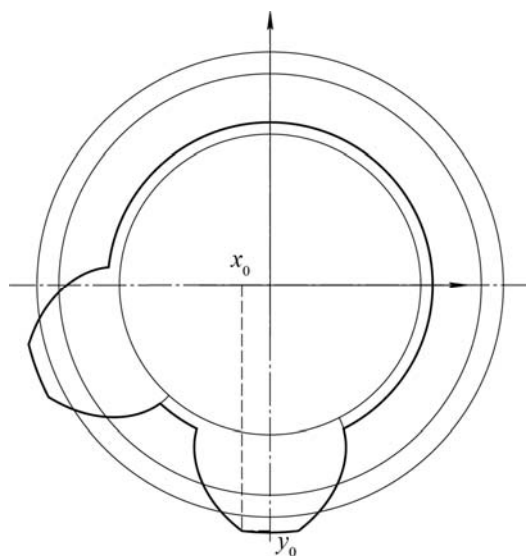


Рисунок 3 – Схема долбяка

Матрицы преобразования определяются следующим образом:

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$T_3 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где φ_1 – угол поворота долбяка;
 a – межосевое расстояние;
 φ_2 – соответствующий угол поворота детали.
 Указанный угол определяется по формуле

$$\varphi_2 = -\frac{z_1}{z_2} \cdot \varphi_1, \quad (11)$$

где z_1 – количество зубьев долбяка;
 z_2 – количество зубьев детали.

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

Порядок выполнения работы

В среде математического программного пакета в системе координат детали определить уравнения траектории вершины зуба долбяка с параметром φ_1 .

Найти координаты вершины зуба долбяка в его системе согласно стандарту.

В среде САПР NX построить по найденным уравнениям траекторию.

Содержание отчета

Модель переходной кривой в файле САПР NX.

Контрольные вопросы

- 1 Как определяется межосевое расстояние в станочном зацеплении?
- 2 Как определить радиус выступов долбяка?
- 3 Как определить толщину зуба долбяка на окружности выступов?

4 Лабораторная работа № 4. Определение погрешности профиля зуба червячной фрезы для обработки прямобочных шлицев

Цель работы

Изучить методику проектирования приближенного профиля зуба рейки для обработки прямобочных шлицев.

Краткие теоретические сведения

Уравнения профиля зуба рейки имеют следующий вид:

$$x(y) = R \cdot (\alpha - \gamma - (\sin \alpha - \sin \gamma) \cdot \cos \alpha); \quad (12)$$

$$\sin \alpha = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 + \frac{y}{R}}; \quad (13)$$

$$\sin \gamma = \frac{b}{2 \cdot R}; \quad (14)$$

$$R = \sqrt{(R_a - c)^2 - \frac{3}{16} \cdot b^2}, \quad (15)$$

где b – ширина шлица;
 c – размер фаски на шлице;
 R_a – радиус выступов шлицев.

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX.

Порядок выполнения работы

В соответствии с размерами шлицевого вала в среде САПР NX построить профиль зуба рейки. Координату y (формулы (12)–(15)) варьировать в пределах $R-R_f$.

Подобрать окружность (радиус и положение центра), максимально приближающую реальный профиль зуба рейки.

Средствами САПР NX измерить погрешность профиля.

Содержание отчета

Файл NX с кривыми профиля зуба рейки.

Контрольные вопросы

- 1 Какие параметры имеет шлицевый вал?
- 2 Как определяется высота ножки зуба рейки для обработки прямобоочных шлицев?

5 Лабораторная работа № 5. Проектирование червячной фрезы для обработки прямобоочных шлицев

Цель работы

Изучить методику моделирования червячной фрезы для обработки прямобоочных шлицев.

Краткие теоретические сведения

Твердотельная модель червячной фрезы для обработки прямобоочных шлицев создается на основе стандартной методики проектирования червячных фрез [2].

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX.

Порядок выполнения работы

В среде САПР NX открыть пример модели червячной фрезы.

