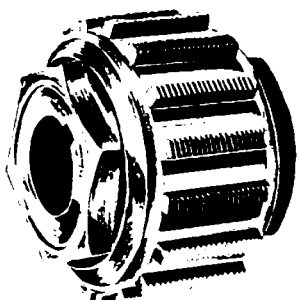


А.А. ЗОРОХОВИЧ

РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЕ
И
РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЕ
СТАНКИ



ОБОРОНГИЗ-1940

А. А. ЗОРОХОВИЧ

РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЕ
И
РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Цена 5 руб.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОСКВА 1940

Резьбофрезерование, как один из наиболее производительных и точных методов нарезания резьбы, получило в последнее время широкое распространение в машиностроительной промышленности.

В книгу включены материалы исследования, проведенного автором на заводе им. Павлова и имевшего целью выяснить оптимальные режимы резьбофрезерования.

Книга освещает основные факторы процесса резьбофрезерования: рабочие режимы, режущий инструмент, контроль резьб и резьбофрезерные станки. В книге освещаются кинематика и динамика резьбофрезерного процесса.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, интересующихся резьбофрезерованием.

Редактор *П. И. Орлов.*

Техн. редактор *А. А. Базанова.*

Сдано в набор 7/XII 1939 г. Подписано к печ. 26/II 1940 г. Автор. дог. 12.
Инд. А-99-5-3. Тираж 6.500. Колич. печ. лист. 9,25. Учетно-авт. лист. 9,20.
Формат бум. 60×94¹/₁₆. Уполн. Главл. А-25724. Заказ № 1141.

Типография Оборонгиза. Киев, Крешатик, 42.

ПРОЦЕСС РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Резьбовой фрезой называется одна из разновидностей фасонной фрезы, режущие грани которой являются резьбовыми гребенками. Витки резьбового профиля у фрезы расположены не по винтовой линии, а кольцами; фреза представляет собой как бы группу дисковых профильных фрез, сложенных плоскостями перпендикулярно своей оси. Резьбовые фрезы изготавливаются с затылованным зубом, канавки между режущими гребенками делаются прямыми или спиральными, в зависимости от условий работы. За один оборот изделия фреза перемещается в осевом направлении на величину шага.

На фиг. 1 изображена резьбовая фреза нормального типа, употребляемая для нарезания наружных резьб.

Заготовка, на которой нарезается резьба, имеет наружный диаметр, равный наружному диаметру резьбы. Фреза во время работы выбирает канавку, форма которой соответствует профилю резьбы фрезы.

Средний диаметр резьбы легко доводится до требуемого размера путем большего или меньшего углубления фрезы в изделие. Величина углубления отмеряется по нониусу, расположенному на рукоятке поперечной подачи фрезерного супорта. Отрегулировав путем нарезания нескольких деталей размер среднего диаметра, можно в дальнейшем вести работу по упору, установив его по соответствующему делению нониуса поперечной подачи. Шаг нарезки у фрезы должен быть выдержан очень точно, иначе вследствие осевого перемещения фрезы во время работы резьба на изделии окажется подрезанной.

Для получения резьб первого класса точности резьбовой профиль фрезы необходимо шлифовать. Резьбы второго класса точности можно получить при помощи фрез с нешлифованным профилем при тщательном их изготовлении.



Фиг. 1. Групповая цилиндрическая резьбовая фреза.

СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И ПОДАЧИ

Введем следующие обозначения:

- D — наружный диаметр фрезы в мм;
 n_{ϕ} — число оборотов фрезы в минуту;
 $n_{из}$ — число оборотов изделия в минуту;
 z — число зубьев фрезы;
 α — угол подъема резьбы;
 v_{ϕ} — скорость резания в м/мин;
 $v_{из}$ — окружная скорость изделия в мм/мин;
 s_z — подача на один зуб фрезы.

Скорость резания, которая является окружной скоростью вращения фрезы, равна

$$v_{\phi} \text{ м/мин} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000}. \quad (1)$$

Окружная скорость изделия с диаметром d , которую часто называют окружной подачей изделия, равна

$$v_{из} \text{ м/мин} = \frac{\pi d n_{из}}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Важным фактором при установлении режимов резания является величина подачи на один зуб фрезы, равная

$$s_z = \frac{\pi d n_{из}}{z n_{\phi} \cos \alpha}. \quad (3)$$

Так как угол α незначителен, можно принять

$$v_{из} \approx \pi d n_{из}, \quad (4)$$

$$s_z \approx \frac{\pi d n_{из}}{z n_{\phi}}. \quad (5)$$

УСЛОВИЯ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ФРЕЗЫ С ИЗДЕЛИЕМ

Плавность работы резьбовой фрезы является одним из важнейших факторов, имеющих непосредственное влияние на чистоту резьбовой поверхности и на продолжительность службы фрезы. Плавность работы фрезы зависит в значительной степени от числа ее зубцов, одновременно находящихся в зацеплении с нарезаемым изделием. Благодаря малым глубинам резьб и благодаря тому, что касание между фрезой и изделием происходит по цилиндрическим поверхностям, дуга контакта (или иначе „дуга захвата“) фрезы с изделием невелика и число зубцов фрезы, находящихся одновременно в зацеплении, весьма незначительно: В табл. 1 приведены значения m — числа зубцов фрезы, находящихся одновременно в зацеплении при наружном фрезеровании при диаметре резьбовой фрезы 70 мм, при числе зубцов 20 и при наиболее употребительных шагах резьб. Как видно из таблицы, число m не достигает даже 0,5.

При фрезеровании внутренней резьбы дуга контакта больше, вследствие чего условия работы фрезы при нарезании внутренней резьбы более благоприятны, чем при нарезании наружной.

Таблица 1

Диаметр изделия мм	Шаг резьбы мм	Число зубцов фрезы в зацеплении t
10	1	0,22
	1,5	0,263
	2	0,3
14	1	0,257
	1,5	0,296
	2	0,352
20	1	0,296
	1,5	0,360
	2	0,415

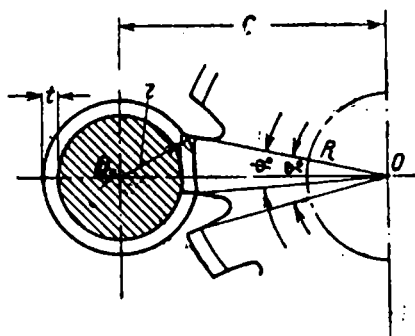
На фиг. 2 показана схема зацепления фрезы с изделием при наружном фрезеровании резьбы.

Обозначим:

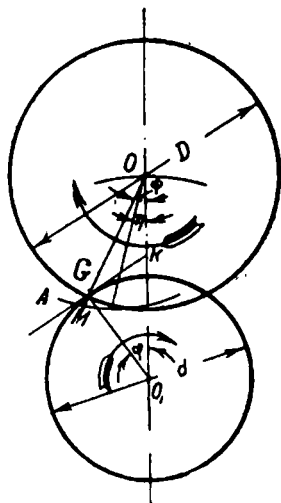
ψ_0 — угол контакта;

φ_0 — центральный угол между зубьями;

t — высота резьбы в мм;



Фиг. 2. Схема зацепления фрезы с изделием при наружном фрезеровании.



Фиг. 3.

R — наружный радиус резьбовой фрезы в мм;

r — наружный радиус изделия (при фрезеровании наружной резьбы) и внутренний радиус (при фрезеровании внутренней резьбы) в мм;

c — расстояние между осями фрезы и обрабатываемого предмета;

t — число зубьев, одновременно находящихся в зацеплении.

Из треугольника OO_1G (фиг. 3) находим для случая наружного фрезерования:

$$r^2 = R^2 + (R + r - t)^2 - 2R(R + r - t) \cos \psi,$$

откуда

$$\cos \psi = \frac{R^2 + (R + r - t)^2 - r^2}{2R(R + r - t)},$$

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,5 \sqrt{\frac{2tr - t^2}{Rc}},$$

где

$$c = R + r - t.$$

Из треугольника OO_1C (фиг. 4) находим для случая внутреннего фрезерования

$$r^2 = R^2 + (r + t - R)^2 + 2R(r + t - R) \cos \psi,$$

откуда

$$\cos \psi = \frac{r^2 - R^2 - (r + t - R)^2}{2R(r + t - R)},$$

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,5 \sqrt{\frac{2tr + t^2}{Rc}},$$

где

$$c = r + t - R.$$

Центральный угол между зубцами фрезы равен

$$\psi_0 = \frac{360^\circ}{z}.$$

Число зубцов, одновременно находящихся в зацеплении, равно

$$m = \frac{\psi}{\psi_0}.$$

ДИНАМИКА РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ¹

Мощность, необходимая при фрезеровании резьбы групповой цилиндрической фрезой

Примем дополнительно к прежним следующие обозначения:

d — внешний диаметр нарезаемого предмета (в мм) при фрезеровании внутренней резьбы;

s — шаг резьбы в мм,

¹ По проф. Я. Х. Костюкову, Теоретические основы фрезерования резьбы групповой цилиндрической фрезой, „Вестник металлопромышленности“, 1937 г., № 10.

l — длина нарезки в мм;
 β — угол при вершине профиля резьбы;
 k_s — удельное давление резания при фрезеровании;
 k — коэффициент, зависящий от качества обрабатываемого материала и профиля зуба фрезы.

Предположим, что на цилиндрической поверхности, совершающей медленное вращательное движение, фрезеруется цилиндрической фрезой с прямым зубом прямоугольная канавка. Максимальную толщину стружки δ_{\max} определим из треугольника AGM (фиг. 3), в котором угол при вершине M может быть принят за 90° :

$$\delta_{\max} = AG \sin A.$$

Проведя в точке G касательную Gk и радиус OG , получаем:

$$\angle A = 90^\circ - \angle AGM = \angle MGO_1$$

или

$$A = \psi + \varphi.$$

Здесь φ — центральный угол, составляемый радиусом изделия с вертикалью в момент, когда мгновенный угол зуба фрезы равен ψ . Так как дуга AG представляет собой подачу на один зуб, то

$$\delta_{\max} = s_z \sin(\psi + \varphi).$$

Для какого-либо положения зуба, характеризуемого мгновенным углом η , толщину стружки можно определить в предположении, что

$$\frac{\delta}{\delta_{\max}} = \frac{R\eta}{R\psi} = \frac{\eta}{\psi}.$$

Так как углы η и ψ сравнительно невелики, то можно считать, что

$$\frac{\delta}{\delta_{\max}} = \frac{\sin \eta}{\sin \psi},$$

и

$$\delta = \delta_{\max} \frac{\sin \eta}{\sin \psi} = s_z \frac{\sin(\psi + \varphi)}{\sin \psi} \sin \eta.$$

Из треугольника $\dot{O}GO_1$ находим

$$\frac{\sin(\psi + \varphi)}{\sin \psi} = \frac{c}{r},$$

следовательно,

$$\delta = s_z \frac{c}{r} \sin \eta. \quad (6)$$

Величина c определяется уравнением

$$c = R + r - t. \quad (7)$$

Если обозначить через B —ширину фрезы и одновременно ширину фрезерования, то мгновенное сечение стружки для рассматриваемого положения зуба будет:

$$F_{\eta} = B s_z \frac{c}{r} \sin \eta, \quad (8)$$

а усилие резания

$$P_{\eta} = k_s F.$$

Так как по Саломону

$$k_s = k \delta^{\mu} = k s_z^{\mu} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu} \sin^{\mu} \eta,$$

то

$$P_{\eta} = k B s_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} \sin^{\mu+1} \eta. \quad (9)$$

При повороте фрезы на угол $d\eta$ зуб проходит путь $R d\eta$. Работа силы P_{η} на этом пути равна

$$dA_z = k B s_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} R \sin^{\mu+1} \eta d\eta.$$

Работа одного зуба фрезы:

$$A_z = \int_0^{\psi} k B s_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} R \sin^{\mu+1} \eta d\eta = k B s_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} R \int_0^{\psi} \sin^{\mu+1} \eta d\eta. \quad (10)$$

По Саломону

$$\int_0^{\psi} \sin^{\mu+1} \eta d\eta = \frac{2^{\mu+2}}{\mu+2} \sin^{\mu+2} \left(\frac{\psi}{2}\right).$$

Поэтому

$$A_z = \frac{2^{\mu+2}}{\mu+2} k B s_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} R \sin^{\mu+2} \left(\frac{\psi}{2}\right). \quad (11)$$

Работа фрезы за один оборот равна

$$A_0 = \frac{2^{\mu+2}}{\mu+2} k B s_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} R \sin^{\mu+2} \left(\frac{\psi}{2}\right) z, \quad (12)$$

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,5 \sqrt{\frac{2ir - r^2}{Rc}} = 0,705 \sqrt{\frac{ir}{Rc}} \sqrt{1 - \frac{t}{2r}}.$$

В табл. 2 приведены значения фактора $\sqrt{1 - \frac{t}{2r}}$ в зависимости от величины $\frac{t}{2r}$.

Как показывает табл. 2, значение фактора $\sqrt{1 - \frac{t}{2r}}$ при употребительных соотношениях $\frac{t}{2r}$ колеблется в пределах от 0,894 до

0,974. Поэтому не будет большой ошибкой, если принять

$$\sqrt{1 - \frac{t}{2r}} \approx 0,935.$$

Таблица 2

$\frac{t}{2r}$	$\sqrt{1 - \frac{t}{2r}}$
1:5	0,894
1:10	0,948
1:20	0,974

В таком случае

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,66 \sqrt{\frac{tr}{Rc}}. \quad (14)$$

Значение μ в уравнении (12) может быть принято равным для стали $\mu = -0,25$, для чугуна $\mu = -0,33$.

Работа фрезы за один оборот по уравнению (12) равна: при обработке стали

$$A_0 = 0,927kB \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} t^{0,875} z, \quad (15)$$

при обработке чугуна

$$A_0 = 0,95kB \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,165} s_z^{0,87} t^{0,875} z. \quad (16)$$

Предположим, что на цилиндрической поверхности, совершающей медленное вращательное движение, фрезеруется канавка, имеющая профиль треугольной резьбы (фиг. 5).

Глубину фрезерования в данном случае будем считать теоретическую высоту резьбы, определяемую из соотношения:

$$t = \frac{s}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}. \quad (17)$$

Такую профильную фрезу можно рассматривать как состоящую из двух фрез I и II, закрепленных на общей оправке и имеющих одинаковое число зубьев. Работа фрезы за один оборот будет равна сумме работ составляющих ее фрез:

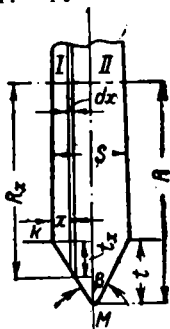
$$A_f = 2A'_f.$$

Для определения работы A'_f фрезы I представим себе, что последняя в свою очередь состоит из ряда цилиндрических фрез с прямым зубом шириною dx . Все подобные фрезы будут отличаться друг от друга радиусом Rx ; каждая из них будет работать со своей глубиной резания. При обработке стали работа фрезы шириною dx за один оборот по уравнению (15) будет:

$$dA'_f = 0,927kRx^{0,125} \left(\frac{r}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} t_x^{0,875} z dx. \quad (18)$$

Можно написать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} t_x &= x \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = mx; \\ R_0 &= R - t; \\ R_x &= R - t + t_x = R_0 + mx; \\ m &= \frac{2t}{s}. \end{aligned} \quad (19)$$



Фиг. 5.

Подставляя значения R_x и t_x в уравнение (18), получаем

$$dA'_i = 0,927k(R-t+mx)^{0,125} \left(\frac{r}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} z(m x)^{0,875} dx = \\ = 0,927k s_z^{0,75} z \left(\frac{r}{c}\right)^{0,125} m^{0,875} x^{0,875} (R-t)^{0,125} \left[1 + \frac{mx}{R-t}\right]^{0,125} dx. \quad (19')$$

Разлагая функцию $\left(1 + \frac{mx}{R-t}\right)^{0,125}$ в ряд, получаем

$$\left(1 + \frac{mx}{R-t}\right)^{0,125} = 1 + 0,125 \frac{mx}{R-t} + \frac{0,125(0,125-1)}{1 \cdot 2} \frac{m^2 x^2}{(R-t)^2} + \\ + \frac{0,125(0,125-1)(0,125-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \frac{m^3 x^3}{(R-t)^3} + \dots = \\ = 1 + 0,125 \frac{mx}{R-t} - 0,054 \frac{m^2 x^2}{(R-t)^2} + \\ + 0,033 \frac{m^3 x^3}{(R-t)^3} - \dots$$

Ограничиваясь первыми двумя членами ряда, получаем

$$\left(1 + \frac{mx}{R-t}\right)^{0,125} = 1 + 0,125 \frac{mx}{R-t},$$

тогда

$$A'_i = 0,927k s_z^{0,75} z \left(\frac{r}{c}\right)^{0,125} m^{0,875} \times \\ \times (R-t)^{0,125} \int_0^{\frac{s}{2}} x^{0,875} \left(1 + 0,125 \frac{mx}{R-t}\right) dx. \quad (20)$$

Входящий в уравнение (20) интеграл равен

$$\int_0^{\frac{s}{2}} x^{0,875} \left(1 + 0,125 \frac{mx}{R-t}\right) dx = \int_0^{\frac{s}{2}} x^{0,875} dx + \frac{0,125 m}{R-t} \int_0^{\frac{s}{2}} x^{1,875} dx = \\ = \frac{s^{1,875}}{1,875 \cdot 2^{1,875}} + \frac{0,125 m}{R-t} \frac{s^{2,875}}{2,875 \cdot 2^{2,875}}.$$

После подстановки значения m из уравнения (19) и необходимых преобразований получаем

$$\int_0^{\frac{s}{2}} x^{0,875} \left(1 + 0,125 \frac{mx}{R-t}\right) dx = s^{1,875} \left(0,145 + 0,012 \frac{t}{R-t}\right) \approx \\ \approx 0,145 s^{1,875}.$$

Формула (20) принимает следующий вид:

$$A'_i = 0,927 \cdot 0,145 k s_z^{0,75} \left(\frac{r}{c}\right)^{0,125} m^{0,875} z s^{1,875} R^{0,125} \left(1 - \frac{t}{R}\right)^{0,125}. \quad (21)$$

По предыдущему $(1 - \frac{t}{R})^{0,125} \approx 1 - 0,125 \frac{t}{R}$. Значение $1 - 0,125 \frac{t}{R}$, как показывает табл. 3, колеблется в весьма узких пределах и может быть принято равным 0,985.

Таблица 3

$\frac{t}{R}$	$1 - 0,125 \frac{t}{R}$	$1 - 0,165 \frac{t}{R}$	$1 - 0,335 \frac{t}{R}$	$1 - 0,375 \frac{t}{R}$
1:5	0,975	0,967	0,933	0,925
1:10	0,988	0,984	0,967	0,962
1:20	0,994	0,992	0,984	0,982

Принимая во внимание уравнения (17'), (19) и (21), получаем

$$A_i = 0,265k \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} z s^{1,875} \operatorname{ctg}^{0,875} \left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (22)$$

Для случая обработки той же фрезой чугуна получаем

$$A'_i = 0,95k s_z^{0,67} z \left(\frac{r}{c}\right)^{0,165} m^{0,835} R^{0,165} \left(1 - \frac{t}{R}\right)^{0,165} \times \\ \times \int_0^{\frac{s}{2}} x^{0,835} \left(1 + 0,165 \frac{mx}{R-t}\right) dx. \quad (23)$$

Принимая

$$\int_0^{\frac{s}{2}} x^{0,835} \left(1 + 0,165 \frac{mx}{R-t}\right) dx \approx 0,153 s^{1,835}$$

и

$$\left(1 - \frac{t}{R}\right)^{0,165} = 1 - 0,165 \frac{t}{R} \approx 0,980,$$

получаем

$$A_i = 0,285k \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,165} s_z^{0,67} z s^{1,835} \operatorname{ctg}^{0,835} \left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (24)$$

Перейдем теперь к групповой фрезе. Учитывая, что последняя состоит из n_Φ отдельных колец с профилем, соответствующим профилю резьбы, и что ее длина должна соответствовать длине нарезки, можно написать для определения средней расходуемой мощности следующе уравнение:

$$N_{cp} = \frac{A_i n_\Phi t}{s \cdot 1000 \cdot 4500}. \quad (25)$$

При обработке стали

$$N_{cp} = 0,06 \cdot 10^{-6} k \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} z s^{0,875} n_\Phi \operatorname{ctg}^{0,875} \left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (26)$$

При обработке чугуна

$$N_{\text{ср}} = 0,063 \cdot 10^{-6} k \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,165} s_z^{0,67} z l s^{0,835} n_{\phi} \text{ctg}^{0,835} \left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (27)$$

Численные значения коэффициента k для главнейших материалов впредь до установления опытным путем точных значений можно определить по ориентировочным данным, приведенным в табл. 4 и 5.

