

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н.Э. БАУМАНА

А.Е. ДРЕВАЛЬ, С.В. ГРУБЫЙ, А.В. ЛИТВИНЕНКО

**ЗАТЫЛОВАНИЕ ЗУБЬЕВ  
РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Москва  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
1999

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Н.Э. БАУМАНА

А.Е. ДРЕВАЛЬ, С.В. ГРУБЫЙ, А.В. ЛИТВИНЕНКО

## ЗАТЫЛОВАНИЕ ЗУБЬЕВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Рекомендовано редсоветом МГТУ им. Н.Э. Баумана  
в качестве учебного пособия по курсу  
"Технология производства инструментальных систем"*

*Под редакцией А.Е. Древаля*

Москва  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
1999

УДК 621.9.04  
ББК 34.630.01  
Д73

Рецензенты: *Р.З. Диланян, С.У. Молодых, С.П. Борисов*

Д73 **Древаль А.Е., Грубый С.В., Литвиненко А.В.**

Затылование зубьев режущих инструментов: Учебное пособие по курсу "Технология производства инструментальных систем" / Под ред. А.Е.Древаля. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. — 24 с., ил.

ISBN 5-7038-1439-1

Приведены основные сведения об операциях затылования зубьев режущих инструментов (фасонных фрез, метчиков, плашек). Рассмотрены виды и основные схемы затылования.

Для студентов 4—6-го курсов, обучающихся по специальности "Инструментальная техника и технология".

Ил. 11. Табл. 1.

УДК 621.9.04  
ББК 34.630.01

Редакция заказной литературы

**Алексей Евгеньевич Древаль  
Сергей Витальевич Грубый  
Анатолий Васильевич Литвиненко**

#### ЗАТЫЛОВАНИЕ ЗУБЬЕВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Заведующая редакцией *Н.Г. Ковалевская*  
Редактор *С.А. Серебрякова*  
Корректор *Л.И. Малютина*

Изд. лиц. № 020523 от 25.04.97  
Подписано в печать 10.06.99. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 2.  
Печ. л. 1,5. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,17. Тираж 50 экз.  
Изд. № 164. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

ISBN 5-7038-1439-1

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999

#### ВВЕДЕНИЕ

Затылование — операция обработки резанием, заключающаяся в образовании задних поверхностей лезвий зубьев режущих инструментов (ГОСТ 25761–83). Затылование применяется в тех случаях, когда другие способы обработки задних поверхностей зубьев инструментов нецелесообразны или их сложно реализовать технически. Наиболее часто затылование зубьев применяется при изготовлении фасонных фрез, червячных фрез, метчиков и плашек.

Затылование применяется для обеспечения следующих требований:

- получения необходимого значения заднего угла при изготовлении и переточках инструмента;
- сохранения профиля зубьев при переточках;
- повышения прочности зубьев;
- обеспечения требуемой шероховатости задних поверхностей зубьев.

Имеются и другие, более специальные требования, определяемые размерами, особенностями конструкции и эксплуатации инструмента.

Общие вопросы затылования наиболее удобно рассмотреть на примере фасонных дисковых фрез. Этому посвящен первый раздел работы. Во втором разделе рассмотрено затылование метчиков и плашек.

## 1. ЗАТЫЛОВАНИЕ ФАСОННЫХ ФРЕЗ

### 1.1. Выбор формы затылованной поверхности

Фасонные фрезы с затылованной задней поверхностью применяются в различных отраслях машиностроения для обработки фасонных поверхностей деталей машин. Широкое применение фасонных затылованных фрез по сравнению с фасонными острозаточенными фрезами связано со значительной простотой их изготовления и эксплуатации. Наряду с этим указанные фрезы широко применяют в инструментальном производстве.

Затылованная задняя поверхность зуба инструмента может быть образована семейством архимедовых спиралей, логарифмических спиралей, дуг окружностей, прямых линий. Основными условиями выбора типа линии для образования задней поверхности зуба фрез являются:

1. Обеспечение постоянного значения заднего угла при переточках фрезы.
2. Получение оптимального значения заднего угла.
3. Универсальность кулачков, т.е. возможность применения наименьшего числа кулачков для затылования фрез с различным диаметром и числом зубьев.
4. Простота изготовления кулачков.

Выполним анализ архимедовой спирали при ее использовании для образования задних поверхностей фасонных фрез (рис.1). Уравнение архимедовой спирали в полярных координатах имеет вид

$$\rho = b\theta,$$

где  $\rho$  — радиус-вектор;  $b$  — постоянный коэффициент;  $\theta$  — текущий полярный угол.

Задний угол  $\alpha$  измеряется между касательной  $e-e$  к задней поверхности и касательной  $f-f$  к окружности, проведенными через точку  $X$ . Угол между касательной к задней поверхности и направлением радиуса-вектора в рассматриваемой точке определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\rho}{\rho'} = \frac{b\theta}{b} = \theta = \frac{\rho}{b}. \quad (1)$$

В соответствии с рис.1 можем записать:

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) = \operatorname{ctg} \alpha.$$

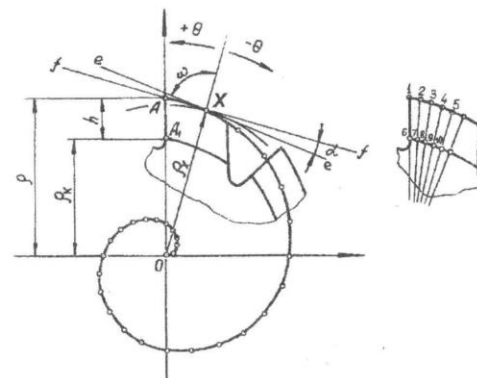


Рис. 1

Отсюда имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha} = \frac{1}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{b}{\rho}. \quad (2)$$

Из зависимости (2) видно, что задний угол является величиной переменной и изменяется обратно пропорционально значению радиуса-вектора.

