

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет «Інженерної механіки і машинобудування»  
Кафедра «Металорізальні верстати та інструменти»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

*до виконання лабораторних робіт з дисципліни*

### **„РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ”**

*розділ*

## **ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ОБРОБКИ РІЗЬБ І ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

Галузь знань: 0505 «Машинобудування та матеріалообробка»

Напрямок підготовки: 050503 «Машинобудування»

Варіативна частина «Металорізальні верстати та системи»,

«Технологія машинобудування»

Кваліфікаційний рівень «Бакалавр»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет «Інженерної механіки і машинобудування»  
Кафедра «Металорізальні верстати та інструменти»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

*до виконання лабораторних робіт з дисципліни*

### **„РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ”**

*розділ*

інструменти для обробки різьб і зубчастих коліс

Галузь знань: 0505 «Машинобудування та матеріалообробка»  
Напрямок підготовки: 050503 «Машинобудування»  
Варіативна частина «Металорізальні верстати та системи»,  
«Технологія машинобудування»  
Кваліфікаційний рівень «Бакалавр»  
(для студентів денної, заочної і очно-заочної форм навчання)

**РОЗГЛЯНУТО:**  
на засіданні кафедри  
металорізальних верстатів  
і інструментів  
Протокол

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
на засіданні навчально-видавничої  
ради ДонНТУ  
Протокол №  
від \_\_\_\_\_ р.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Різальний інструмент”, розділ «Інструменти для нарізування різьб і зубчастих коліс» (для студентів напряму підготовки 6.0505 «Машинобудування» спеціальностей „Металорізальні верстати та системи” та «Технологія машинобудування» денної, заочної і очно-заочної форм навчання)/ Укл.: Кисельова І.В. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – 47 с.

В методичних вказівках до виконання лабораторних робіт наведені конструкції зуборізних та різьбонарізних інструментів, їх конструктивні та геометричні параметри, методики розрахунку. Методичні вказівки містять контрольні питання для перевірки знань студентів.

Укладачі:

Кисельова І.В, доц.

Відповідальний за випуск

Гусев В.В., проф.

## ЗМІСТ

1	Конструктивні і геометричні параметри плашок	5
2	Конструктивні і геометричні параметри різбових фрез	11
3	Конструктивні і геометричні параметри модульної дискової фрези	17
4	Конструктивні і геометричні параметри зуборізної гребінки	22
5	Конструктивні і геометричні параметри черв'ячної фрези	27
6	Конструктивні і геометричні параметри дискового довбача	32
7	Конструктивні і геометричні параметри дискового шеверу	38

## Лабораторная работа № 1

### КОНСТРУКТИВНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ ПЛАШЕК

#### 1 Цель и задачи работы

Целью лабораторной работы является изучение процесса нарезания резьбы плашками, изучение основных конструктивных элементов и геометрических параметров круглой плашки, методов и средств ее контроля.

Для этого предусмотрено решение следующих задач:

- изучение типов плашек и области их применения;
- изучение конструктивных и геометрических параметров круглой плашки.

После выполнения работы студент должен

знать: назначение различных типов плашек и их конструктивные элементы; критерии выбора геометрических параметров; методику контроля плашки;

уметь: составить эскиз плашки; провести контроль ее геометрических параметров; выбрать плашку для конкретных условий работы.

#### 2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями к выполнению лабораторной работы.
2. Изучить основные типы резбонарезных плашек, принцип их работы и области применения.
3. Изучить основные конструктивные и геометрические параметры круглой плашки.
4. Зарисовать эскиз плашки со всеми параметрами.
5. Измерить или рассчитать значения основных параметров плашки.
6. Составить отчет о выполненной работе

#### 3 Типы плашек

Плашки применяются для нарезания наружной резьбы на винтах, болтах, шпильках и других деталях. Диаметр заготовки должен быть несколько меньше наружного диаметра резьбы. Для облегчения захвата плашкой заготовки на торце заготовки необходимо снять фаску, соответствующую высоте профиля резьбы. Плашку устанавливают в плашкодержатель (патрон), который закрепляют в пиноли задней бабки или в гнезде револьверной головки. При закреплении инструмента в плашкодержателе базирование плашки осуществляется по наружной цилиндрической поверхности и одной из торцевых поверхностей. Скорость резания при нарезании резьбы плашками  $V=3-4$  м/мин для стальных заготовок;  $V=2-3$  м/мин для чугунных заготовок и  $V=10-15$  м/мин для латунных.

Плашка - осевой многолезвийный инструмент для нарезания наружной резьбы невысокой точности. Плашки не шлифуются по профилю, поэтому они нарезают резьбы степени точности не выше девятой. Однако из-за дешевизны и несложной эксплуатации плашки получили широкое распространение.

Плашки изготавливают из инструментальных сталей 9ХС, ХВСГ твердостью 56-62 HRC<sub>3</sub> или быстрорежущей стали твердостью 61-63 HRC<sub>3</sub>.

Различные типы плашек приведены на рис. 1.

Круглые, квадратные, шестигранные и трубчатые плашки применяют для нарезания резьбы машинным способом в основном на универсальных токарных станках, многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах, а также ручным способом при слесарных работах. Резьба нарезается за один проход с реверсированием, которое необходимо для свинчивания плашки с детали.

Призматические плашки используют в слесарных работах для нарезания резьбы за несколько проходов. Плашку крепят в специальном приспособлении – клуппе. Благодаря тому, что призматические плашки состоят из двух частей и расстояние между ними регулируется, ими можно нарезать резьбу разного диаметра с одинаковым шагом. В комплект клуппов входят сухари, которые ставят вместо плашек. Тогда клуппом можно пользоваться как воротком для нарезания внутренней резьбы метчиком.

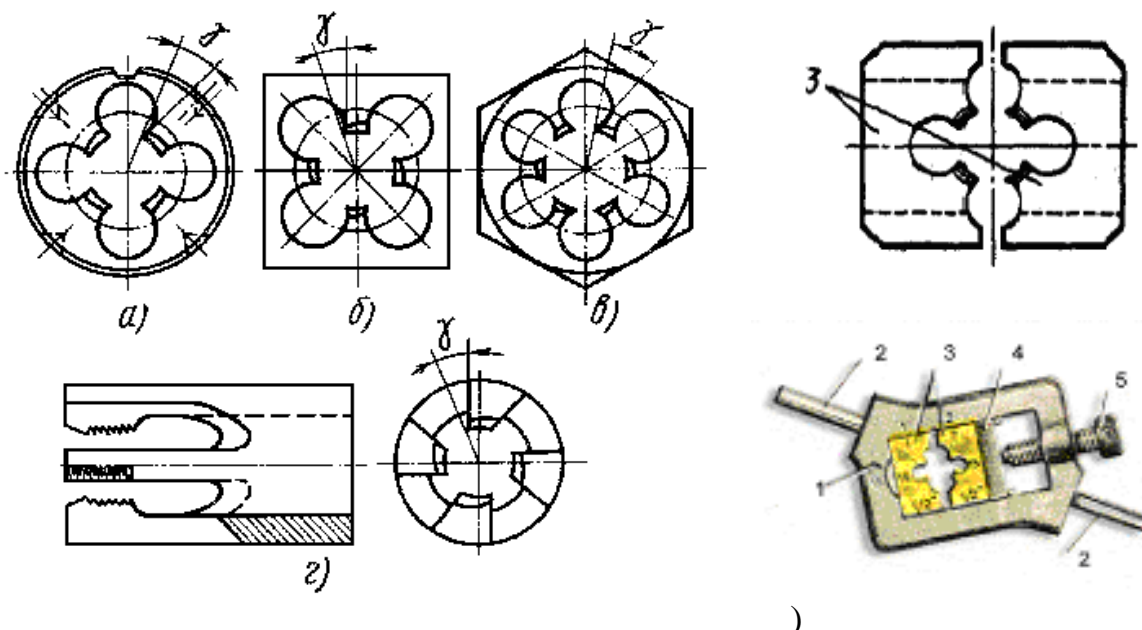


Рисунок 1 – Типы плашек

а) круглая, б) квадратная, в) шестигранная, г) трубчатая, д) разрезная, е) плашка, закрепленная в клуппе (1 корпус, 2 рукоятки, 3 плашка, 4 направляющие, 5 винт)

#### 4 Конструктивные и геометрические параметры круглой плашки

Круглые плашки представляют собой гайку, превращенную в инструмент путем сверления стружечных отверстий и затачивания режущей части (рис. 2).

Корпус имеет паз с углом  $60^\circ$  шириной 2...5 мм, предназначенный для разрезания плашки после затупления для возвращения ей требуемого диаметра. Круглые плашки крепятся в плашкодержателе тремя или четырьмя винтами в зависимости от их размеров и условий эксплуатации.

1 Наружный диаметр плашки  $D$  определяется внутренним диаметром резьбы  $d_1$ , диаметром стружечных отверстий  $d_c$  и размером  $\epsilon_1$ , определяющим прочность корпуса плашки.

$$D = d + 2d_c + 2T,$$

где  $d$  – диаметр нарезаемой резьбы,

$d_c$  – диаметр стружечных отверстий,

T - толщина тела плашки.

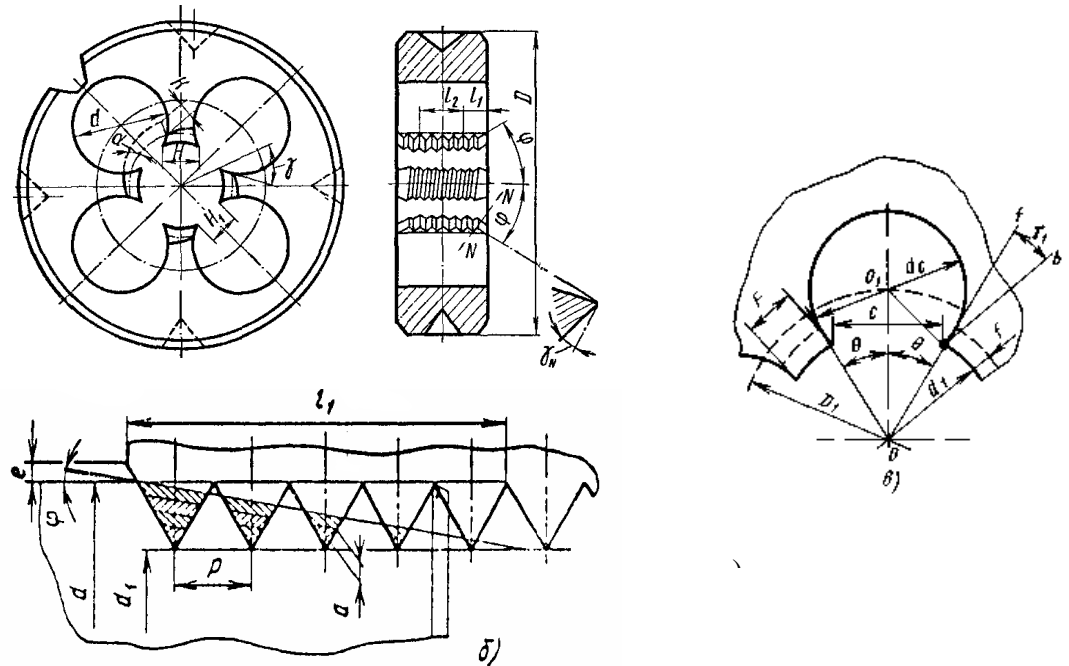


Рисунок 2 - Конструкция круглой плашки:

а) общий вид, б) элементы режущей части, в) геометрические параметры зуба

В целях уменьшения номенклатуры плашкодержателей и крепежных патронов диаметр D должен соответствовать стандартному размерному ряду (12, 16, 20, 25, 30, 38, 45, 55, 65, 75, 90 мм). В таком случае один наружный диаметр плашки предназначается для нескольких размеров резьб.

2 Число зубьев плашки.

Число зубьев (перьев) у плашек колеблется от 3 до 7 для резьб диаметром от 2 до 52 мм. Большое влияние на работу плашки оказывает ширина зуба. С увеличением ширины зуба увеличивается прочность и жесткость, плашка лучше центрируется и самозатягивается при работе, увеличивается запас на переточки. Однако большая ширина зуба приводит к повышенному трению, ухудшает отвод стружки и ее размещение в канавках, что может вызвать поломку плашки. Также увеличивается погрешности резьбового профиля, уменьшается просвет C и, как следствие, повышается опасность защемления стружки. Практикой эксплуатации плашек установлено, что наибольшее количество поломок происходит из-за чрезмерной ширины зуба.

Ширина пера F и ширина просвета C зависят от внутреннего диаметра резьбы, причем для нормальной работы плашки необходимо выдерживать соотношение

$$F = (0,65 \dots 0,8)C.$$

Из рис. 2, в следует, что

$$F = d_1 \sin \tau; \quad C = d_1 \sin \Theta;$$

$$\tau + \Theta = \frac{180^\circ}{Z}.$$

Количество зубьев можно ориентировочно определить по формуле

$$Z = \frac{\pi d_1}{F + C} = \frac{\pi d_1}{(1,6 \dots 1,7)C}$$

Полученные по формуле значения  $Z$  необходимо округлить до ближайшего целого.

У стандартных плашек в зависимости от диаметра резьбы количество зубьев принимается равным:

$$Z=3 \text{ при } d_1 \leq 5,5;$$

$$Z=4 \text{ при } d_1=(6 \dots 18);$$

$$Z=5 \text{ при } d_1=(20 \dots 33);$$

$$Z=6 \text{ при } d_1 > 32$$

3 Длина режущей части (рис. 2.б). Основную работу резания выполняет режущая часть плашки, которая выполняется в виде внутреннего конуса. Как правило, у плашек режущая часть делается с обоих торцов, что обеспечивает возможность нарезания резьбы как одной, так и другой стороной. При этом повышается стойкость плашки.

Угол  $\varphi$  при принятом шаге резьбы  $P$  и количестве зубьев определяет толщину срезаемого слоя. Толщина срезаемого слоя, как и при резбонарезании метчиками, определяется зависимостью:

$$a_z = \frac{P}{z} \sin \varphi,$$

где  $P$  - шаг нарезаемой резьбы.

Угол  $\varphi$  выбираются в зависимости от материала обрабатываемой детали: для высокопрочных сталей  $\varphi=25^\circ$ . По требованию потребителей допускается централизованный выпуск плашек с углами  $\square$ , равными  $30^\circ$  и  $45^\circ$ ; последнее значение предназначается для плашек, нарезающих резьбу до упора. При обработке вязких и твердых материалов значения угла  $\square$  принимаются от  $20^\circ$  до  $15^\circ$ . При таких значениях углов в плане плашки работают с толщиной среза  $a_z=0,05-0,4$  мм/зуб.

Углы конуса режущей части с обоих торцов плашки обычно выполняются одинаковыми. Находят применение также плашки, у которых углы конуса  $2\varphi$  делаются различными с одной и с другой стороны. Это позволяет работать то одной, то другой стороной плашки в зависимости от обрабатываемого материала.

Для обеспечения направления плашки при заходе на деталь размер режущего конуса на торце плашки  $d_t$  должен быть больше наружного диаметра  $d$  нарезаемой резьбы на  $2\varepsilon=0,1 \dots 0,3$  мм, т.е

$$d_t = d + 2\varepsilon.$$

Взаимосвязь длины режущей части  $l_1$  и угла  $\square$  определяется зависимостью:

$$l_1 = \frac{d_m - d_1}{2 \operatorname{tg} \varphi},$$

где  $d_1$  - внутренний диаметр резьбы плашки.

6 Калибрующая часть плашки. С целью зачистки и калибрования резьбы и обеспечения соответствующего направления в работе плашка снабжается калибрующей частью, имеющей полный профиль резьбы.

Формирование резьбового профиля заканчивается при вступлении в работу первых профилей направляющей части. Остальные профили выполняют функции центрирования и подачи инструмента. Для выполнения этих функций достаточно иметь калибрующую часть из трех-четырех ниток. Увеличение длины  $l_2$  приводит к возрастанию деформации зубьев плашки при термообработке, из-за чего



искажаются параметры точности резьбы; одновременно ухудшаются условия отвода стружки. Нет необходимости увеличивать длину направляющей части плашки  $l_2$  для создания запаса на переточки, В отличие от метчиков плашки в основном перетачиваются по передним поверхностям и редко комбинированным способом по передней и задней поверхностям.