Для определения средней мощности, расходуемой при фрезеровании внутренней резьбы, снова предположим, что цилиндрическая фреза с прямым зубом шириною dx фрезерует прямоугольную канавку на внутренней поверхности обрабатываемого изделия, которое вращается, осуществляя подачу (фиг. 4). Максимальная толщина стружки δ_{max} может быть определена из треугольника AEC , в котором угол при вершине A можно принять равным 90° :

$$\delta_{\text{max}} = EC \sin \angle E.$$

Проведя касательную CT в точке C к окружности радиуса r , мы видим, что угол E можно принять равным углу OCO_1 , т. е. угол $E = \psi - \varphi$. Так как EC есть подача на один зуб, то

$$\delta_{\text{max}} = s_z \sin(\psi - \varphi).$$

Таблица 4

Таблица 5

Сталь	Сопротивление разрыву σ_b кг/мм ²	k
Мягкая	30	200
Мягче средней	40	218
Средняя	50	242
Тверже средней	60	276
Твердая	75	308

Чугун	Сопротивление разрыву σ_b кг/мм ²	k
Мягкий	12	100
Мягче среднего	15	110
Средний	19	125
Тверже среднего	24	138
Твердый	28	152

По предыдущему мгновенная толщина стружки определяется уравнением

$$\delta = \delta_{\text{max}} \frac{\sin \eta}{\sin \psi} = s_z \frac{\sin(\psi - \varphi)}{\sin \psi} \sin \eta.$$

Из треугольника OO_1C получаем

$$\frac{\sin(\psi - \varphi)}{\sin \psi} = \frac{c}{r}.$$

Следовательно,

$$\delta = s_z \frac{c}{r} \sin \eta,$$

где

$$c = r + t - R. \quad (29)$$

Работа фрезы за один оборот по уравнениям (8), (9), (10), (11) выразится уравнением (12):

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,5 \sqrt{\frac{2tr + t^2}{Rc}}$$

или

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,705 \sqrt{\frac{tr}{Rc}} \sqrt{1 + \frac{t}{2r}} \quad (30)$$

В табл. 6 приведены значения фактора

$\sqrt{1 + \frac{t}{2r}}$ в функции $\frac{t}{2r}$. Как видно из таб-

лицы, величина фактора $\sqrt{1 + \frac{t}{2r}}$ колеблется в пределах 1,095—

1,024. Не будет большой ошибки, если принять $\sqrt{1 + \frac{t}{2r}} \approx 1,06$.

В таком случае приближенно

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,75 \sqrt{\frac{tr}{Rc}} \quad (31)$$

Работа фрезы за один оборот равна:

при обработке стали

$$A_t = 1,16kB \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} zt^{0,875} \quad (32)$$

при обработке чугуна

$$A_t = 1,178kB \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,165} s_z^{0,67} zt^{0,825}$$

Переходя к групповой фрезе, получаем следующие формулы для определения средней мощности, расходуемой при фрезеровании внутренней резьбы:

при обработке стали

$$N_{cp} = 0,074 \cdot 10^{-6} k \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,125} s_z^{0,75} zls^{0,875} n_{\phi} \operatorname{ctg}^{0,875} \left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (33)$$

при обработке чугуна

$$N_{cp} = 0,078 \cdot 10^{-6} k \left(\frac{Rr}{c}\right)^{0,165} s_z^{0,67} zls^{0,825} n_{\phi} \operatorname{ctg}^{0,825} \left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (34)$$

НАИБОЛЬШИЕ УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ РЕЗЬБЫ ГРУППОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗОЙ

Фрезерование наружной резьбы

Для определения максимальных усилий при наружном резьбофрезеровании представим себе попрежнему, что фреза с профилем фрезеруемой резьбы (фиг. б) состоит из ряда цилиндрических фрез с прямым зубом шириною dx . Каждая из подобных фрез, с радиусом Rx и глубиной резания tx , работает со своим углом захвата; наибольший угол захвата у фрезы, радиус которой

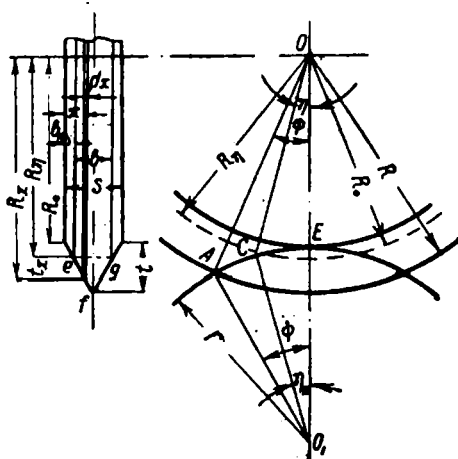
Таблица 6

$\frac{t}{2r}$	$\sqrt{1 + \frac{t}{2r}}$
1:5	1,095
1:10	1,048
1:20	1,024

равен радиусу R фрезы. Отдельные элементы режущего профиля зуба постепенно выходят из обрабатываемого материала соответственно своему расстоянию от оси фрезы. Определим работающую часть профиля зуба при некотором мгновенном положении зуба; для этого найдем величину R_η той бесконечно узкой фрезы, для которой мгновенный угол зуба η является углом захвата.

Из треугольника OCO_1

$$R_\eta = \sqrt{r^2 + c^2 - 2rc \cos \eta_n}. \quad (35)$$



Фиг. 6.

Из того же треугольника

$$\frac{\sin(\eta + \eta_n)}{\sin \eta} = \frac{c}{r}. \quad (36)$$

Ввиду незначительности величин η и η_n

$$\frac{\eta + \eta_n}{\eta} = \frac{c}{r},$$

откуда

$$\begin{aligned} \eta_n &= \eta \left(\frac{c}{r} - 1 \right) = \\ &= \eta \frac{R_0}{r}. \end{aligned} \quad (37)$$

Зная R_η , можно определить из уравнения (19) величину

$$b_\eta = \frac{R_\eta - R_0}{\beta \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}, \quad (38)$$

а следовательно, найти ту часть профиля efg , которая работает при рассматриваемом положении зуба. Крутящий момент всех работающих элементов фрезы выразится на основе формулы (9) равенством

$$M = ks_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r} \right)^{\mu+1} \int_{b_\eta}^{b+b_\eta} R_x dx = ks_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r} \right)^{\mu+1} b R_{cp}, \quad (39)$$

где R_{cp} — средний радиус части профиля efg , равный

$$R_{cp} = \frac{R + R_\eta}{2}.$$

Ввиду близости величин R и R_{cp} при резбофрезеровании групповой цилиндрической фрезой можно принять

$$R_{cp} \approx R.$$

В таком случае крутящий момент от усилий, действующих на

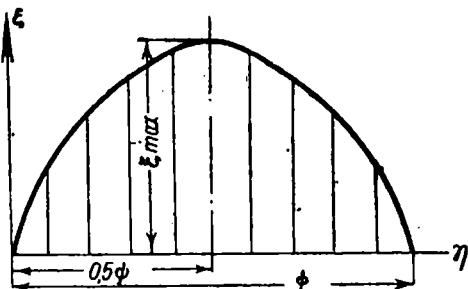
зубе групповой фрезы, будет равен

$$M = ks_z^{u+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{u+1} \frac{l}{s} Rb \sin^{u+1} \eta. \quad (40)$$

В этом уравнении переменные b и $\xi = b \sin^{u+1} \eta$ (41) зависят от положения зуба в обрабатываемом материале. На фиг. 7 изображена кривая ξ по η для случая обработки стали.

Разложим $\cos \eta_n$ в ряд:

$$\begin{aligned} \cos \eta_n &= 1 - \frac{\eta_n^2}{2} + \\ &+ \frac{\eta_n^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} - \dots \end{aligned}$$



Фиг. 7.

Ограничиваясь первыми двумя членами ряда и имея в виду уравнение (37), получаем:

$$\cos \eta_n = 1 - \frac{\eta_n^2 R_0^2}{2r^2};$$

$$R_\eta = \sqrt{(c-r)^2 + \frac{R_0^2 c \eta^2}{r}} = R_0 \left(1 + \frac{c \eta^2}{r}\right) \approx R_0 + \frac{R_0 c \eta^2}{2r};$$

$$b_\eta = \frac{c R_0 \eta^2}{2r \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}};$$

$$b = s - 2b_\eta = s - \frac{c R_0 \eta^2}{r \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}};$$

$$\xi = \left(s - \frac{c R_0 \eta^2}{r \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}\right) = 0. \quad (42)$$

Кривая ξ пересекает ось η при $\eta = 0$ и при $\eta = \psi$. Величину ψ можно определить из уравнения:

$$s - \frac{c R_0 \eta^2}{r \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}} = 0,$$

откуда

$$\psi = \sqrt{\frac{c r \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}{c R_0}}. \quad (43)$$

Уравнение исследуемой кривой принимает вид:

$$\xi = s\eta^{\mu+1} - \frac{s}{\psi^{\mu}} \eta^{\mu+3}. \quad (44)$$

ξ принимает максимальное значение при некоторой величине η , определяемой из уравнения

$$\frac{d\xi}{d\eta} = 0. \quad (44)$$

После преобразований получаем следующее выражение:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu+1}{\mu+3}} \psi. \quad (45)$$

Подставляя соответствующие значения μ , получаем:

для стали

$$\eta = 0,52\psi,$$

для чугуна

$$\eta = 0,5\psi.$$

Таблица 7

η	Значение ξ	
	Сталь	Чугун
0,1 ψ	0,176s $\psi^{0,75}$	0,212s $\psi^{0,67}$
0,2 ψ	0,267s $\psi^{0,75}$	0,327s $\psi^{0,67}$
0,3 ψ	0,369s $\psi^{0,75}$	0,406s $\psi^{0,67}$
0,4 ψ	0,422s $\psi^{0,75}$	0,455s $\psi^{0,67}$
0,5 ψ	0,440s $\psi^{0,75}$	0,470s $\psi^{0,67}$
0,6 ψ	0,436s $\psi^{0,75}$	0,456s $\psi^{0,67}$
0,7 ψ	0,320s $\psi^{0,75}$	0,402s $\psi^{0,67}$
0,8 ψ	0,305s $\psi^{0,75}$	0,310s $\psi^{0,67}$
0,9 ψ	0,176s $\psi^{0,75}$	0,177s $\psi^{0,67}$

Из табл. 7 можно усмотреть, что ординаты рассматриваемой кривой, равноудаленные от начала и конца кривой, очень близко совпадают по величине. Таким образом кривую ξ, η можно считать симметричной. Максимальная ордината кривой соответствует значению $\eta = \frac{\psi}{2}$ и равна:

для стали

$$\xi_{\max} = 0,44 s\psi^{0,75},$$

для чугуна

$$\xi_{\max} = 0,47 s\psi^{0,67}. \quad (46)$$

Если $\frac{\psi}{\varphi_0} \leq 1$ и в работе участвует только один зуб, то, подставив значение ξ_{\max} в уравнение (40), мы сможем найти наибольшие крутящие моменты, действующие на фрезу. Если же в работе одновременно участвует число зубьев $2 > \frac{\psi}{\varphi_0} > 1$, то крутящий момент на фрезе на участке совместной работы двух зубьев определится из уравнения

$$M = ks_z^{\mu+1} \left(\frac{c}{r}\right)^{\mu+1} \frac{l}{s} R [b_1 \sin^{\mu+1} \eta_{11} + b_2 \sin^{\mu+1} \eta_{12}], \quad (47)$$

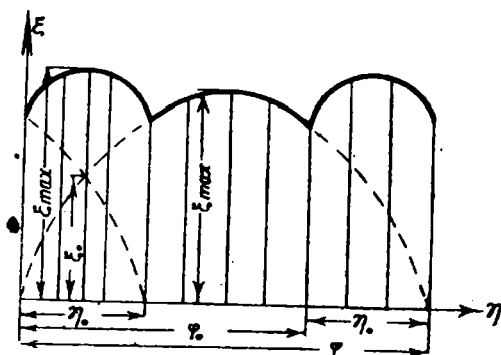
где η_{11} и η_{12} — мгновенные углы двух одновременно работающих зубьев.

Максимальное значение фактора

$$\xi'_{\max} = b_1 \sin^{\mu+1} \eta_{11} + b_2 \sin^{\mu+1} \eta_{12}$$

может быть меньше или больше значения ξ_{\max} , вычисленного по уравнению (46) для случая, когда работает только один зуб.

Если одновременно работают два зуба на участке η_0 (Фиг. 8), причем $\eta = \varphi_0$, то вследствие симметричности кривой ξ , по η , ξ'_{\max} имеет максимальное значение при $\eta = \frac{\eta_0}{2} = \frac{\psi - \varphi_0}{2}$,



Фиг. 8.

равное удвоенной ординате кривой ξ по η при $\eta = \frac{\eta_0}{2}$.

Для определения значения η_0 , при котором

$$\xi'_{\max} = \xi_{\max},$$

нужно решить следующие уравнения:

для случая обработки стали

$$2 \left[s \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{0,75} - \frac{s}{\psi^2} \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{2,75} \right] = 0,44 s \psi^{0,75},$$

для случая обработки чугуна

$$2 \left[s \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{0,67} - \frac{s}{\psi^2} \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{2,67} \right] = 0,47 s \psi^{0,67}$$

или после преобразований соответственно:

$$\eta_0^{2,75} - 4\psi^2 \eta_0^{0,75} + 1,46\psi^{2,75} = 0,$$

$$\eta_0^{2,67} - 4\psi^2 \eta_0^{0,67} + 1,5\psi^{2,67} = 0.$$

Этим уравнениям удовлетворяют следующие значения:

Таблица 8

$\frac{\psi}{\varphi_0}$	λ	
	Сталь	Чугун
1,32	0,440	0,470
1,37	0,440	0,512
1,45	0,482	0,560
1,5	0,528	0,586
1,6	0,558	0,628
1,7	0,586	0,664
1,8	0,610	0,694
1,9	0,640	0,720
2	0,665	0,740

для стали $\eta_0 = 0,27 \psi$,

для чугуна $\eta_0 = 0,24 \psi$,

соответствующие значениям

$$\varphi_0 = 0,73 \psi;$$

$$\frac{\psi}{\varphi_0} = 1,37$$

при обработке стали и

$$\varphi_0 = 0,76 \psi;$$

$$\frac{\psi}{\varphi_0} = 1,32$$

при обработке чугуна.

Если $\frac{\psi}{\varphi_0}$ меньше указанных выше значений, то $\xi'_{\max} \leq \xi_{\max}$;

в противном случае $\xi'_{\max} > \xi_{\max}$. Величину ξ'_{\max} в последнем случае можно определить из уравнений:

для стали

$$\xi'_{\max} = 2 \left[s \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{0,76} - \frac{s}{\psi^2} \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{2,76} \right], \quad (48)$$

для чугуна

$$\xi'_{\max} = 2 \left[s \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{0,67} - \frac{s}{\psi^2} \left(\frac{\eta_0}{2} \right)^{2,67} \right].$$

ξ_{\max} и ξ'_{\max} можно представить как произведения $\lambda s \psi^{\mu+1}$. Значения коэффициента λ для различных $\frac{\psi}{\varphi_0}$ приведены в табл. 8. На основании уравнений (40), (43) и табл. 8 и принимая по табл. 3

$$R_0^{0,876} = R^{0,876} \left(1 - 0,375 \frac{f}{R} \right) \approx 0,95 R^{0,876}$$

и

$$R_0^{0,886} = R^{0,886} \left(1 - 0,335 \frac{f}{R} \right) \approx 0,96 R^{0,886},$$

получаем окончательно

для случая обработки сталей:

$$M_{\max} = 0,68 k \lambda s_z^{0,76} \left(\frac{c}{r} \right)^{0,876} D^{0,626} l s^{0,376} \operatorname{ctg}^{0,876} \left(\frac{\beta}{2} \right); \quad (49)$$

$$N_{\max} = 0,95 \cdot 10^{-6} k \lambda s_z^{0,76} \left(\frac{c}{r} \right)^{0,876} D^{0,626} l s^{0,376} n_{\phi} \operatorname{ctg}^{0,876} \left(\frac{\beta}{2} \right); \quad (50)$$

для случая обработки чугуна:

$$M_{\max} = 0,656 k \lambda s_z^{0,67} \left(\frac{c}{r} \right)^{0,886} D^{0,666} l s^{0,386} \operatorname{ctg}^{0,886} \left(\frac{\beta}{2} \right); \quad (51)$$

$$N_{\max} = 0,915 \cdot 10^{-6} k \lambda s_z^{0,67} \left(\frac{c}{r} \right)^{0,886} D^{0,666} l s^{0,386} n_{\phi} \operatorname{ctg}^{0,886} \left(\frac{\beta}{2} \right). \quad (52)$$

зеровании, имеют такой же вид [см. формулы (49—52) и табл. 8], что и при внешнем резбозерообразовании.

Для иллюстрации изложенного выше решим следующие примеры:

Пример 1. На изделии диаметром 72 мм из стали с $\sigma_b = 75 \text{ кг/мм}^2$ фрезеруется групповой цилиндрической фрезой метрическая резьба:

Шаг резьбы	$s = 4 \text{ мм}$
Длина нарезки	$l = 60 \text{ "}$
Диаметр фрезы	$D = 85 \text{ "}$
Число зубьев фрезы	$z = 20 \text{ "}$
Число оборотов	$n_{\phi} = 120 \text{ об/мин.}$
Подача на один зуб	$s_z = 0,06 \text{ мм.}$

По табл. 4

$$k = 308.$$

Принимаем

$$\beta = 60^\circ;$$

$$t = \frac{4}{2} \operatorname{ctg} 30^\circ \approx 3,5 \text{ мм};$$

$$c = 42,5 + 36 - 3,5 = 75 \text{ мм.}$$

По формуле (13)

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 3,5 \cdot 36 - 3,5^2}{42,5 \cdot 75}} = 0,137;$$

$$\psi = 16^\circ;$$

$$\varphi_0 = \frac{360^\circ}{20} = 18^\circ.$$

Число одновременно участвующих в работе зубьев

$$\frac{\psi}{\varphi_0} = \frac{16}{18} = 0,88,$$

т. е. меньше единицы.

По формуле (26)

$$N_{\text{ср}} = 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot 308 \left(\frac{42,5 \cdot 36}{75} \right)^{0,125} \cdot 0,06^{0,75} \cdot 20 \times \\ \times 60 \cdot 4^{0,875} \cdot 120 \cdot 1,732^{0,875} = 6 \text{ л. с.}$$

По формуле (50) и табл. 8 ($\lambda = 0,44$)

$$N_{\text{max}} = 0,95 \cdot 10^{-6} \cdot 308 \cdot 0,44 \cdot 0,06^{0,75} \left(\frac{75}{36} \right)^{0,375} \times \\ \times 80^{0,625} \cdot 60 \cdot 4^{0,875} \cdot 120 \cdot 1,732^{0,375} = 4,9 \text{ л. с.}$$

M_{\max} определяется по формуле (49) или, проще, из соотношения

$$M_{\max} = \frac{716200 N_{\max}}{n_{\phi}} = \frac{716200 \cdot 4,9}{120} = 27578 \text{ кг/мм.}$$

Пример 2. На изделии из стали с $\sigma_b = 60 \text{ кг/мм}^2$ фрезеруется внутренняя витвортова резьба:

Число витков на 1 дюйм	8
Длина нарезки	$l = 50 \text{ мм}$
Внутренний диаметр изделия	$d = 80 \text{ "}$
Диаметр фрезы	$D = 40 \text{ "}$
Число зубьев фрезы	$z = 14 \text{ "}$
Число оборотов фрезы	$n_{\phi} = 230 \text{ об/мин.}$
Подача на один зуб	$s_z = 0,06 \text{ мм.}$

По табл. 4

$$k = 276;$$

$$s = \frac{25,4}{8} = 3,175 \text{ мм};$$

$$\beta = 55^\circ;$$

$$t = \frac{3,175}{2} \text{ ctg } 27,5^\circ \approx 3 \text{ мм};$$

$$c = 40 + 3 - 20 = 23 \text{ мм.}$$

По формуле (30)

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0,5 \sqrt{\frac{2,3 \cdot 40 + 9}{20 \cdot 23}} = 0,367;$$

$$\psi = 43^\circ;$$

$$\psi_0 = \frac{360^\circ}{14} = 25,7^\circ.$$

Число зубьев, одновременно участвующих в работе,

$$\frac{\psi}{\psi_0} = \frac{43}{25,7} = 1,7.$$

По формуле (33)

$$N_{\text{ср}} = 0,074 \cdot 10^{-6} \cdot 276 \left(\frac{40 \cdot 20}{23}\right)^{0,125} \cdot 0,06^{0,75} \cdot 14 \times$$

$$\times 50 \cdot 3,175^{0,875} \cdot 230 \cdot 1,921^{0,875} = 3 \text{ л. с.}$$

По формуле (50) и табл. 8 ($\lambda = 0,586$)

$$N_{\max} = 0,95 \cdot 10^{-8} \cdot 276 \cdot 0,586 \cdot 0,06^{0,75} \left(\frac{23}{40}\right)^{0,375} \times$$

$$\times 40^{0,625} \cdot 50 \cdot 3,175^{0,875} \cdot 230 \cdot 1,921^{0,875} = 3,45 \text{ л. с.};$$

$$\frac{N_{\max}}{N_{\text{ср}}} = 1,15.$$

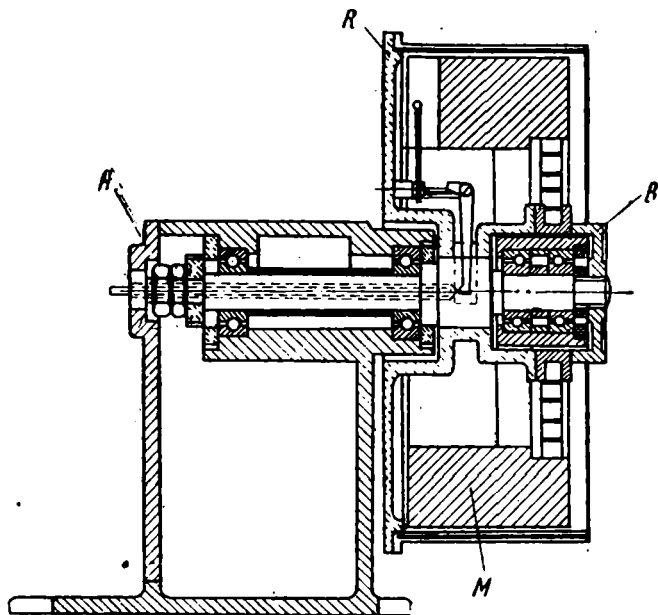
Как видно, в рассматриваемом случае степень равномерности работы фрезы достаточно высока.

ХАРАКТЕР УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

Для исследования усилий резания автор применял универсальный торсиограф Гайгера.

Краткое описание торсиографа

Торсиограф Гайгера является универсальным измерительным прибором, позволяющим измерять углы закручивания вращающихся валов и деталей машин, степень неравномерности вращения, регистрировать крутильные колебания и т. п.



Фиг. 10. Торсиограф Гайгера. Продольный разрез.