Рассмотрим, как изменяется значение заднего угла в других точках фасонного профиля зуба фрезы, расположенных на расстоянии  $h$  от точки  $A$ . Положение точки  $A_1$  определяется из уравнения

$$\rho_k = \rho - h = b\theta - h. \quad (3)$$

Последнее соотношение является уравнением конхоиды архимедовой спирали. На основании свойства архимедовой линии, выражающегося в приращении радиуса-вектора пропорционально приращению угла, очевидно, что вся задняя поверхность зуба фасонной фрезы в этом случае будет состоять из отрезков одной и той же архимедовой спирали.

Угол  $\omega$  для рассматриваемой точки  $A_1$  может быть определен следующим образом:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\rho_k}{\rho'_k} = \frac{b\theta - h}{b}.$$

Задний угол найдем из формулы

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{1}{\operatorname{tg} \omega_k} = \frac{b}{b\theta - h}. \quad (4)$$

Из полученного выражения видно, что закономерность изменения заднего угла для режущих точек, расположенных на конхоиде архимедовой спирали, аналогична закономерности изменения заднего угла для режущих точек, расположенных на самой архимедовой спирали, но их значения будут по величине меньше.

Закономерность изменения заднего угла может быть представлена следующим образом (см. рис. 1):

$$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_5,$$

$$\alpha_1 < \alpha_6,$$

$$\alpha_6 < \alpha_7 < \alpha_8 < \alpha_9 < \alpha_{10}.$$

Выполненный анализ изменения задних углов при использовании в затыловании логарифмической спирали, прямых линий, дуг окружности, а также реализации технологических требований при применении этих линий, показал, что ни одна линия не удовлетворяет совокупности указанных выше условий. Архимедова спираль наилучшим образом удовлетворяет основным условиям выбора типа линии по следующим причинам.

1. Величина заднего угла в пределах стачивания изменяется в допустимых пределах (на  $1...2^\circ$  в сторону увеличения).
2. Кулачки для затылования являются универсальными, так как могут применяться при данной величине падения затылка для всех фрез независимо от диаметра и числа зубьев.
3. Изготовление кулачков осуществляется относительно простым методом.

## 1.2. Формы зубьев фасонных фрез

В конструкциях затылованного инструмента применяются следующие основные формы задней поверхности зубьев (рис.2):

а) задняя поверхность состоит из одного участка, очерченного по архимедовой спирали со спадом, равным  $K$  (рис.2, а). Задняя поверхность зубьев окончательно образуется затыловочными резцами до термической обработки инструмента. Дефекты задней поверхности, возникшие при термической обработке, в этом случае не устраняются.

Фасонные фрезы с такой формой зубьев характеризуются пониженной стойкостью, точностью профиля и шероховатостью обработанной фасонной поверхности, однако из-за простоты изготовления таких фрез они широко применяются в производстве;

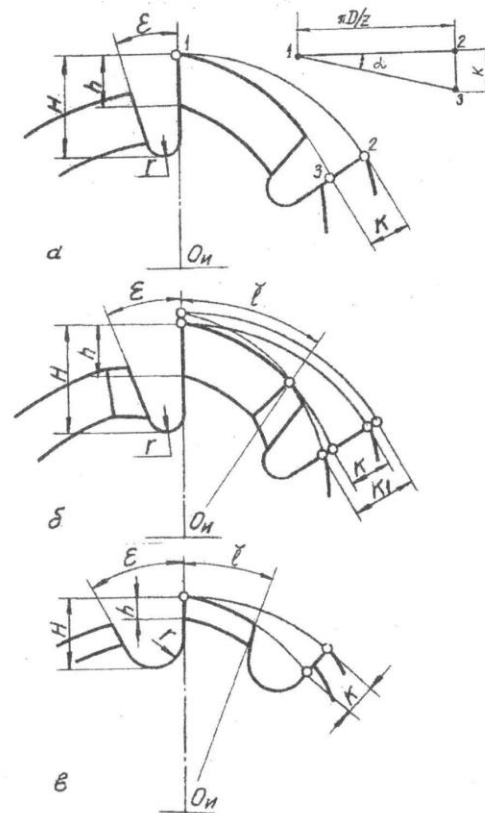


Рис. 2

б) задняя поверхность состоит из двух участков, образованных по архимедовой спирали: первый участок со спадом  $K$  и второй со спадом  $K_1$  (рис.2, б). Первый основной участок затылованной задней поверхности формируется окончательно после термической обработки шлифованием. В результате этого при шлифовании устраняются дефекты, возникшие на задней поверхности зубьев при затыловании резцом и при термической обработке, и повышается точность фасонного профиля. Второй участок предназначен для обеспечения свободного выхода шлифовального круга при обработке первого участка. Он формируется затыловочными резцами до термической обработки. Фрезы с такими зубьями применяются при обработке фасонных поверхностей с повышенными технологическими требованиями по точности и шероховатости. Они имеют более высокую стойкость;

в) задняя поверхность состоит из одного участка, образованного по архимедовой спирали со спадом  $K$  (рис.2, в). В отличие от формы зубьев, показанной на рис. 2, а, в данном случае задняя поверхность формируется после термической обработки шлифованием. Размеры стружечной канавки должны быть такими, чтобы обеспечить свободный выход шлифовального круга из контакта с затылуемой задней поверхностью без подреза следующего зуба. Фасонные фрезы с такими зубьями применяются при обработке фасонных поверхностей с небольшой глубиной профиля и повышенными технологическими требованиями по точности и шероховатости.

Форма затылованных зубьев определяется следующими параметрами (см. рис.2):  $H$  — высота зуба (глубина стружечной канавки);  $h$  — высота фасонного профиля;  $r$  — радиус впадины стружечной канавки;  $\epsilon$  — угол впадины стружечной канавки;  $K$  — величина спада задней поверхности на первом основном участке;  $K_1$  — величина спада задней поверхности на втором участке;  $l$  — длина шлифованного участка задней поверхности.