Отредактировать модель в соответствии с данными лабораторной работы № 5.

Содержание отчета

Файл NX с отредактированной моделью червячной фрезы.

Контрольные вопросы

- 1 Каков порядок расчета параметров червячной фрезы?
- 2 Чем отличаются червячные фрезы для обработки шлицев при центрировании по наружному диаметру вала и при центрировании по диаметру впадин?

6 Лабораторная работа № 6. Проектирование долбяка для обработки прямоугольных шлицев

Цель работы

Изучить методику моделирования долбяка для обработки прямоугольных шлицев.

Краткие теоретические сведения

Уравнения профиля зуба долбяка имеют следующий вид:

$$x = R_2 \cdot \sin \varphi_2 - R_1 \cdot (\sin(\gamma + \varphi_1) - \sin \gamma) \cdot \cos(\gamma + \varphi_1 + \varphi_2); \quad (16)$$

$$y = R_2 \cdot \cos \varphi_2 + R_1 \cdot (\sin(\gamma + \varphi_1) - \sin \gamma) \cdot \sin(\gamma + \varphi_1 + \varphi_2); \quad (17)$$

$$R_1 = \sqrt{(R_a - c)^2 - b^2 \cdot \frac{u_{12} \cdot (3 \cdot u_{12} + 2)}{4 \cdot (1 + 2 \cdot u_{12})^2}}; \quad (18)$$

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1}; \quad (19)$$

$$R_2 = u_{12} \cdot R_1; \quad (20)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \frac{R_1}{R_2}, \quad (21)$$

где z_1 – количество шлицев;
 z_2 – количество зубьев долбяка;
 γ, c, R_a, b – величины, определяемые в лабораторной работе № 5.
 В качестве параметра выступает угол φ_1 , который изменяется от значения

$$\varphi_{1\min} = \alpha_{\min} - \gamma, \quad (22)$$

где

$$\sin \alpha_{\min} = \frac{(R_2 + R_1) \cdot b}{2 \cdot R_1 \cdot (2 \cdot R_2 + R_1)}. \quad (23)$$

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX.

Порядок выполнения работы

- 1 В среде САПР NX загрузить пример модели долбяка.
- 2 Скорректировать модель согласно исходным данным.

Содержание отчета

Файл NX со скорректированной моделью долбяка.

Контрольные вопросы

- 1 Какова методика проектирования прямозубого долбяка?
- 2 Какие стандарты используются при проектировании долбяков?

7 Лабораторная работа № 7. Проектирование фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности

Цель работы

Изучить методику моделирования фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности.

Краткие теоретические сведения

Твердотельная модель фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности создается на основе стандартной методики проектирования фасонных фрез [2].

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

Порядок выполнения работы

В среде математического программного пакета рассчитать параметры фасонной фрезы в соответствии с исходными данными.

В среде САПР NX создать файл для модели поверхности детали (рисунок 4).

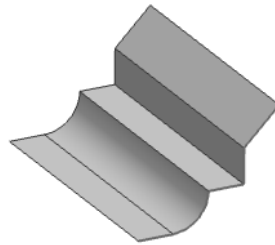
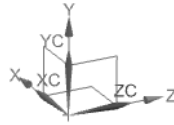


Рисунок 4 – Модель поверхности детали

Создать файл для модели фасонной фрезы, в который вставить в качестве компонента модель поверхности детали. Создать в файле фасонной фрезы копию образующей поверхности детали (рисунок 5).

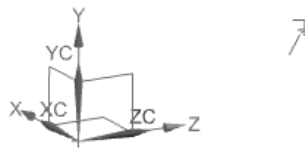


Рисунок 5 – Образующая поверхности детали

Продлить образующую в обе стороны и создать исходную инструментальную поверхность фасонной фрезы (рисунок 6).