Тангенциальная составляющая P_x силы резания является основным усилием резания; она закручивает шпindelь резьбовой фрезы. Чем больше усилие, тем больше угол закручивания шпинделя. Эти углы закручивания и регистрируются аппаратом Гайгера.

На фиг. 10 изображен разрез торсиографа вдоль оси.

Аппарат состоит из двух главных частей: отправителя и приемника. Существенной частью отправителя является полый тонкостенный алюминиевый шкив R , насаженный на валик. Внутри шкива находится маховичок M , соединенный с валиком спиральной пружиной. Пружина устанавливается в своем

гнезде при помощи фиксатора и прижимается гайкой *B*. Вал, подвергающийся исследованию, соединяется со шкивом торсиографа при помощи бесконечной ленты, сделанной из очень жесткой ткани для того, чтобы она не растягивалась и не проскальзывала при передаче движения с вала на шкив.

На шкиве торсиографа воспроизводятся все колебания испытуемого вала. Собственные колебания сидящей на спиральной пружине массы *M* маховичка так низки, что при всех возможных колебаниях, начиная от 140 колебаний в минуту, эта масса вращается практически равномерно. Неравномерно вращающийся шкив отклоняется от равномерно вращающейся массы *M* на угол, который представляет собой угловое отклонение исследуемого сечения вала относительно его нормального положения. Эти относительные угловые отклонения превращаются, при помощи двух коленчатых рычажков сперва в радиальные, а затем в аксиальные перемещения и передаются на записывающий рычажок при помощи иглы, проходящей в отверстии полого валика.

Аппарат устанавливается на специальных салазках, обеспечивающих возможность продольного перемещения. Расстояние между осью шкива и осью испытуемого вала регулируется при помощи натяжных болтов. На фиг. 11 изображен общий вид торсиографа.



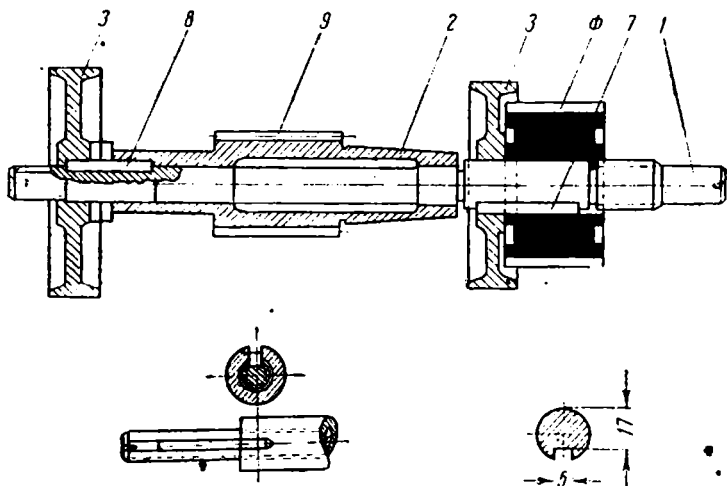
Фиг. 11. Торсиограф Гайгера. Общий вид.

Приемник торсиографа состоит из точного часового механизма, передвигающего бумажную ленту, на которой пишущий рычажок записывает колебания. Скорость ленты изменяется в пределах 0,2--1 и 2--10 м/мин перестановкой рукоятки. На ленте под торсиограммой наносятся отметки времени при помощи специального электромагнитного отметчика. Отметчик представляет собой грузик, укрепленный на упругой пластинке. Один раз в течение оборота шкива грузик притягивается электромагнитом и прочерчивает на бумажной ленте кривую собственных колебаний. Отметчик тарирован на 3000 колебаний в минуту. Добавочным грузиком можно понизить колебания отметчика до 1500 в минуту.

Для проведения силовых испытаний был изготовлен специальный резьбофрезерный шпиндель (фиг. 12). На валике 1 сидит резьбовая фреза Φ , связанная с ним шпонкой 7. На этот же валик свободно насажен полый шпиндель 2, конец его жестко скреплен с валиком 1. На обоих концах валика сидят шкивки 3 одинакового диаметра. Вся эта конструкция монтируется в резьбофрезерной головке станка Wanderer GFV-500.

Запись усилий и крутящих моментов на ленте торсиографа производилась следующим образом. Крутящий момент от ста-

ночного мотора передается через кинематическую цепь станка на спиральную шестерню 9 полового шпинделя (фиг. 12), через посредство шпонки 8 и резьбофрезерного валика 1—на резьбовую фрезу и через шкивки 3 при помощи бесконечной ленты — на шкивы двух торсиографов. Во время работы валик 1 закручи-



Фиг. 12. Продольный разрез специального резьбофрезерного шпинделя для исследования усилий резьбофрезерования.

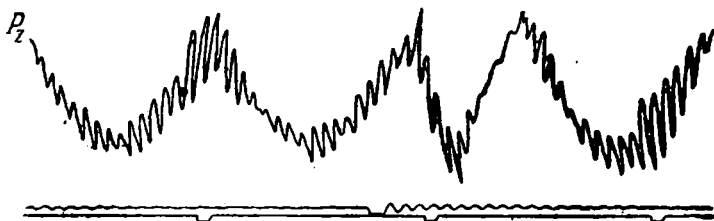
вается усилием $P_z = \frac{2M_{кр}}{D_\phi}$. При данной величине D_ϕ усилие P_z зависит от различных факторов, главным из которых является сечение стружки q . Пропорционально усилию P_z изменяется и угол закручивания валика $\varphi = \frac{P_z D_\phi l}{IG}$. Изменение угла φ фиксируется торсиографом.

Помещенные ниже торсиограммы (фиг. 13, 14, 15) представляют усилия P_z при обработке различных материалов. Нарезались изделия из материалов Х2Н и У4 фрезой с шагом 1,5 мм.

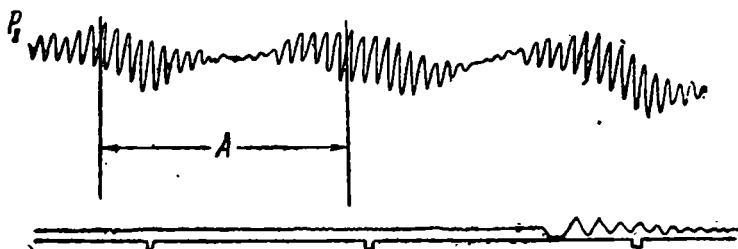
На фиг. 16 изображена схема установки для записи усилий P_z . Зная число зубьев фрезы ($z = 20$), мы можем на торсиограмме проследить работу каждого зубца в отдельности. На фиг. 13, 14 и 15 видно, как колеблется усилие P_z от 0 до тах при врезании в изделие каждого зубца в отдельности. Видно, как увеличиваются усилия P_z с повышением твердости и крепости обрабатываемых материалов.

На всех рисунках заметны характерные моменты полного выключения фрезы из работы в продолжение одного оборота ее. Это свидетельствует о биении фрезы и, как увидим ниже, подтверждается показаниями других приборов.

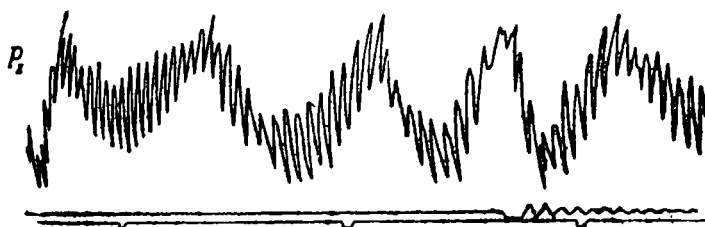
Торсиограммы, изображенные на фиг. 13, 14 и 15, были записаны торсиографом при помощи описанного выше специального резьбофрезерного шпинделя. Работа производилась на следующих режимах: скорость резания $v = 19,6$ м/мин; подача на 1 зуб $s_z = 0,011$ мм; подача смазочно-охлаждающей жидкости (осерненное масло) 3 л/мин.



Фиг. 13. Торсиограмма резания. Сталь У4 . .



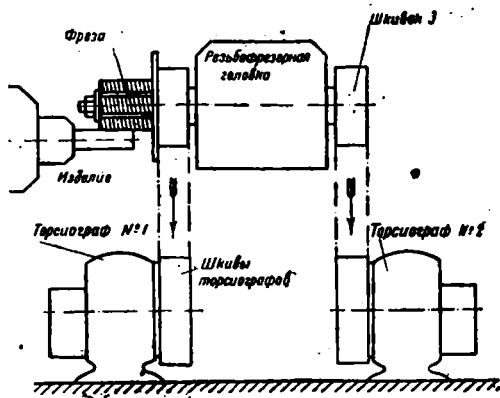
Фиг. 14. Торсиограмма резания. Сталь X2H (без термообработки).



Фиг. 15. Торсиограмма резания. Сталь X2H (термообработанная до твердости $R_C = 26 \div 33$).

Усилия P_z записаны на оси ординат. Внизу по оси абсцис прочерчены отметчиком торсиографа кривые времени. Каждый гребешок волны на оси абсцис соответствует $\frac{1}{50}$ сек. На самой нижней линии по оси абсцис видны впадинки, повторяющиеся

через равные промежутки. Расстояние между двумя впадинами соответствует одному обороту фрезы.



Фиг. 16. Схема установки торсиографов для исследования усилий, возникающих при резбозерезовании.

На торсиограмме фиг. 14 показан отрезок А, соответствующий работе фрезы за один ее оборот. Хорошо виден момент падения усилия P_z , вызванный мгновенным выключением из работы фрезы в результате биения.

ГЛАВА II

РЕЗЬБОВЫЕ ФРЕЗЫ

ТИПЫ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Применяемые на практике резьбовые фрезы при всем многообразии их конструктивных форм и назначения можно разделить на два основных типа:

1. Гребенчатые или групповые цилиндрические фрезы с кольцевыми витками (фиг. 17—22).
2. Резьбовые дисковые фрезы (фиг. 23 и 24).

Чаще всего применяются гребенчатые фрезы, служащие для нарезания коротких наружных и внутренних резьб. Гребенчатые резьбовые фрезы закрепляются на шпинделях резбозерезерных головок станков различными способами. Резьбовые фрезы для нарезания коротких нарезок (в пределах 25—30 мм) укрепляются на шпинделе консольно. Конец фрезерного шпинделя, на который насаживается фреза, имеет гладкую шейку, переходящую в короткий нарезной стержень. Диаметр шейки равен диаметру посадочного отверстия фрезы, а длина ее немного меньше толщины (или длины) фрезы. В шейку шпинделя врезана шпонка.



Фиг. 17. Цилиндрическая групповая резьбовая фреза для коротких нарезок.



Фиг. 18. Цилиндрическая групповая резьбовая фреза со спиральными канавками для длинных нарезок.



Фиг. 19. Цилиндрическая групповая резьбовая фреза для внутренней резьбы.



Фиг. 20. Коническая групповая резьбовая фреза для нарезания конических резьб.



Фиг. 21. Групповая цилиндрическая резьбовая фреза для нарезания прямоугольной резьбы.

Фреза укрепляется на шейке шпинделя при помощи гайки, навинчиваемой на резьбовой хвостик шпинделя. Резьбофрезерные шпиндели, применяемые для нарезания длинных нарезок, имеют удлиненные шейки и оканчиваются гладким коротким стержнем, который входит в отверстие специального кронштейна, привинчиваемого к головке резьбофрезерного шпинделя. Это устройство предупреждает прогиб конца шпинделя с насаженной на него фрезой при нарезании длинных резьб.

Резьбовые фрезы для нарезания внутренних резьб на малых диаметрах из условия прочности делаются цельными с коническими хвостовиками (фиг. 19). Резьбофрезерный шпиндель имеет



Фиг. 22. Групповая цилиндрическая фреза для коротких внутренних нарезок и одновременной обработки выточек.



Фиг. 23. Дисковая резьбовая фреза для трапециoidalной резьбы.



Фиг. 24. Дисковая резьбовая фреза для остроугольной резьбы.

сквозное коническое отверстие. В коническом хвостовике резьбовой фрезы имеется с торца глухое отверстие с резьбой. Резьбовая фреза вставляется в шпиндель и в него с другой стороны пропускается нарезной стержень. Ввинчивая этот стержень в резьбу хвостовика, затягивают фрезу в шпинделе станка. При нарезании длинных резьб фрезами небольших диаметров фрезы делаются цельными и снабжаются коническими хвостовиками и цапфой впереди для поддержки в кронштейне (фиг. 21).

На фиг. 22 изображена фреза для внутренней резьбы, употребляемая на планетарных резьбофрезерных станках. Непрофилированная секция фрезы служит для фрезерования гладких поясков одновременно с нарезанием резьбы.

Для того чтобы сохранить форму резьбового профиля при многократных переточках, которым фреза подвергается в процессе работы, резьбовые цилиндрические фрезы всегда делаются с затылованным зубом.

Фасонные дисковые фрезы употребляются для нарезания длинных резьб, как например ходовых винтов для токарных станков. Резьбы подобного типа отличаются от обычных метрических и дюймовых крепежных резьб крупным шагом, большим углом подъема винтовой линии резьбы и значительной глубиной. Ввиду этого при нарезании точных трапециoidalных и прямоугольных резьб фрезерование является только предварительной обработ-

кой. Окончательно резьбы этого типа обрабатываются резьбовыми резцами на токарных станках.

Крепление дисковых резьбовых фрез на шпинделях станков обычно консольное. При фрезеровании фреза устанавливается под углом к изделию в соответствии с углом подъема винтовой линии резьбы. Форма зубьев фрез должна соответствовать профилю нарезаемой резьбы.

РЕЗЬБОВЫЕ ФРЕЗЫ СО ВСТАВНЫМИ РЕЖУЩИМИ ЗУБЬЯМИ

На фиг. 25 и 26 изображена фреза со вставными режущими зубьями, сконструированная и изготовленная по проекту автора в процессе проведения исследований.

Корпус фрезы 4 имеет вид барабана с прорезанными в нем 16 канавками прямоугольной формы. В эти канавки вставляются режущие гребенки 2, которые закрепляются шпильками. Гребенки сделаны заподлицо с торцевой поверхностью барабана. На барабане выточены центрирующие пояски, на которые надеваются прижимные кольца 3, после чего вся конструкция затягивается с двух сторон гайками 1.

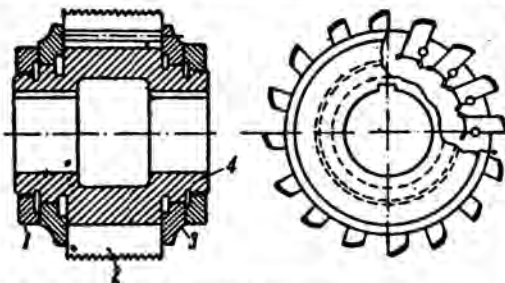


Фиг. 25. Резьбовая цилиндрическая фреза со вставными зубьями.

Составная фреза отличается значительными преимуществами перед целыми фрезами.

При термообработке цельных фрез часто встречается дефект, заключающийся в обезуглероживании поверхности резьбового профиля и перегреве

или недогреве режущих зубьев. Равномерная температурная проработка всего массива фрезы чрезвычайно трудна и в условиях массового производства иногда неосуществима. При исследовании микроструктуры резьбовых фрез очень часто обнаруживается распад



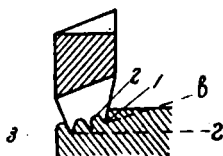
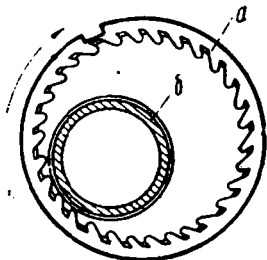
Фиг. 26. Разрез резьбовой фрезы со вставными зубьями.

вторичного мартенсита в режущей части и частичный переход его в троостит.

Закалка вставных режущих гребенок, представляющих собой простые геометрические тела, не представляет трудностей.

При износе режущих гребенок цельная фреза выходит из строя и материал корпуса остается неиспользованным. Корпус составной фрезы служит постоянно; сменяются только режущие зубья, изготовленные из дорогой вольфрамо-ванадиевой стали.

Производство резьбовых фрез облегчается. Заготовка резьбовых гребенок занимает относительно немного времени, а барабаны и прочие детали могут быть изготовлены заблаговременно в достаточном количестве.



Фиг. 27. Поперечный разрез полый резьбовой фрезы.

ПОЛЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ НАРУЖНОЙ РЕЗЬБЫ НА ПЛАНЕТАРНЫХ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

На фиг. 27 изображена фреза, представляющая собой полый цилиндр с режущими зубьями на внутренней поверхности. Условия зацепления такой фрезы с изделием значительно лучше, чем у обычных фрез, вследствие большего угла контакта фрезы с изделием.

Обрабатываемое изделие (б) расположено эксцентрично относительно окружности фрезы. Фреза вращается в направлении, указанном стрелкой, и перемещается в осевом направлении. Каждый зубец фрезы в поперечном направлении имеет три режущие кромки 1, 2, 3, расположенные по прямой а, наклонной к горизонталу г. Таким образом зуб при вращении и одновременном осевом перемещении фрезы сначала выбирает материал кромкой 1 на небольшой глубине, затем кромкой 2 более глубоко и наконец кромкой 3 до полной глубины резьбы.

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ¹

Размер наружного диаметра фрезы определяется по формуле

$$D = d + 2m + 2H,$$

где D — наружный диаметр фрезы;

d — диаметр отверстия;

m — толщина тела фрезы от окружности отверстия до окружности впадин;

H — высота зубьев.

Толщину тела m рекомендуется брать в пределах $(0,3 \div 0,4)d$.

Высота зуба H определяется по формуле

$$H = t + k + r,$$

¹ По данным проф. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. 2-й.

где t — высота профиля резьбы;
 k — величина затылования;
 r — радиус закругления впадины зуба ($r = 2,5 \div 4$ мм).

$$k = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — угол затылования ($\alpha = 8 \div 12^\circ$);
 z — число гребенок.

Величину H рекомендуется выбирать не меньше 5—6 мм.
 При внутреннем фрезеровании резьбы наружный диаметр фрезы берется равным $0,5 \div 0,75$ диаметра фрезеруемой резьбы.

Длина фрезы

Длина фрезы является функцией длины нарезаемой резьбы. Фреза всегда должна быть длиннее нарезаемой резьбы на 2—3 витка.

В качестве стандартных приняты длины от 15 до 100 мм через каждые 5 мм.

Диаметр отверстия

Диаметр отверстия выбирается в зависимости от диаметра шейки шпинделя или оправки, на которую насаживается фреза.

Соотношения внешних и внутренних диаметров, рекомендуемые проф. И. И. Семенченко, следующие:

D мм = 45	55	65	70
d мм = 16	22	27	32

Отверстия фрезы имеют внутренние выточки для облегчения шлифовки.

Число режущих гребенок

В первом разделе мы показали целесообразность максимального увеличения числа режущих гребенок фрезы в процессе резания. Вопрос о числе режущих гребенок решается путем подбора.

Сначала определяют внешний и внутренний диаметры резьбовой фрезы. Затем определяют минимальную толщину режущей гребенки. При определении толщины режущей гребенки необходимо принять во внимание прочность гребенки и условия переточки. Тела режущей гребенки должно хватить на 10—12 переточек фрезы, считая, что при каждой переточке снимается слой металла толщиной $0,20 \div 0,25$ мм.

Проф. И. И. Семенченко рекомендует следующие соотношения диаметров резьбовых фрез и чисел зубьев для фрез с прямыми и спиральными режущими гребенками для наружного и внутреннего фрезерования.

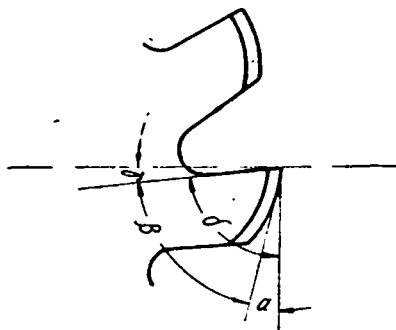
Для облегчения условий работы фрезы, увеличения плавности и равномерности фрезерования режущие гребенки располагают по спирали. Практический эффект от этого одного невелик, так как угол подъема спирали без искажения профиля резьбы нельзя выбрать больше 5—8°. Некоторое улучшение работы наблюдается вследствие увеличения плавности входа и выхода режущих гре-

Диаметр фрезы мм	15	20	25	35	40	45	55	65	70
Число зубьев	6	7	8	10	10	12—14	14—16	14—18	16—20

бенок благодаря их спиральной форме. Таким образом неравномерность фрезерования при работе резцовых фрез есть органический дефект, вытекающий из геометрии и кинематики пары фреза — изделие. Добиваться уменьшения влияния этого дефекта на качество продукции надо главным образом при помощи правильного выбора рабочих режимов.

ГЕОМЕТРИЯ РЕЖУЩИХ ЗУБЬЕВ

Геометрия режущих зубьев резцовой фрезы определяется условиями прочности зуба, нормальной стойкости между переточками и сохранения правильности резьбового профиля.



Фиг. 28.

Главные углы режущего зуба показаны на фиг. 28.

Здесь γ — передний угол, δ — угол резания, α — задний угол, β — угол заострения.

Передний угол γ часто делают равным нулю, опасаясь искажения резьбового профиля зуба. Расчет показывает, что при угле $\gamma = 5^\circ$ угол профиля искажается всего лишь на $27'$, тогда

как допуск на неточность половинного угла профиля составляет $\pm 30'$. Проверка под резьбовым компаратором большого числа изделий, нарезанных резьбовыми фрезами с $\gamma = 3-5^\circ$, показала, что такая величина угла γ практически не вызывает искажения профиля. В то же время увеличение угла γ благоприятно сказывается на условиях работы фрезы, повышая ее стойкость и плавность работы, и улучшает качество резьбы.

Угол α выбирается в пределах $8-12^\circ$, в зависимости от вязкости обрабатываемого материала. С увеличением вязкости необходимо увеличивать угол α .

Углы β и δ являются функциями углов γ и α .

ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Основные этапы изготовления резьбовых фрез следующие:

1. Затылование по зубу (профилирование).
2. Термическая обработка.
3. Шлифование отверстия.
4. Шлифование резьбового профиля.

После того как из прутка вытачивается заготовка, в ней просверливается и растачивается отверстие. Затем заготовка поступает на фрезерный станок и в ней фасонной дисковой фрезой прорезаются канавки. Этим заканчивается первая стадия механической обработки фрезы. После нее фреза направляется в термический цех, где подвергается нормализации с целью уменьшения внутренних напряжений, возникших от предшествовавшей механической обработки. Затылование режущих гребенок по диаметру выполняется на токарно-затыловочных станках проходными широкими резцами из быстрорежущей стали при продольной подаче. Можно эту же операцию производить на горизонтально-фрезерном станке при помощи фасонной дисковой фрезы.

Затылование по профилю, или профилирование, производится за два приема на токарно-затыловочном станке. Эта операция может быть осуществлена профильными резцами или гребенками, которые устанавливаются на супорте станка в специальном приспособлении.

На фиг. 29 изображена такая гребенка и приспособление для профилирования цилиндрической резьбовой фрезы. Ширина гребенки несколько больше ширины заготовки. Режущая грань гребенки затачивается без переднего угла γ . Задний угол обычно равен около 20° . Для того чтобы не получить конусности фрезы и несимметричности профиля, необходимо обеспечить перпендикулярность резьбовых витков к передней грани гребенки и правильную установку режущей кромки гребенки относительно заготовки. Средняя линия профиля гребенки должна быть параллельна оси профилируемой фрезы. Для фрез со спиральными канавками применяется несколько иной метод затылования — затылование по шагу. Сущность этого метода заключается в следующем¹. Супорт токарно-затыловочного станка

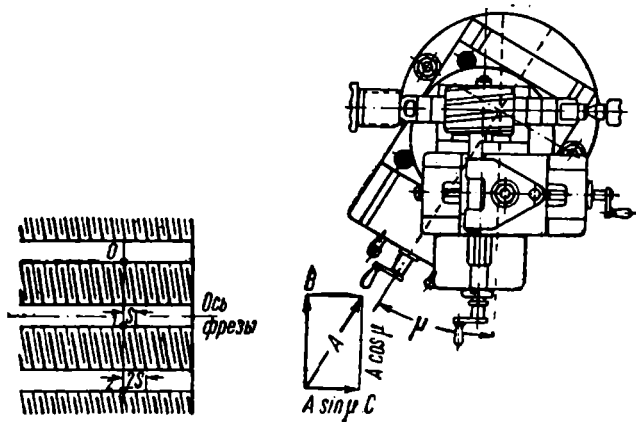


Фиг. 29. Гребенка и приспособление для затылования резьбовых фрез по профилю.

¹ Проф. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. 2-й.

с установленной на нем гребенкой перемещается в осевом направлении при помощи ходового винта. Перемещение супорта на шаг резьбы точно соответствует повороту затылуемой фрезы на зуб. Таким образом после затылования каждого зуба супорт перемещается вдоль заготовки на один шаг.

Обозначим $t_{х.в}$ — шаг ходового винта, t_p — шаг нарезаемых витков, z — число режущих зубьев фрезы. За один оборот фрезы гребенка, установленная на супорте, перемещается на величину $t_{х.в} = t_p z$. При повороте на один зуб гребенка перемещается на величину шага t_p . Следовательно, виток каждого последующего зуба должен быть смещен на величину t_p относительно предыдущего зуба (фиг. 30) и таким образом все режущие витки (точки 0, 1, 2 на фиг. 30) будут начинаться в различных плоскостях, перпендикулярных к оси фрезы.



Фиг. 30.

Число витков на гребенке должно быть не меньше z , а длина гребенки не меньше $t_p z$. При таком перемещении супорта и при затыловании, направленном по радиусу, на заготовке будут получаться не кольцевые витки, а винтовые с шагом $t_{х.в}$. Чтобы получить кольцевые витки, надо изменить направление затылования и тем самым компенсировать осевое перемещение гребенки. Для этой цели супорт устанавливается под углом μ (фиг. 30), который определяется следующим путем.

Величина затылования A может быть разложена по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Для того чтобы направить угол винтовой линии затылования, надо, чтобы осевая составляющая C была направлена в сторону, противоположную осевому перемещению супорта. Кроме того, необходимо, чтобы величина C и подача супорта на шаг витка t_p были бы равны

друг другу и противоположны по знаку:

$$C = A \sin \mu = t_p.$$

Другая составляющая B , лежащая в радиальной плоскости, является той величиной затылования α , которая задана по расчёту при данном угле затылования:

$$B = A \cos \mu = k = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Решая совместно эти два уравнения, получаем формулу для определения угла поворота супорта

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{t_p}{k} = \frac{t_p z}{\pi D \operatorname{tg} \alpha} = \frac{t_{п.в}}{\pi D \operatorname{tg} \alpha}.$$

Пример. Определить угол поворота супорта μ при затыловании фрезы, если $D = 50$ мм, $\alpha = 10^\circ$, $z = 12$, $t_p = 2$ мм.

Теоретическая величина затылования

$$k = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 0,176}{12} = 2,3 \text{ мм.}$$

Угол поворота супорта

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{t_p}{k} = \frac{2}{2,3} = 0,870;$$
$$\mu = 41^\circ.$$

Действительная величина затылования

$$A = \frac{t_p}{\sin \mu} = \frac{2}{0,656} = 3,1 \text{ мм.}$$

Так как эксцентрики для затылования обычно делаются с увеличением эксцентриситета через 0,5 мм, то полученную величину следует округлить до 3 мм.

При обратном пересчете получим

$$\mu = 41^\circ 45'; \quad k = 2,24 \text{ мм}; \quad \alpha = 9^\circ 45'.$$

Большую роль при затыловании резб играют режимы затылования, так как от них в большой степени зависит качество резбовой поверхности фрезы, особенно в тех случаях, когда эта поверхность после не шлифуется. При выборе режимов затылования не следует добиваться самых больших скоростей и подач, а найти такие сочетания их, которые обеспечивают получение высококачественной поверхности в минимальный промежуток времени. В табл. 9 приведены данные лаборатории резания завода им. Павлова по режимам затылования при работе на станках Рейнекер и Шютте.

Предварительную затыловку выгодно для ускорения производить сухую, а окончательную—со смазкой. Хорошая поверхность получается при употреблении смеси вареного масла и скипидара (6: 4 в объемных долях).

Процесс закалки резьбовых фрез, изготовленных из быстрорежущей стали, состоит в следующем. Заготовку предварительно подогревают до 400° в течение 60—80 мин. Затем подогревают до 800° в течение 30—40 мин. После этого её погружают в электросоляную ванну, где она нагревается до $1280—1300^{\circ}$ в течение 3—5 мин. Охлаждают заготовку сначала в селитренной ванне (KNO_3) при температуре 400° , затем на воздухе. Нагрев для отпуска производится до температуры $560—580^{\circ}$. Охлаждение на воздухе. Конечная цель термической обработки — получение твердости режущих гребенок в пределах $R_C = 61 + 63$. Наиболее частые и серьезные дефекты при термической обработке заключаются в обезуглероживании режущих кромок и оплавлении их вследствие высокой температуры закалки. При исследовании ряда резьбовых фрез оказалось, что обезуглероживание происходит на глубину от 0,01 до 0,07 мм.



Фиг. 31. Микршлиф обезуглероженной поверхности.



Фиг. 32. Микршлиф цианированной поверхности.

Фиг. 31 представляет микроструктуру обезуглероженной части режущей кромки фрезы. Для устранения этого дефекта, а также для повышения стойкости резьбовые фрезы подвергаются цианированию, т. е. насыщению обезуглероженной поверхности цианом в ванне из хлористых солей циана при температуре $540—550^{\circ}$. В результате цианирования твердость режущей кромки фрезы повышается до $R_C = 63$. На рис. 32 показан вид обезуглероженной поверхности после цианирования.

В табл. 10 и 11 приведены результаты исследований стойкости резьбовых фрез из быстрорежущей стали РФ при различных режимах цианирования¹.

На табл. 10 приведена зависимость между временем выдержки в цианистой ванне и твердостью изделия. Наилучшие результаты показали фрезы № 3 и 4, выдержанные в цианистой ванне в течение 20—25 мин. Эти фрезы нарезали без переточки 40—45 дета-

¹ Инж. Ф. Ф. Ткаченко, Опыт цианирования резьбовых фрез из быстрорежущей стали РФ-1, „Авиапромышленность“, № 7, 1939 г.

лей из стали ХМА-3, тогда как после нормальной термической обработки фрезы нарезают обычно по 16—18 деталей. В табл. 11 приведены режимы цианирования. Наиболее выгодным режимом можно считать выдержку в ванне из цианистого калия в течение 25 мин. с предварительным подогревом при температуре 550°.

Таблица 10

№ фрез	Твердость до цианирования R_C	Температура подогрева °C	Температура ванны при цианировании °C	Время выдержки в цианистой ванне, мин.	Твердость после цианирования R_C	Время выдержки при подогреве, мин.
1	63	550	550	10	64	20
2	62,5	550	550	15	63	20
3	62	550	550	20	63	20
4	63	550	550	25	64	20

Таблица 11

№ фрез	Время выдержки в циановой ванне, мин.							
	1	2	3	4	5	8	9	
	10	15	20	25	30			
$v = 21,9$ м/мин $s_z = 0,042$ мм	За 1 проход	18	20	23	26	20	10	10
	За 2 прохода	32	43	45	50	47	18	18
$v = 29$ м/мин $s_z = 0,08$ мм	За 1 проход	—	—	—	—	—	—	—
	За 2 прохода	—	—	12	23	—	—	—
$v = 29$ м/мин $s_z = 0,05$ мм	За 1 проход	—	—	—	—	—	—	—
	За 2 прохода	—	—	37	49	—	—	—
$v = 29$ м/мин $s_z = 0,06$ мм	Число профрезерованных деталей	За 1 проход	—	—	—	—	—	—
		За 2 прохода	—	—	37	49	—	—
$v = 33$ м/мин $s_z = 0,06$ мм		За 1 проход	—	—	—	—	—	—
		За 2 прохода	—	—	6	14	—	—
$v = 33$ м/мин $s_z = 0,07$ мм		За 1 проход	—	—	—	—	—	—
		За 2 прохода	—	—	4	9	—	—

Примечание. Во всех случаях степень притупления была 0,25.

Для повышения стойкости и износоупорности режущих гребенок резьбовые фрезы, прошедшие нормальную термическую обработку (закалку и отпуск), подвергаются также азотизации, заключающейся в насыщении поверхности режущих гребенок фрезы азотом.

Азотизация производится после окончания всей обработки фрезы, включая шлифование и заточку. Азотизации могут подвергаться только фрезы, изготовленные из быстрорежущей стали, ввиду того, что этот процесс протекает при сравнительно высокой температуре ($560-575^\circ$), что в случае фрез, изготовленных не из быстрорежущей стали, привело бы к сильному отпуску. Состав ванн для нитрирования при температуре в пределах $560-575^\circ$ по рецепту ГАЗ им. Молотова следующий:

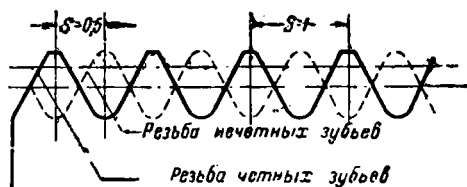
NaCN 96—98%	NaCO ₃ 2,0—3%
NaCNO 0,25—0,75%	NaOH 0,1—0,4%

Применение более высокой температуры нежелательно, так как это отрицательно влияет на микроструктуру металла заготовки.

После термической обработки шлифуется отверстие фрезы. Операция эта сама по себе не сложная, но требует весьма тщательного выполнения. От точности изготовления отверстия зависит правильность посадки фрезы на шпинделе или на оправке во время работы. Часто кроме шлифования отверстия его еще окончательно доводят до требуемого размера растриркой при помощи чугунного притира с наждачным порошком и маслом.

Для изготовления ответственных резьб применяют фрезы со шлифованным профилем. Профиль таких фрез может быть выполнен также на токарно-затыловочном станке, но при этом на супорте станка вместо гребенки устанавливается специальная шлифовальная головка с кругом, профилированным по профилю нарезаемой резьбы. Наиболее совершенный способ изготовления фрез со шлифованным профилем заключается в шлифовке без предварительного нарезания витков на станке. Заготовку в этом случае затылуют по диаметру, затем подвергают термообработке, закалке и отпуску, после чего на ней нарезают витки широким шлифовальным кругом, который имеет по всей ширине своей рабочей поверхности профилированные кольцевые витки. Так как шлифование профиля у фрез с малым шагом очень кропотливо и требует частой правки круга, то для устранения этого фрезы изготовляют с укрупненным шагом; витки на такой фрезе расположены в шахматном порядке.

На рис. 33 показано такое расположение зубьев у фрезы. Для получения на изделиях шага $0,5$ мм фреза изготавливается с шагом, равным 1 мм, т. е. в два раза большим. Благодаря шахматному расположению витки всех нечетных зубьев сдвинуты относительно витков четных зубьев на $0,5$ мм, т. е. на величину шага.



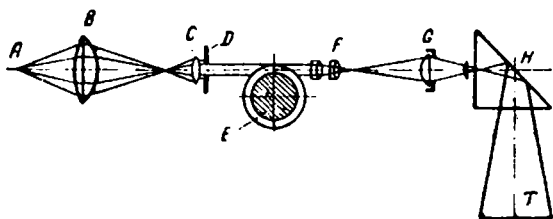
Фиг. 33.

Эти фрезы затылуются так же, как нормальные, но так как шлифовальный круг при затыловании должен переходить через зуб, то величину затылования увеличивают в два раза, а число затылований уменьшают в два раза.

КОНТРОЛЬ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

При фрезеровании резьбы профиль фрезы копируется на нарезаемом изделии. Все дефекты этого профиля отражаются на нарезаемой резьбе. Поэтому контроль фрез имеет очень большое значение.

В табл. 12 приведены результаты контрольных измерений нормальных цилиндрических резьбовых фрез с нешлифованным профилем, изготовленных на одном из наших крупных машиностроительных заводов.



Фиг. 34.

Профиль резьбы определяется углом при вершине. Допуск обычно дается на половину угла профиля, причем величина этого допуска зависит от точности деталей, которые предполагается изготовлять данной фрезой. Так например, у фрез со шлифованным профилем, предназначенных для производства инструмента (например, метчиков), допуск по профилю выбирается равным около 1,5 допуска на половину угла профиля, установленного по ОСТ 1270 для калибров II класса точности.

Для метрических резьб допуск на половину угла профиля берется обычно $\pm 30'$.

Допуск по шагу имеет также важное значение. У фрез со шлифованным профилем обычно он устанавливается в пределах 0,01—0,015 мм на длине 10 мм.

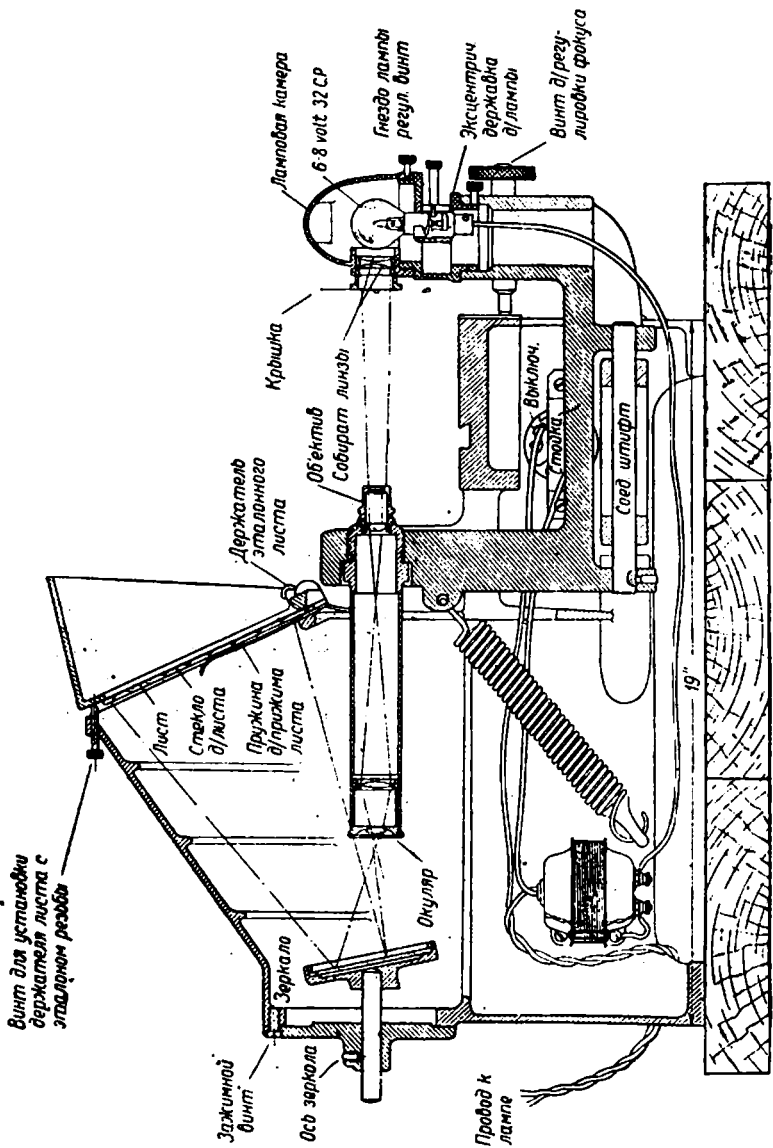
Большое значение для качества нарезаемой резьбы имеет осевое биение фрезы, которое мешает правильной установке фрезы во время работы.

Контроль резьбовых фрез осуществляется при помощи универсальных компараторов типа Цейсс или Джонс-Лэмсон. Компаратор Джонс-Лэмсон благодаря сравнительной простоте конструкции и удобству пользования получил в последнее время широкое распространение на машиностроительных заводах. Принципиальная схема этого аппарата изображена на фиг. 34.

Контрольные замеры резьбовых фрез

№ фрез	Углы режущих кромок		Внутренний диаметр фрезы	Бенное наружного диаметра	Растяжение шага на 20 ниток	Ошибки угла профиля, мин.	Конусность режущих гребенок по радиусу	Пригупление профиля	Освое бенные фрезы
	передний	задний							
13	3°	12°	27 ^{+0,02}	0,05	+0,001	профиля нет	0,065	нормальное	0,07
14	3°	12°	27 ^{+0,04}	0,05	+0,0004	*	0,05	*	0,04
19	3°	12°	27 ^{+0,02}	0,05	-0,002	*	0,03	*	0,08
21	3°	12°	27 ^{+0,02}	0,05	+0,000	*	0,06	*	0,08
24	3°	12°	27 ^{+0,01}	0,05	-0,03	-35	0,06	*	0,04
26	3°	12°	27 ^{+0,04}	0,05	+0,001	профиля нет	0,04	соответствующее шагу 1	0,04
27	3°	12°	27 ^{+0,02}	0,05	+0,003	*	нет	нормальное	0,03
28	3°	12°	27 ^{+0,05}	0,05	+0,0003	*	0,02	*	0,03
29	3°	12°	27 ^{+0,045}	0,05	+0,0005	*	0,02	*	0,05
4	3°	12°	27 ^{+0,04}	0,05	+0,0001	-15	0,06	*	0,02
3	3°	12°	27 ^{+0,02}	0,05	+0,005	+40	нет	соответствующее шагу 1,25	0,01
8	3°	12°	27 ^{+0,02}	0,05	+0,001	-50	0,04	—	0,04

Примечание. Размеры в мм (за исключением особо оговоренных случаев).



Фиг. 35. Устройство компаратора Джонс-Лэмсон.

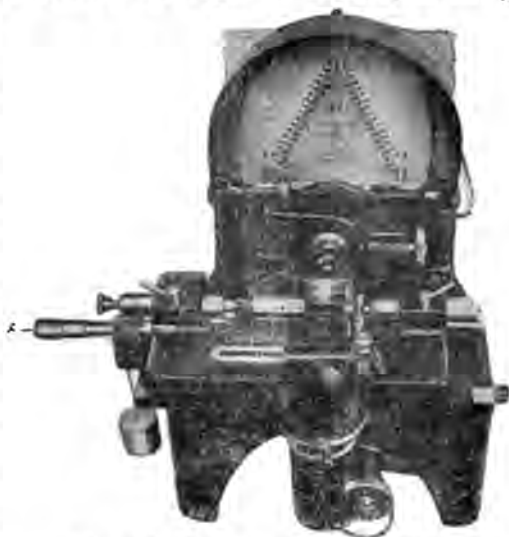
Исходящие из светового источника *A* и собираемые конденсатором *B* лучи проходят через линзу *C* и диафрагму *D* мимо резьбы *E*. Проекционный микроскоп *FG* посредством призмы *H* отклоняет лучи на 90° и отбрасывает изображение резьбы на экран *T*. Для увеличений от 20 до 500 раз в качестве источника света обычно применяется лампа накаливания 6—8 вольт. Эти компараторы дают возможность получить необходимое увеличение предмета на очень небольшом расстоянии от него. На фиг. 35 изображено устройство компаратора Джонс-Лэмсон.

Экран представляет собой лист картона, на котором вычерчены контуры резьбы определенного профиля и в определенном масштабе в пределах, заданных допусками на резьбу. Границы, определяемые допусками, отмечены толстыми, короткими штрихами, расположенными перпендикулярно к профилю резьбы. Контур правильно изготовленной резьбы должен находиться между верхним и нижним контурами шаблона.

Степень увеличения проектируемой на экран резьбы не должна быть слишком большой,

так как при увеличении изображения контуры его становятся менее резкими. Проф. Берндт считает, что предел точности измерений, достигаемый при проекционном способе, теоретически не более 5 μ . Учитывая ошибки, происходящие от несовпадения оси резьбы с линией центров и от других причин, можно считать, что суммарная практическая точность по линейным размерам равна 0,01—0,02 мм, для углов она составляет приблизительно $\pm 30'$.