Величина затылования задней поверхности при заданном заднем угле  $\alpha_B$  на вершине зуба фрезы определяется по формуле

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha_B. \quad (5)$$

Задний угол выбирают исходя из свойств обрабатываемого и инструментального материала, стойкости и прочности режущих лезвий, технологических требований на обработку и других факторов. Следует учитывать, что выбор большего заднего угла приводит к заострению и, следовательно, к ослаблению зуба фрезы.

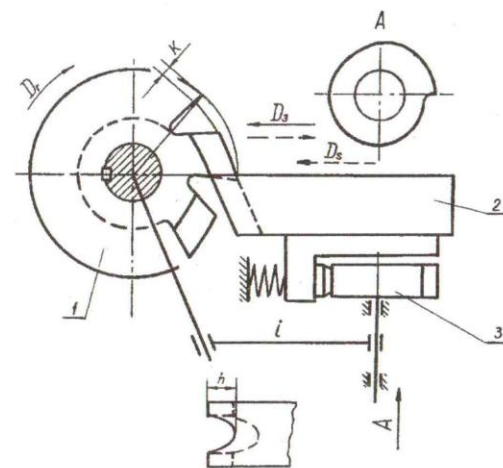


Рис. 3

Величина затылования задней поверхности зубьев фрезы на втором участке составляет  $K_1 = (1,2 \dots 1,75)K$ .

Численные значения спада задней поверхности при затыловании на станках с бесступенчатой установкой хода затылования определяют с точностью до 0,1 мм, а при затыловании на станках с кулачковым приводом округляют в большую сторону до ближайшего значения подъема рабочей поверхности кулачков в наборе. Наиболее распространен набор кулачков к затыловочному станку со следующими значениями падения спирали  $K$  в мм, отнесенными к  $360^\circ$ : 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 15; 16; 18; 20.

### 1.3. Схема затылования. Выбор направления затылования

Операцию затылования проводят на затыловочных или токарно-затыловочных станках, которые могут быть оснащены шлифовальными головками для обработки зубьев после термообработки. Принципиальная схема затылования фасонных дисковых фрез представлена на рис. 3. Здесь 1 — обрабатываемая фреза, 2 — затыловочный резец, 3 — кулачок,  $i$  — гитара шестерен, обеспечивающая  $z$  двойных ходов затыловочного резца на один оборот фрезы;  $D$ , — главное дви-

жение;  $D_s$  — движение подачи, задается дискретно на один оборот фрезы;  $D_3$  — движение затылования, двойной ход на зуб. Затыловочный резец показан в конечном радиальном положении при обработке полного фасонного профиля.

При затыловании фасонных фрез движение затыловочного инструмента (резец или шлифовальный круг) по отношению к оси фрезы может происходить в следующих направлениях (рис. 4): а) радиальном; б) боковом; в) осевом. Затылование, выполняемое в этих направлениях, соответственно называют радиальным, боковым (косым) и осевым.

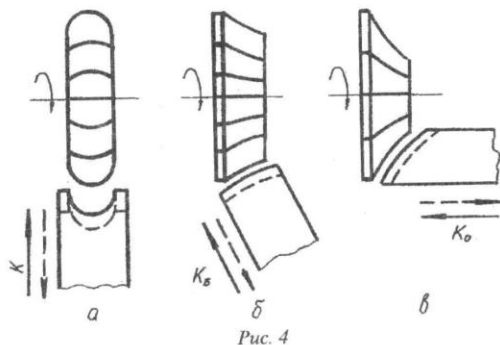


Рис. 4

Выполним анализ изменения заднего угла при радиальном затыловании на примере дисковой фрезы с профилем зуба, представленным на рис. 5, а.

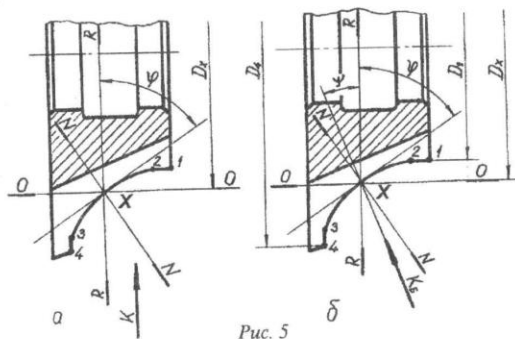


Рис. 5

Для любой точки фасонного профиля 1-2-3-4 при радиальном затыловании задний угол в плоскости  $RR$  определится из показанного выше соотношения (4):

$$\operatorname{tg} \alpha_{R_X} = \frac{Kz}{\pi D_X}$$

Нормальный задний угол в плоскости  $NN$  определится из соотношения:

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_X} = \operatorname{tg} \alpha_{R_X} \cdot \cos(90^\circ - \varphi)$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_X} = \operatorname{tg} \alpha_{R_X} \cdot \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  — угол между касательной к фасонному профилю в данной точке и перпендикуляром к оси фрезы. Очевидно, что направление радиального затылования и перпендикуляр к оси фрезы в этом случае совпадают.

Рассмотрим изменения углов  $\alpha_N$  на различных участках фасонного профиля: на участке 1-2 угол  $\varphi$  стремится к  $90^\circ$ , следовательно,  $\alpha_{N(1-2)}$  стремится к  $\alpha_{R(1-2)}$ ; на участке 2-3 угол  $\varphi$  находится в интервале  $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ , следовательно,  $\alpha_{N(2-3)}$  не равен нулю и  $\alpha_{N(2-3)} < \alpha_{R(2-3)}$ ; на участке 3-4 угол  $\varphi$  стремится к нулю, следовательно,  $\alpha_{N(3-4)}$  также стремится к нулю, и в случае  $\varphi = 0^\circ$  угол  $\alpha_N$  равен нулю. В этом случае при фрезеровании условия резания на участке 3-4 будут неудовлетворительными, так как задний угол в нормальном сечении лезвия в любой точке профиля должен быть не менее  $3...4^\circ$  и только в исключительных случаях можно допустить его значения  $1^\circ 30' \dots 2^\circ$ .