Исходя из условий термообработки и учитывая основной способ переточки плашек, устанавливают длину направляющей части  $l_2=(3...5)r$ , с последующим уточнением при назначении толщины плашки  $H$ .

Длина рабочей части плашки определяется следующим образом

$$l=2l_1+l_2.$$

3.4. Толщина плашки  $H$ , как и наружный диаметр  $D$ , унифицирована с целью сокращения количества размеров заготовок для изготовления плашек, а также патронов и плашкодержателей (3, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 30 и 36 мм).

Толщина плашки выбирается из условия размещения достаточного количества витков резьбы на режущей и направляющей части. С этой точки зрения достаточно принять толщину плашки в шесть-девять шагов. Это делается для того, чтобы уменьшить накопленную погрешность окружного шага и коробление плашки при закалке.

Длина рабочей части принимается равной ближайшему стандартному значению  $H$ , т. е.

$$H=l=2l_1+l_2$$

Необходимая корректировка размера  $l$  проводится за счет изменения длины направляющей части  $l_2$  плашки.

5 Углы режущей части. Режущая часть плашки должна быть заточена по передней и задней поверхностям. Передний угол  $\gamma$  задается на внутреннем диаметре плашки и выбирается в зависимости от обрабатываемого материала:  $\gamma=(18...12)^\circ$  для стали;  $\gamma=6^\circ$  для чугуна;  $\gamma=23^\circ$  для меди;  $\gamma=(25...12)^\circ$  для легких сплавов. Передний угол измеряется в плоскости, перпендикулярной оси плашки.

Для обеспечения на главных режущих кромках задних углов производят затылование режущих частей плашки по вершинам зубьев. Обычно принимается осевой способ затылования.

Задний угол на вершине  $\alpha=(6...8)^\circ$  задается также на внутреннем диаметре и определяется величиной затылования

$$K = \left( \frac{\pi d_f}{Z} \right) \operatorname{tg} \alpha.$$

Ввиду невысокой точности нарезаемой резьбы у плашек задние боковые поверхности на витках режущей части не затылуются, боковые задние углы  $\alpha_\delta=0$ .

## 5 Затачивание плашек

Круглые плашки затачиваются по задним поверхностям на режущей части и по передним поверхностям на режущей и калибрующей частях на специальных станках. Перетачивают плашку только по передней поверхности.

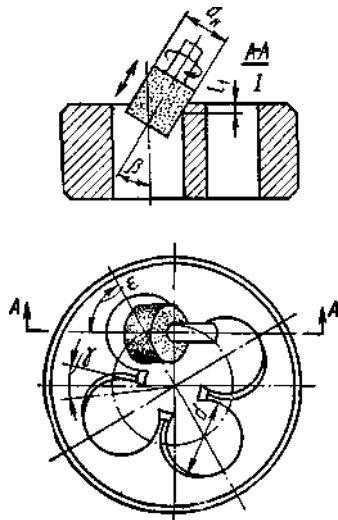


Рисунок 3 –  
Схема затачивания  
плашки по задней

**Заточка задних поверхностей** на режущей части плашки затылуют абразивным кругом. Это производится только один раз (при изготовлении плашки). Плашка зажимается в цанговый патрон и при вращении шпинделя станка совершает вместе с ним затыловочное движение, благодаря сменному кулачку, число выступов которого соответствует числу перьев затылуемой плашки, а форма выступов — форме кривой затылования.

Шлифовальный шпиндель с кругом укреплен на суппорте, который развернут на угол, равный углу в плане.

Заточка на этом станке производится кругом формы ПП, диаметр которого зависит от размера плашки. Скорость резания  $v=3—20$  м/сек в зависимости от

диаметра круга. Скорость вращения плашки 84 об/мин.

**Передняя поверхность** затачивается как при изготовлении плашек, так и в процессе их эксплуатации после износа. Шлифовальный круг закрепляется на вертикальном шпинделе. Плашка устанавливается на столе станка и во время заточки ее передняя поверхность вручную прижимается к кругу. Глубина шлифования определяется силой прижима плашки к кругу. Для равномерного износа шлифовального круга по всей длине ему сообщается возвратно-поступательное движение.

При заточке следует применять круги максимально возможного с точки зрения размеров плашки диаметра, обычно не более 4—12 мм. Поэтому скорость резания оказывается небольшой  $V=3-12,5$  м/сек.

Передняя поверхность плашек может быть криволинейной или прямолинейной. Плашки с прямолинейной поверхностью имеют большую стойкость, но процесс их заточки более трудоемкий и длительный. Затачивание плашек по передней поверхности показано на рис. 4.

Диаметр шлифовального круга при заточке криволинейной поверхности значительно больше, чем при заточке прямолинейной поверхности, и берется обычно на 1 мм меньше диаметра стружечных отверстий.

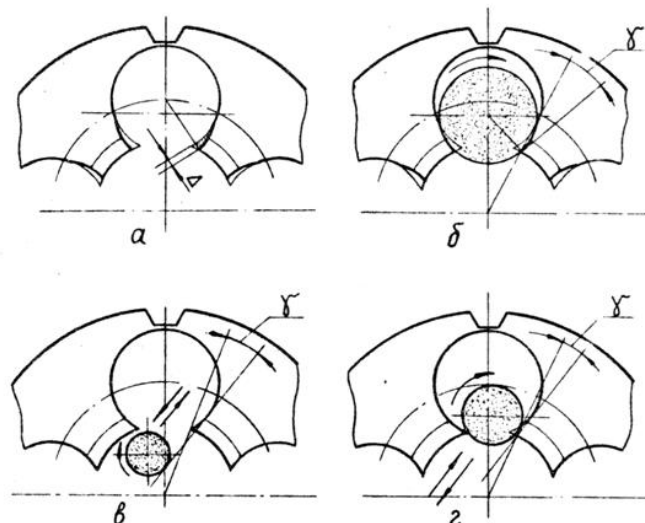


Рисунок 4 – Затачивание плашек по передней поверхности:

а) снимаемый припуск; б) затачивание криволинейной передней поверхности; в,г) затачивание плоской передней поверхности

Заточка прямолинейной передней поверхности у плашки может производиться "на проход" (рис.4,в) или "в упор" (рис.4,г). Заточка "на проход" более проста, чем заточка "в упор", но в этом случае из-за опасности повреждения соседнего, зуба приходится работать шлифовальным кругом небольших размеров.

## **6 Содержание отчета по лабораторной работе**

7. Название работы, ее цель, задачи.
8. Эскиз круглой плашки со всеми конструктивными параметрами и геометрическими размерами.
9. Расчет длины режущей части, числа зубьев, толщины зуба и величины просвета.
10. Способы затачивания и перетачивания плашек.
11. Выводы.

## **7 Контрольные вопросы**

12. Какие типы плашек вы знаете? Каково их назначение?
13. Приведите эскиз круглой плашки, укажите ее конструктивные и геометрические параметры, поверхности и режущие кромки.
14. Приведите эскиз круглой плашки. В зависимости от чего и как рассчитывают параметры и углы режущей части плашки?
15. Приведите эскиз круглой плашки. В зависимости от чего принимают конструктивные параметры плашки? На что влияет число зубьев плашки?
16. Приведите эскиз круглой плашки. В зависимости от чего и как выбирается количество зубьев плашки? Каково назначение калибрующей части плашки? Чему равна длина калибрующей части и почему?
17. Какие формы может иметь передняя поверхность плашки? В чем преимущества и недостатки каждой из них?
18. По каким поверхностям затачивают и перетачивают плашку? Приведите схему заточки.

## **Лабораторная работа № 2**

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ ФРЕЗ**

#### **1 Цель и задачи работы**

Целью лабораторной работы является изучение процесса нарезания резьбы фрезами, изучение основных конструктивных элементов и геометрических параметров резьбовых дисковых и гребенчатых фрез, методов и средств их контроля.

Для этого предусмотрено решение следующих задач:

- изучение типов резьбонарезных фрез и области их применения;
- изучение конструктивных и геометрических параметров гребенчатой и дисковой фрез.

После выполнения работы студент должен

знать: назначение различных типов резьбовых фрез и их конструктивные элементы; критерии выбора геометрических параметров; методику контроля фрезы; уметь: составить эскиз фрезы; провести контроль ее геометрических параметров; выбрать фрезу для конкретных условий работы.

## 2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями к выполнению лабораторной работы.
2. Изучить основные типы резьбонарезных фрез, принцип их работы и области применения.
3. Изучить основные конструктивные параметры гребенчатой резьбонарезной фрезы.
4. Зарисовать схемы резания при резьбофрезеровании дисковой и гребенчатой фрезами.
5. Зарисовать эскиз гребенчатой фрезы со всеми геометрическими параметрами.
6. Измерить или рассчитать значения основных параметров.
7. Составить отчет о выполненной работе

## 3 Конструктивные и геометрические параметры дисковой резьбонарезной фрезы

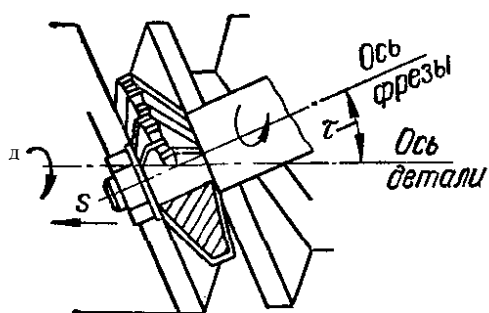


Рисунок 1 – Схема нарезания резьбы дисковой фрезой

При обработке резьбы широкое распространение получило фрезерование. Для фрезерования резьбы применяются гребенчатые (цилиндрические) и дисковые фрезы.

Схема резьбофрезерования включает быстрое вращение инструмента вокруг его оси ( $V=30-50$  м/мин), чем обеспечивается требуемая скорость резания. Заготовка совершает медленное винтовое движение подачи, ось которого совпадает с ее осью, а шаг равен шагу нарезаемой резьбы ( $V_d$  и  $S=0,03-0,05$  мм/зуб).

Дисковые резьбовые фрезы применяются для нарезания наружной и внутренней трапецеидальной резьбы с крупным шагом, большого диаметра, резьбы, пересеченной шпоночными пазы или лысками, а также резьбы на тонкостенных деталях. Для нарезания метрической резьбы этот метод используется редко из-за более низкой производительности, по сравнению с гребенчатыми фрезами.

Установка и схема резаний дисковой резьбовой фрезой показана на рис. 1. Ось дисковой фрезы обычно располагается в плоскости, перпендикулярной витку резьбы (под углом  $\tau$  к оси заготовки).

Конструкция дисковой резьбонарезной фрезы показана на рис. 2.

Диаметры фрез для трапецеидальных резьб и червяков составляют  $D=60...180$  мм; диаметры отверстий под оправку  $d=27...60$  мм, высота фрез находится в пределах  $B=10...40$  мм; число зубьев  $z=34...40$ .

Дисковые резьбовые фрезы, как правило, изготавливаются с прямолинейными режущими кромками. Поэтому они проектируются как фрезы с острозаточенными зубьями, что позволяет создать инструмент с большим числом зубьев порядка 34—40, и получить на боковых кромках задние углы порядка 5—8°. У таких фрез в работе находятся одновременно не менее двух зубьев, что создает более благоприятные условия с точки зрения равномерности фрезерования.

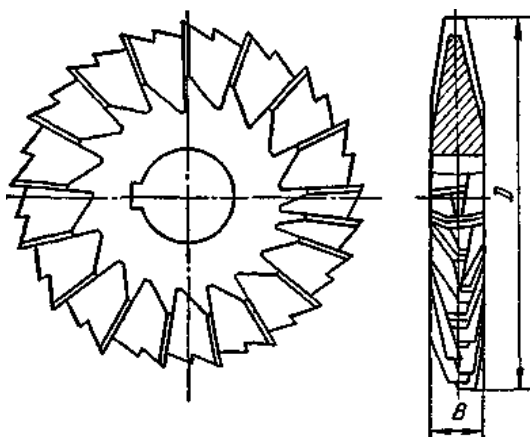


Рисунок 2 - Дисковая резьбонарезная фреза

Дисковые фрезы конструируются с чередующимися зубьями. Каждый зуб такой фрезы работает вершинной и одной боковой режущей кромкой. Для контроля профиля на фрезе предусматривается один полный зуб с двумя боковыми режущими кромками.

Переменное срезание зубьев фрезы обеспечивает увеличение вдвое толщины среза на боковых режущих кромках, снижению усилий резания и повышению стойкости. Для полной обработки впадины резьбы фреза должна иметь перекрытие вершинных кромок, т. е. длина срезанной вершинной кромки должна быть не меньше половины ширины вершинной кромки контрольного зуба. Это условие выполняется выбором соответствующих размеров стружечных канавок.

#### 4 Конструктивные и геометрические параметры гребенчатых фрез

Резьбовые гребенчатые фрезы применяют для нарезания метрической резьбы небольшой длины и невысокой точности на специальных резьбофрезерных станках. При этом обеспечивается высокая производительность, так как все витки резьбы режутся одновременно. Гребенчатые фрезы применяются для обработки наружных и внутренних цилиндрических резьб в серийном производстве. Наименьший диаметр наружной резьбы 10—15 мм, а внутренней 18—20 мм. Они используются также при фрезеровании конических резьб. Гребенчатая фреза может нарезать резьбы различного диаметра, но с одинаковым шагом.

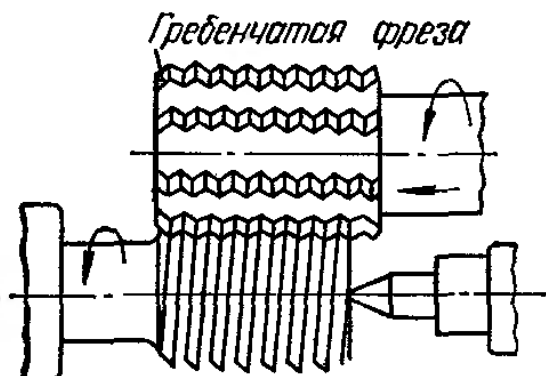


Рисунок 3 – Схема нарезания резьбы гребенчатой фрезой

Схема работы гребенчатой фрезы показана на рис. 3. При установке на станке ось гребенчатой фрезы устанавливается параллельно оси резьбы, и фрезерование ведется сразу по всей длине детали. Для этого длина фрезы должна быть на 1-2 шага больше длины нарезаемой резьбы.

В процессе обработки фреза совершает быстрое вращательное движение  $V$  со скоростью резания, деталь вращается с гораздо меньшей скоростью. Кроме того, фреза за один оборот детали

перемещается поступательно вдоль своей оси на шаг резьбы. Полная обработка резьбы осуществляется за 1,25...1,3 оборота. Дополнительное вращение на 0,25...0,3 оборота заготовки необходимо для подвода фрезы при врезании.

Гребенчатые фрезы работают по методу встречного фрезерования, так как в этом случае обеспечивается лучшее качество обрабатываемой поверхности и повышается виброустойчивость технологической системы.

Гребенчатые фрезы изготавливаются двух типов: концевые с коническим хвостовиком и наружным диаметром  $D=10...32$  мм для нарезания внутренней резьбы (рис. 4,а), насадные  $D=32...100$  мм для наружной резьбы (рис. 4,б). Насадные фрезы получили большее распространение.

Рабочая часть фрез может изготавливаться из быстрорежущих сталей или из твердых сплавов. Рабочая часть фрезы малого диаметра изготавливается полностью из твердого сплава, а у фрез больших диаметров в корпусе инструмента закрепляются твердосплавные пластины. Применение твердосплавных фрез позволяет повысить скорость резания и снизить время обработки. Для быстрорежущих фрез скорость резания принимается равной  $V=25-30$  м/мин, для твердосплавных  $V=60-120$  м/мин. Подача на зуб фрезы принимается от 0,05 до 0,15 мм учетом обрабатываемого материала и качества нарезаемой резьбы.

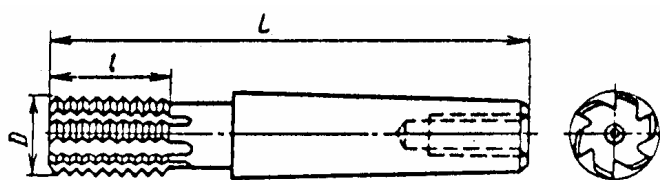


Рисунок 4 – Концевая гребенчатая фреза

Геометрические параметры цилиндрической гребенчатой фрезы показаны на рис. 5.