При измерении резьбовую фрезу (фиг. 36) насаживают на оправку и помещают между центрами прибора, закрепленными на его салазках. К станине прибора прикреплен микрометр *A*, упирающийся своим торцом в каретку. Каретку можно перемещать вдоль станины прибора. Грузик, связанный с ней, всегда отводит ее до упора в торец микрометрического винта. Для проверки шага необходимо повернуть микрометр на величину,



Фиг. 36. Компаратор Джонс-Лэмсон.

равную величине шага. Микрометр, упираясь в каретку, перемещает ее на эту же величину. Если шаг правилен, то профиль очерченного зуба полностью совпадает с профилем шаблона. Можно таким же путем проверить ошибки шага на определенной дистанции, например на длине 1". Кроме непосредственной проверки самой фрезы измерению подвергаются еще изготовленные ею несколько образцов деталей. Фреза признается годной, если в обоих случаях измерения дают удовлетворительный результат.

ЗАТОЧКА РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

Заточка имеет большое влияние на работу резьбовой фрезы. В нормальных производственных условиях фреза подвергается переточкам не менее 10—12 раз. При установившемся рабочем



Фиг. 37. Заточка резьбовой фрезы на универсально-заточном станке.

режиме фрезы ее работу и экономичность характеризует число деталей, изготовленных ею до полного износа. При заточке удаляется слой металла толщиной, равной ширине затупления кончиков зубьев.

На фиг. 37 показана заточка фрез на универсально-заточном станке. При удалении испорченного слоя металла

необходимо соблюдать осторожность. Грубое и быстрое сошлифовывание при большой подаче и большой толщине слоя металла, снимаемого шлифовальным кругом за один проход, значительно снижает режущие свойства фрезы. Качество заточки определяется выбором шлифовального круга и режима заточки. Основной характеристикой круга является зернистость и твердость. Зернистость круга характеризуется числом, соответствующим числу отверстий, приходящемуся на 1 погонный дюйм сита, через которое эти зерна проходят при просеивании. В табл. 13 приведены данные о величинах зерен различных номеров.

Твердость круга есть свойство связки его зерен удерживать с большей или меньшей силой шлифующие зерна в теле круга. При затуплении зерен усилие резания возрастает; это усилие вырывает зерна из круга. Необходимо подобрать круг с такой связкой, которая давала бы возможность зернам держаться до нормального затупления. В то же время связка должна быть достаточно прочной, чтобы круг не разорвался под действием центробежных сил, возникающих во время работы. Чем тверже шлифуемый металл, тем мягче должна быть связка, и наоборот.

Размер шлифующих зерен

Номер зернистости	10	12	16	20	24	36	46	60	80	100	120	150	200
Размер (мм) от	1,68	1,19	0,84	0,71	0,5	0,35	0,25	0,177	0,149	0,125	0,088	0,074	0,062
» до	2,0	1,68	1,19	0,84	0,71	0,5	0,35	0,25	0,177	0,149	0,125	0,088	0,074

Обозначения твердостей шлифовальных и точильных кругов

Название завода	Чрезвычайно мягкие	Весьма мягкие	Мягкие	Средние мягкие	Средние	Средние твердые	Весьма твердые	Чрезвычайно твердые
Завод им. Ильича	4 М	ВМ ₁ ВМ ₂	М ₁ М ₂ М ₃	СМ ₁ СМ ₂	С ₁ С ₂	СТ ₁ СТ ₂ СТ ₃	Т ₁ Т ₂	4Т ₁ У
Нортона	—	FG	НIJ	KL	MN	OPQ	RS	4Т ₁ W

В табл. 14 приводятся обозначения твердости кругов завода им. Ильича и фирмы Нортон.

Формы кругов, применяющиеся при заточке фрез, показаны на фиг. 38 и 39. В табл. 15 и 16 приведены основные стандартные размеры кругов.

Таблица 15

Круги для заточки фрез с затылованным зубом (ОСТ 2622)
Форма А (фиг. 38)

D	H	a	d	D_1
75	5	1	13	30
100	6	1,5	20	50
125	7	2	20	68
150	8	2	20	82
175	10	3	20	95
200	12	3	20	98
250	14	3	32	125

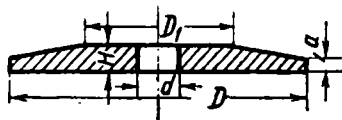
Таблица 16

Форма В (фиг. 39)

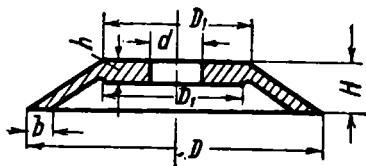
D	H	b	h	a	d	D_1
75	8	4	6	2	13	28
100	12	6	8	3	20	35
125	14	6	9	3	20	40
150	15	7	10	3	20	50
175	18	8	11	3	20	60
200	19	10	12	3	20	70
250	21	12	14	3	32	100

Примечание. Размеры в мм.

Во время работы круг засаливается. Это приводит к перегреву, т. е. отпуску затачиваемого лезвия, причем лезвие может быть перегрето по всей поверхности или в нескольких точках. Местные перегревы лезвия не менее вредны, чем сплошной перегрев.



Фиг. 38.



Фиг. 39.

Если из-за местного перегрева у фрезы будут отпущены два-три зуба, то они изнашиваются гораздо быстрее остальных, и фрезу придется снова перетачивать.

Поэтому необходимо периодически производить правку круга. Правка шлифовальных кругов производится алмазами.

Резьбовые фрезы затачивают без применения охлаждающей жидкости. Во избежание перегрева металла необходимо снимать за один проход камня слой металла толщиной не более 0,005 — 0,007 мм.

При заточке фрез в цеховых условиях на передней режущей грани часто остаются риски (фиг. 40).



Фиг. 40. Передняя грань зуба фрезы с рисками.



Фиг. 41. Передняя грань зуба фрезы без рисков.

На фиг. 41 изображена передняя грань, заточенная с соблюдением необходимых мер. В результате правильной заточки стойкость фрезы увеличивается на 25—30% против стойкости фрезы с рисками на передних гранях.

При заточке фрезы с $\gamma = 0$ рабочая плоскость шлифовального круга устанавливается в строго радиальной плоскости затачиваемой грани. При заточке фрезы с $\gamma > 0$ рабочая плоскость круга смещается относительно оси фрезы на величину x (фиг. 42)

$$x = \frac{D}{2} \sin \gamma,$$

где D — диаметр фрезы в мм,
 γ — передний угол.

В табл. 17 приведены величины смещения фрез разных диаметров.

Таблица 17

Диаметр фрезы мм	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90
Величина смещения для $\gamma = 5^\circ$	0,9	1,3	1,8	2,2	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,7	3,9

МАТЕРИАЛ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

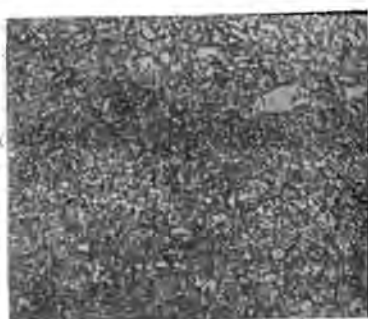
Для быстрорежущих фрез употребляется, как правило, быстрорежущая сталь различных марок. Большое значение для стойкости фрез имеет содержание Vd, W и Co.

В табл. 18 приведены данные химического анализа материалов для резьбовых фрез, употребляемых на различных предприятиях. Фрезы зарубежных фирм имеют твердость $R_c = 63 \div 65$,

тогда как фрезы отечественного производства имеют твердость $R_c = 61 \div 63$.



Фиг. 43.

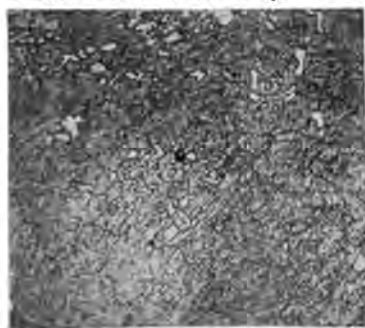


Фиг. 44.

Таблица 18

	Химический состав материала фрез (в %)										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W	Va	Mo	Co
Зав. им. Павлова	0,77	0,29	0,39	0,038	0,012	4,65	0,1	21,04	0,67	—	—
Зав. им. Фрунзе	0,73	0,39	0,38	0,038	0,012	4,1	—	17,8	0,71	—	—
Вебер (Германия)	0,74	—	—	—	—	4,48	—	17,99	0,69	0,10	0,94
Унион (Германия)	—	0,76	—	—	—	4,43	—	17,79	0,77	0,12	0,92

Более высокая твердость зарубежных фрез не свидетельствует об их преимуществе, так как она увеличивает хрупкость фрез.



Фиг. 45.

На фиг. 43 и 44 представлены фото микрошлифов передней режущей грани резцовых фрез после нормальной термической обработки. Отчетливо видна мартенситовая структура с неравномерно, полосчато, как на фиг. 43, или кучно, как на фиг. 44, распределенными карбидами вольфрама. Последнее обстоятельство свидетельствует о пло-

хой проковке материала резцовых фрез. На фиг. 45 представлен снимок микрошлифа импортной фрезы фирмы „Унион“.

ДЕФЕКТЫ ФРЕЗ

Наиболее встречающийся дефект резьбовой фрезы заключается в биении ее по наружному диаметру, которое часто доходит до 0,15 мм. Вследствие такого большого биения фрез происходит следующее явление. Для достижения чистоты резьбы приходится работать на мелких подачах порядка 0,010—0,014 мм. При биении фрезы на 0,15 мм фреза режет изделие лишь в некоторые моменты, а в другие она проскальзывает, не снимая стружки. Фреза при этом быстро выходит из строя. Работа происходит с сильными ударами, что отражается и на состоянии станка.

Во избежание этих явлений фрезу перед установкой на станке необходимо проверить по биению наружного диаметра и путем переточки фрезы довести это биение до величины не более 0,03 мм на контрольной оправке.



Фиг. 46.

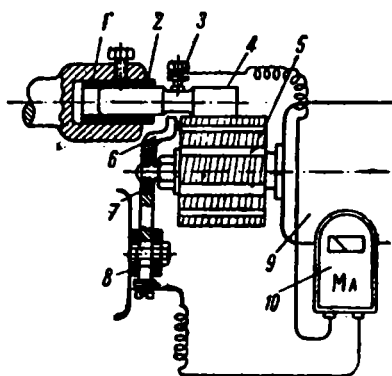
Следующий частый дефект фрезы — это конусность режущих гребенок. Вместо строго цилиндрической формы фреза имеет форму усеченного конуса; разница диаметров по обоим торцам иногда доходит до 0,01—1,10 мм. Для уничтожения конусности на производстве приходится перемещать центр задней бабки относительно оси станка. Иногда пытаются выводить конусность путем косой заточки гребенок (фиг. 46). Однако при этом совершенно не учитывают то обстоятельство, что такая заточка приводит к искажению резьбового профиля на изделиях.

Чрезвычайно распространен дефект, заключающийся в отклонении размеров посадочного отверстия фрезы от номинальных размеров и его формы от правильной геометрической формы. Этот дефект является следствием недостатков технологического процесса изготовления фрез, в частности, результатом деформации отверстия после калки. Увеличение диаметра посадочного отверстия приводит к распространенному дефекту резьбы — появлению полочки, которая представляет не что иное, как подрез резьбы на изделии в осевом направлении.

ИЗНОС РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ

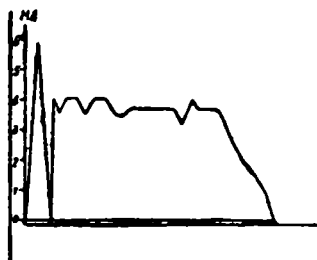
Для изучения вопроса о причинах износа зубьев фрез было проведено исследование теплового режима работы фрезы путем измерения силы теплотока в электрической цепи фреза—изделие.

Установка схематически изображена на рис. 47. Сила тока измеряется при помощи миллиамперметра. Фреза и изделие изолированы от станка. Фиксируя показания миллиамперметра через каждые 3 сек., можно получить термограмму обработки изделия.

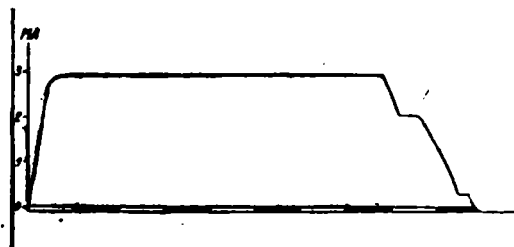


Фиг. 47. Схема термопары.

1—оправка, 2—эбонитовая втулка, 3—контакт наделия, 4—наделия, 5—фреза, 6—контакт фрезы, 7—изоляционное кольцо, 8—эбонитовая прокладка, 9—передняя бабка, 10—миллиамперметр.



Фиг. 48.



Фиг. 49.

Фиг. 48 и 49. Термограммы резьбофрезерования.

Изображенные на фиг. 48 и 49 термограммы были засняты при нарезании резьбы на стали X2H, термообработанной до твердости $R_c = 26 \div 33$.

На фиг. 48 виден пик температуры в момент врезания фрезы. Это объясняется слишком быстрым врезанием фрезы до полной глубины, соответствующей данному шагу. На этой и других фигурах (за исключением фиг. 49) заметно быстрое падение показания до нуля и столь же быстрое возрастание их до нормальной величины. Это явление происходит вследствие разрыва цепи, вызванного биением фрезы.

Термограмма, изображенная на фиг. 49, заснята при постепенном, плавном врезании фрезы в изделие. Поэтому пик в начальный момент врезания здесь отсутствует. Термограмма на рис. 49 снималась с отсчетом показаний M_a через каждые 2 сек. (см. табл. 19).

Таблица 19

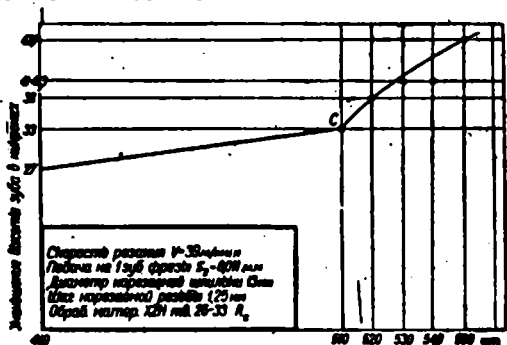
M_a	1	2	3	4	5	6	7	8
t °C	32	45	59	65	70	76	82	85

Как можно усмотреть из фиг. 48 и 49, а также из табл. 19, подъем температур при резьбофрезеровании незначителен. Так как инструмент из быстрорежущей стали выдерживает без утраты режущих свойств температуру до 500° , то можно считать установленным, что износ резьбовых фрез происходит главным образом вследствие истирания.

На фиг. 50 показана диаграмма износа зубьев резьбовой фрезы в функции числа нарезаемых изделий.

Как видно из диаграммы, кривая износа зуба фрезы имеет два участка. Сначала износ зуба медленно растет по прямой. Затем с определенного момента износ резко увеличивается по кривой, близкой к параболе.

При увеличении числа нарезаемых изделий с 410 до 510 шт. износ зуба увеличивается всего на 6 микрон. При увеличении числа деталей с 510 до 540 шт. износ зуба увеличивается на 14 микрон. Это обстоятельство красноречиво свидетельствует



Фиг. 50. Кривая износа зуба резьбовой фрезы.

о необходимости регулярной заточки резьбовых фрез как радикального средства продления срока их службы. Не следует допускать, чтобы притупление фрезы заходило за точку *C* на кривой износа, так как иначе при переточках придется снимать с передней режущей грани толстый слой металла.

ГЛАВА III

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Качество резьбы, изготавливаемой фрезерованием, производительность и стойкость инструмента — резьбовой фрезы — зависят



Фиг. 51.

от рабочего режима, скорости резания, подачи, глубины резьбы, свойств смазывающе-охлаждающей жидкости, материала изделия, фрез и пр.

Ниже описывается исследование, проведенное автором на заводе им. Павлова при консультации проф.

Апарина с целью определения оптимальных режимов резьбофрезерования.

Исследования производились на 6000 деталей из сталей X2H и У4, из них 5000 производственных деталей и около 1000 опытных. Типы деталей изображены на фиг. 51.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной задачей исследования являлось установление связи между стойкостью резьбовых фрез (T в часах или минутах машинного времени $T_{\text{маш}}$), и

скоростью резания

шагом нарезаемой резьбы

подачей нарезаемого изделия

подачей нарезаемого изделия на один зуб фрезы

диаметром нарезаемого изделия

v м/мин

t мм

s "

s_z "

$d_{\text{из}}$ "

Зависимость между T и v выражается, как известно, формулой:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

где v или T — искомые,

v_0 — типическая скорость резания,

T_0 — типическое время.

Иначе

$$v_0 T_0^{\frac{1}{n}} = v T^{\frac{1}{n}} = C. \quad (2)$$

Отсюда

$$T = \frac{C_1}{v^n}. \quad (3)$$

Если все факторы, участвующие в процессе резания, кроме времени, неизменны, то, изменяя время $T_{\text{маш}}$, можно получить различные значения для скорости резания v . Можно поступать наоборот, изменяя скорость, фиксировать время $T_{\text{маш}}$ до момента затупления режущего инструмента.

Найдя таким путем ряд точек, можно построить кривую, графически выражающую зависимость (2).

Логарифмируя выражение (2), получаем

$$\lg v = \lg C - \frac{1}{n} \lg T \quad (4)$$

или

$$y = C - kx. \quad (5)$$

Это уравнение прямой линии в логарифмических координатах, причем k — значение тангенса угла наклона прямой к оси абсцисс, C — отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат. Знак при угловом коэффициенте указывает направление прямой, выражающей закон $v = f(T)$.

Для получения зависимости $T = f(t)$ оставляем неизменными все условия резания, кроме шага. Меняя шаг резьбы t , мы тем самым изменяем глубину резания. Так например при

t мм	$\bullet = 1$ мм	глубина резания h	$= 0,74$ мм
	$= 1,5$ "		$= 1,11$ "
	$= 2$ "		$= 1,48$ "

Изменяется также сечение стружки. С увеличением шага резьбы период работы фрезы до момента затупления $T_{\text{маш}}$ уменьшается. Таким образом мы имеем основание предположить, что зависимость $T_{\text{маш}} = f(t)$ выразится формулой типа

$$T = \frac{C_2}{t^{\gamma}}. \quad (6)$$

После логарифмирования

$$\lg T = \lg C_2 - \gamma \lg t.$$

Угловой коэффициент γ определяется по предыдущему.

Таким же путем можно определить и влияние подачи изделия.

Подача изделия обычно исчисляется в мм/мин или в мм на один зуб фрезы. Обозначим:

- подача на один зуб фрезы в мм S_z
- число зубьев фрезы Z
- число оборотов изделия в минуту $n_{\text{изд}}$
- диаметр изделия в мм $d_{\text{изд}}$.

Величина s_z равна

$$s_z \text{ мм} = \frac{\pi d_{\text{изд}} n_{\text{изд}}}{z n_{\phi}}. \quad (8)$$

С увеличением подачи увеличивается сечение стружки, и фреза при прочих равных условиях изнашивается быстрее. Следовательно, период стойкости фрезы до затупления $T_{\text{маш}}$ уменьшается с увеличением подачи.

Зависимость $T = f(s_z)$ принимает вид

$$T = \frac{C_3}{s_z^p}. \quad (9)$$

При определении зависимости стойкости от диаметра изделия $T = f(d_{\text{изд}})$ надо иметь в виду следующее. Увеличение диаметра изделия связано с увеличением жесткости и момента инерции изделия.

Оба эти обстоятельства делают работу резьбовой фрезы более спокойной и плавной. Поэтому мы можем предположить, что, сохраняя неизменными все условия работы и увеличивая лишь диаметр изделия, мы увеличим стойкость инструмента. Следовательно, в данном случае зависимость примет вид

$$T = C_4 d_{\text{изд}}^m. \quad (10)$$

После логарифмирования

$$\lg T = \lg C_4 + m \lg d_{\text{изд}}.$$

Знак плюс перед угловым коэффициентом m указывает на то, что прямая в логарифмических координатах имеет наклон в направлении, обратном ранее выведенным зависимостям.

Таким путем мы получаем ряд зависимостей:

$$T = f(v); \quad T = f(t); \quad T = f(s_z); \quad T = f(d_{\text{изд}}),$$

от которых мы можем перейти к непосредственно интересующим нас функциональным зависимостям:

$$v = f(T); \quad v = f(s_z); \quad v = f(t) \text{ и } v = f(d_{\text{изд}}).$$

Выберем определенное время $T_{\text{маш}} = \text{const}$. Таким образом мы получим ряд новых выражений:

Зависимость скорости от времени:

$$v = \frac{C}{T^n}. \quad (11)$$

Зависимость скорости от подачи при $T = \text{const}$:

$$v = \frac{A}{s_z^x}. \quad (12)$$

Зависимость скорости от шага резьбы при $T = \text{const}$:

$$v = \frac{B}{t'}. \quad (13)$$

Зависимость скорости от диаметра изделия при $T = \text{const}$:

$$v = Cd_{\text{изд.}}^m. \quad (14)$$

Определение $T = \text{const}$

Величина $T = \text{const}$ представляет собой период стойкости фрезы от одной переточки до другой. Стойкость любого режущего инструмента до переточки должна быть такой, чтобы инструмент был экономически выгодным в эксплуатации. Экономически выгодная продолжительность работы нашей фрезы — это та, при которой расходы на изготовление ее, на заточку, на материал, отнесенные к 1 м нарезаемой резьбы, минимальны, а выигрыш от повышения скорости нарезания максимален.