Возможны два варианта получения требуемых значений нормальных задних углов. Первый вариант — расположить фасонный профиль относительно оси фрезы таким образом, чтобы избежать появления участков профиля со значениями угла  $\varphi$ , близкими к нулю. Решение о возможности применения этого варианта принимает конструктор инструмента. Второй вариант — изменить направление затылования, т.е. применить боковое (косое) затылование. При этом технология изготовления фрезы усложняется.

Выполним анализ изменения задних углов зуба фасонной фрезы того же профиля при боковом затыловании (рис. 5, б). В этом случае

$$\operatorname{tg} \alpha_{B_X} = \frac{K_B z}{\pi D_X},$$

где  $K_B$  — величина бокового затылования.

Из рис.5, б имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_X} = \operatorname{tg} \alpha_{B_X} \cdot \cos[90^\circ - (\varphi + \psi)]$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_X} = \operatorname{tg} \alpha_{B_X} \cdot \sin(\varphi + \psi). \quad (6)$$

Преобразуем выражение (6):

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_X} = \operatorname{tg} \alpha_{B_X} (\sin \varphi \cos \psi + \sin \psi \cos \varphi).$$

Значение заднего угла в любой точке фасонного профиля в радиальном сечении определится из выражения  $\operatorname{tg} \alpha_{R_X} = \operatorname{tg} \alpha_{B_X} \cdot \cos \psi$ , в осевом сечении  $\operatorname{tg} \alpha_{O_X} = \operatorname{tg} \alpha_{B_X} \cdot \sin \psi$ .

Задний угол в нормальном сечении  $\alpha_N$  на различных участках фасонного профиля изменяется следующим образом: на участке 1–2, где угол  $\varphi$  стремится к  $90^\circ$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_{N(1-2)}$  стремится к  $\operatorname{tg} \alpha_{B(1-2)} \cdot \cos \psi$ ; на участке 2–3, где угол  $\varphi$  находится в интервале  $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ , угол  $\alpha_N$  не равен нулю и величина  $\operatorname{tg} \alpha_{N(2-3)}$  изменяется от  $\operatorname{tg} \alpha_{B_2} \cdot \cos \psi$  до  $\operatorname{tg} \alpha_{B_3} \cdot \sin \psi$ ; на участке 3–4, где угол  $\varphi$  стремится к нулю,  $\operatorname{tg} \alpha_{N(3-4)}$  стремится к  $\operatorname{tg} \alpha_{B(3-4)} \cdot \sin \psi$ .

Таким образом, введение бокового затылования позволяет обеспечить требуемые значения  $\alpha_N$  на тех участках фасонного профиля зубьев фрезы, на которых угол между касательной к фасонному профилю и осью фрезы стремится к нулю. На практике это может быть осуществлено следующим образом.

С учетом выражения (5) запишем

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_X} = \frac{K_{BZ}}{\pi D_X} \sin(\varphi + \psi). \quad (7)$$

Угол разворота суппорта затыловочного станка можно определить, задав требуемые значения нормальных задних углов  $\alpha_{N_1}$  и  $\alpha_{N_4}$  в крайних точках профиля 1 и 4, расположенных на диаметрах  $D_1$  и  $D_4$  относительно оси фрезы (см. рис. 5, б). В общем случае справедливы уравнения

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_1} = \frac{K_{BZ}}{2\pi R_1} \sin(\varphi_1 + \psi);$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{N_4} = \frac{K_{BZ}}{2\pi R_4} \sin(\varphi_4 + \psi).$$

Решая совместно два приведенных уравнения относительно угла  $\psi$ , получим расчетную формулу

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R_1 \operatorname{tg} \alpha_{N_1} \sin \varphi_4 - R_4 \operatorname{tg} \alpha_{N_4} \sin \varphi_1}{R_4 \operatorname{tg} \alpha_{N_4} \cos \varphi_1 - R_1 \operatorname{tg} \alpha_{N_1} \cos \varphi_4}. \quad (8)$$

Для частного случая, показанного на рис.5, б, в первой точке профиля  $\varphi_1 = 90^\circ$ , а угол  $\alpha_{N_1}$  может быть принят равным  $10^\circ$ . В точке, где  $\varphi_4 = 0$ , угол  $\alpha_{N_4}$  может быть принят равным  $3^\circ$ .

Тогда формула (8) упрощается и приводится к виду

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R_4 \operatorname{tg} \alpha_{N_4}}{R_1 \operatorname{tg} \alpha_{N_1}}, \quad (9)$$

что позволяет определить направление косоугольного затылования.

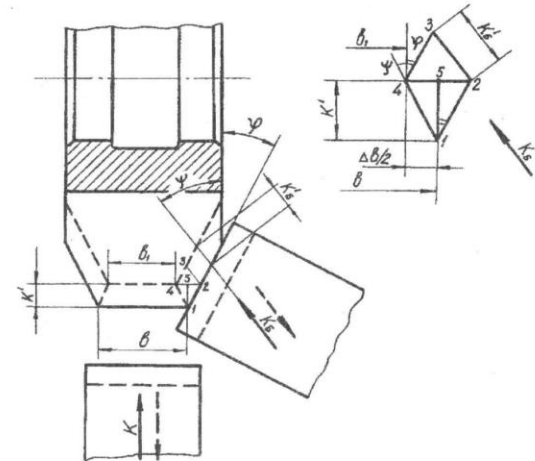


Рис. 6

Следует отметить, что боковое затылование вызывает изменение ширины профиля при переточках зуба фрезы, которое зависит от формы профиля. Например, для симметричного профиля, показанного на рис. 6, боковые стороны зуба затыловываются двумя резами при боковом затыловании  $K_B$ , а вершина — третьим резцом при радиальном затыловании  $K$ . Переточка фасонных фрез осуществляется по передней поверхности. Пунктирными линиями на рис. 6 показана передняя поверхность зуба фрезы, приведенная в плоскость чертежа после переточки.  $K$  и  $K_B$  будут равны доле общего падения затылка, прихо-