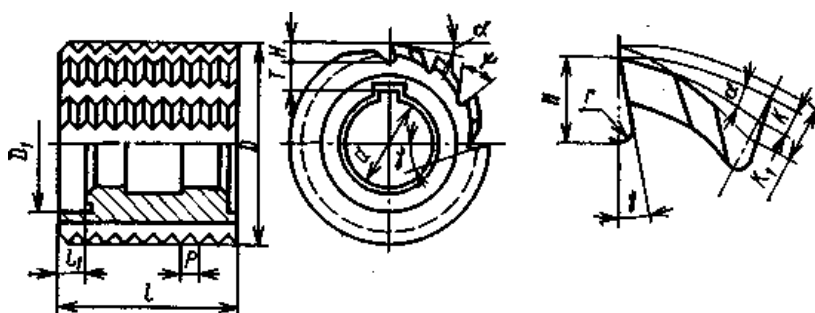


Рисунок 5 – Геометрические параметры гребенчатой фрезы

Резьбовая гребенчатая фреза получается из резьбового метрического цилиндра с кольцевыми (а не винтовыми) витками с шагом  $P$ . Из-за наличия кольцевых витков теоретический профиль резьбы на фрезе отличается от профиля нарезаемой резьбы. Однако это отличие находится в пределах регламентированных допусков на резьбу фрезы и им можно пренебречь. Искажение угла профиля не превышает (3...4) для наружных резьб и (7...8) для внутренних.

#### 1. Диаметр фрезы.

При выборе диаметра гребенчатой фрезы следует учитывать, что отклонения профиля кольцевых витков фрезы от профиля резьбы возрастают с увеличением диаметра фрезы, что неблагоприятно влияет на точность обработки. Однако, при увеличении диаметра фрезы повышается жесткость инструмента и оправки и

создаются более благоприятные условия для плавного фрезерования, что особенно важно при обработке жаропрочных и труднообрабатываемых материалов.

Наружный диаметр фрезы  $D$  зависит от высоты зуба  $h$ , диаметра посадочного отверстия  $d$  (для насадных фрез), толщины тела фрезы  $T$ :

$$D = d + 2T + 2H;$$

$$D_1 = (1,6 \dots 2)d;$$

$$H = h + \frac{K + K'}{2} + r,$$

где  $h$  - высота профиля резьбы по ГОСТ,

$k$  – величина падения затылка,

$k_1$  – высота падения второго затылка,

$r$  – радиус закругления дна канавки,  $r = 2 \dots 2,5$  мм.

Для резьбы с шагом  $p = 0,5 \dots 6$  мм диаметры гребенчатых фрез находятся в пределах  $D = 10 \dots 100$  мм. Для внутренней резьбы диаметр фрезы должен быть не больше  $0,85 \dots 0,9$  диаметра отверстия.

Расчетные наружные диаметры фрезы и соответствующие диаметры оправки округляются и подчиняются нормальному ряду.

Стандартные концевые фрезы имеют диаметры 10, 12, 15, 18, 20, 25, 30, 35 и 40 мм.

Диаметр посадочного отверстия  $d$  выбирают из нормального ряда диаметров фрезерных оправок по условиям прочности, жесткости и устранения вибрации в процессе работы.

Соотношение между наружными диаметрами  $D$  фрез и диаметрами оправок  $d$  следующее:

$D$ , мм 32 36 40 50 63 80 100

$d$ , мм 13 16 16 22 32 40 50

2 Длина фрезы.

Гребенчатые насадные фрезы в зависимости от диаметра делаются с длиной рабочей части  $L = 15 \dots 100$  мм, но не превышает 100 мм во избежание искажения по шагу и профилю резьбы после термической обработки. Длина концевых фрез - 10—50 мм. Чтобы обеспечить одновременную обработку по всей длине детали, длина гребенчатой фрезы должна быть на 2—3 шага больше длины нарезаемой резьбы.

Длина рабочей части фрезы определяется зависимостью

$$L = l_d + (2 \dots 3)p,$$

где  $l_d$  – длина нарезаемой резьбы,

$p$  – шаг резьбы.

3 Число зубьев фрезы.

При обработке резьбы гребенчатыми фрезами угол контакта, из-за малой глубины резания, оказывается небольшим. Поэтому, чтобы обеспечить одновременную работу не менее двух зубьев фрезы, необходимо выбирать большее число зубьев. Это практически оказывается невозможным из-за малой ширины впадины для выхода резца при затыловании и недостаточной толщины зуба, допускающей незначительное число переточек. Ориентировочно число зубьев фрезы принимают равным

$$Z = (1,6 \dots 1,8)\sqrt{D}.$$

4 Углы режущей части.

Гребенчатые фрезы проектируются с прямыми и винтовыми стружечными канавками, имеющими угол наклона  $\omega=5—15^\circ$ . Винтовые канавки повышают плавность фрезерования, но в этом случае на боковых режущих кромках создаются разные передние углы. С одной стороны зуба передний угол положительный, с другой — отрицательный. Условия резания от этого несколько ухудшаются. Направление канавок должно совпадать с направлением нарезаемой резьбы.

Шаг винтовой канавки равен

$$T=\pi D \operatorname{ctg} \omega.$$

Угол впадины  $\psi=30—45^\circ$ . Такой угол необходим для того, чтобы обеспечить достаточный объем канавки для размещения стружки и улучшить условия для выхода шлифовального круга при затыловании.

Фрезы затачивают по передней поверхности под углом  $\gamma$ , который назначается в зависимости от материала детали: для чугуна бронзы, латуни и твердой стали  $\gamma=0^\circ$ ; для стали средней твердости  $\gamma=5^\circ$ , для легких сплавов и мягких сталей  $\gamma=(10...15)^\circ$ .

Для значений передних углов, отличных от нуля, необходимо соответствующим образом корректировать профиль фрезы при ее проектировании.

Задние углы на вершине зубьев выбирают в пределах  $\alpha=(8...10)^\circ$ , на боковых сторонах  $\alpha_{бок}=(4...5)^\circ$ .

Обычно с целью сохранения профиля зуба после переточек гребенчатые резьбовые фрезы проектируются как фрезы с затылованными и шлифованными по профилю зубьями. При этом величина затылования  $K$  определяется по формуле

$$K_z = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \alpha_s,$$

где  $D$  - наружный диаметр фрезы;

$Z$  - число зубьев.

Для обеспечения возможности шлифования профиля витков применяют двойное затылование с величиной падения второго затылка

$$K_1 = (1,2...1,5)K.$$

## 5 Содержание отчета по лабораторной работе

1. Название работы, ее цель, задачи.
2. Схема нарезания резьбы дисковой фрезой, область ее применения.
3. Эскиз дисковой резьбонарезной фрезы.
4. Схема нарезания резьбы гребенчатой фрезой, область ее применения.
5. Эскиз цилиндрической гребенчатой фрезы с разметами.
6. Расчет основных параметров резьбовой фрезы.
7. Выводы.

## 6 Контрольные вопросы

1. Приведите эскиз дисковой резьбонарезной фрезы, укажите ее конструктивные и геометрические параметры, поверхности и режущие кромки.
2. Приведите схему фрезерования резьбы дисковой фрезой. Укажите все движения. Особенности установки дисковой фрезы на станке. Какова область применения дисковых резьбонарезных фрез?



3. Приведите эскиз гребенчатой резьбонарезной фрезы, укажите ее конструктивные параметры, поверхности и режущие кромки.
4. Приведите эскиз гребенчатой резьбонарезной фрезы. В зависимости от чего назначаются геометрические параметры фрезы, как они определяются?
5. Приведите схему фрезерования резьбы гребенчатой фрезой. Укажите все движения. Какова область применения гребенчатых резьбонарезных фрез?

### **Лабораторна робота № 3**

## **ГЕОМЕТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ**

### **1 Ціль і задачі лабораторної роботи**

Ціль роботи – вивчення процесу нарізання зубчастих коліс дисковими модульними фрезами вивчення методики профілювання і дослідження точності профілю модульних дискових зуборізних фрез. Для цього передбачено вирішення наступних задач:

1. вивчення параметрів і властивостей евольвенти, як лінії, що утворить профіль зуба;
2. вивчення конструктивних та геометричних параметрів дискової модульної фрези;
3. теоретична побудова профілю евольвенти і перехідних кривих;
4. вимір фактичного профілю зуба фрези, порівняння з розрахунковими значеннями параметрів і оцінка точності виготовлення профілю.

Після виконання лабораторної роботи студент повинен знати: призначення й область застосування модульних дискових фрез; що таке комплект фрез і його призначення; методику контролю параметрів фрези; порядок розрахунку основних параметрів фрези.

уміти: скласти ескіз дискової модульної фрези; виконати контроль геометричних параметрів фрези; видрати з комплекту фрезу для обробки заданого колеса.

### **2 План проведення роботи**

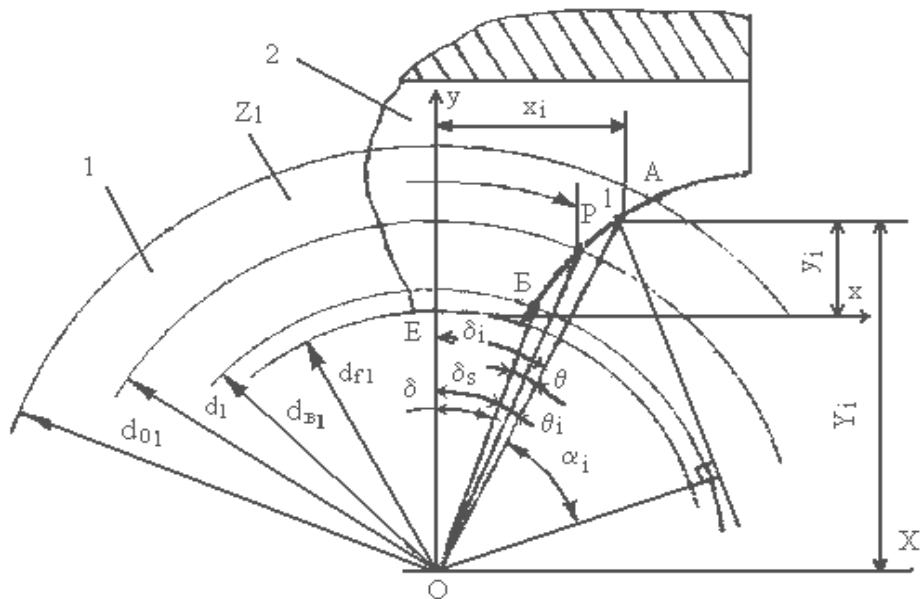
1. Ознайомитися з методичними вказівками до виконання лабораторної роботи.
2. Скласти ескіз дискової модульної фрези згідно з завданням.
3. Визначити конструктивні елементи та геометричні параметри дискової модульної фрези.
4. Побудувати розрахунковий профіль фрези на окремому листі в масштабі 15:1 за даними табл. 1.1.
5. Установити фрезу на мікроскопі, на проекційну насадку накласти лист кальки, знайти положення осей координат X, Y і скопіювати на кальку фактичний профіль фрези в масштабі 15:1.
6. Лист кальки з фактичним профілем накласти на лист із розрахунковим профілем, вимірити величини відхилень профілю, перерахувавши їх у масштаб 1:1, і занести в табл. 1.2.
7. Зробити аналіз точності профілю і зробити висновок про якість

виготовлення фрези.

8. Скласти звіт про виконану роботу.

### 3 Основні положення

Дискові модульні зуборізні фрези (рис. 1) відносяться до інструментів, що працюють по методу копіювання і застосовуються найчастіше для нарізування прямозубих циліндричних коліс 9-й ступеня точності і нижче. Ними можна обробляти і косозубі колеса, але в цьому випадку метод обробки називається безцентроїдним огинанням. Цей метод обробки є малопродуктивним, застосовується в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва при точності оброблюваних



колес не вище 9-й ступеня.

Рисунок 1 – Дискова модульна фреза

При обробці прямозубих коліс профілювання зубця фрези відбувається по западині колеса, що нарізується, з введенням перехідних ділянок у ніжки зуба. Бічна сторона зубця колеса уявляє собою евольвенту. Евольвенті зубчасті зачеплення мають багато достоїнств і в даний час найбільш широко застосовуються в машинобудуванні. Евольвентою окружності називається крива, утворена будь-якою крапкою, що лежить на прямій, під час її кочення по нерухомій окружності діаметром  $d_0$ , яка називається основною (рис. 2). Тому що величина  $d_0$  є єдиним параметром, що характеризує евольвенту, то евольвенти, описані від однієї окружності, будуть однаковими. Дотична до основної окружності є нормаллю евольвенти в заданій точці, тобто всі нормалі евольвенти є дотичними до основної окружності.

Рисунок 2 – Визначення параметрів евольвенти по западині зубця:

1 – зубчасте колесо; 2 – дискова фреза.

Розглянемо поточну крапку I на евольвенті, положення якої визначається в полярній системі координат евольвентним кутом  $\Theta_i$  і радіусом-вектором  $r_i$ . Кут між радіусом-вектором  $r_i$  і дотичною T-T у розглянутій точці називається кутом тиску евольвенти. Очевидно, що цей кут буде і між лінією  $r_i$  і перпендикуляром до нормалі N-N з центра O, положення якого визначається кутом  $\phi_i$ , який називається

кутом розгорнення евольвенти.

Для передач з вихідним контуром за ГОСТ 13755-81 прийнятий кут зачеплення  $\alpha = 20^\circ$ , крок зачеплення  $t_d = \pi m$ . Якщо не враховувати тепловий зазор у передачі, тоді по ділильному діаметрі ширина западини буде дорівнювати товщині зуба і дорівнює  $S_d = 0,5t_d$ , у цьому випадку центральний кут  $\delta$  буде дорівнювати половині окружного кроку, тобто  $\delta = \pi/2Z_k$ , де  $Z_k$  – число зубців колеса, що нарізається.

Для евольвентних зубчастих коліс профіль евольвенти залежить від числа зубців. Тобто, для точного нарізання колеса із заданим числом зубців методом копіювання необхідно мати власну фрезу з особистим профілем. Для нарізування усіх зубчастих коліс, які можуть існувати, наприклад, з числом зубців 12- $\infty$ , теоретично необхідно мати необмежену кількість фрез.

Щоб запобігти цього дискові модульні фрези виготовляються комплектами з 8 або 15. Ці фрези мають зовнішні діаметри  $D = 50 \dots 180$  мм, діаметри посадкових отворів  $d = 19 \dots 50$  мм, число зубів  $Z = 14 \dots 10$  і ширину  $b = 4 \dots 53$  мм.

Для побудови евольвентного профілю зубця кожної фрези комплекту поступають наступним чином: Вичерчують профілі коліс  $Z = 12$  і  $Z = \infty$  (профіль рейки) й отриману максимальну різницю поділяють на 8 або 15 частин і визначають, якому числу зубів відповідають профілі 1, 2, 3, ... 8 (рис. 1.3). Наприклад, профіль №4 у точності відповідає профілеві колеса з  $Z = 21$ , а профіль №5 –  $Z = 26$ , тому фреза №4 призначається для коліс з  $Z = 21-25$ , а фреза №8 – для коліс з числом зубів  $Z > 135$  і зубчастих рейок ( $Z = \infty$ ) (табл. 1.1).