Обозначим через M стоимость материала резьбовой фрезы, отнесенную к одной заточке, в копейках; A — стоимость изготовления фрезы, отнесенную к одной заточке, в копейках; B — зарплату рабочего за 1 мин. рабочего времени в копейках; T_1 — время, необходимое для замены затупившейся фрезы на станке; $P\%$ — накладные расходы (среднюю цифру по механическому и инструментальному цехам). Сумма расходов, приходящаяся на определенную продолжительность резания в минутах машинного времени, может быть представлена в виде следующего выражения:

$$C = \left(1 + \frac{P}{100}\right)(BT + BT_1 + A) + M. \quad (15)$$

За время T нарезается L м резьбы. Время, затраченное на нарезание 1 м резьбы, равно

$$T_{\text{мин}} = \frac{T}{L}. \quad (16)$$

Сумма расходов, приходящаяся на 1 м резьбы:

$$C_m = \frac{CT_m}{T_L}. \quad (17)$$

или

$$C_m = \frac{\left[\left(1 + \frac{P}{100}\right)(BT + BT_1 + A) + M\right] T_m}{T_L}. \quad (18)$$

Продифференцировав это выражение по T_L и приравняв производную нулю, получим период работы фрезы $T_{\text{эк}}$, дающий наибольший экономический эффект. К этому периоду времени мы и будем относить все пересчеты скоростных зависимостей, т. е. положим $T = \text{const} = T_{\text{эк}}$.

Аналитическое определение зависимостей

Выведенные нами зависимости представляют собой степенные функции. В логарифмических координатах они изображаются в виде прямых, наклоненных к оси абсцисс под углом, тангенс которого равен показателю степени в уравнении, и отсекающих определенный отрезок на оси ординат. Задаваясь каким-либо значением одной из переменных, принимаемых за независимую (например v и m), получим экспериментальным путем другую, зависимую переменную T . Определив несколько значений T для заранее заданных значений, мы получаем возможность построить графически нашу зависимость и этим путем определить неизвестные в уравнениях.

Этот путь нахождения неизвестных хотя и упрощает задачу, но не может все же обеспечить необходимой точности.

Величины, получаемые опытным путем, вообще не могут точно совпадать с их математическим выражением. Если мы ищем опытным путем значение x в уравнении $v = ax + b$, то, повторив несколько раз наш опыт и получив таким путем уравнения

$$v_1 = a_1x + b_1,$$

$$v_2 = a_2x + b_2,$$

$$v_3 = a_3x + b_3,$$

мы можем найти лишь приближенное значение x . Точность приближения зависит от условий проведения опытов и от избранного метода определения. Ошибки, которые мы будем получать, подставляя найденные величины в уравнения, будут также неодинаковыми:

$$m_1 = a_1x + b_1 - v_1$$

$$m_2 = a_2x + b_2 - v_2$$

$$m_3 = a_3x + b_3 - v_3.$$

Чем меньше будут значения m , тем лучше будут удовлетворены наши уравнения и тем точнее будет определена искомая величина x .

Для того чтобы все точки, полученные экспериментальным путем, оказывали равное влияние на результат, необходимо, по методу наименьших квадратов, чтобы:

$$m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2 = \min.$$

Продифференцировав по x сумму уравнений, составленных по экспериментальным данным

$$\sum [(ax + b - v)],$$

и приравняв производную нулю.

$$\frac{d \sum [(ax + b - v)^2]}{dx} = 0,$$

получим уравнение, из которого определяем значение x .

Зависимость между v и T после логарифмирования принимает следующий вид:

$$\lg T + n \lg v = \lg C.$$

Здесь неизвестны C и n . Частные производные сумм этих уравнений по n должны быть равны нулю.

Таким образом мы получим для каждой зависимости по два уравнения:

$$\frac{d\Sigma[(\lg T + n \lg v - n \lg C)^2]}{d \lg C} = 0, \quad (20)$$

$$\frac{d\Sigma[(\lg T + n \lg v - n \lg C)^2]}{dn} = 0 \quad (21)$$

или

$$\Sigma \lg T + n \Sigma \lg v - \Sigma \lg C = 0, \quad (22)$$

$$\Sigma \lg T \lg v + \Sigma \lg v \lg v - \Sigma \lg C \lg v = 0, \quad (23)$$

из которых находим значения неизвестных.

СТОЙКОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ И ПРИЗНАКИ ИХ ЗАТУПЛЕНИЯ

Отбор фрез для испытаний

Основные характеристики фрез, отобранных для испытаний, следующие:

наружный диаметр	$D = 70$ мм
число режущих гребенок	$z = 20$
толщина режущих гребенок	$b = 6 - 6,5$ мм
длина фрезы	$l = 32$ "
передний угол	$\gamma = 3^\circ$
задний угол	$\alpha = 12^\circ$

Шаг резьбы: 1,2 мм; 1,5 мм; 2 мм. $R_c = 61 \div 63$. Биение по наружному диаметру $< 0,15$ мм.

Все фрезы имели прямые режущие гребенки.

Проверка микроструктуры материала фрез производилась при помощи аустометра — прибора, основанного на принципе неодинаковой магнитной проницаемости у различных микроструктур. Фрезы с аустенитной структурой браковались.

Определение твердости режущей кромки фрезы по Роквеллу не дает исчерпывающего представления о твердости режущей кромки. Надежным критерием твердости является испытание на стойкость. Поэтому все фрезы были подвергнуты предварительным испытаниям на стойкость, которые заключались в следующем.

Фрезы устанавливались на станках и работали на изготовлении производственных деталей до затупления. В табл. 20 приведены результаты предварительных испытаний фрез с шагом $t = 2$ мм. Крестиками отмечены фрезы, отобранные в результате испытаний. Как можно усмотреть из таблицы, отобраны

были фрезы средней стойкости, отличающиеся одна от другой по числу изготовленных деталей приблизительно на 15 — 20%. Предварительными испытаниями фрез на стойкость заканчивался цикл их отбора.

Таблица 20

№	Твердость по Роквеллу R_C	Биеение по наружному диаметру $мм$	Ковусность на режущей гребенке $мм$	Число изготовленных деталей
1	62	0,15	0,01	28
2	62	0,20	забракована по профилю	
×3	63	0,10	0,07	70
×4	61	0,10	0,02	68
5	63	0,26	забракована по профилю	
6	63	0,15	0,05	50
7	63	0,25	забракована по профилю	
×8	62	0,10	0,07	55
9	62	0,25	0,04	90
10	61	0,04	0,01	80

Фрезы, отобранные при предварительных испытаниях на стойкость, подвергались переточке в лабораторных условиях. При этой переточке биеение у фрез доходило до 0,05 мм. Фрезы затачивались на одинаковых режимах. Обращалось внимание на то, чтобы слой, снимаемый камнем за один проход, был не слишком велик.

В табл. 21 приведен химический состав и механические свойства материала изделий, на которых фрезеровалась резьба.

Таблица 21

Марка стали	Термообработка	Химический состав в %						
		C	Mn	Si	P не более	S не более	Cr	Ni
X2H	Улучшена	-0,17 -0,25	0,25 -0,5	0,4	0,030	0,030	0,5 0,95	2,65 3,35
У4	Без термообработки	0,4 0,5	0,3 0,75	0,4	0,045		Примесь до 0,25	Примесь до 0,5

Механические качества

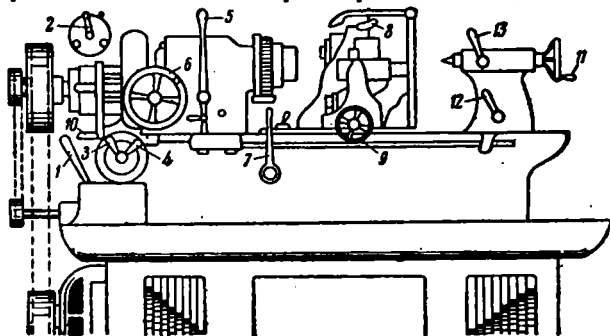
Марка стали	Термообработка	σ_b кг/мм ²	$\psi\%$ ($l=10d$)	Твердость	
				диаметр отпечатка по Бринеллю	R_C
X2H	Без термообработки	57 — 69	16	4,7 — 4,2	
X2H	Улучшена	85 — 100	8	—	26 — 33
У4	Без термообработки	54 — 70	—	—	—

Станок

На фиг. 52 схематически изображен общий вид резьбофрезерного станка Вандерер GFV-500, на котором производились стойкостные испытания.

Станок имеет индивидуальный привод. Мотор станка имеет мощность 3 л. с. при 94 об/мин. Моношків станка вращается со скоростью $n = 320$ об/мин.

Фрезерный шпиндель имеет три скорости: $n = 124, 85$ и 66 об/мин.



Фиг. 52. Схема станка Вандерер GFV-500.

1—включение станка, 2—изменение скорости вращения изделия и фрезы, 3, 4—изменение скорости вращения изделия и фрезы, 5—изменение скорости вращения изделия, 6—ручное вращение шпинделя изделия, 7—реверс оборотов изделия и подачи, 8—реверс оборотов фрезы, 9—поперечное перемещение фрезерного супорта от руки, 10—продольное перемещение фрезерного супорта от руки, 11—перемещение шпинделя задней бабки, 12—стопор задней бабки, 13—стопор передней бабки.

На каждую скорость фрезерного шпинделя приходится 18 различных скоростей обрабатываемого изделия. С повышением числа оборотов фрезерного шпинделя увеличивается скорость вращения изделия. На всех ступенях скоростей подача на 1 зуб фрезы остается одинаковой для данного положения рукояток подач. Таким образом имеется всего 18 круговых подач изделия.

При диаметре фрез $D = 70$ мм при данных оборотах станка скорость фрезы на максимальном числе оборотов $v = 27,5$ м/мин. Ввиду недостаточности такой скорости станок был перестроен на более высокие скорости; в результате этого появилась возможность работать во время испытаний на скоростях $v = 21,5; 27,5; 34; 39; 44$ и 60 м/мин. Данные перестройки станка приведены в табл. 22.

Станок имеет насос для подачи 3 л/мин смазывающе-охлаждающей жидкости. Станки этого типа являются наиболее мощными из группы резьбофрезерных станков завода.

При проверке станка на прочность оказалось, что шпиндель изделия бьет на 0,05 мм на длине консоли 40 мм. Этого дефекта

Положение рукояток	Скорость вращения					
Рукоятка 2 на цифре	97					
Рукоятка 3 на цифре	1	2	3	4	5	6
об/мин.	0,0573	0,0659	0,0735	0,0875	0,105	0,126
Продолжительность одного оборота, минут	17,5	15,2	13,6	11,42	9,53	7,95
об/мин.	0,145	0,166	0,185	0,221	0,265	0,319
Продолжительность одного оборота, минут	6,91	6,04	5,42	4,53	3,78	3,14
об/мин.	0,364	0,419	0,467	0,555	0,663	0,8
Продолжительность одного оборота, минут	2,75	2,39	2,145	1,805	1,5	1,25

устранить не удалось. Для ускорения работы в шпинделе станка был укреплен трехкулачный самоцентрирующий патрон, в который зажимались изделия. В обычных цеховых условиях изделия зажимаются в специальную оправку, что требует большего вспомогательного времени.

Контрольно-измерительные инструменты и приборы

Измерение резьбы у изделий при наладке станка производилось при помощи резьбового микрометра Цейсса со вставками. Во время работы каждая деталь проверялась резьбовыми калибрами.

Твердость фрезы и изделий измерялась на приборе Роквелла (шкала С). Контрольные измерения фрез и изделий на определенных этапах работы, о которых будет сказано ниже, производились на резьбовом компараторе Цейсса в центральной контрольно-измерительной лаборатории завода. Биение фрезы и изделия по наружному диаметру определялось посредством индикатора. Износ зубцов фрезы определялся предварительно с помощью миниметра и окончательно — на компараторе Цейсса.

перестройки на более высокие скорости

шпинделя резьбовой фрезы, об/мин.

125						177					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0,0765	0,0882	0,098	0,117	0,139	0,168	0,107	0,123	0,137	0,163	0,195	0,239
13,1	0,35	10,02	8,57	7,2	5,97	9,37	8,15	7,32	6,15	5,14	4,19
0,194	0,2215	0,248	0,296	0,354	0,427	0,271	0,312	0,347	0,417	0,494	0,592
5,165	4,53	4,04	3,38	2,83	2,35	3,7	3,21	2,89	2,4	2,023	1,69
0,484	0,564	0,625	0,743	0,893	1,065	0,68	0,785	0,87	1,035	1,25	1,49
2,07	1,775	1,6	1,348	1,12	0,945	1,473	1,275	1,15	0,967	0,802	0,673

Выбор критерия затупления

Наиболее употребительным методом определения затупления режущего инструмента является метод Шлезингера, основанный на повышении усилий резания в момент затупления инструмента.

Были сделаны попытки наблюдать затупление фрезы по показаниям миллиамперметра, включенного в цепь фреза—изделие, рассматриваемых как термоэлемент. Предполагалось, что при затуплении фрезы и повышении усилия резания соответственно должны повыситься показания миллиамперметра. Однако по нашим опытам повышение усилия при затуплении резьбовой фрезы не столь резко, как при обычном резании, и вряд ли достигает 10%.

Следует отметить, что резьбовая фреза уже при относительно небольшом затуплении начинает портить изделие. Доведение фрезы до полной негодности связано с большим браком деталей. Дальнейшие наблюдения показали, что при нормальном атуплении фрезы момент затупления можно фиксировать по некоторым внешним дефектам изделия: надирам на боковых сторонах

резьбы и заусенцам на наружной поверхности изделия, представляющим собой результат выпучивания материала при резании затупившейся фрезой.

Первые признаки затупления — появление заусениц. Минут через 40 — 50 после начала работы появляются надирь. Обычно в этот момент фрезу снимают со станка во избежание порчи изделий.

При затуплении фрезы изменяется также и форма стружки.



Фиг. 53. Вид стружки при резании острой фрезой.



Фиг. 54. Вид стружки при резании затупившейся фрезой.

На фиг. 53 изображены стружки после резания острой, а на фиг. 54 — затупившейся фрезой. Стружки, снимаемые нормально работающей фрезой, имеют форму запятых, стружки затупившейся фрезы бесформенны.

Критерии затупления по литературным данным

Имеющиеся в специальной литературе данные по вопросу об определении момента затупления режущих инструментов относятся главным образом к резцам. Тейлор предложил в качестве критерия затупления появление блестящей полоски на поверхности обрабатываемого предмета, Шлезингер — повышение горизонтальных составляющих усилий резания в момент затупления. Риппер, Барли и др. определяют момент затупления по износу кончика резца при помощи микроскопа с нониусом.

Демпстер, Смит и Лейг (1925 г.) применяли в качестве критерия затупления повышение вертикального усилия. По данным этих исследователей повышение вертикального усилия на 10% соответствует износу кончика резца на 0,038 мм.

Весьма интересны работы американских исследователей Бейона, Френча и Дойджеса (1930 — 1932 г.). Критерием они избрали износ резца на величину 0,025 — 0,05 мм. Величина износа определялась контрольным резцом. Контрольный резец укреплялся рядом с рабочим резцом. Кончик контрольного резца отстоял от кончика рабочего резца на величину 0,025 — 0,05 мм. В тот

момент, когда рабочий резец изнашивался на величину $0,025 - 0,05$ мм, в работу вступал контрольный резец. Этот момент фиксировался индикатором.

Позднейшие исследователи фиксируют момент затупления при помощи измерения электродвижущей силы термотока, который генерируется в термопаре режущий инструмент — изделие. По Рейхелю на всех режимах работы при одинаковой стойкости режущего инструмента возникает одинаковая электродвижущая сила термотока, независимо от значений скоростей резания, глубины и подачи при условии, если $T_{\text{max}} = \text{const}$.

При исследованиях, производимых с фасонным режущим инструментом, некоторые исследователи ориентируются на внешние явления — в частности появление блестящих кромок на затылках режущих граней инструмента. Для практических целей этот метод дает довольно удачные результаты.

При подготовительной серии опытов мы обратили внимание на появление засветленной полоски на боковой поверхности зуба фрез, проработавших $50 - 60$ мин. Это засветление есть результат истирания боковой поверхности зуба во время процесса резания. Чем интенсивнее работа фрезы, тем шире полоска. При работе на постоянной скорости резания полоска увеличивается с увеличением периода резания. У сильно изношенных фрез мы наблюдали полоску шириной $0,7 - 0,8$ мм.

Нельзя, однако, сказать, что увеличение ширины засветленной полоски прямо пропорционально продолжительности работы. Так например, образование полоски шириной $0,2 - 0,3$ мм происходит при скорости $v = 39$ м/мин и при подаче $s_z = 0,011$ мм в течение $30 - 40$ мин. При окончательном затуплении фрезы, наступающем через $400 - 500$ мин., полоска приобретает ширину $0,7 - 0,8$ мм, иногда и еще меньше.

Продолжав ряд опытов, мы пришли к заключению, что для короткого промежутка времени в пределах 60 мин. можно принять появление засветленной полоски за критерий затупления. Опыты прекращались при появлении полоски шириной $0,2 - 0,3$ мм, что соответствовало продолжительности машинного времени $T_{\text{max}} = 30 \div 40$ мин.

Проведение опытов

Для достижения максимальной идентичности опытов применялся следующий метод. Подбирались изделия с длиной нарезаемой части $l = 15$ мм. Так как фреза имеет длину $l = 32$ мм, то работа могла производиться поочередно двумя половинами фрезы. Для каждого фактора отыскивались три различных значения. Так например $T_{\text{м}}$ отыскивалось для скоростей $v_1 = 21,5$; $v_2 = 27,5$; $v_3 = 39$ м/мин. Сначала резание производили на скорости $v = 21,5$ м/мин одной половиной фрезы до ее затупления. Затем переставляли фрезу и, реверсируя ход станка, работали второй ее половиной на скорости $v = 39$ м/мин до затупления.

Этим способом мы получали две крайних точки будущей кривой, найденные при соблюдении максимальной идентичности условий опыта. Следующей фрезой находили средние точки.

При работе по критерию „засветления полоски“ каждая точка повторялась три-четыре раза. Для определения ширины засветленной полоски применяли лупу Польди, монтированную на деревянном штативе. Ширину полоски засветления определяли, совмещая нулевое деление лупы с краем зуба.

При повторении опытов по критерию „износ зуба фрезы“ работа производилась таким образом. Было установлено, что в среднем необходимо нарезать 500 изделий до требуемого износа зуба $\delta = 0,035-0,045$ мм при шаге резьбы $t = 1,25$ мм. После нарезания 400 изделий у каждого десятого изделия проверяли увеличение внутреннего диаметра резьбы на компараторе Цейсса.

Для контроля износа посредине фрезы оставляли два зуба, неучаствовавших в работе. При нарезании изделий с длинной нарезкой оставляли два зуба в конце режущей гребенки.

В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости применялось минеральное масло с 3—5% серы. Расход жидкости — 3 л/мин.

Предварительное и окончательное нарезание

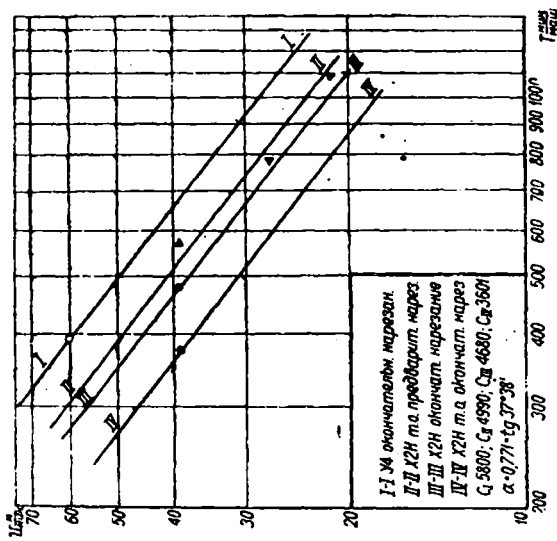
В выводах мы определяем величины C для предварительного и окончательного нарезания. Процесс предварительного и окончательного нарезания резьб широко практикуется в заводской практике.

При проведении опытов по критерию износа зуба фреза продолжала работать значительное время после появления заусенцев и надиров на резьбе. Для того чтобы изделия не шли в брак, увеличивали припуск на средний диаметр. Такие изделия исправлялись дополнительным нарезанием при помощи так называемых прогонок. Поэтому фактическая стойкость фрезы, использованной лишь до стадии предварительного нарезания резьбы, выше, чем фрезы, использованной до окончательного профилирования резьбы в один прием. По нашим опытам $T_{\text{маш}}$ при окончательном нарезании в среднем равно 0,67 $T_{\text{маш}}$ при предварительном нарезании.