дящейся на толщину сошлифованного слоя при заточках фрезы соответственно в радиальном и боковых направлениях. Уменьшение ширины профиля зуба равно

$$\Delta b/2 = (b - b_1)/2 = 2-4 - 2-5.$$

Длина отрезка 2-5 определяется из треугольника 1-5-2:  
2-5 =  $K \cdot \operatorname{tg} \varphi$ , отрезка 2-4 — из треугольника 2-3-4:

$$2-4 = K_B \frac{\sin(\varphi + \psi)}{\sin(90 - \varphi)} = K_B \frac{\sin(\varphi + \psi)}{\cos \varphi}.$$

После подстановки имеем:

$$\Delta b = 2 \left[ K_B \frac{\sin(\varphi + \psi)}{\cos \varphi} - K_B \operatorname{tg} \varphi \right].$$

С учетом приведенных особенностей, боковое затылование целесообразно применять для открытых односторонних профилей; закрытых профилей на разъемных фрезах; парных фрез, допускающих регулирование расстояния по ширине промежуточными кольцами; закрытых профилей при допустимых пределах изменения ширины.

#### 1.4. Выполнение операций затылования

В незакаленном состоянии детали затылование осуществляют резцами, в закаленном — шлифовальными кругами. Затылование после термообработки проводят при повышенных требованиях к точности формы и размеров профиля фасонных фрез.

При затыловании резцами необходимо обеспечить точность размеров профиля в пределах 0,02...0,15 мм, шероховатость обработанной поверхности  $R_a = 5,0...2,5$  мкм.

Обеспечение необходимой точности линейных размеров и формы фасонного профиля затылуемой фрезы во многом зависит от точности и правильности установки затыловочного инструмента (резцов и шлифовальных кругов) относительно заготовки. Правильность установки характеризуется следующими признаками.

1. Относительно затылуемой фрезы передняя поверхность затыловочного резца должна располагаться в соответствии с расчетной осью, по которой выполнен расчет размеров профиля резца.

2. Ось затыловочного резца должна располагаться в соответствии с принятым направлением движения затылования. В большинстве случаев это обеспечивается с помощью установочного шаблона, базирующегося на оправке, которая установлена в центрах станка.

3. Движение затылования резца должно начинаться при подходе к каждому зубу на расстоянии 0,5...1,0 мм от передней поверхности, что устраняет образование неровностей на задней поверхности, обусловленных наличием люфта в цепи затылования станка.

4. Затыловочный резец должен правильно располагаться относительно заготовки в осевом направлении. Правильность установки резца в осевом направлении характеризуется тем, что все точки следа контакта резца с обрабатываемой задней поверхностью находятся на одинаковом расстоянии от режущего лезвия фрезы.

Затылование фасонных фрез разделяют на предварительное и окончательное. При предварительном затыловании подачу на каждый оборот фрезы выбирают такой, чтобы толщина срезаемого слоя не превышала 0,2 мм. Перемещение затыловочного резца к центру фрезы проводится до того момента, когда затыловочный резец будет контактировать с задней поверхностью фрезы по всем точкам ее режущего лезвия. Для окончательного затылования оставляют припуск порядка  $\Delta = 0,5$  мм, толщина срезаемого слоя составляет 0,01...0,05 мм. Для снижения влияния упругости технологической системы на точность размеров и формы профиля фасонных фрез выполняют выглаживающие проходы.

Затыловочный резец работает в неблагоприятных условиях: при выполнении операции происходят значительные изменения передних и задних углов; резание инструментальных материалов затруднено из-за их повышенной твердости. Это обуславливает низкие скорости резания в пределах 1...6 м/мин. Наряду с этим скорость резания ограничена допустимым числом двойных ходов затыловочного суппорта в минуту. Число врезаний затыловочного суппорта определяется как произведение числа зубьев фрезы на частоту вращения шпинделя станка. Его назначают в зависимости от диаметра фрезы:

Диаметр фрезы, мм	до 50	50–100	100–300
Число врезаний	120	80–90	50–60

Затылование проводят с применением смазочно-охлаждающей жидкости, предпочтение отдают жидкостям на масляной основе.

В зависимости от размеров и формы фасонного профиля затылование фрез может осуществляться как по всему профилю, так по отдельным его участкам. Разбиение профиля на отдельные участки и определение последовательности их обработки осуществляются согласно условию уменьшения упругих деформаций и вибраций при выполнении затылования.

## 2. ЗАТЫЛОВАНИЕ МЕТЧИКОВ И ПЛАШЕК

Основная цель затылования метчиков и плашек состоит в получении необходимых значений задних углов, при которых обеспечивается свободное перемещение точек режущего лезвия при их винтовом рабочем движении. В отличие от затылования фрез, в данном случае не требуется выполнение условия сохранения профиля при переточках.

Для метчиков рекомендуется проводить затылование по профилю в пределах направляющей (иногда применяется термин "калибрующей") части. Этим обеспечиваются микрозазоры между боковыми сторонами резьбового профиля метчика и образусмой резьбы и, как следствие, уменьшается трение на боковых сторонах и снижается момент резбонарезания.