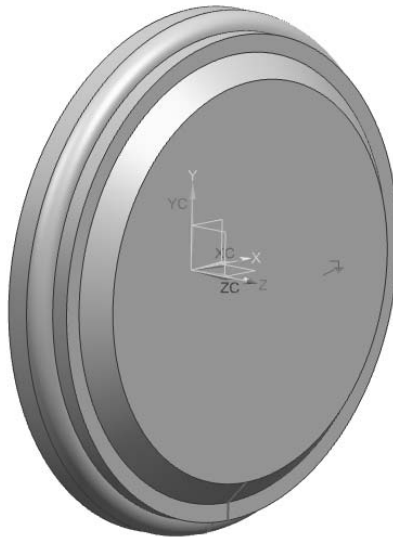


Рисунок 6 – Исходная инструментальная поверхность фасонной фрезы

Создать эскиз стружечных канавок и сами стружечные канавки (рисунок 7).

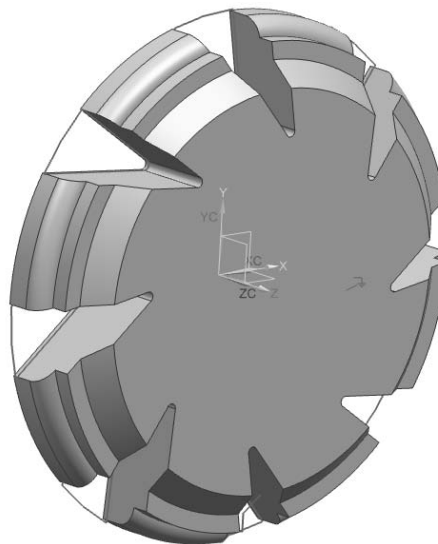


Рисунок 7 – Стружечные канавки фасонной фрезы

Содержание отчета

Результаты расчетов параметров фасонной фрезы в файле математического программного пакета.

Файл NX с моделью фасонной фрезы.

Контрольные вопросы

- 1 Какова последовательность проектирования фасонной фрезы?
- 2 Что представляет собой стружечная канавка фасонной фрезы?
- 3 Каковы рекомендации по назначению геометрии режущей части фасонной фрезы?

8 Лабораторная работа № 8. Проектирование затыловочного резца

Цель работы

Изучить методику моделирования затыловочного резца.

Краткие теоретические сведения

Модель затыловочного резца для затылования зубьев фасонной фрезы создается на основе стандартной методики проектирования [2].

Перечень используемого программного обеспечения

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

Порядок выполнения работы

Используем данные лабораторной работы № 8.

Удлиняем режущую кромку фасонной фрезы в обе стороны (рисунок 8).

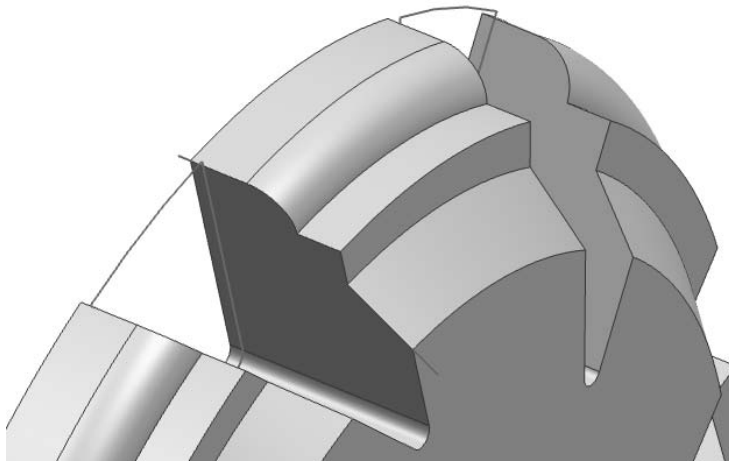


Рисунок 8 – Схема удлинения режущей кромки фасонной фрезы

По формулам [3] строим три кривых затылования, проходящих через точки режущей кромки фасонной фрезы (рисунок 9).