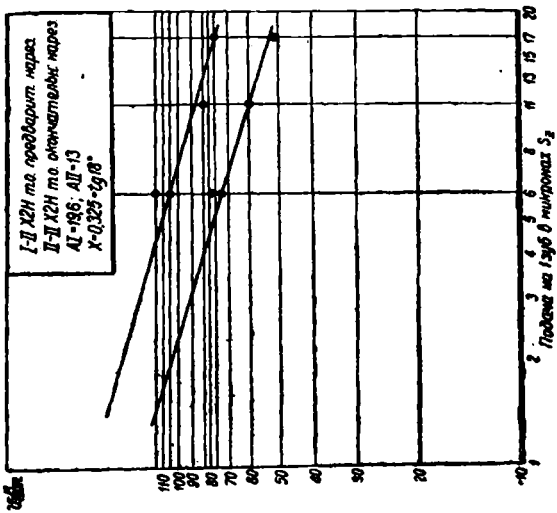
Полученные в результате опытов функциональные зависимости изображены на фиг. 55—58 в логарифмических координатах.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

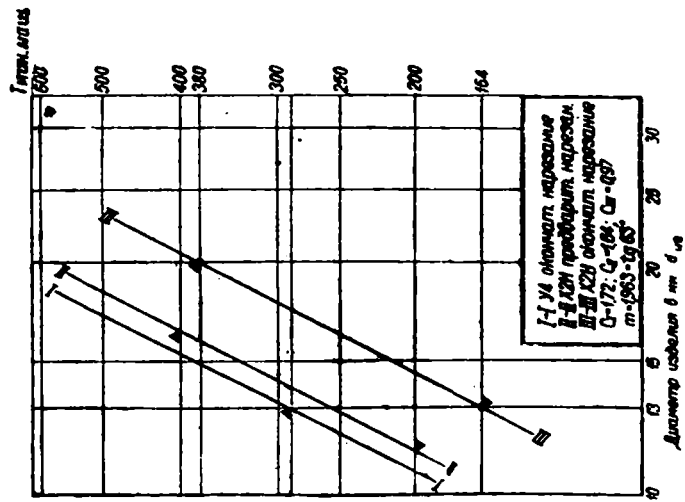
При анализе данных, полученных по критерию засветленной полоски, во всех случаях получились завышенные показатели степеней у переменных. Это, по нашему мнению, вызвано неточностями при определении ширины полоски. В то время как износ зуба определяется с точностью 0,010 мм, истирание его бо-



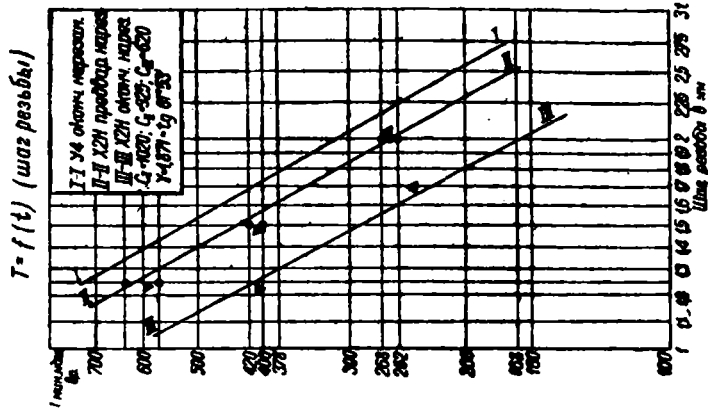
Фиг. 55. Зависимость $v = f(T)$. Материал: сталь X2H.



Фиг. 56. Зависимость $v = f(S_2)$. Материал: сталь X2H, термобработанная, $R_C = 26 \pm 36$.



Фиг. 57. Зависимость $T = f(d)$. Материал: сталь X2H, термообработанная, $R_C = 26 \div 33$.



Фиг. 58. Зависимость $T = f(t)$. Материал: сталь X2H, термообработанная, $R_C = 26 \div 33$.

боковой поверхности, характеризовавшееся шириной засветленной полоски, определялось в начале опытов с точностью до 0,10 мм; позднее принято целесообразным вести измерение с точностью до 0,05 мм. Степень точности определения отразилась и на точности результата. Разница между показателями степеней m при T в зависимостях $v - T$, определенных по разным критериям, при ширине полоски 0,20 — 0,30 мм, равна 0,378. Показатели же степеней β при T в зависимостях $T = f(s_x)$, вычисленные при ширине полоски 0,20 — 0,025 мм, дают разницу 0,11. Мы приводим результаты аналитической проверки величин, полученных по критерию износа зуба, так как только они могут быть использованы для практического применения.

Выше была дана краткая характеристика аналитического метода и выведены основные уравнения (22) и (23). Для решения этих уравнений составляем таблицы входящих в них величин.

Определение α и C в зависимости: $T = f(v)$

$$C = vT^\alpha$$

Составляем уравнения:

$$\begin{aligned} \sum \lg v + \alpha \lg T &= \sum \lg C, \\ \sum \lg v \lg T + \alpha \sum \lg T \lg T &= \sum \lg T \lg C, \\ \lg C &= \frac{\sum \lg v + \alpha \sum \lg T}{3}. \end{aligned}$$

Решая относительно α и подставляя данные из таблиц опытов, получаем $\alpha = 0,771 = \text{tg } 37^\circ 38'$.

Определяем предварительное и окончательное значение C :

$$C_{\text{пр}} = 4990,$$

$$C_{\text{ок}} = 3601 \text{ (сталь X2H, термообработанная).}$$

По данным таблиц определяем C для стали X2H без термообработки:

$$C_{\text{ок}} = 4190;$$

$C_{\text{ок}}$ для стали У4:

$$C_{\text{ок}} = 6480.$$

Определение β и C_z в зависимости: $T = f(s_z)$

Решаем уравнение аналогично предыдущему относительно β , подставляя данные из таблиц опытов, получаем

$$\beta = 0,38 = \text{tg } 20^\circ 48'.$$

Определим C_z :

$$\lg C_z = 1,9833 \cdot 0,38 + 2,8237;$$

$$\lg C_z = 2,072;$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{\text{пр}} = 118 \\ C_{\text{ок}} = 82 \end{array} \right\} \text{ (сталь X2H, термообработанная);}$$

$$C_{\text{ок}} = 140 \text{ (сталь У4).}$$

Определение γ и C_z в зависимости: $T = f(t)$

$$C_t = T t^{\gamma}.$$

Определение этих величин производится аналогичными методами. В результате вычислений получаем:

$$\gamma = 1,871;$$

$$\gamma = \text{tg } 61^{\circ}53';$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{\text{пр}} = 925 \\ C_{\text{ок}} = 620 \end{array} \right\} \text{ (сталь X2H, термообработанная).}$$

$$C_{\text{ок}} = 1020 \text{ (сталь У4).}$$

Зависимость $T = (f) \cdot t$ определяем обработкой в логарифмической системе координат. Она имеет следующий вид:

$$T = C_d d^m; \quad m = 2 = \text{tg } 63^{\circ}27';$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{\text{ок}} = 0,97 \\ C_{\text{пр}} = 1,64 \end{array} \right\} \text{ (сталь X2H, термообработанная).}$$

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ РЕЗЬБОВОЙ ФРЕЗЫ

Производительность резьбовой фрезы

Снятие определенного количества стружки при нарезании резьбы еще не характеризует производительность резьбонарезного инструмента. Целесообразнее исходить из длины резьбы, выраженной в м, изготовленной в период работы $T_{\text{маш}}$ от одной заточки фрезы до другой.

Для изготовления 1 м резьбы необходимо время

$$T_{\text{маш}} = \frac{1000}{v_{\text{из}} n_{\text{из}}}.$$

Подача на один зуб фрезы равна

$$S_z = \frac{v_{\text{из}} n_{\text{из}}}{n_{\text{ф}} Z_{\text{ф}}}.$$

Следовательно,

$$T_{\text{маш}} = \frac{1000}{n_{\text{ф}} Z_{\text{ф}} S_z}.$$

Подставляя

$$n_{\phi} = \frac{1000v}{\pi D_{\phi}},$$

получаем

$$T_{\text{маш}} = \frac{1000\pi D_{\phi}}{1000v s_z} = \frac{\pi D_{\phi}}{v s_z}.$$

Но $\frac{\pi D_{\phi}}{z} = t_{\phi}$ — шаг резьбовой фрезы t_{ϕ} . Окончательно получаем

$$T_{\text{маш}} = \frac{t_{\phi}}{v_{\phi} s_z}.$$

Таким образом при данном t_{ϕ} и прочих равных условиях основные факторы, определяющие производительность фрезы — это скорость резания v и подача на зуб s_z .

Так как подача s_z без ущерба для чистоты поверхности нарезаемых деталей может изменяться лишь в ограниченных пределах, то для уменьшения $T_{\text{маш}}$ очевидно необходимо увеличивать скорость резания v .

Пусть выбранный нами экономический период равен $T_{\text{эк}}$. В течение этого периода нарезается длина резьбы L м. Следовательно,

$$T_{\text{эк}} = L \frac{t_{\phi}}{v_{\phi} s_z}.$$

Пусть себестоимость продукции за этот период времени равна $s_{\text{эк}}$. Себестоимость 1 м резьбы равна

$$s_{\text{эк}} = \frac{s_{\text{эк}}}{L};$$

$$L = \frac{T_{\text{эк}} v_{\phi} s_z}{t_{\phi}}.$$

Пусть

$$s_{\text{эк}} = \frac{s_{\text{эк}} t_{\phi}}{T_{\text{эк}} v_{\phi} s_z},$$

M_k — стоимость материала фрезы на 1 заточку;

B_k — зарплата рабочего на резьбофрезерном станке, отнесенная к одной минуте;

A_k — стоимость изготовления и заточки фрезы, отнесенная к одной заточке;

T_1 — период времени, необходимый для замены затупившейся фрезы;

$p^0/0$ — накладные расходы по механическому и инструментальному цехам.

Себестоимость продукции равна

$$s_{\text{ЭК}} = \left(1 + \frac{p}{100}\right) (BT_{\text{ЭК}} + BT_1 + A) + M,$$

$$s_{\text{ЭК}} = \frac{t_{\phi} \left(1 + \frac{p}{100}\right) (BT_{\phi} + BT_1 + A)}{T_{\text{ЭК}} v_{\phi} s_z} + \frac{Mt}{T_{\text{ЭК}} v_{\phi} s_z}.$$

Так как зависимость $v = f(T)$ в общем случае имеет вид

$$v = \frac{\text{const}}{T^{\frac{1}{n}}},$$

то, имея в виду, что в данном случае $T = T_{\text{ЭК}}$, получаем

$$s_{\text{ЭК}} = \frac{T_{\text{ЭК}}^{\frac{1}{n}-1} t \left(1 + \frac{p}{100}\right) (BT + BT_1 + A)}{\text{const } s_z} + \frac{MT_{\text{ЭК}}^{\frac{1}{n}-1} t_{\phi}}{\text{const } s_t},$$

$$s_{\text{ЭК}} = \frac{t \left[\left(1 + \frac{p}{100}\right) BT^{\frac{1}{n}} + \left(1 + \frac{p}{100}\right) T^{\frac{1}{n}-1} BT_1 + \left(1 + \frac{p}{100}\right) T^{\frac{1}{n}-1} A + MT^{\frac{1}{n}-1} \right]}{\text{const } s_z},$$

$$s_{\text{ЭК}} = \frac{t \left[\left(1 + \frac{p}{100}\right) \left(T^{\frac{1}{n}} B + T^{\frac{1}{n}-1} BT_1 + T^{\frac{1}{n}-1} A \right) + MT^{\frac{1}{n}-1} \right]}{\text{const } s_z}.$$

Обозначим $\left(1 + \frac{p}{100}\right) = K$. В таком случае

$$s_{\text{ЭК}} = \frac{t \left(KT^{\frac{1}{n}} B + KT^{\frac{1}{n}-1} BT_1 + KT^{\frac{1}{n}-1} A + MT^{\frac{1}{n}-1} \right)}{\text{const } s_z}.$$

Пусть

$$\frac{tKB}{\text{const } s_z} = C_1;$$

$$\frac{tKBT_1}{\text{const } s_z} = C_2;$$

$$\frac{tKA}{\text{const } s} = C_3;$$

$$\frac{MT}{\text{const } s_z} = C_4;$$

тогда

$$s_{\text{ЭК}} = C_1 T_{\text{ЭК}}^{\frac{1}{n}} + C_2 T_1^{\frac{1}{n}-1} + C_3 T_{\text{ЭК}}^{\frac{1}{n}-1} + C_4 T_{\text{ЭК}}^{\frac{1}{n}-1}.$$

Для нахождения минимума приравняем нулю производную правой части уравнения

$$\frac{ds}{dT} = \frac{1}{n} C_1 T^{\frac{1}{n}-1} + \left(\frac{1}{n} - 1\right) C_2 T_1^{\frac{1}{n}-2} + \left(\frac{1}{n} - 1\right) C_3 T^{\frac{1}{n}-2} +$$

$$+ \left(\frac{1}{n} - 1\right) C_4 T^{\frac{1}{n}-2} = 0,$$

$$T^{\frac{1}{n}-2} \left[\frac{1}{n} C_1 T_{\text{эк}} + \left(\frac{1}{n} - 1 \right) C_2 + \left(\frac{1}{n} - 1 \right) C_3 + \left(\frac{1}{n} - 1 \right) C_4 \right] = 0.$$

Так как $T^{\frac{1}{n}-2} \neq 0$, то, следовательно,

$$\frac{1}{n} C_1 T_{\text{эк}} = C_2 \left(1 - \frac{1}{n} \right) + C_3 \left(1 - \frac{1}{n} \right) + C_4 \left(1 - \frac{1}{n} \right),$$

$$T_{\text{эк}} = \frac{\left[n C_2 \left(1 - \frac{1}{n} \right) + C_3 \left(1 - \frac{1}{n} \right) + C_4 \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right]}{C_1}.$$

После преобразований

$$T_{\text{эк}} = \frac{(n-1)(C_2 + C_3 + C_4)}{C_1}.$$

Постоянные в этом уравнении равны:

$$C_1 = \frac{Bt \left(1 + \frac{P}{100} \right)}{\text{const } s_z},$$

$$C_2 = \frac{BT_1 t \left(1 + \frac{P}{100} \right)}{\text{const } s_z},$$

$$C_3 = \frac{At \left(1 + \frac{P}{100} \right)}{\text{const } s_z},$$

$$C_4 = \frac{Mt \left(1 + \frac{P}{100} \right)}{\text{const } s_z}.$$

Подставив эти значения постоянных, получим

$$T_{\text{эк}} = \frac{(n-1) \text{const } t s_z \left(1 + \frac{P}{100} \right) b T_1 + A + M}{\text{const } s_z B t \left(1 + \frac{P}{100} \right)}.$$

После преобразований:

$$T_{\text{эк}} = (n-1) \left(T_1 + \frac{A}{B} + \frac{M}{B} \right).$$

Определение $T_{\text{эк}}$ и $T = \text{const}$

Определяем $T_{\text{эк}}$, подставляя данные из табл. 23.

Таблица 23 составлена по сведениям, полученным от планово-экономических отделов, тарифно-нормировочных бюро и бухгалтерия инструментального и механического цехов завода. Номера фрез выражают условно тип фрезы. В данном случае фрезы имеют шаг 1; 1,25; 1,5 и 2 мм. Фрезы однотипные по конструкции и отличаются друг от друга диаметрами, шириной и числом режущих гребенок.

Число заточек каждой фрезы берем равным 10, как среднее из ряда наблюдений. Время на замену фрезы равно 15 мин.

Таблица 23

№ фрезы	Стоимость материала одной фрезы	Стоимость обработки одной фрезы	Стоимость всех заточек одной фрезы	Стоимость материала одной фрезы, приходящаяся на одну заточку	Стоимость изготовления и заточки фрезы, приходящаяся на одну заточку
	в рублях				
14806	5,85	11,50	3	0,58,5	1,45
14808	5,85	10,14	3	0,58	1,31
14486	2	6,03	2,10	0,20	0,81
14492	4,02	7,42	2,10	0,40	0,95,2
14805	5,65	10,14	3	0,56	1,31
14809	1,79	10,34	3,10	0,18	1,34
1449	9,34	13,34	3,10	0,92	1,64

Плановые накладные расходы на работу инструментальщика, изготовляющего фрезу, равны 250%, фактические 268%. Плановые накладные расходы на работу фрезеровщика, работающего фрезой, равны 395%, фактические 373%. Стоимость одной минуты работы фрезеровщика, работающего фрезой, равна 1,27 коп.

Заметим, что n равно знаменателю дробного числа, которое является показателем степени при T в формуле $v = f(T)$ общего вида. В нашем случае $\frac{1}{n} = \alpha - 0,771$ или $n = 1,3$;

$$T_{\text{эк}} = 0,3 \left(15 + \frac{1,26}{1,27} + \frac{49}{1,27} \right) = 50 \text{ мин.}$$

Определим скорость резания, соответствующую найденному значению $T_{\text{эк}}$:

$$v_{\text{эк}} = \frac{3601}{500 \cdot 771} = 180 \text{ м/мин.}$$

Такая скорость при существующих конструкциях резбовых фрез и резбозфрезерных станков слишком высока.

У наиболее сильных станков Вандерер GFV-5 Ю максимальные обороты шпинделя фрезы $n_{\text{ф}} = 170$ об/мин., что при диаметре фрезы $D_{\text{ф}} = 80$ мм дает максимальную скорость резания $v_{\text{мак}} = 43$ м/мин. Таким образом для получения экономической скорости необходимо увеличить обороты станка в $\frac{v_{\text{эк}}}{v_{\text{мак}}} = 4,2$ раза, что невозможно по условиям прочности станка.

К аналогичным выводам пришли и другие исследователи резбозфрезерного процесса. Значения экономической скорости резания по Генкину¹ приведены в табл. 24.

¹ Инж. Генкин, „Машиностроитель“ № 15, 1937.

Все эти данные приводят к заключению, что для фрезерования резьбы выгодно выбирать максимальную скорость резания, хотя бы в ущерб стойкости фрезы.

Таблица 24

Экономическая скорость $ж/мин$

Материал	Износ мм	Число ниток на 1 дюйм		
		20	16	12
3312	0,03	50,48	42,23	—
	0,05	78,93	63,15	45,58
	0,07	—	100,1	—
1035	0,03	—	—	—
	0,05	64,06	50,68	36,23
	0,07	—	104,9	71,14
5140	0,03	17,32	14,98	13,97
	0,05	21,08	17,82	18,15
	0,07	—	24,12	—
Ковкий чугун	0,03	460,5	414,8	—
	0,05	—	—	—
	0,07	—	—	—

В среднем стойкость резьбовых фрез при скоростях резания в 20—22 $ж/мин$ на термически обработанной стали Х2Н составляет сейчас $4\frac{1}{2}$ —5 час. машинного времени.

В процессе исследования мы проводили наши работы на скоростях $v = 21,5 ж/мин$; $27,5 ж/мин$; $39 ж/мин$ и $60 ж/мин$. Работа на высоких скоростях в течение продолжительного времени (два месяца по две смены) проходила без аварий и поломок станка. Из всех испробованных скоростей скорость $v = 60 ж/мин$ по указанным выше причинам экономически наиболее выгодна. Для данного периода времени мы примем ее за $v_{эк}$.

В таком случае

$$T = \text{const} = \frac{3601 \cdot 1,3}{60} = 210 \text{ мин. машинного времени.}$$

Определение неизвестных в зависимости: $v = f(s_z)$

$$v = (f) t,$$

$$v = (f) d_{зад}.$$

При нахождении зависимости $T = (f) s_z = \frac{C_z}{s_z^p}$ мы задавались различными значениями s_z при одной и той же скорости резания. При этом мы получили различные периоды стойкости $T_{маш}$,

в зависимости от принятых величин s_z . Для получения искомой зависимости произведем пересчет данных по формуле

$$\frac{v_1}{v_{\text{эк}}} = \left(\frac{T_{\text{ок}}}{T_1} \right)^x,$$

где v_1 — фактическая скорость,
 T_1 — фактическое время работы резцовой фрезы,
 $v_{\text{эк}}$ — экономическая скорость резания,
 $T_{\text{эк}}$ — экономический период работы фрезы.

Подвергая аналитической обработке полученные данные, выводим закон $v = f(s_z)$,

$$v = \frac{A}{s_z^x},$$

где $x = 0,325 = \text{tg } 18^\circ 2'$,

$A_{\text{ок}}$ — константа для случая окончательной обработки; $A_{\text{ок}} = 13,5$ для термически обработанной стали Х2Н ($R_c = 26 \div 33$),

$A_{\text{пр}}$ — константа для случая предварительной обработки, $A_{\text{пр}} = 19,6$ — для термически обработанной стали Х2Н ($R_c = 26 \div 33$).

Аналогичным путем выводится закон $v = f(f)$. Он имеет следующий вид:

$$v = \frac{B}{f^y},$$

где $y = 1,35 = \text{tg } 53^\circ 30'$,

$B_{\text{ок}}$ и $B_{\text{пр}}$ — константы:

$B = 81$ — для термообработанной стали Х2Н ($R_c = 26 \div 33$),

$B = 116$ — " " " " " Х2Н ($R_c = 26 \div 33$).

Таблица 25

$d_{\text{изд}}$	T_1 мин. маш. времени	v_1 м/мин	$T = \text{const}$	v м/мин
13	164	39	210	32,5
20	380	39	210	59

Для определения неизвестных в уравнении $v = f(d_{\text{изд}})$ находим скорости $v_{\text{эк}}$ путем пересчета по данным табл. 25.

Зависимость $v = f(d)$ имеет следующий вид:

$$v = Ed^q,$$

где $q = 1,428 = \text{tg } 55^\circ$,

$E_{\text{ок}} = 0,84$ для термообработанной стали Х2Н,

$E_{\text{пр}} = 0,12$ " " " " " Х2Н.

ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

При выборе режима обычно задан диаметр изделия и шаг резьбы. Требуется определить скорость резания v м/мин и подачу s_z в мм на один зуб фрезы, а также стойкость T в минутах машинного времени при данных условиях работы.

Выбор подачи

Подачу лимитирует чистота обработки изделия. С увеличением подачи увеличивается сечение стружки. Увеличиваются усилия резания. Увеличение усилий резания приводит к вибрации станка, которая отзывается на чистоте резьбовой поверхности изделий. На поверхности резьбовых витков появляется так называемая „рябь“, т. е. штрихи в радиальных направлениях и следы ударов зубьев. При слишком большой подаче на резьбе появляются „гребешки“, как и при обычном фрезеровании.

На фиг. 59, 60, 61 и 62 (в верхней части) изображены записи вибраций станка при помощи вибрографа (нижняя кривая в виде затухающей синусоиды — отсчет времени). Виброграф устанавливался на передней бабке резьбофрезерного станка Вандерер GFV-500. Нарезались изделия из термообработанной стали X2H при подаче $s_z = 0,013$ мм и скорости $v = 27$ м/мин.

На фиг. 59 — 62 записаны вибрографом действительные вибрации станка, увеличенные в 12 раз. Из этих фигур можно усмотреть, что наибольшие вибрации происходят в плоскости, перпендикулярной оси станка, т. е. в плоскости действия усилий резания.

Таким образом жесткость станка является фактором, ограничивающим диапазон подач.

Чистота резьбы является функцией ряда факторов.