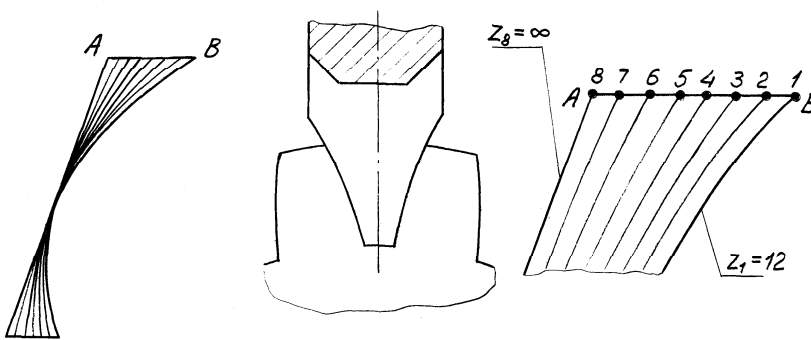


Рисунок 3 – Схема профілювання комплекту дискових модульних фрез

Таблиця 1 – Стандартний ряд дискових зуборізних фрез комплектів з 8 та 15

штук

№ фрези		1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8	
Число зубців колеса, що	8 фрез	12	-	14	-	17	-	21	-	26	-	35	-	55-13	4	-	135і більше
	15 фрез	12	13	14	15	17	19	21	23	26	30	35	42	55-79	80-13	4	

Побудова профілів фрез стандартних наборів за цією схемою закладає погрішності коліс, що нарізаються, тому дисковими модульними фрезами можна одержати колеса не вище 9-й ступеня точності.

Крім цього, дискові модульні фрези мають низьку стійкість і продуктивність через  $\gamma=0$ , малого зовнішнього діаметра, числа зубців і малих задніх кутів на бічних різальних кромках ( $\alpha_b=1020^\circ \dots 2030^\circ$ ).

Передній кут фрез дорівнює нулеві, задній кут на вершині зуба –  $10\dots 12\dots 12$

### 3 Порядок проведення роботи

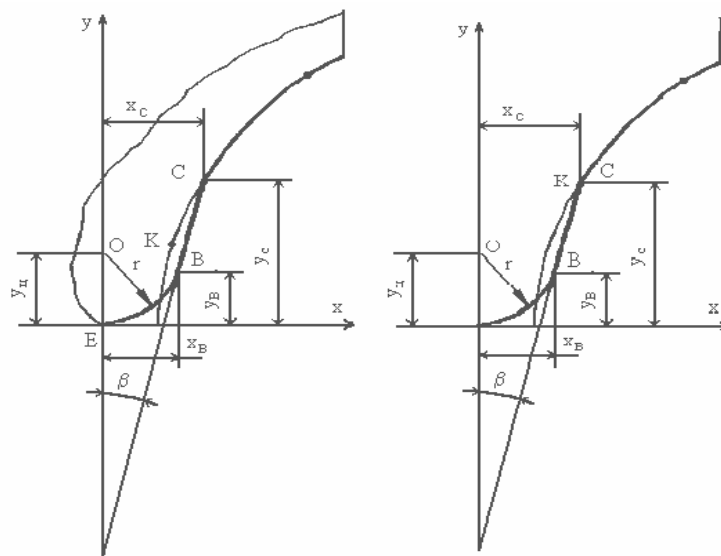


Рисунок 4 – Профіль переходного участка дисковых модульных фрез:  
 а – при  $Z \leq 15$  (№ фрез 1 – 2 1/2); б – при  $Z = 17-79$  (№ фрез 3-7).

Для заданного номера фрезы выбрать координаты эвольвентного и переходных участков профиля (ОСТ 2И41-14-87, приложение табл.1,2 и произвести их пересчет в масштабе 15:1. Данные занести в табл. 2.)

Построить расчетный профиль фрезы на отдельном листе в масштабе 15:1.

Установить фрезу с оправкой на микроскопе, на проекционную насадку наложить лист кальки, найти положение осей координат X, Y и скопировать на кальку фактический профиль фрезы в масштабе 15:1.

Лист кальки с фактическим профилем наложить на лист с расчетным профилем, измерить величины отклонений профиля, пересчитав их в масштабе 1:1, и занести в табл. 3.

Таблица 2

Координати профілю дискової модульної зуборізної фрези № М 15:1

омер крап ки  профі лю	Ко ординат и  к р апки В		Коо рдинати кра пки З		Коо рдинати цен тра ПРО		Коо рдинати эво львенты	
	в	в	с	ус	ц	ц=г	і	і

Для отклонений установить знак: (+) – если величина отклонения по отношению к расчетному направлена в большую сторону, (-) – если в меньшую.

Произвести анализ точности профиля и сделать вывод о качестве изготовления.

Таблиця 3.

Погрішності профілю дискової модульної фрези №

Назва ділянки Профілю	Погрішність профілю	
	Поз начення	Вели чина
Дуга окружності	$\Delta r$	
	$\Delta$	
	Xц	
	$\Delta$	
Відрізок ВР	Уц	
	$\Delta$	
	Xв	
	$\Delta$	
	Вус	
Ділянка эвольвенты у трьох крапках	$\Delta \beta$	
	$\Delta$	
	X0	
	$\Delta$	
	X1	
	$\Delta$	
	X2	

Для відхилень установити знак: (+) – якщо величина відхилення стосовно розрахункового спрямована у велику сторону, (-) – якщо в меншу.

## **5 Зміст звіту по лабораторній роботі**

Назва роботи, її ціль, задачі.

Ескізи різних видів зуборізних гребінок.

Розрахункова схема для визначення параметрів зуборізної гребінки.

Формули для визначення розрахункових параметрів гребінки.

Таблиця параметрів зуборізної гребінки.

Графіки залежності профільного кута та висоти зубця гребінки по передній поверхні від переднього кута при вершині.

Вихідні дані:  $m$ , ( $;$  № фрези;  $Z_1$ .

Профіль фрези (мал. 2а або 2б) із усіма позначеннями.

Розрахункові координати профілю по ОСТ 2И41-14-87.

Результати перерахунку координат профілю в масштабі 15:1 (табл. 2) і графічна побудова розрахункового профілю.

Фактичний профіль фрези, отриманий на мікроскопі за допомогою проекційної насадки.

Величина погрешностей профілю (табл. 3).

Аналіз точності профілю і висновок про якість виготовлення фрези.

### **Лабораторна робота № 4**

## **ГЕОМЕТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ЗУБОРІЗНОЇ ГРЕБІНКИ**

### **1 Ціль і задачі лабораторної роботи**

Ціль роботи – вивчення процесу нарізання зубчатих коліс зуборізними гребінками та конструктивних і геометричних параметрів інструменту. Для цього передбачено вирішення наступних задач:

вивчення типів гребінок та галузі їх використання;

вивчення геометричних параметрів прямозубої зуборізної гребінки;

одержання практичних навичок по контролю і розрахунку геометричних параметрів та конструктивних елементів прямозубої зуборізної гребінки.

Після виконання лабораторної роботи студент повинен

знати: призначення й область застосування зуборізної гребінки; взаємозв'язок між її конструктивними і геометричними параметрами та параметрами колеса, що нарізується; методику контролю параметрів гребінки; порядок розрахунку основних параметрів гребінки.

уміти: скласти ескіз гребінки і розрахункову схему для визначення геометричних параметрів гребінки; виконати контроль геометричних параметрів зуборізної гребінки.

### **2 План проведення роботи**

1. Ознайомитися з методичними вказівками до виконання лабораторної роботи.

2. Вивчити конструктивні елементи та геометричні параметри зуборізної гребінки.

3. Освоїти методику контролю параметрів зуборізної гребінки.

4. Скласти ескіз гребінки і розрахункову схему для визначення її конструктивних елементів та геометричних параметрів.

5. Вимірити параметри гребінки в площині передньої поверхні (довжину  $L$ , ширину  $B$ , висоту  $H$ , число зубців  $z$ , висоту зубця  $h$ , його товщину  $S_i$ , кут профілю  $\alpha_r$ ), значення кута  $\varepsilon = \alpha_u + \gamma_v$ .

7. Розрахувати параметри гребінки в нормальній перетині (модуль  $m$ , висоту зубця  $h$ , профільний кут  $\alpha_N$ ).

8. Визначити параметри зубчатого колеса, яке може бути нарізано даною гребінкою.

9. Скласти звіт про виконану роботу.

### 3 Конструктивні елементи і геометричні параметри зуборізної гребінки

З інструментів, що працюють по методу огинання (обкатування), найбільш простим є зуборізна гребінка. Вона призначена для обробки циліндричних прямозубих і косозубих зубчатих коліс зовнішнього зачеплення. Гребінки можуть нарізувати шевронні, блочні колеса, колеса з виступаючими фланцями, так як не потребують місця для виходу інструмента.

Гребінки бувають прямозубі для нарізування прямозубих або косозубих коліс, та косозубі для нарізування шевронних коліс без канавки на ободу, причому для цього застосовують спарені косозубі гребінки.

Зуборізні гребінки модулів 1...20 мм виготовляються трьох класів точності: АА – для коліс 6-й ступеня точності, класу А – для нарізування коліс 7-й ступеня точності й Б – для нарізування коліс 8-й ступеня точності.

Зуборізна гребінка – це інструментальна рейка, яка перетворена в інструмент додаванням їй переднього і заднього кутів. Перевагою зуборізних гребінок є: простота конструкції інструмента, яка дозволяє виготовляти його з високою точністю, незмінність профілю при переточуваннях, висока точність обробки зубчатих коліс по профілю і кроку.

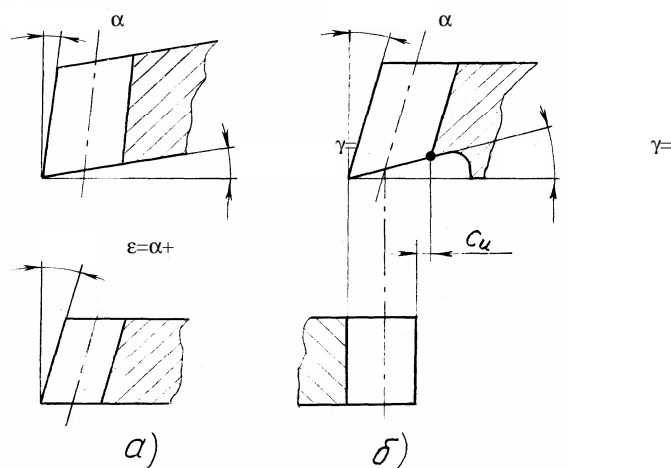


Рисунок 1 - Типи прямозубих гребінок:

а – гребінка типу I; б – гребінка типу II

Прямозубі гребінки відповідно до конструкції верстатів бувають двох типів. Гребінки типу I (рис. 1, а) виконують з кутом  $\varepsilon = \gamma + \alpha = 120^\circ$ . Ці гребінки встановлюються на верстаті відносно основної площини під кутом  $60^\circ$  для утворенні переднього кута. Задній кут при цьому получаять рівним  $\alpha = 50^\circ$ .

У гребінок типу II (рис. 1, б) опорна поверхня збігається з основною площиною, передній кут  $\gamma = 4$  утворюється загостренням, а задній прийнятий рівним  $\alpha = 6052^\circ$ .

Розміри профілю зубів гребінки залежать від розмірів зуба колеса, що нарізується, і розглядаються в трьох площинах (рис. 2):

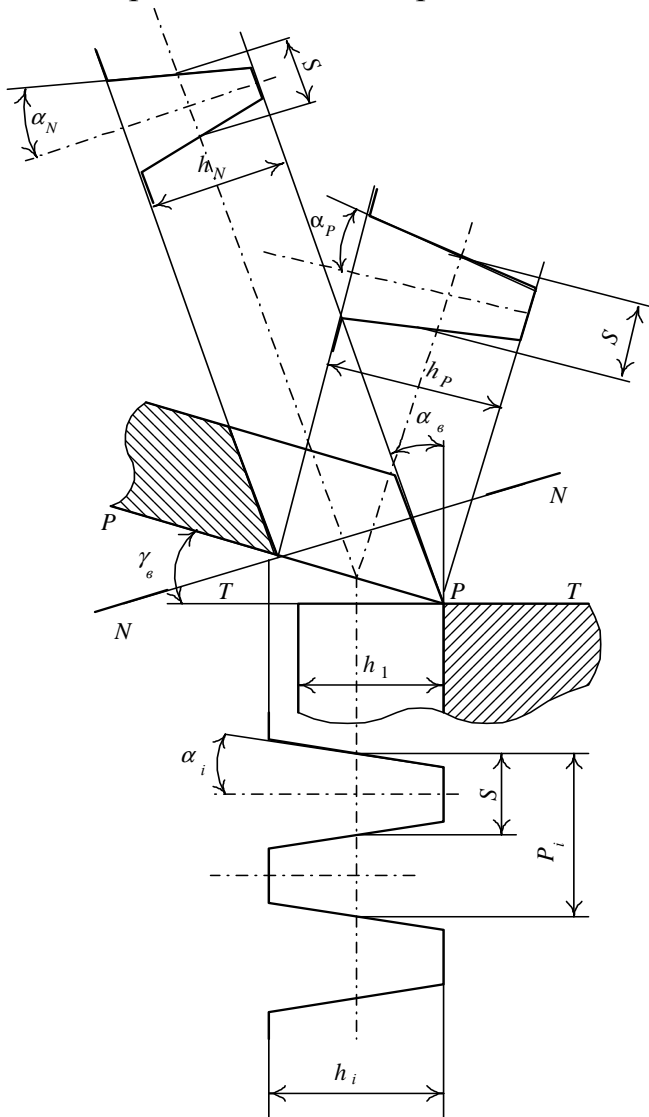


Рисунок 2 – Схема для визначення розмірів зубців гребінки

1) у площині Т-Т, яка співпадає з торцем колеса, яке нарізується, розміри зубців гребінки відповідають розмірам зуба інструментальної рейки;

2) у площині Р-Р, яка співпадає з передньою поверхнею гребінки служить для контролю її параметрів;

3) у площині NN, нормальній до задньої поверхні зуба. Ці розміри потрібні для виготовлення (фрезерування і шліфування) гребінки.

У перетинах Р-Р і N-N у порівнянні з поверхнею Т-Т, змінюється висота зубця і кут профілю, а осеві розміри зубців залишаються незмінними.

Шаг зубців гребінки у всіх перетинах повинен бути рівним шагу зубців колеса, що нарізується

$$t_d = \pi m, \text{ мм.}$$

Товщина зубця по ділильній прямій рівна розмірам вихідної інструментальної рейки

$$S_{д чмст} = \pi m / 2 - \Delta S,$$



де  $\Delta S$  – збільшення товщини зубця інструментальної рейки, необхідне для утворення бічного зазору в передачі.

Профільний кут зубця гребінки у торцевому перетині дорівнює профільному куту зубчастої передачі  $\alpha_i=200$ .

У перетині Р-Р, який збігається з площиною передньої поверхні гребінки, шаг та товщина зубця по ділильній прямій залишаються незмінними. Змінюються висота зубця та профільний кут, це пов'язано з наявністю переднього кута.

Висота зубця гребінки по передній поверхні визначається залежністю

$$h_{iP} = \frac{h_{ip}}{\cos \gamma_e}.$$

Кут профілю зубців

$$\operatorname{tg} \alpha_{iP} = \operatorname{tg} \alpha_i \cos \gamma_e.$$

Висота зубця гребінки в площині, нормальній до задньої поверхні

$$h_{iN} = \frac{h_i \cos(\alpha_e + \gamma_e)}{\cos \gamma_e}.$$

Кут профілю зубців

$$\operatorname{tg} \alpha_{iN} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_i \cos \gamma_e}{\cos(\alpha_e + \gamma_e)}.$$

З останнього виразу видно, що співмножник  $\frac{\cos \gamma}{\cos(\gamma + \delta)}$  є коефіцієнт викривлення профілю. Тому на точність нарізаного колеса великий вплив здійснює правильність установки гребінки на верстаті (дотримання заданих переднього і заднього кутів).

#### 4 Завдання для дослідження

1. Визначити вплив величини переднього  $\gamma$ в і заднього кутів  $\alpha$ в на величину профільного кута гребінки у площині передньої поверхні  $\alpha_{iP}$  (при значеннях  $\gamma$ в = 5°, 5,5°, 6°, 7°, 7,5°, 8°), побудувати графік.

2. Установити вплив величини переднього кута  $\gamma$ в і заднього кута  $\alpha$ в на висоту зубця гребінки у площині передньої поверхні  $h_{iP}$  (при значеннях  $\gamma$ в = 5°, 5,5°, 6°, 7°, 7,5°, 8°), побудувати графік.

#### 5 Зміст звіту по лабораторній роботі

Назва роботи, її ціль, задачі.

Ескізи різних видів зуборізних гребінок.

Розрахункова схема для визначення параметрів зуборізної гребінки.

Формули для визначення розрахункових параметрів гребінки.