### 2.1. Затылование метчиков по режущей части

Рассмотрим схему формирования задней поверхности метчика (рис. 7). В процессе резбонарезания любая точка режущего лезвия совершает вращение вокруг оси инструмента и перемещение вдоль оси. При этом одному обороту инструмента соответствует однозначно определенное перемещение вдоль оси, равное шагу резьбы  $P$ . Таким образом, любая точка режущего лезвия инструмента имеет траекторию рабочего движения по винтовой линии.

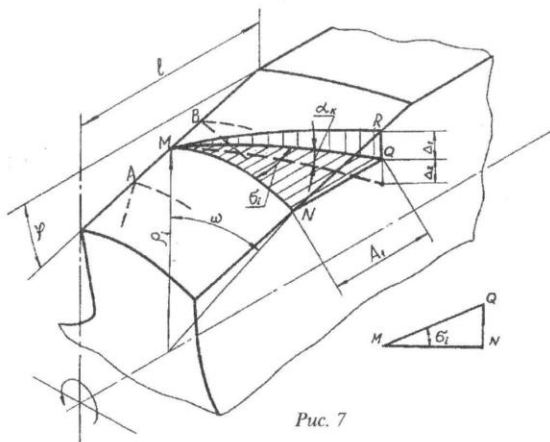


Рис. 7

Рассмотрим перемещение точки  $M$  главного режущего лезвия  $AB$  метчика. На рис. 7 введены следующие обозначения:  $\rho_i$  — радиус точки  $M$  относительно оси метчика;  $MN$  — след на незатылованной поверхности при движении точки  $M$  по окружности;  $MQ$  — след точки  $M$  при движении по винтовой линии на цилиндрической поверхности  $MNQ$ ;  $\sigma_i$  — угол подъема винтовой линии для рассматриваемой точки  $M$ .

Для того чтобы точка  $R$  могла свободно следовать за точкой  $M$ , необходимо удалить слой металла  $MRQ$ , находящийся на задней поверхности метчика. Аналогично можно рассматривать движение любой точки режущего лезвия  $AB$ . Таким образом, задняя поверхность является совокупностью винтовых линий, образующих коническую винтовую поверхность.

Толщина снимаемого слоя  $\Delta_1$  определяется следующим образом:

$$\Delta_1 = A_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $A_1 = \omega \cdot P / 2\pi$ ; тогда

$$\Delta_1 = \omega \cdot P \cdot \operatorname{tg} \varphi / 2\pi. \quad (10)$$

Для исключения трения по задней поверхности необходимо создать кинематический задний угол  $\alpha_k$  посредством срезания слоя  $\Delta_2$ , толщина которого рассчитывается по формуле

$$\Delta_2 = MQ \cdot \operatorname{tg} \alpha_k = \rho_i \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \alpha_k / \cos \sigma_i. \quad (11)$$

Угол  $\sigma_i$  определяется из соотношения  $\operatorname{tg} \sigma_i = P / (2\pi \rho_i)$ .

Если принять угол  $\alpha_k$  одинаковым во всех точках режущего лезвия  $AB$  (см. рис. 7), то из зависимости (11) видно, что  $\Delta_2$  — величина переменная. Расчет показывает, что  $\Delta_2$  принимает максимальное значение в точке с максимальным  $\rho_i$ , т.е. в точке режущего лезвия, лежащей на наружном диаметре метчика. Если для всех точек режущего лезвия с задней поверхности срезать слой одинаковой толщины, равной  $\Delta_2$ , то в точке режущего лезвия, лежащей на максимальном радиусе  $\rho_{\max}$ , задний угол  $\alpha_k$  будет иметь минимальное значение. Это необходимо учитывать при выборе толщины срезаемого слоя металла по задней поверхности для образования минимально допустимого заднего угла в точке с  $\rho_{\max}$ , в других точках лезвия задний угол получится большим.

Таким образом, величина общего падения задней поверхности метчика для обеспечения необходимого значения заднего угла  $\alpha$  должна быть равной:  $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$ .

Применяется большое количество устройств и приспособлений, на которых осуществляется осевое или радиальное затылование метчиков, а также устройств для затылования по дуге окружности с различным

положим ее центра относительно оси метчика. Затылование метчиков проводится после термообработки шлифовальным кругом.

Образование архимедовой винтовой поверхности можно осуществить затылованием как в осевом, так и в радиальном направлении. На рис. 8 представлена схема приспособления, устанавливаемого на столе круглошлифовального станка. Верхняя плита 2 разворачивается относительно основания 3 на требуемый угол  $\varphi$ . Метчик 1 устанавливается в центрах. Электродвигатель 5 через систему сменных шестерен обеспечивает вращение метчика вокруг собственной оси и вращение кулачка 4. Шестерни подбирают таким образом, чтобы одному обороту метчика соответствовало  $z$  возвратно-поступательных движений вдоль его оси ( $z$  — число зубьев метчика). Перемещение метчика в осевом направлении осуществляется кулачком 4. Для приспособлений, работающих по такой схеме, имеется набор кулачков с различными значениями затылования  $K_0$ .

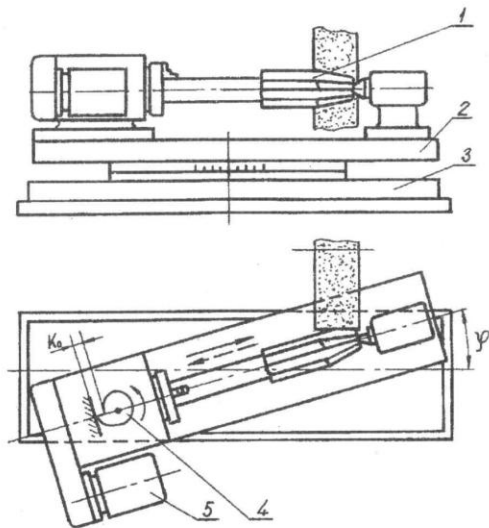


Рис. 8

Расчет  $K_0$  для точки режущего лезвия, лежащей на наружном диаметре, проводят по формуле:  $K_{оп} = \Delta/t \text{tg} \varphi$ . Полученное значение  $K_{оп}$  округляют в большую сторону до ближайшего  $K_0$  кулачка, имеющегося в наборе.