Строим поверхность затылования (рисунок 10), перемещая удлиненную режущую кромку по трем направляющим – кривым затылования.

Находим профиль затыловочного резца (рисунок 11) как кривую пересечения поверхности затылования и плоскости, в которой лежит вершина зуба фасонной фрезы.

Достраиваем профиль затыловочного резца до замкнутой кривой и

заметанием по трем направляющим (кривым затылования) создаем тело затылования (рисунок 12).

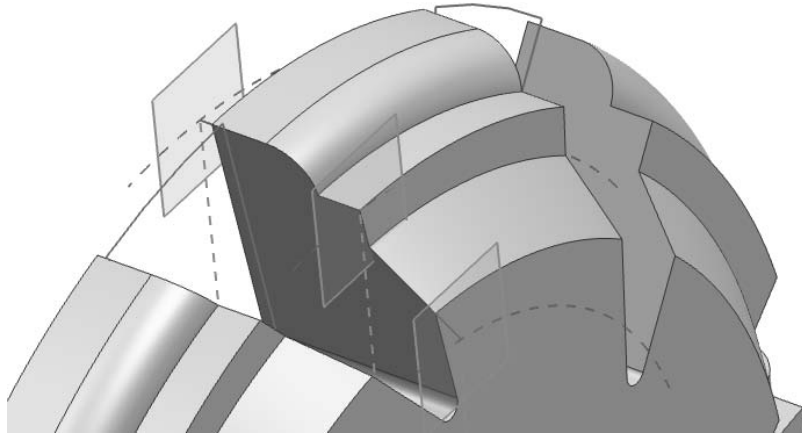


Рисунок 9 – Кривые затылования

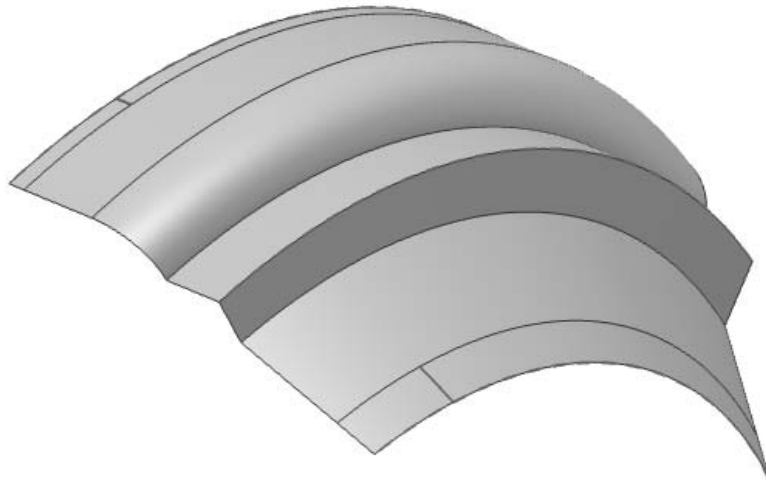


Рисунок 10 – Поверхность затылования

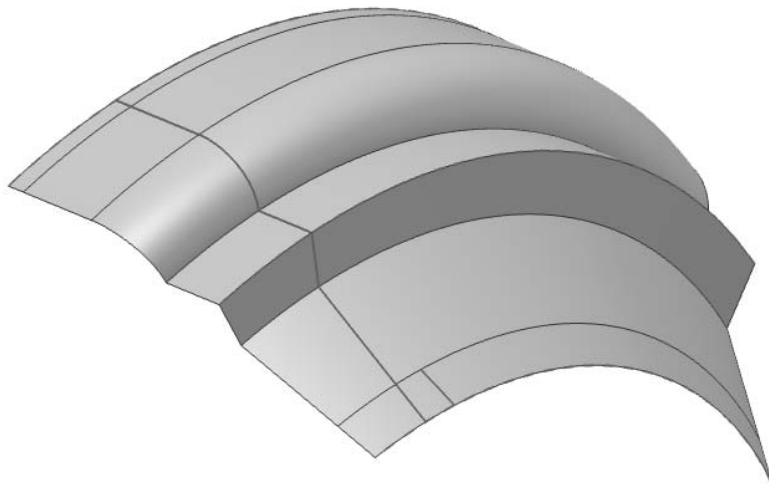


Рисунок 11 – Профиль затыловочного реза

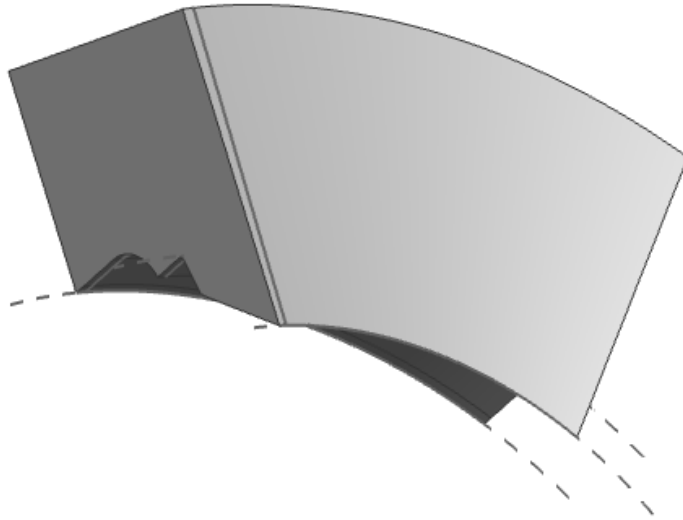


Рисунок 12 – Тело затылования

Вычитаем тело затылования из тела фасонной фрезы (рисунок 13).

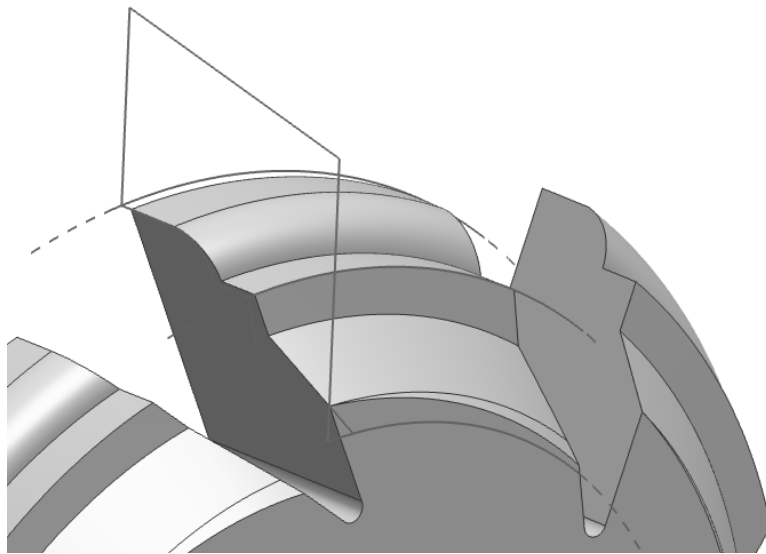


Рисунок 13 – Модель фасонной фрезы

Содержание отчета

Результаты расчета параметров затыловочного резца в файле математического программного пакета.

Файл NX с профилем затыловочного резца.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое затылование?
- 2 Как рассчитывается величина затылования?

Список литературы

1 **Лашнев, С. И.** Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / С. И. Лашнев. – Москва : Машиностроение, 1980. – 208 с.

2 **Клименков, С. С.** Обработка инструмента в машиностроении: учебник / С. С. Клименков. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2013. – 459 с.

3 Теория режущих инструментов: методические рекомендации к практическим занятиям для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения / сост. С. Н. Хатетовский. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – 23 с.

4 **Солоненко, В. Г.** Резание металлов и режущие инструменты: учебное пособие / В. Г. Солоненко, А. А. Рыжкин. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 415 с.