Таблиця параметрів зуборізної гребінки.

Параметри зубчастого колеса, яке може бути нарізано даною гребінкою.

Графіки залежності профільного кута та висоти зубця гребінки по передній поверхні від переднього кута при вершині.

Таблиця – Характеристика зуборізної гребінки

Назва параметрів	Познач	Значення	Примітка
------------------	--------	----------	----------

/п	зуборізної гребінки	ення	виміряні	розраховані	
	Довжина гребінки	L			
	Ширина гребінки	B			
	Висота гребінки	H			
	Модуль	m			
	Число зубців	Z			
	Висота зубця гребінки по передній поверхні	$h_{ip}$			
	Шаг по ділильній прямій	$t_{ip}$			
	Ширина зубця гребінки по передній поверхні	$S_{ip}$			Визначити тип гребінки
	Профільний кут на передній поверхні	$\alpha_{ip}$			
0	Висота зубця гребінки у торцевому перетині	$h_{iT}$			
1	Профільний кут у торцевому перетині	$\alpha_{iT}$			
2	Висота зубця гребінки в площині, нормальній до задньої поверхні зубця	$h_{iN}$			
3	Профільний кут в нормальному перетині	$\alpha_{iN}$			

### 6 Контрольні питання

Яке призначення зуборізної гребінки? Зобразите схему різання при нарізуванні колеса зуборізною гребінкою, укажіть усі рухи. Яким методом працює гребінка?

Зобразите зуборізну гребінку, вкажіть її основні геометричні параметри. Для нарізування яких зубчатих коліс можна використовувати дану гребінку?

Які типи гребінок ви знаєте? Чим вони відрізняються і чому?

Зобразите зуборізну гребінку. Укажіть січні площини, у яких задаються розміри гребінки. Для чого служить кожна площина?

Чому рівні розміри зуба гребінки в торцевій площині? Які розміри змінюються, а які залишаються незмінними в інших січних площинах і чому?

Чому і як впливають значення переднього і заднього кутів гребінки на профільний кут колеса, що нарізується?

Як розрахувати розміри зубця гребінки у площині передньої поверхні?

Як розрахувати розміри зубця гребінки у нормальній площині?

Від чого залежить профільний кут гребінки у площині передньої поверхні? Як його розрахувати?

### Лабораторна робота № 5

# ГЕОМЕТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ

## 1 Ціль і задачі лабораторної роботи

Ціль роботи – вивчення процесу нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами та конструктивних і геометричних параметрів інструменту. Для цього передбачено вирішення наступних задач:

вивчення галузі застосування черв'ячних фрез та умов їх роботи;  
вивчення геометричних параметрів і конструктивних елементів фрези;  
одержання практичних навичок по розрахунку та контролю параметрів фрези в залежності від умов і параметрів колеса.

Після виконання лабораторної роботи студент повинен знати: принцип роботи та галузь використання черв'ячних фрез, критерії вибору геометричних параметрів черв'ячної фрези; методику контролю параметрів фрези;

уміти: скласти ескіз черв'ячної фрези; виконати контроль параметрів фрези; вибрати фрезу для конкретних умов її роботи.

## 2 План проведення роботи

Ознайомитися із методикою виконання лабораторної роботи.

Вивчити конструкції модульних черв'ячних фрез, їх геометричні параметри.

Освоїти методику контролю параметрів фрез.

Скласти ескіз черв'ячної модульної фрези.

Вимірити та розрахувати параметри черв'ячної модульної фрези (модуль фрези  $m$ , число зубців  $z$ , зовнішній діаметр фрези  $D_a$  довжину фрези  $L$ , діаметр посадкового отвору  $d$ , товщину зубця  $S_d$ , його висоту  $h_i$ , передній кут  $\gamma_v$ , задній кут  $\alpha_v$ , величину падіння затилку  $K$ , радіальне биття буртиків  $\delta$ , кут підйому витка фрези  $\tau$ , кут профілю зубця  $\alpha_i$ ).

7. Порівняти розрахункові значення параметрів фрези з вимірними.

8. Скласти звіт про виконану роботу.

## 3 Конструкція черв'ячної фрези і її геометричні параметри

Черв'ячні фрези застосовують для чорнового, напівчистового і чистового нарізування циліндричних прямозубих, косозубих зовнішнього зачеплення коліс з модулем 0,1...40 мм, а також черв'ячних коліс. Іноді, при нарізуванні зубців на зубчастих вінцях великих діаметрів, черв'ячні фрези використовують і для виготовлення коліс внутрішнього зачеплення.

Черв'ячна модульна фреза являє собою черв'як, у якого прорізані прямі (рівнобіжними осі фрези) або гвинтові стружкові канавки. У разі виконання гвинтових канавок кут їх нахилу  $\omega$  приймається рівним куту підйому витка фрези  $\tau$ .

У залежності від призначення і розмірів черв'ячні фрези виготовляють класів точності ААА, АА, А, В, С і Д, які рекомендуються відповідно для нарізування зубчастих коліс ступеня точності Ст.5-6, Ст.7, Ст.8, Ст.9 і Ст.11. Фрези класів ААА та АА відносяться до прецизійних, інші – до фрез загального призначення.

Черв'ячні фрези можна виготовлювати цільними або збірними зі вставними рейками. У цьому випадку корпус фрези виготовлюють із конструкційної легованої сталі, наприклад, 40Х, а ріжучу частину – із швидкорізальної сталі.

По числу заходів (витків) фрези бувають однозаходні (для чистової обробки) і багатозаходні (для чорнової обробки).

Черв'ячна фреза може бути спрофільована на базі евольвентного або архімедова черв'яка. Зубець фрези, спроектованої на базі евольвентного черв'яка, в осьовому перетині має евольвентний профіль; на базі архімедова черв'яка – прямолінійний. Найбільше поширення в промисловості одержали фрези, спроектовані на базі архімедова черв'яка, тому що їх відносно просто виготовляти і нескладно здійснювати контроль зубця при одночасному забезпеченні необхідної точності зубчастих коліс.

Загальний вигляд однозаходної цільної черв'ячної фрези показаний на рис. 1.

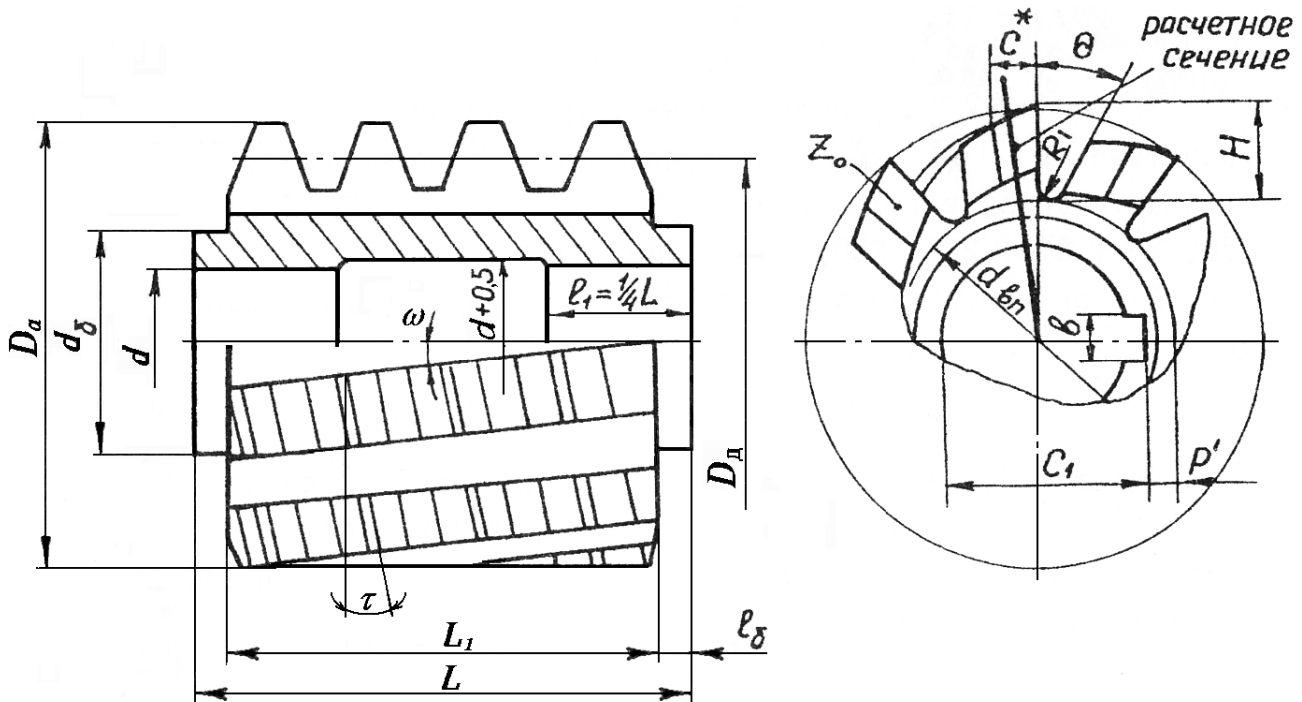


Рисунок 1 – Черв'ячна модульна фреза

У промисловості найбільше поширення одержали затиловані фрези, які забезпечують сталість профілю зубця після переточування.

Величина падіння затилку фрези визначається за формулою

$$K = \frac{\pi D_a}{z} \operatorname{tg} \alpha_e,$$

де  $D_a$  – зовнішній діаметр фрези;

$\alpha_e = 10-12^\circ$  – задній кут на вершині зубця.

Передній кут для черв'ячних фрез приймається рівним нулю. Наявність переднього позитивного кута поліпшує умови різання, але при цьому викривлюється профіль зубця оброблюваного колеса, і тому потрібно відповідне коректування профілю зубця фрези.

Розміри фрези розраховуються та проставляються на кресленні у двох перетинах: осьовому і нормальному.

Осьовий перетин проходить через вісь фрези. Розміри зубців фрези у цьому перетині необхідні для її виготовлення. Нормальний перетин проходить перпендикулярно до вітка черв'яка, тобто співпадає з площиною передньої поверхні. У цьому перетині розміри зубців фрези дорівнюють розмірам інструментальної зубчастої рейки.

### 3.1 Формули для розрахунку параметрів зубців фрези в нормальному перетині

Висота профілю зубця фрези знаходиться за формулою

$$h_i = h_a + h_f = 2,5 m.$$

Крок зубців фрези

$$t = \pi m.$$

Товщина зубця фрези по ділильній прямій визначається через модуль

$$S_d = \pi m / 2.$$

Кут підйому витка фрези  $\tau$

$$\tau = \arctg (t / \pi D_c),$$

де  $t$  – крок зубців фрези в нормальному перетині;

$D_c = D_a - 2h_a - (0,2 \dots 0,5)K$  – середній розрахунковий діаметр фрези;

$h_a = 1,25 m$  – висота головки зубця фрези.

Задній кут на бічній різальній кромці у перетині N-N знаходиться за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \frac{R_a}{R_N} \operatorname{tg} \alpha_g \sin \alpha_i \cos \tau,$$

де  $R_a$  – зовнішній радіус фрези;

$R_N$  – радіус окружності, яка проходить через точку N, у якій вимірюється кут  $\alpha_N$ ;

$\alpha_v$  – задній кут на вершині зубця;

$\alpha_i = 20^\circ$  – кут профілю зубця фрези;

$\tau$  – кут підйому витка фрези.

### 3.2 Формули для розрахунку параметрів зубців фрези в осьовому перетині

Черв'ячні фрези з кутом підйому витка  $\tau \leq 3$  можуть бути виконані з осьовими стружковими канавками або з гвинтовими. При  $\tau > 3$  стружкові канавки виконуються тільки гвинтовими. У випадку виконання гвинтових стружкових канавок їх напрямок протилежний напрямкові витка фрези, а кут нахилу дорівнює кутові нахилу витка  $\omega = \tau$ .

Для можливості контролю правильності виготовлення фрези задаються шаг  $t_{oc}$  і товщина зуба  $S_{oc}$  в осьовому перетині.

$$S_{oc} = \frac{S_{ou}}{\cos \omega}, \quad t_{oc} = \frac{t_{ou}}{\cos \omega}.$$

Осьовий шаг гвинтовий стружкової канавки підраховується тільки для фрези з гвинтовими канавками

$$T = t_{oc} \operatorname{ctg}^2 \omega.$$

### 4 Контроль фрези

Для контролю фрезу встановлюють на оправку, яку закріплюють у контрольному пристрої (рис. 2).

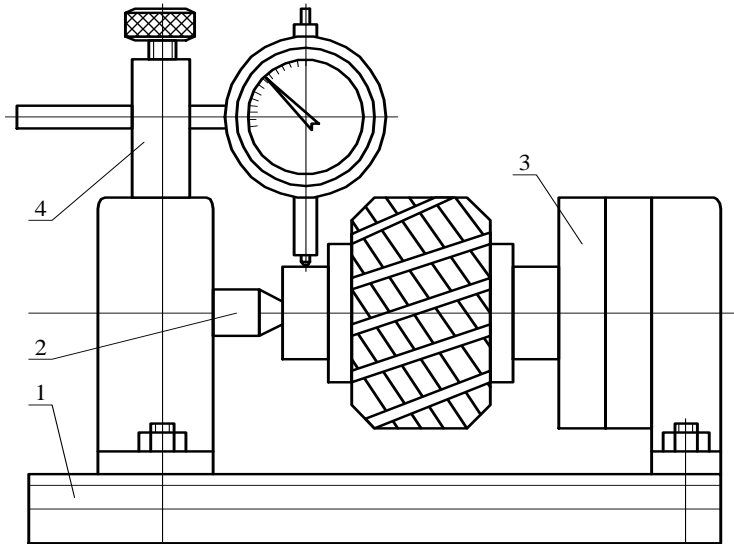


Рисунок 2 – Пристрій для контролю черв'ячної фрези:

1 – стіл; 2 – центр; 3 – ділительний механізм; 4 – стійка індикатора

Биття фрези, установлені на оправці, контролюється по буртиках за допомогою індикатора.

Величина заднього кута на вершині зубця  $\alpha_v$  визначається за формулою

$$\alpha_v = \arctg \frac{\Delta K \cdot 360^\circ}{\pi D_a \psi},$$

де  $\Delta K$  – величина падіння затилку на довжині задньої поверхні, яка відповідає куту повороту  $\psi$ .

Значення бічного заднього кута визначається за формулою

$$\alpha_N = \arctg \frac{b \cdot 360^\circ}{\pi D_a \psi},$$

де  $b = \Delta b \pm (\alpha_v/360^\circ)$ ; знак «+» використовується для розрахунку лівого бічного кута, знак «-» – для розрахунку правого бічного кута;

$\Delta b$  – показання індикатора при повороті фрези на кут  $\psi$ .

Величина падіння затилку  $\Delta K$  визначається так (рис. 3): на задню поверхню зубця встановлюють ніжку індикатора, а фрезу повертають на кут  $\psi = 5-6^\circ$ , який відраховується на ділительному механізмі пристрою. Аналогічно визначається величина падіння затилку на бічній поверхні зубця фрези, але при цьому ніжка індикатора встановлюється перпендикулярно до бічної поверхні зубця.

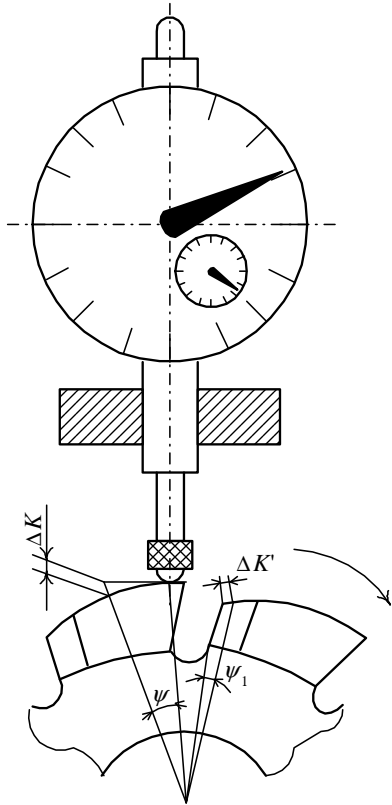


Рисунок 3 – Схема до розрахунку величини падіння затилку  $\Delta K$

5 Зміст звіту по лабораторній роботі

Назва роботи, її ціль, задачі.