Затылование метчиков в радиальном направлении проводят на токарно-затыловочных станках, оснащенных шлифовальными головками, или на специальных затыловочных станках и приспособлениях. Принципиальная схема такого станка представлена на рис. 9.

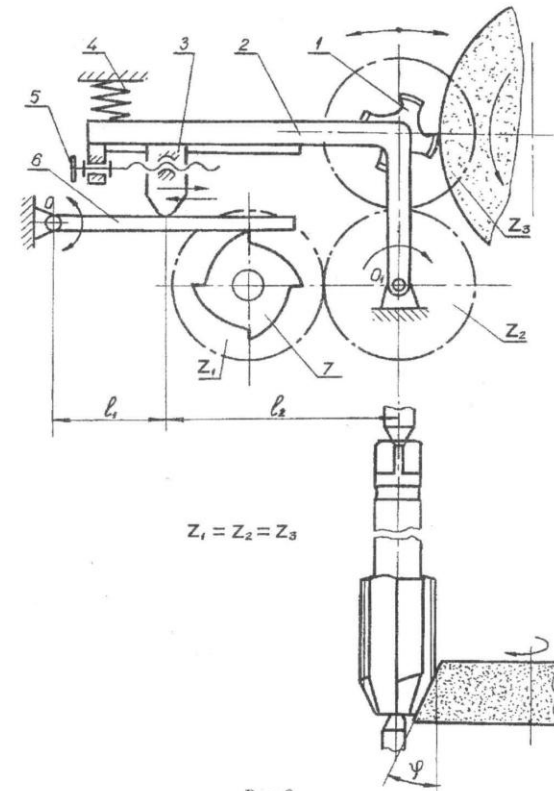


Рис. 9

Метчик 1 закрепляют в центрах станка и ориентируют в угловом положении таким образом, чтобы режущие лезвия зуба, обращенного к шлифовальному кругу, располагались в горизонтальной плоскости, проходящей через ось центров. Вращательное движение метчика 1 и кулачка 7 осуществляется через шестерни  $z_1 = z_2 = z_3$  за счет ручного или специального электрического привода. При вращении кулачка 7 качалка 6 совершает колебательные движения вокруг центра  $O$ . Коромысло 2 через упор 3 прижимается пружиной 4 к качалке 6. Метчик, установленный на коромысле 2, совершает плавное движение вокруг центра  $O_1$  на шлифовальный круг, когда качалка 6 скользит по участку подъема кулачка 7, и быстрый отвод (отскок) от шлифовального круга при соскальзывании качалки 6 с выступа кулачка в его впадину. Число колебательных движений за один оборот метчика должно быть равным числу зубьев инструмента. Это обеспечивается установкой кулачка, число выступов которого равно числу зубьев метчика.

Соотношение длин плеч  $l_1$  и  $l_2$  можно изменять, регулируя положение упора 3 на коромысле посредством винта 5. Этим достигается необходимая величина затыловочного движения, которая рассчитывается на дугу  $\pi dl/z$  таким образом, чтобы в пределах ширины зуба метчика (в пределах угла  $\omega$ , см. рис. 7) обеспечить величину падения затылка, равную  $\Delta$ .

Величина затылования метчика рассчитывается по формуле

$$K = \pi dtg\alpha/z,$$

где  $\alpha$  — задний угол метчика, заданный в торцевой плоскости;  $z$  — число зубьев метчика.

В общем случае, если нет специальных требований, задний угол для гаечных метчиков принимают равным  $\alpha = 10...12^\circ$ , для машинных метчиков  $\alpha = 6...8^\circ$ .

## 2.2. Затылование метчиков по направляющей части

Существующие способы образования боковых сторон режущих и калибрующих профилей метчика представлены на рис. 10, а. На одном рисунке условно показаны три варианта затылования метчика по боковым сторонам. В инженерной практике часто используется термин «затылование по профилю». Возникновение термина обусловлено тем, что затылование выполняют одновременно с шлифованием резьбы по профилю.

**Первый способ.** Затылование по профилю отсутствует. Боковая сторона режущего профиля  $ABCD$  полностью соприкасается с наре-

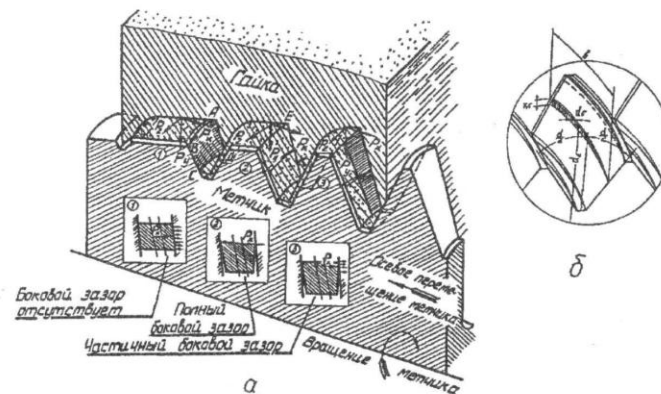


Рис. 10

занной резьбовой впадиной и воспринимает осевую силу  $P_x$ , складывающуюся из осевой составляющей силы резания и силы ведения метчика в осевом направлении. В этом случае на боковых сторонах возникают большие силы трения, которые увеличивают момент резания.

**Второй способ.** Затылование проведено «наостро» (рис. 10, а и б). Это приводит к возникновению вспомогательных задних углов  $\alpha_1$ . При этом полностью отсутствует опорная площадка и контакт между режущим профилем метчика и впадиной резьбы осуществляется по лезвию  $EK$ . Трение по боковым сторонам отсутствует. Уменьшаются момент резбонарезания и опасность заклинивания метчика. При наличии силы  $P_x$  на лезвии  $EK$  возникают значительные давления, возможно дополнительное срезание стружки вспомогательными лезвиями, что приводит к искажению профиля резьбовой впадины. Отсутствие опорных поверхностей, выполняющих функцию центрирования, при наличии радиальной неуравновешенной силы на режущей части метчика может вызвать радиальные колебания инструмента и, следовательно, ухудшение точности нарезаемой резьбы. Необходимо принимать оптимальные значения углов  $\alpha_1$ , при которых метчик не теряет устойчивого центрирования по нитке резьбы и сохраняется точность резьбы.

**Третий способ.** Затылование проведено частично. В этом случае стремятся созданием  $\alpha_1$  на определенной ширине зуба уменьшить трение на боковых сторонах режущих и направляющих профилей, не ухуд-

шая при этом центрирования метчика и не меняя его направления. Этот наиболее рациональный способ затылования из-за технологических трудностей реализации не нашел широкого применения.

Затылование по профилю выполняют на операции шлифования резьбы за счет кулачка, встроенного в кинематическую цепь станка. При прохождении шлифовальным кругом дуги, равной 1/2 части окружности среднего диаметра  $d_2$  метчика, межцентровое расстояние между осями резьбошлифовального круга и метчика плавно уменьшается на расчетное значение  $K_n$ , т.е. выполняется радиальное затылование. Движение затылования шлифовального круга к центру метчика начинается на расстоянии  $h$  от передней поверхности инструмента с таким расчетом, чтобы обеспечить быстрый отвод шлифовального круга и предотвратить его врезание в соседний зуб метчика.

Метчики размером более М3 должны быть затылованы по профилю для того, чтобы обеспечить значения заднего вспомогательного угла в пределах  $\alpha_1 = 0^\circ 10' \dots 0^\circ 15'$ . Величина затылования по профилю определяется по формуле

$$K_n = \frac{\pi d_2 \operatorname{tg} \alpha_1}{z \operatorname{tg} \alpha / 2},$$

где  $\alpha/2$  — половина угла профиля резьбы.

### 2.3. Затылование круглых плашек

Затылование круглых плашек проводится для образования задних поверхностей. Общие подходы и требования к формированию задних поверхностей плашек те же самые, что для метчиков.

Затылование плашек выполняют до и после термической обработки. До термической обработки оно осуществляется затыловочными резцами. При этом одновременно формируется конус режущей части и задние поверхности плашек. После термической обработки затылование осуществляется шлифовальным кругом.

Рассмотрим схему затылования круглой плашки резцом, которая реализована на специальном затыловочном станке модели 7А (рис. 11).

Круглую плашку 1 закрепляют в шпинделе 2, на котором соосно закреплен кулачок 3, число его торцевых выступов равно числу зубьев плашки. Вращение от электродвигателя передается на шпиндель через шестерню 4. Шпиндель 2 постоянно поджат к упору 7 пружинной 5. При вращении шпинделя 2 упор 7 скользит по выступам кулачка 3, за счет чего шпиндель совершает возвратно-поступательное движение

осевого затылования  $K_o$ . Изменением радиального положения упора 7 посредством винта 6 осуществляется регулирование  $K_o$  на требуемую величину, так как поверхность торцевого кулачка сделана конической с углом  $\beta$ .

Затыловочный резец 9 устанавливается на суппорте 8 и ориентируется под углом  $\varphi$ . Суппорт может перемещаться вдоль и перпендикулярно оси шпинделя. За счет постепенной подачи шпинделя на один оборот плашки образуется режущая часть длиной  $l$  под углом  $\varphi$ . Взаимосвязь между осевой  $K_o$  и радиальной  $K$  составляющими затылования определяется по формуле  $K = K_o \cdot \operatorname{tg} \varphi$ .

Затыловочный резец имеет небольшие размеры и, как следствие, пониженную жесткость. Поэтому затылование сопровождается вибрациями, на задних поверхностях образуются макронеровности. Они удаляются при затыловании плашки шлифовальным кругом, которое выполняют после ее закалки. Для этого станок оснащен специальной головкой с высокооборотным шпинделем, что необходимо для получения удовлетворительных скоростей шлифования при вынужденном использовании шлифовальных кругов малого диаметра. Затылование плашек шлифовальным кругом кинематически не отличается от затылования резцом.

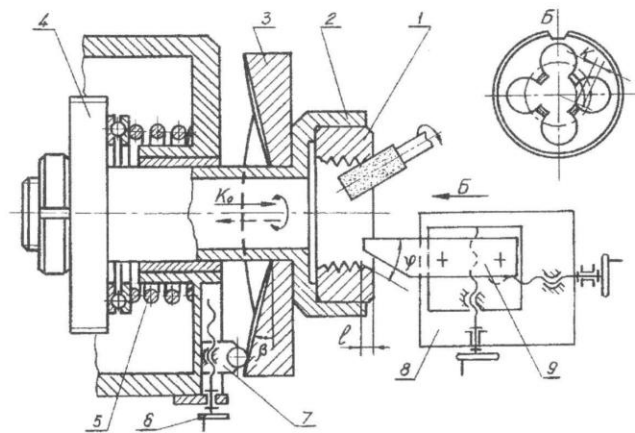


Рис. 11

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Затылование фасонных фрез .....	4
1.1. Выбор формы затылованной поверхности .....	4
1.2. Формы зубьев фасонных фрез. ....	6
1.3. Схема затылования. Выбор направления затылования .....	9
1.4. Выполнение операций затылования .....	14
2. Затылование метчиков и плашек .....	16
2.1. Затылование метчиков по режущей части .....	16
2.2. Затылование метчиков по направляющей части .....	20
2.3. Затылование круглых плашек .....	22