Ескіз черв'ячної фрези з основними розмірами у двох перетинах (осьовому і нормальному).

Формули для визначення розрахункових параметрів фрези.

Таблиця основних параметрів фрези.

Параметри зубчастого колеса, яке може бути нарізано даною фрезою.

Висновки.

Таблиця – Характеристика черв'ячної фрези

/п	Назва параметрів зуборізної фрези	Позначення	Значення		Примітка
			виміряні	розраховані	
	Довжина фрези	$L$			
	Зовнішній діаметр фрези	$D_a$			
	Модуль	$m$			
	Число зубців	$Z$			
	Висота зубця фрези	$h_i$			
	Шаг по ділильній прямій у нормальному перетині	$t_{iN}$			
	Ширина зубця фрези у нормальному перетині	$S_{iN}$			
	Профільний кут у нормальному перетині	$\alpha_{iN}$			
	Шаг по ділильній прямій в осьовому перетині	$t_i$			
	Ширина зубця фрези в	$S_i$			

0	осьовому перетині				
1	Профільний кут в осьовому перетині	$\alpha_{iT}$			
2	Глибина стружкової канавки	H			
3	Передній кут на вершині зубця	$\gamma_v$			
4	Задній кут на вершині зубця	$\alpha_v$			
5	Бічний задній кут	$\alpha_b$			
6	Кут нахилу стружкової канавки	$\omega$			
7	Шаг стружкової канавки	T			

### 6 Контрольні питання

Призначення черв'ячної фрези. Зобразите схему різання при нарізуванні колеса фрезою, укажіть усі рухи. Яким методом працює черв'ячна фреза?

Зобразите черв'ячну фрезу, укажіть її основні геометричні параметри. Для нарізування яких зубчастих коліс можна використовувати дану фрезу?

Яке призначення черв'ячної фрези? Як необхідно установити фрезу на верстаті під час нарізування прямозубого або косозубого колеса? Зобразіть схему різання.

Зобразите черв'ячну фрезу. Укажіть січні площини, у яких задаються розміри фрези. Для чого служить кожна площина?

Чому рівні розміри зуба фрези в нормальному перетині? Наведіть розрахункові формули. Які розміри змінюються, а які залишаються незмінними в осьовому перетині і чому?

Що таке затилування? Які інструменти підлягають затилуванню? Зобразіть схему затилування. Як знайти величину падіння затилку?.

Чому рівні розміри зуба фрези в осьовому перетині? Наведіть розрахункові формули. Які розміри змінюються, а які залишаються незмінними в нормальному перетині і чому?

### Лабораторная работа № 6

## ГЕОМЕТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ДИСКОВОГО ДОВБАЧА

### 1 Ціль і задачі лабораторної роботи

Ціль роботи – вивчення процесу нарізання зубчастих коліс довбачем та конструктивних і геометричних параметрів інструменту. Для цього передбачено вирішення наступних задач:

типи довбачів та галузь їх застосування

вивчення геометричних параметрів і конструктивних елементів дискового довбача;



одержання практичних навичок по розрахунку та контролю параметрів довбача в залежності від умов і параметрів колеса.

Після виконання лабораторної роботи студент повинен

знати: принцип роботи та галузь використання різних типів довбачів, критерії вибору геометричних параметрів довбача; методику контролю параметрів;

уміти: скласти ескіз довбача; виконати контроль його параметрів; вибрати довбач для конкретних умов її роботи.

## 2 План проведення роботи

Ознайомитися із методикою виконання лабораторної роботи.

Вивчити конструкції довбачів, їх геометричні та конструктивні параметри.

Освоїти методику контролю параметрів довбача.

Скласти ескіз дискового прямозубого довбача.

Вимірити та розрахувати параметри довбача.

7. Порівняти розрахункові значення параметрів довбача з вимірними.

8. Скласти звіт про виконану роботу.

3 Конструкція дискового довбача і його геометричні параметри



Рисунок 1 - Типи зуборізних довбачів:

а, б, є, ж – дискові прямозубі, в – дисковий косозубий для нарізування прямозубих та косозубих коліс відповідно; г, к – хвостові, і - втулковий для нарізування коліс внутрішнього зачеплення або коліс з малим модулем; д, з – чашкові для нарізування коліс в упор

Зуборізні довбачі застосовують для нарізування коліс із зовнішніми і внутрішніми прямими і косими зубцями. Це єдиний інструмент, яким можна нарізати колеса блочного типу, із шевронними зубцями, внутрішнього зачеплення методом обкату.

Габаритні розміри довбачів визначаються числом зубів і діаметром ділільної окружності. Номінальний діаметр залежить від моделі верстата. За ГОСТ 9323-79 у залежності від типу довбачів їх номінальні ділільні діаметри рівні 25, 38, 50, 80, 100, 125, 160 і 200 мм. Для довбачів великих модулів  $D_d=360$  мм. Кожен діаметр

охоплює визначений діапазон модулів. Фактичні ділильні діаметри відрізняються від номінальних, що зв'язано з тим, що число зубців довбача повинне бути цілим числом: Фактичний ділильний діаметр розраховують по формулі

$$D_o = mZ_i, \text{ мм,}$$

де  $Z_i$  - число зубців довбача.

Число зубів у довбачів пропонується вибирати парним для спрощення технології виготовлення і зручності контролю.

Довбачі виготовляються трьох класів точності: АА – для нарізування коліс 6-ого ступеня точності, А – для нарізування коліс 7-ого ступеня точності й В – для нарізування коліс 8-ого ступеня точності.

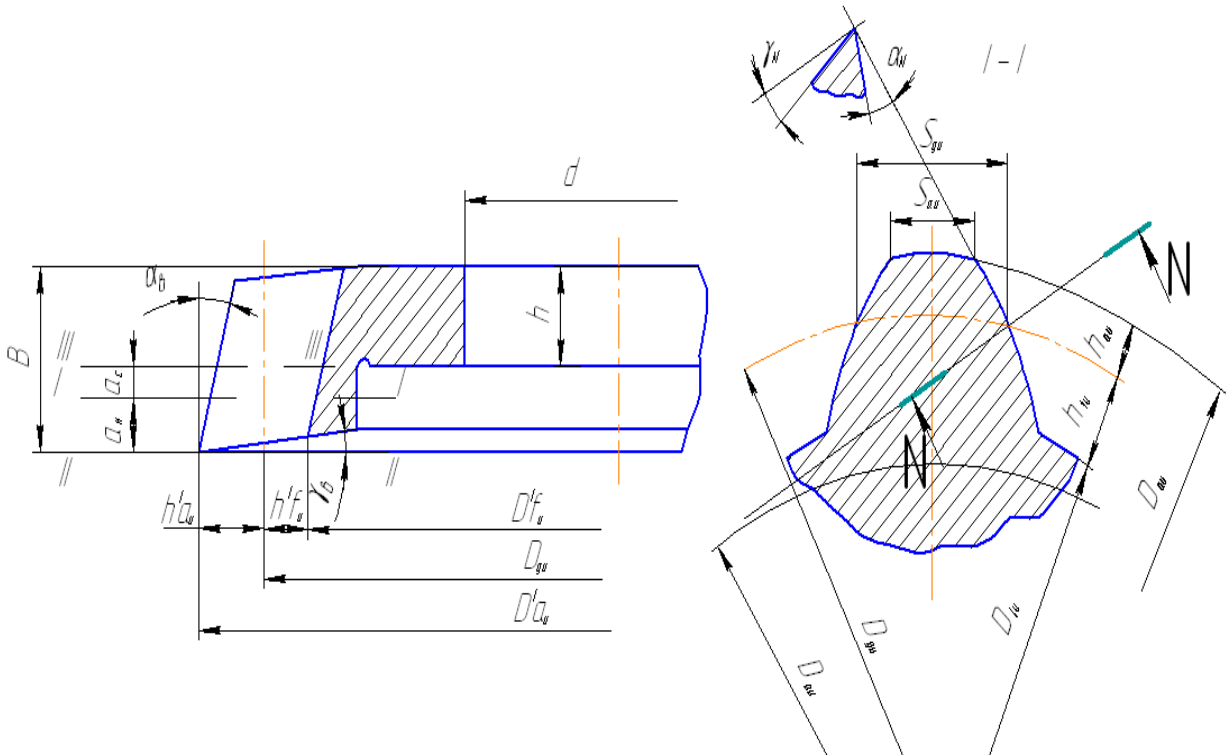


Рисунок 2 – Конструктивні та геометричні параметри дискового прямозубого довбача

Довбач як різальний інструмент отримують з циліндричного зубчастого колеса шляхом заточення передніх  $\gamma_b, \gamma_0$  і задніх  $\alpha_b, \alpha_0$  кутів на вершинних і бічних різальних кромках відповідно. У стандартних довбачів  $\gamma_0 = 0-4^\circ$ ;  $\alpha_0 = 2^\circ 4'$ .

Для одержання задніх кутів на вершині і бічних різальних кромках зовнішній діаметр  $D_a$  довбача і товщина зубця у міру видалення від площини II-II (передньої поверхні) повинні зменшуватися, тобто зубці утворюються на довбачі шляхом зсуву вихідного контуру й у будь-якому перетині, перпендикулярному осі, мають величину зсуву  $X = \xi m$ . Отриманий у такий спосіб із прямозубої шестірні довбач можна вважати корригированим прямозубим колесом з перемінним зсувом.

Перетин довбача I-I, у якому зсув вихідного контуру  $X=0$ , а розміри зубців довбача визначаються розмірами вихідного контуру рейки, називається вихідним, а відстань вихідного перетину від переднього торця довбача (величина  $a_n$ ) називається вихідною відстанню.

Для цього перетину висота голівки  $h_{a1}$ , ніжки  $h_{f1}$  і товщина зуба на дузі ділильної окружності  $S_d$  визначаються як і для звичайних різальних інструментів.

#### 4 Формули для розрахунку основних параметрів довбача

У вихідному перетині:

висота зубця довбача у всіх перетинах, перпендикулярних до його осі, залишається постійною і розраховується по формулі

$$h_i = 2.5m ,$$

товщина зубця по дузі ділильної окружності

$$S_{\text{диск}} = \frac{\pi \cdot m}{2} ,$$

діаметр окружності виступів

$$D_a = D_d + 2h_{a1} = mz_i + 2,5m ,$$

діаметр окружності западин

$$D_f = D_d + 2h_{f1} = mz_i - 2,5m .$$

Величину вихідної відстані довбача визначають по формулі

$$a_n = \frac{D_{a11} - D_{a1}}{2 \cdot \text{tg} \alpha_s} = \frac{\xi m}{2 \cdot \text{tg} \alpha_s} ,$$

де  $\xi$  - коефіцієнт зсуву, який може бути визначений по графіках (рис. 3) у залежності від мінімальної товщини зубця довбача на окружності виступів  $S_a$ , яка вибирається з таблиці 1.

Таблиця 1 - Мінімальна товщина зубця довбача на окружності виступів

Модуль	Товщина зубця	Модуль	Товщина зубця
1...1,5	(0,46...0,41)	4,25...6,0	(0,25... 0,20)
1,75...2,75	m	6,5...8,0	m (0,20...0,10) m
3,0...4,0	(0,40...0,31)		
	m		
	(0,30...0,25)		
	m		

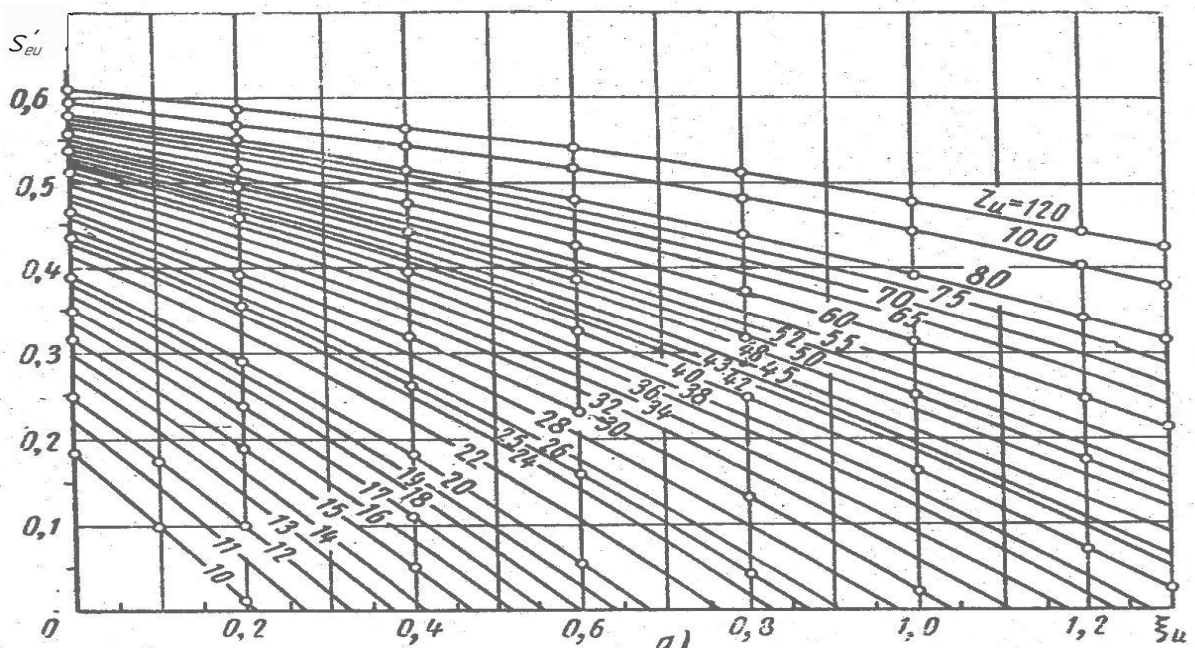


Рисунок 3 Графіки для визначення максимального коефіцієнта зсуву

Діаметр основного циліндра довбача визначається з умови

$$D_0 = D_d \cdot \cos \alpha_i = m \cdot z_i \cdot \cos \alpha_i,$$

де  $Z_i$  - число зубів довбача ;

$\alpha_i$  - профільний кут зубця довбача.

Наявність переднього та заднього кутів при вершині довбача призводить до того, що профільний кут довбача відрізняється від профільного кута колеса, що нарізується (див. рис. 4).

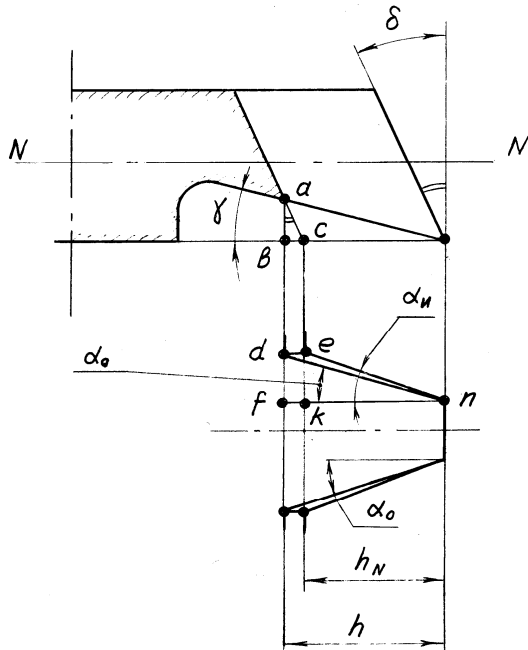


Рисунок 4 – Профільний кут довбача

Профільний кут довбача визначають з виразу

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{1}{1 - \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \operatorname{tg} \gamma_B},$$

де  $\gamma_B$  - передній кут на вершині зубця, для стандартних довбачів  $\gamma_B = 5^\circ$ ;

$\alpha_B$  - задній кут на вершині зубця, для стандартних довбачів  $\alpha_B = 6^\circ$ ;

$\alpha = 20^\circ$  – профільний кут колеса, що нарізується.

Задній кут на бічних різальних кромках зв'язаний  $\alpha_B$  залежністю

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{бок}} = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \alpha_i.$$

Схеми вимірювання кутів довбача наведені на рисунку 5.

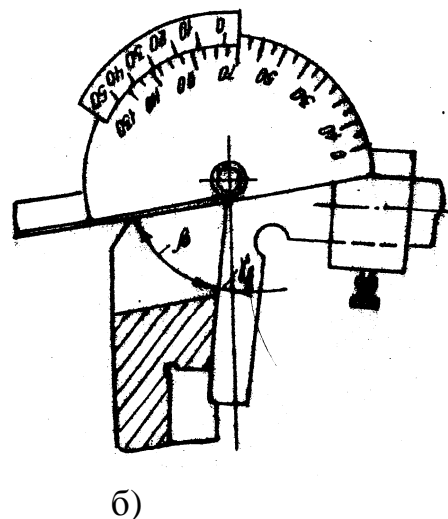
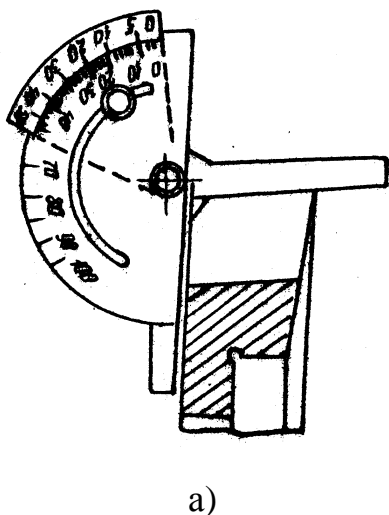


Рисунок 5 – Вимірювання кутів довбача:

а – заднього; б - переднього

### 5 Зміст звіту по лабораторній роботі

Назва роботи, її ціль, задачі.

Ескіз дискового довбача, з основними розмірами у двох перетинах (вихідному та у площині передньої поверхні).

Формули для визначення розрахункових параметрів довбача.

Таблиця основних параметрів довбача.

Висновки.

Таблиця 2 – Характеристика дискового довбача

/п	Назва параметрів	Позначення	Значення	
			виміряні	розраховані
	Модуль	$m$		
	Число зубців	$Z_i$		
	Зовнішній діаметр	$D_a$		
	Діаметр западин	$D_f$		
	Діаметр виточки	$d_1$		
	Посадковий діаметр	$d$		
	Довжина посадкового місця	$b$		
	Задній кут на вершині зубця довбача	$\alpha_v$		
	Передній кут на вершині зубця	$\gamma_v$		
0	Профільний кут	$\alpha_i$		
1	Діаметр основної окружності	$D_0$		
2	Товщина зубця по ділильній окружності на передній поверхні	$S_d$		
3	Зміщення вихідного перетину	$a_n$		
4	Основний шаг	$t_d$		
5	Задній кут в головній січній площині	$\alpha_{бок}$		
6	Діаметр ділильної окружності	$D_d$		

### 6 Контрольні питання

Типи довбачів та їх призначення.

Яким методом працює довбач? Приведіть схему нарізання прямозубого колеса довбачем, укажіть усі необхідні рухи.

Що таке вихідний перетин довбача? Чому рівні параметри зубця довбача в вихідному перетині?

Що таке позитивна та негативна вихідні відстані довбача? Від чого залежить максимальне значення цих відстаней?

Що таке перетин максимально переточеного довбача? Від чого залежить його положення?

Як знайти профільний кут довбача? Чому він не співпадає з профільним кутом колеса, що нарізується?

Чому довбач має різний коефіцієнт корекції у різних перетинах перпендикулярних до його осі?

По якій поверхні переточується довбач? Що відбувається з зовнішнім діаметром після переточок? Як уникнути змінення параметрів зубця колеса, що нарізується, після переточок довбача?

Що таке бічний задній кут довбача? Як його знайти?

## **Лабораторна робота № 7**

### **ГЕОМЕТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ДИСКОВОГО ШЕВЕРА**

#### **1 Ціль і задачі лабораторної роботи**

Ціль роботи – вивчення кінематики процесу чистової обробки зубчастих коліс дисковим шевером та конструктивних і геометричних параметрів інструменту. Для цього передбачено вирішення наступних задач:

вивчення галузі застосування дискових шеверів та умов їх роботи;

вивчення геометричних параметрів і конструктивних елементів шевера;

одержання практичних навичок по розрахунку та контролю параметрів шевера в залежності від параметрів колеса.

Після виконання лабораторної роботи студент повинен

знати: принцип роботи та галузь використання дискового шевера, критерії вибору геометричних параметрів шевера; методику контролю його параметрів;

уміти: скласти ескіз дискового шевера; виконати контроль параметрів шевера;

вибрати шевер для конкретних умов роботи.

#### **2 План проведення роботи**

Ознайомитися із методикою виконання лабораторної роботи.

Вивчити конструкції шеверів для обробки циліндричних коліс, їх геометричні параметри.

Освоїти методику контролю параметрів шевера.

Скласти ескіз дискового шевера.

Вимірити та розрахувати параметри дискового шевера.

7. Порівняти розрахункові значення параметрів інструмента з вимірними.

8. Скласти звіт про виконану роботу.

#### **3 Конструкція дискового шевера і його геометричні параметри**

Шевер являє собою багатолезовий інструмент, що має вигляд косозубого (дисковий) або черв'ячного (черв'ячний) зубчастого колеса, або косозубої рейки (рейковий) з лезами на бічних сторонах зубців.

Шевери призначені для чистової обробки циліндричних і черв'ячних зубчастих коліс з  $m=0,2...8,0$  мм із метою підвищення точності на одну ступінь. При цьому виправляються профіль зубців, крок, биття зубцевого вінця, знижується шорсткість поверхні зубців до  $Ra=0,69...0,32$  мкм; накопичена погрішність окружного кроку колеса при шевінгуванні виправляється гірше.

Для обробки циліндричних коліс застосовуються дискові шевери, а черв'ячні – для черв'ячних коліс. Припуск під шевінгування по товщині зубців коліс середніх модулів складає  $\Delta S=0,035mN$  і не перевищують 0,1 мм. Стійкість шевера до переточування складає 10-15 тис. коліс. Число переточувань шевера 4-6.

Дисковий шевер (рис. 1) являє собою евольвентне прямозубе- або косозубе колесо з висотною корекцією зубців, на бічних поверхнях якого прорізані канавки, що утворюють різальні кромки. Розмір і форма канавок на зубах шевера показані на рис. 2.

Шевери загального призначення для не корегованих коліс випускаються наступних номінальних ділильних діаметрів:  $D_d = 85$  мм – для  $m=1...1,5$  з кутом нахилу зубів  $\beta_i=10^\circ$ ;  $D_d = 180$  мм – для  $m=1,25...6,0$  мм і  $D_d = 240$  мм – для  $m=2...8$  мм із кутом  $\beta_i = 5$  і  $15^\circ$ .

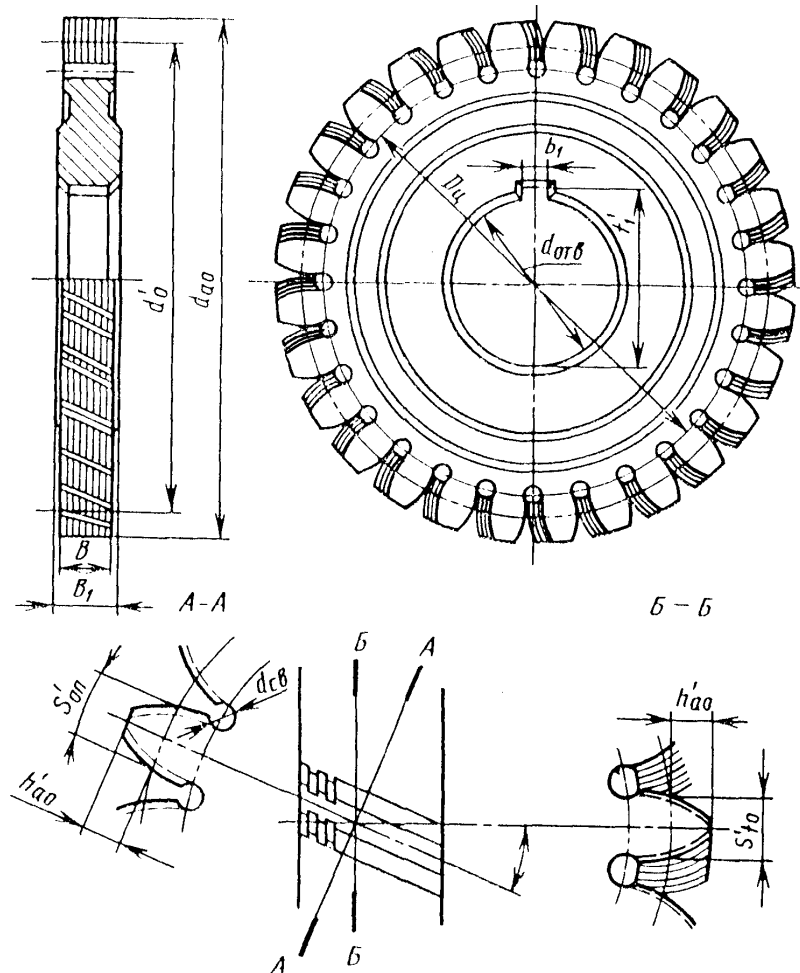


Рисунок 1 – Загальний вигляд дискового шевера

Вихідною поверхнею шевера є теоретичне косозубе колесо, параметри зуба якого повинні відповідати вихідному контурові інструментальної рейки. Розміри косозубого зубчастого колеса визначаються у двох перетинах: торцевому (Б-Б), яке співпадає з торцем колеса, і нормальному (А-А) – перпендикулярному до напрямку зубців.

При обкатуванні вихідної поверхні шевера з оброблюваним колесом їхні зубці теоретично повинні як би бути в зачепленні з однієї і тієї ж косоозубою інструментальною рейкою, тому в шевера і колеса в нормальному до напрямку їхніх зубців перетині повинна бути забезпечена рівність профільного кута і шага зубців:

$$\alpha_{и} = \alpha; \quad t_{н.и} = t_{д}, \text{ мм.}$$

Товщина зуба шевера по ділильній окружності буде дорівнювати

$$S_{н.и} = t_{д} - (S_{.д} + \Delta S), \text{ мм,}$$

де  $\Delta S$  гарантований бічний зазор (див. табл.1, дод. 2).

Номінальне значення висоти голівки зуба шевера повинне бути менше висоти голівки інструмента, що виконував попередню обробку, але більше висоти голівки зуба оброблюваного зубчастого колеса, для того, щоб під час шевінгування оброблювались лише бічні поверхні зубців колеса. Поверхні виступів і западин колеса на повинні контактувати з відповідними поверхнями шевера.

Висота голівки зубця шевера

$$h_{аи} = hf + 0,1m, \text{ мм.}$$

Висота зубця шевера  $h_{и} = h_{аи} + h_{fi}$ , мм.

Далі визначаються розрахункові і конструктивні параметри дискового шевера.

Вибирається кут схрещування осей шевера і колеса:  $\Sigma = 10 \dots 15^{\circ}$ .

Приймати  $\Sigma$  менше  $5^{\circ}$  недоцільно через погіршення умов різання.

Кут нахилу на ділильній окружності шевера  $\beta_{\partial u} = \beta_{\partial} - \Sigma$ , а число його зубів

$z_u = (D_{\max} - 3m) \cos \beta_{\partial u} / m$ , де  $D_{\max}$  - найбільший припустимий діаметр шевера (приймається по моделі шевинговального верстата або за ДСТ 8570-80Е);  $z_u$  не може бути кратним і мати загальних множників з числом зубів колеса, а по можливості повинне бути простим числом 29, 31, 37, 41, 47, 53, 61, 67, 71, 73, 83.

Так як шевер являє собою косоозубе колесо, то його параметри в торцевому перетині визначають по формулах:

$$t_{m.u} = \frac{t_{н.и}}{\cos \beta_u}; \quad m_{m.u} = \frac{m_{н.и}}{\cos \beta_u}; \quad tg \alpha_{m.u} = \frac{tg \alpha_{н.и}}{\cos \beta_u}.$$

Ділильний діаметр у торцевому перетині визначається по формулі

$$D_{ди} = t_{ти} \cdot z_{и}, \text{ мм.}$$

Розрахований ділильний діаметр повинен бути як умова ближчим до стандартного.

Діаметр основної окружності:

$$D_{ou} = D_{\partial u} \cos \alpha_{mu}, \text{ мм.}$$

Діаметр ділильної окружності шевера  $d_{\partial u} = mz_u / \cos \beta_{\partial u}$ , торцевий профільний кут  $tg \alpha_{\partial u} = tg \alpha_{\partial} \cos \beta_{\partial u}$ . Діаметр основного циліндра  $d_{du} = d_{\partial u} \cos \alpha_{\partial su}$ , а кут підйому гвинтової лінії на основному циліндрі  $\cos \sigma_u = \cos \alpha_{\partial} \sin \beta_{\partial u}$ .

Визначимо параметри нового шевера. Нормальний кут зачеплення на початковому циліндрі нового шевера  $\alpha_{u_1} = \alpha_{\partial} + \Delta \alpha$ , де  $\Delta \alpha = 1^{\circ}$  при  $\alpha_{\partial} = 20^{\circ}$ ; кут нахилу зубів на початковому циліндрі шевера  $\sin \beta_u = \cos \sigma_u / \cos \alpha_{u_1}$  і початковому циліндрі



колеса  $\sin \beta_1 = \cos \sigma / \cos \alpha_{u1}$ . Торцеві кути тиску на початкових циліндрах шевера і колеса відповідно знаходяться по залежностях  $tg \alpha_{su} = tg \alpha_{u1} / \cos \beta_u$  і  $tg \alpha_{s1} = tg \alpha_1 / \cos \beta_1$ .

Діаметри початкових циліндрів шевера і колеса рівні:  $d_u = d_{o_u} / \cos \alpha_{su}$  і  $d_1 = d_{o_1} / \cos \alpha_{s1}$ . За аналогією з зачепленням пари гвинтових коліс довжина лінії зачеплення при шевінгуванні

$$L = \sqrt{d_1^2 - d_{o_1}^2} / 2 \sin \sigma + \sqrt{d_u^2 - d_{o_u}^2} / 2 \sin \sigma_u$$

Діаметр окружності виступів шевера

$$D_{eu} = \sqrt{d_{o_u}^2 + (2\rho_u)^2}$$

де  $\rho_u = \left( L - \frac{\rho_1 - \Delta l}{\sin \sigma} \right) \sin \sigma_u$  - найбільший радіус кривизни профілю зуба шевера з урахуванням перекриття обробкою активної частини профілю колеса.

Радіальний зазор шевера й оброблюваного колеса

$$2\Delta r = d_1 + d_u - D_{eu} - d_i$$

повинний бути більше 0,2м. Якщо умова  $2\Delta r > 0,2m$  не виконується, варто зменшити  $\Delta \alpha$  і повторити розрахунок.

Крок по нормалі на початкових циліндрах шевера і колеса  $p = \frac{\pi l_1}{z_1} \cos \beta_1$ , а товщина зуба на початковому циліндрі колеса (мал.6.4б)

$$S = d_1 \left( \frac{S_{d_1}}{d_{d_1} \cos \beta_{d_s}} + inv \alpha_{s_1} \right) \cos \beta_1$$

Товщина зуба шевера на початковому циліндрі  $S_u = p - S$ , а висота його голівки  $h'_u = (D_{eu} - d_u) / 2$ . Товщина зуба на вершині нового шевера

$$S_{eu} = d_{eu} \left( \frac{S_u}{d_u \cos \beta_u} + inv \alpha_{Su} - inv \alpha_{eus} \right) \cos \beta_{eu}$$

$$\text{де } tg \beta_{eu} = D_{eu} tg \beta_{ou} / d_{ou}$$

Тому що шевер у процесі експлуатації переточується, те при визначенні товщини зуба треба враховувати припуск на переточування  $\Delta$  (мал.6.4б,б). Тоді  $S_u = p - S = \pi m - S \pm \Delta$  (знак «+» – для нового шевера, «-» - для зношеного).

При виборі величини  $\Delta$  необхідно, щоб товщина зуба нового шевера по окружності виступів була достатньої для забезпечення міцності, а мінімальний діаметр окружності западин переточеного шевера  $d_1$  був не менш чим на 2 мм більше діаметри його основної окружності  $d_{i \min} \geq d_0 + 2$ . Величина  $\Delta$  залежить від модуля і коливається в межах 0,25...0,45 мм для  $m=2...8$ .

Ширина шевера  $B$  (мал. 6.44) є конструктивним елементом, однак для шевера, що працює з рівнобіжною подачею,  $U$  може бути знайдена теоретично і визначається проекцією активної лінії зачеплення на вісь шевера:

$$\Delta B = [2(l + \Delta l) \cos \sigma_u] / \sin \sigma$$

Ширина  $B$  робочій частині зубів шевера і діаметр посадкового отвору приймаються в залежності від діаметра ділильної окружності (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Конструктивні параметри шеверів

Діаметр ділильної окружності шевера $d_0$ , мм	Діаметр посадкового отвору, мм	Ширина В шевера, мм
85	31,75	15
180	63,5	20
250	63,5	25

Стружечные канавки, що утворять крайки, що ріжуть, на бічних поверхнях зубів шевера для  $m=2...8$  (див. мал. 6.45,а), виконуються по декількох варіантах: бічні сторони канавок рівнобіжні торцеві шевера (див. мал. 6.45,б) зі сторонами, перпендикулярними зубові (див. мал. 6.45,в) трапецеидальной форми, одна сторона рівнобіжна торцеві шевера (див. мал. 6.45,г). Для схеми «а» одна сторона зуба має позитивний передній кут, друга – негативний; для схеми «б» передні кути мають нульове значення. Розміри канавок необхідно вибрати в наступних межах:  $t_k=1,8...2,4$  мм,  $l=0,6...1,0$  мм,  $S_k=0,5t_k$ . У шеверів з  $m<2$  канавки робляться наскрізними (див. мал. 6.45,д).

Бічні задні кути  $\alpha_{a0b}$  в нормальному перетині в черв'ячних фрез щоб уникнути посиленого зносу бічних крайок не повинні бути менше  $2^\circ$ .

Загальний вид дискового шевера приведений на рис. 5.1.

Рисунок 5.1 - Загальний вид дискового шевера

Визначення форми і розмірів стружкових канавок.

На практиці застосовують три різні форми стружкових канавок шевера : бічні сторони канавок рівнобіжні торцеві шевера (див. рис. 5.2, б), зі сторонами, перпендикулярними зубові (див. рис. 5.2, в), трапецевидної форми, одна сторона рівнобіжна торцеві шевера (див. рис. 5.2, г). Для схеми «б» одна сторона зуба має позитивний передній кут, друга – негативний; для схеми «в» передні кути мають нульове значення. Практичних переваг зазначених трьох форм канавок не виявлено, тому можливо обрати будь яку форму канавки.

Розміри канавок:  $R_k = 1,8 - 2,4$ мм,  $h_k = 0,6 - 1,0$ мм,  $S_k = 0,5R_k$ .

Глибина канавки впливає на величину загострення зуба шевера на вершині  $P'$ , що не повинна бути менше 0,1 мм. Перевірка величини  $P'$  повинна бути виконана за умовою

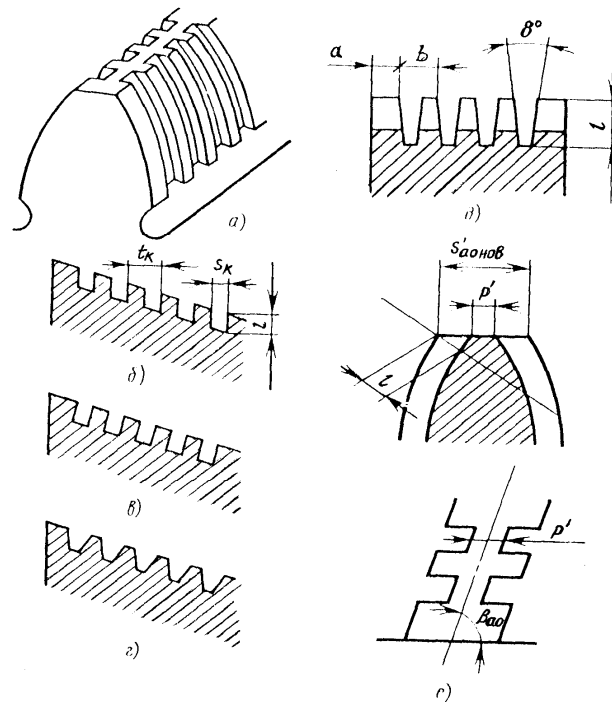
$$P' \geq S_{au} - 2 \frac{h_k}{\cos \alpha_a \cdot \cos \beta_u},$$

де  $\alpha_{au}$  – кут тиску евольвенти в точці профілю, що лежить на діаметрі виступів,

$$\cos \alpha_{au} = \frac{D_{ou}}{D_{au}},$$

$S_{au}$  – товщина зуба нового шевера по діаметрі виступів.

Рисунок 5.2 – Форми стружкових канавок шевера



Для забезпечення достатньої міцності шевера товщина зуба по окружності виступів повинна задовольняти умові

$$S_{au} \geq \frac{2h_u}{\cos \alpha_a}.$$

При  $P < 0,1$  мм необхідно зменшити глибину канавки  $h_k$ .

### 11. Профілювання шевера.

У процесі експлуатації шевер переточується, у результаті чого змінюються міжцентрова відстань пари «шевер – колесо», кут зачеплення  $\alpha$ , кут схрещування осей  $\psi$ . Тому треба визначати розміри шевера при різному ступені зношеності.

Профілювання шевера полягає в розрахунку параметрів, що визначають форму евольвенти і розміри зубців шевера. Вихідною інструментальною поверхнею для зубців дискових шеверів є теоретична евольвентна гвинтова поверхня, що збігається з бічною поверхнею зубців інструмента тому що задні і передні кути лез шеверів дорівнюють нулеві. Для збільшення числа переточувань зубців шевера вводиться висотна корекція зубців, тобто новий і максимально зношений шевери знаходяться в просторі, що прилягає до вихідної поверхні, але тому що евольвента при цьому не спотворюється, точність обробки шевером при переточуваннях практично не змінюється.

Корекція зубців шевера здійснюється зміною товщини зубця і його висотних параметрів щодо теоретичного значення  $D_{ди}$ . В міру переточувань зуб шевера, зменшуючись по товщині, спочатку наближається до теоретичного профілю вихідної поверхні, а потім віддаляється від нього. Припуск, що залишається на Perezагостровання шевера,  $\Delta S$  буде визначати коефіцієнт зміщення вихідного контуру  $\xi$  (див. рис. 5.3).

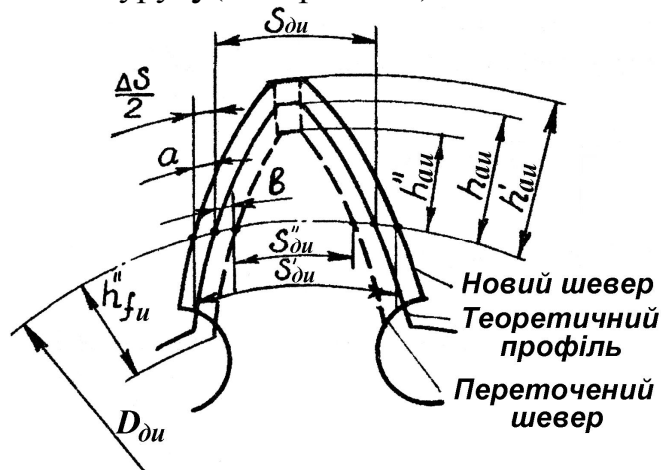


Рисунок 5.3 – Профіль зубця шевера в нормальному перетині

Розміри і розташування припуску на Perezагострування шевера залежить від декількох причин: необхідного терміну служби шевера до повного зносу; загострювання зубців шевера; ширини западин між зубцями на окружності западин.

$\Delta S$  призначається в залежності від модуля:

m, мм	$\Delta S$ , мм
2,0-2,75	0,25
3,0-6,0	0,4
6,5-8,0	0,45

Для коліс із профільним кутом  $\alpha = 20^\circ$  при значенні коефіцієнта зміщення оброблюваного колеса  $\xi=0$  прийняте симетричне розташування профілів нового і зношеного шеверів щодо теоретичного профілю, тобто  $a=b$ .

Тоді для нового шевера товщина зубця по ділильній окружності і висота голівки дорівнюють відповідно

$$S'_{du} = S_{du} + \Delta S; \quad h'_{au} = h_{au} + \frac{\Delta S}{2} \operatorname{ctg} \alpha_{ин},$$

де  $h_{au}$  – висота голівки зуба шевера в нормальному перетині,

$\alpha_{ин} = \alpha_d + \Delta\alpha$  - нормальний кут зачеплення на початковому циліндрі нового шевера,  $\Delta\alpha=10'$ , величина корекції на кут.

Товщина зубця по ділильній окружності і висота голівки переточеного шевера дорівнюють відповідно

$$S''_{du} = S_{du} - \Delta S, \text{ мм}; \quad h''_{au} = h_{au} - \frac{\Delta S}{2} \operatorname{ctg} \alpha_{ис}, \text{ мм},$$

де  $h_{au}$  – висота голівки зуба шевера в нормальному перетині,

$\alpha_{ис} = \alpha_d - \Delta\alpha$  - нормальний кут зачеплення на початковому циліндрі нового шевера,  $\Delta\alpha=10'$ , величина корекції на кут.

Діаметр окружності виступів нового шевера буде

$$D'_{au} = D_{ди} + 2 h'_{au}, \text{ мм}.$$

Діаметр окружності виступів сточеного шевера буде

$$D_{au}^{\wedge} = D_{ди} + 2 h_{au}^{\wedge}, \text{ мм.}$$

Висота ніжки сточеного шевера повинна бути:

$$h_{fu}^{\prime\prime} = h_{fu} + \frac{\Delta S}{2} \text{ctg } \alpha_u, \text{ мм.}$$

Діаметр окружності западин сточеного шевера буде:

$$D_{fi}^{\prime\prime} = D_{ди} - 2 h_{fi}^{\prime\prime}, \text{ мм.}$$

Для уникнення появи перехідних кривих на зубі оброблюваного колеса необхідно щоб робоча частина евольвенти закінчувалась не доходячи до основної окружності на 1...2 мм. Тобто необхідно перевірити виконання умови

$$D_{fi}^{\prime\prime} \geq D_{e0} + 2, \text{ де } D_{e0} = D_{ди} \cos \alpha_{ти}.$$

Допуски на виготовлення шеверів вибирають по ГОСТ 10222-81, або по довіднику [6].

## 5 Зміст звіту по лабораторній роботі

Назва роботи, її ціль, задачі.

Ескіз черв'ячної фрези з основними розмірами у двох перетинах (осьовому і нормальному).

Формули для визначення розрахункових параметрів фрези.

Таблиця основних параметрів фрези.

Параметри зубчастого колеса, яке може бути нарізано даною фрезою.

Висновки.

Таблиця – Характеристика черв'ячної фрези

/п	Назва параметрів зуборізної фрези	Позначення	Значення		Примітка
			виміряні	розраховані	
	Довжина фрези	L			
	Зовнішній діаметр фрези	D <sub>a</sub>			
	Модуль	m			
	Число зубців	Z			
	Висота зубця фрези	h <sub>i</sub>			
	Шаг по ділильній прямій у нормальному перетині	t <sub>iN</sub>			
	Ширина зубця фрези у нормальному перетині	S <sub>iN</sub>			
	Профільний кут у нормальному перетині	α <sub>iN</sub>			
	Шаг по ділильній прямій в осьовому перетині	t <sub>i</sub>			
0	Ширина зубця фрези в осьовому перетині	S <sub>i</sub>			
	Профільний кут в	α <sub>iT</sub>			

1	осьовому перетині				
2	Глибина стружкової канавки	$H$			
3	Передній кут на вершині зубця	$\gamma_B$			
4	Задній кут на вершині зубця	$\alpha_B$			
5	Бічний задній кут	$\alpha_{\phi}$			
6	Кут нахилу стружкової канавки	$\omega$			
7	Шаг стружкової канавки	$T$			

### 6 Контрольні питання

Призначення черв'ячної фрези. Зобразите схему різання при нарізуванні колеса фрезою, укажіть усі рухи.

Зобразите черв'ячну фрезу, укажіть її основні геометричні параметри. Для нарізування яких зубчастих коліс можна використовувати дану фрезу?

Яке призначення черв'ячної фрези? Як необхідно установити фрезу на верстаті під час нарізування прямозубого або косозубого колеса?

Зобразите черв'ячну фрезу. Укажіть січні площини, у яких задаються розміри фрези. Для чого служить кожна площина?

Чому рівні розміри зуба фрези в нормальному перетині? Які розміри змінюються, а які залишаються незмінними в осьовому перетині і чому?

Що таке затилування? Які інструменти підлягають затилуванню? Покажіть величину падіння затилку.

Зобразите черв'ячну фрезу, укажіть її основні геометричні параметри. Які значення мають величини переднього та заднього кутів черв'ячної фрези і чому?

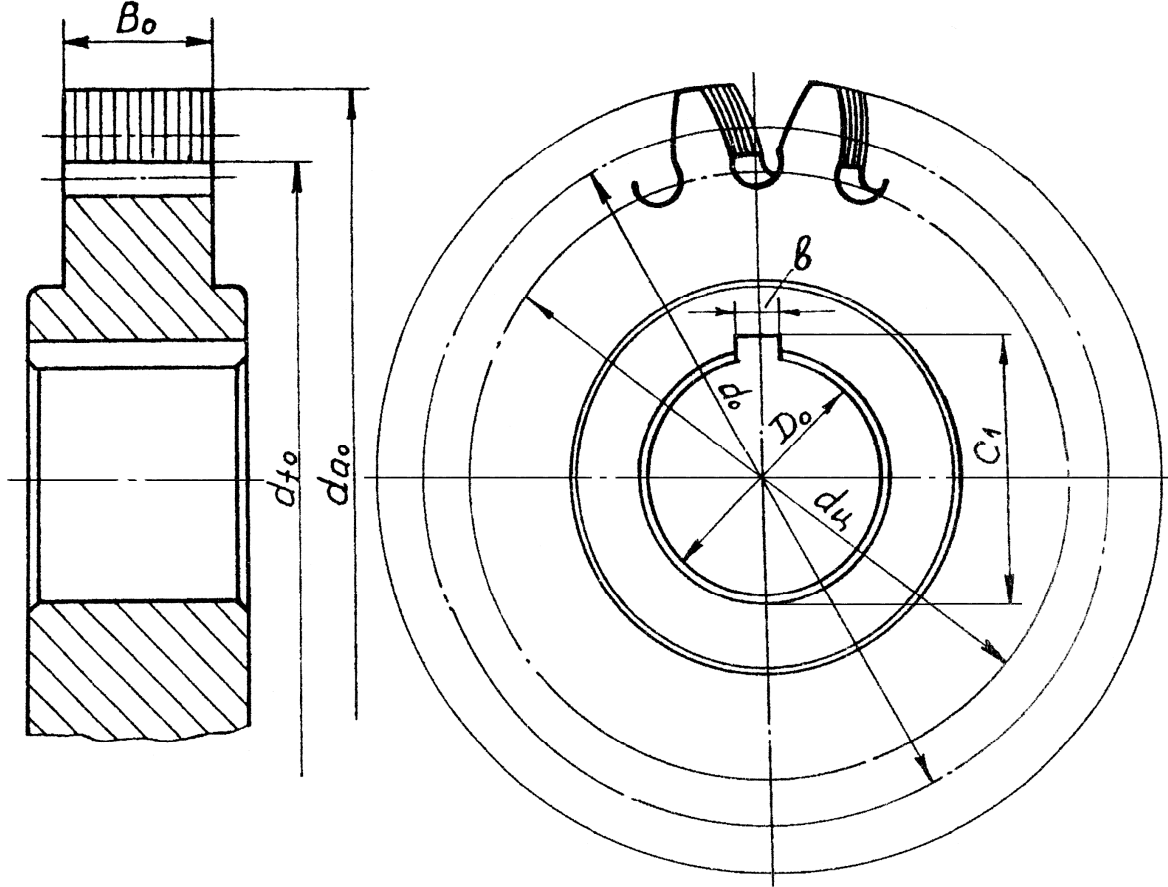


Рисунок 3.1 – Общий вид дискового шевера