Как можно заключить из сравнения образцов, нарезанных при скоростях 40 — 60 м/мин, наилучшей подачей является минимальная подача 0,006 мм. Неплохая поверхность получается и при средней подаче 0,011 мм. При подаче 0,017 мм на поверхности изделий уже появляется рябь.

После того как выбрана подача, необходимо определить скорость резания и стойкость фрезы. Это удобно сделать по номограмме (фиг. 63).

Номограмма составлена для случая окончательного нарезания резьбы на стали X2H; при нарезании резьбы на других материалах скорости соответственно повышаются (см. номограмму фиг. 55).

Пример. Требуется нарезать изделия $\varnothing 14$ мм с шагом резьбы 2 мм из термообработанной стали X2H.


Из условий чистоты поверхности выбираем подачу на зуб фрезы $s_z = 0,013$ мм. По номограмме фиг. 63 скорость резания, соответствующая шагу 2 мм и подаче 0,013 мм, равна $v = 30$ м/мин.

Допустим теперь, что нам необходимо изготовить это же изделие из стали У4. Обращаемся к номограмме фиг. 55.


Из точки пересечения прямой, проходящей через точку 30 м/мин на оси ординат, с наклонной прямой IV—IV, восстанавливаем перпендикуляр к оси абсцисс и продолжаем его до пересечения с наклонной прямой I—I. Из точки пересечения этих прямых проводим линию, параллельную оси абсцисс до пересечения ее с осью ординат. Точка пересечения этой




Фиг. 59. Вертикальная плоскость поперек оси станка.
Фрезерования нет.



Фиг. 60. Вертикальная плоскость вдоль оси станка.
При фрезеровании.



Фиг. 61. Вертикальная плоскость поперек оси станка.
Фрезерования нет.



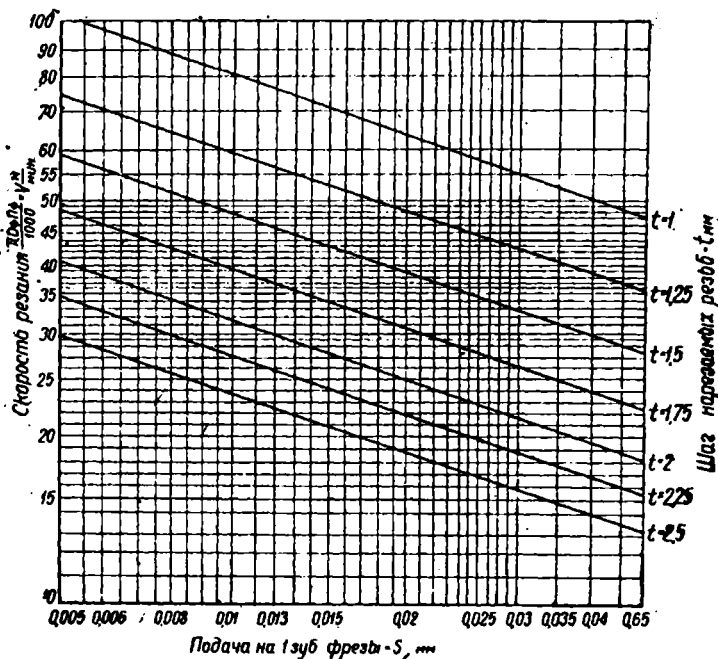
Фиг. 62. Вертикальная плоскость поперек оси
станка. При фрезеровании.

($n = 124$ об/мин; $v = 27$ м/мин; $s_z = 0,013$ мм.

Виброграммы, записанные вибрографом Гейгера при нарезании резьбы с шагом $t = 2$ мм на
наделялке из стали Х21Н, термообработанной до твердости $R_{C2} = 26 \div 33$.

линии с осью ординат укажет необходимую скорость. В данном случае эта скорость равна 48 м/мин.

Само собой разумеется, что при нарезании резьб на прутках диаметром менее 13 мм влияние жесткости крепления и изгиба детали под действием усилий резания заставляет уменьшать скорости и подачи для получения резьбы необходимого качества по чистоте и точности.



Фиг. 63.

Длина изделия и ширина фрезеруемой резьбы оказывают значительное влияние на рабочие режимы. Длинная деталь подвержена изгибу и вибрациям во время работы больше, чем короткая. С увеличением ширины резьбы возрастает усилие резания, увеличивается и износ инструмента. Чтобы сохранить качество изделия в этих случаях, необходимо снизить скорость резания и уменьшить подачу. Наши графики построены для изделий с диаметром 13 — 20 мм; при применении их в цеховой практике необходимо учитывать все сказанное выше.

Качество смазывающе-охлаждающей жидкости также имеет значение при выборе режима. На практике хорошо зарекомендовало себя вареное осерненное масло. Часто для улучшения

качества изделия в масло подмешивают скипидар (15—20%) и керосин. Струя смазывающе-охлаждающей жидкости должна подаваться между нарезаемой деталью и фрезой.

На основе исследований разработана сводка режимов окончательного резбифрезерования наружных резьб авиационных деталей при диаметре резьбы до 20 мм для следующих условий.

Фрезы из быстрорежущей стали ЭР с нешлифованным профилем и прямыми канавками с твердостью $R_C = 62 \div 64$. Стойкость фрез между переточками — 210 млн. машинного времени. Биение фрезы, установленной на станке, — 0,05 мм. Передний угол фрезы 3° , задний угол 10—12°.

При предварительном резбифрезеровании (под последующую прогонку резьбы) значения скоростей, приведенные в табл. 26, следует увеличивать в 1,3 раза. Подача для всех материалов выбирается в пределах 0,013—0,017 мм на зуб.

Общие выводы исследования заключаются в следующем.

1. При нарезании резьбы фрезерованием на деталях, где требуется большая чистота резьбовой поверхности, необходимо применять высокие скорости и малые подачи.

2. Опубликованные в технических справочниках и руководствах режимы не гарантируют получения необходимой в авиаторостроении чистоты поверхности.

3. При нарезании резьб на авиационных деталях диаметром 12—20 мм необходимо выбирать подачи на зуб в пределах 0,010—0,014 мм при шаге 1,25—1,5—2 мм.

4. С увеличением диаметра изделия увеличивается его жесткость, а следовательно, представляется возможным увеличить скорость резания. Наоборот, с уменьшением диаметра изделия необходимо понижать скорость резания.

5. Износ резьбовых фрез при нормальных условиях работы имеет механический характер, а не термический.

НОРМАТИВЫ

Приводим таблицы и номограммы режимов резбифрезерования, опубликованные Комиссией по резанию металлов при НКМ СССР и Гипромашем в 1938 г. на основе опыта различных машиностроительных заводов Союза¹.

Обозначения в нормативах следующие:

- v — скорость резания в м/мин,
- D — внешний диаметр в мм,
- n — число оборотов фрезы в минуту,
- s_m — минутная подача изделия по внешней окружности в м/мин,
- s_f — шаг резьбы (осевое перемещение за один оборот винта) в мм/об,

¹ НКМ СССР, Комиссия по резанию металлов при техническом отделе и Гипромаш „Режимы резания при нарезании резьбы“, раздел 4.

Режимы резьбофрезерования для авиационных наружных резьб

марка	Сталь		Шаг резьбы мм	Скорость м/мин для резьб диаметром		Число оборотов в ми- нутах при $D=70$ мм Диаметр изделия $d =$		Подача в мм на один зуб S_z
	термообра- ботка	механические качества		< 13 мм	13—20 мм	< 13 мм	13—20 мм	
X2H	Термически улучшена	$R_C = 26 \div 33$ σ_b кг/мм ² = = 85 ÷ 100	1	51	60	232	275	0,010—0,013
			1,25	38	44	172	200	0,010—0,013
X2H	Сырая	σ_b кг/мм ² = = 57 ÷ 69	1,5	32	37	145	168	0,010—0,013
			2	24	28	109	127	0,010—0,013
			1	51	60	232	275	0,012—0,014
			1,25	48	57	218	260	0,012—0,014
У4	Сырая	σ_b кг/мм ² = = 54 ÷ 70	1,5	40	47	182	218	0,012—0,014
			2	31	36	141	164	0,012—0,014
			1	51	60	232	275	0,011—0,017
			1,25	51	60	232	275	0,011—0,017
			1,5	51	60	232	275	0,011—0,017
			2	42	49	191	220	0,011—0,017

- g — число заходов резьбы (двухходовые, трехходовые и т. д. резьбы),
 M — модуль резьбы в мм,
 d — внешний диаметр нарезаемой детали в мм,
 l — длина резьбы в мм,
 δ — величина врезания фрезы в мм,
 α — угол наклона витков резьбы к оси нарезаемого предмета в градусах,

$T_{\text{маш}}$ — общее машинное время изготовления резьбы в минутах,

T_1, T_2, T_3 — машинное время нарезания одного прохода для всех заходов в минутах,

s_z — подача на зуб нарезаемого предмета в мм,

t — продолжительность нарезания одного витка в минутах,

z — число зубьев фрезы,

h — глубина резания при отдельном проходе в мм.

Круговая подача изделия в мм/мин определяется по следующей формуле:

$$s_M \text{ мм/мин} = \frac{\sqrt{(\pi d)^2 + s_z^2}}{t} \quad (1)$$

При малом шаге резьбы ($s_z^2 \approx 0$) формула принимает следующий вид:

$$s_M = \frac{\pi d}{t} \quad (2)$$

Формула для определения машинного времени при изготовлении резьбы дисковой фрезой имеет следующий вид (при трех проходах):

$$T_{\text{маш}} \text{ мин.} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (3)$$

Формула для определения машинного времени нарезания дисковой фрезой при одном проходе выражается для всех заходов следующим образом

$$T_1 \text{ мин.} = \frac{l + \delta \pi d}{s_t s_M \cos \alpha} g \quad (4)$$

Структура формулы проста:
отношение

$$\frac{l + \delta}{s_t}$$

представляет собой расчетное число витков на всей длине нарезания. Дробь

$$\frac{\pi d}{s_M \cos \alpha}$$

дает длительность нарезания одного витка в минутах. Произведение числа витков на длительность нарезания одного витка дает время в минутах. При умножении этой величины на число

заходов резьбы получается время нарезания одного прохода для всех заходов. Время нарезания каждого прохода нужно учитывать в отдельности, так как при двух-, трех- и многозаходных нарезках глубина резания, минутная подача и врезание для каждого прохода могут быть различными.

Величина врезания дисковой фрезы определяется (приблизительно) по формуле

$$v_{\text{м.м}} = \sqrt{h(D-h)}. \quad (5)$$

По формуле (4) построен график фиг. 64 для определения машинного времени. Пользование графиком чрезвычайно просто. Пример пользования дан на графике. На карте 23 приведены

Таблица 27

НКМ СССР Комиссия по резанию металлов при Техниче- ском отделе и Гипромаш	СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И МИНУТ- НЫЕ ПОДАЧИ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ ДИСКОВОЙ ФРЕЗОЙ	Нарезание резьбы фрезами
		Карта 20

Скорости резания в м/мин

Машиноподелочная сталь σ_b кг/мм ²					Хромоникелевая сталь σ_b кг/мм ²			Хромистая сталь σ_b кг/мм ²		
40-50	50-60	60-70	70-80	> 80	60-70	70-80	> 80	60-70	70-80	> 80
25-32	23-30	20-28	16-22	14-22	20-25	16-20	14-17	18-24	15-20	13-17

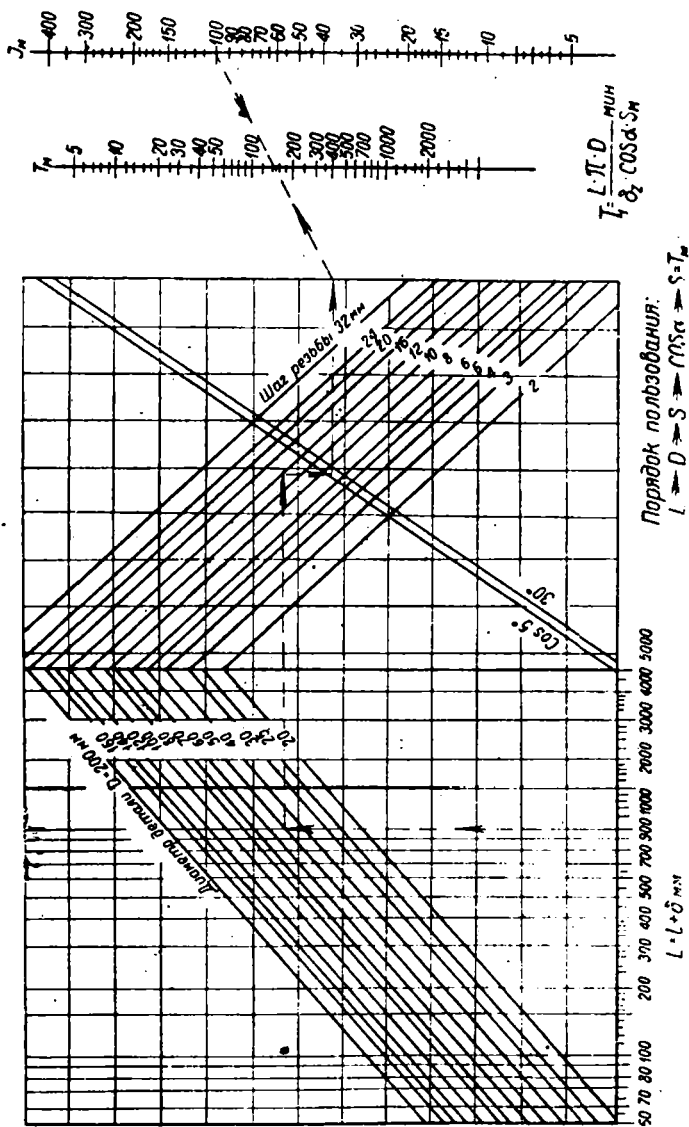
Примечания. 1. Большие скорости резания соответствуют меньшим глубинам резания.

2. При нарезании резьбы небольшого модуля (до 5 мм) табличные скорости резания следует увеличивать на 15-20%.

3. Скорости резания ориентированы на стойкость около 3 час.

Модуль	Высота резьбы мм	Подача мм/мин	Модуль	Высота резьбы мм	Подача мм/мин
1	2,17	260,0	7	15,17	32,8
2	4,33	130,0	8	17,32	31,0
3	6,55	90,0	9	19,50	30,0
4	8,67	50,0	10	21,67	29,6
5	10,83	43,5	11	23,88	28,9
6	13,00	39,6	12	26,00	23,6

Примечание. Подачи в таблице приведены для нарезания резьбы в один проход.



Фиг. 64. График для определения машинного времени при работе дисковой фрезой в один проход.

величины врезания в зависимости от глубины резьбы и диаметра фрезы. В левом квадранте графика карты 22 приведены значения суммы длины резьбы и величины врезания.

Формула для подсчета машинного времени при изготовлении резьбы групповой фрезой выводится из формулы (4) при помощи подстановки величин в соответствии с особенностями групповой фрезы. Эта формула имеет следующий вид:

$$T_{\text{маш мин}} = \frac{(l + \delta) \pi d}{s_f \cos \alpha s_M} g = \frac{1,2 \pi d}{h s_z z} = \frac{1,2 \pi d}{s_M} \quad (6)$$

Минутная подача равна

$$s_M \text{ мм/мин} = s_z z n.$$

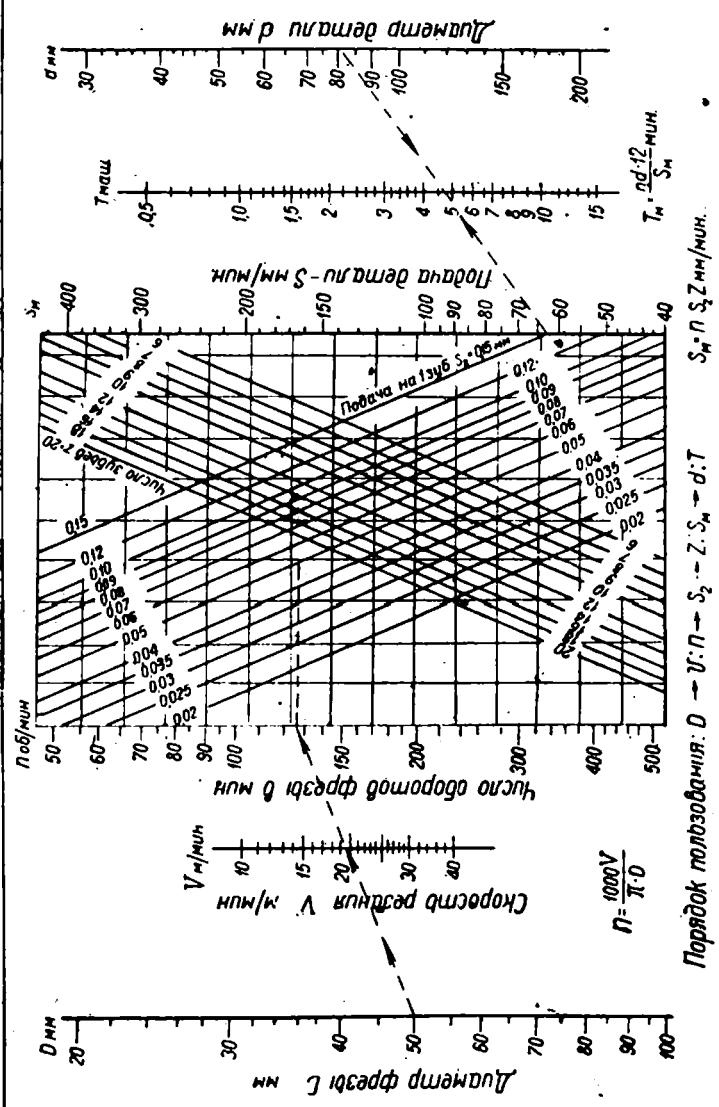
По формуле (6) на карте 27 построен график фиг. 65. Порядок пользования указан на графике.

Таблица 28

НКМ СССР Комиссия по резанию металлов при Техниче- ском отделе и Гипромаш		ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СТАНКОЗАВОДА ИМЕНИ ОРДЖОНИКИДЗЕ			Нарезание резьбы фрезами	
		Резьбофрезерование дисковыми фрезами			Карта 21	
Нарезка трапецидальной резьбы						
Точность обработки	Скорости и подачи (на 1 зуб и минутные)		Машиноподелоч- ная сталь σ_b кг/мм ²		Хромис- тая сталь 20X, 40X σ_b кг/мм ²	Хромони- келевая сталь 12XH σ_b кв/мм ²
			40—50	65—70	65—70	75—80
Средней точности, эт один проход	Скорость резания м/мин		28—32	24—28	20—24	16—20
	Подача	на 1 зуб мм	0,05—0,06	0,07—0,08	0,06—0,07	0,06—0,07
		в минуту мм	120—150	130—175	95—180	75
Точная, за один проход	Скорость резания мм		28—32	25—28	20—24	16—20
	Подача	на 1 зуб мм	0,04—0,05	0,06—0,07	0,05—0,06	0,04—0,05
		в минуту мм	115—125	120—155	80—110	60—80

Примечания. 1. Стойкость фрез до 4 час.

2. Режим резания выведен для фрез диаметром 60—80 мм с числом зубьев 12—18.



Фиг. 65. График для определения числа оборотов фрезы, минутной подачи и машинного времени при работе групповой фрезой.

Таблица 29

НКМ СССР Комиссия по резанию металлов при Техниче- ском отделе и Гипромаш		ВЕЛИЧИНЫ ВРЕЗАНИЯ ПРИ РАБОТЕ ДИСКОВЫМИ ФРЕЗАМИ										Нарезание резьбы фрезами	
		Карта 23											
Глубина резания мм	Диаметры фрез, мм												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Величина врезания, мм												
0,5	4,5	4,8	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7	6,9	7,1
1,0	6,3	6,7	7,0	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,2	9,4	9,7	10,0
1,5	7,6	8,1	8,5	9,0	9,4	9,8	10,2	10,5	10,8	11,2	11,8	11,8	12,3
2,0	8,7	9,3	9,75	10,3	10,8	11,2	11,7	12,0	12,5	12,9	13,3	13,6	14,0
3,0	10,5	11,3	11,8	12,5	13,0	13,6	14,2	14,7	15,2	15,7	16,2	16,6	17,0
4,0	12,0	12,9	13,6	14,3	15,0	15,6	16,4	17,0	17,4	18,0	18,6	18,9	19,6
5,0	13,0	14,0	15,0	15,8	16,6	17,3	18,0	18,7	19,4	20,0	20,6	21,2	21,8
6,0	14,3	15,3	16,3	17,0	18,0	19,0	19,6	20,4	21,0	21,8	22,5	23,2	23,8
7,0	15,0	16,3	17,3	18,3	19,0	20,2	21,0	21,8	22,6	23,4	24,0	24,8	25,5
8,0	16,0	17,2	18,3	19,4	20,4	21,4	22,3	23,2	24,0	24,8	25,6	26,4	27,2
9,0	16,7	18,0	19,2	20,3	21,4	22,5	23,4	24,4	25,3	26,2	27,0	27,9	28,6
10,0	17,3	18,7	20,0	21,2	22,3	23,5	24,5	25,5	26,5	27,4	28,3	29,2	30,0
11,0		19,3	20,7	22,0	23,2	24,5	25,4	26,5	27,6	28,5	29,5	30,4	31,3
12,0			21,3	22,7	24,0	25,2	26,4	27,5	28,6	29,6	30,6	31,6	32,4
13,0				23,4	24,7	26,0	27,2	28,4	29,5	30,6	31,6	32,6	33,6
14,0					25,4	26,7	28,0	29,2	30,4	31,6	32,7	33,6	34,7
15,0						17,4	28,7	30,0	31,2	32,4	33,5	34,6	35,7

Таблица 30

НКМ СССР Комиссия по резанию металлов при Техниче- ском отделе и Гипромаш		РАЗМЕРЫ ГРУППОВЫХ ФРЕЗ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ НАРУЖНОЙ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ			Нарезание резьбы фрезами	
		Карта 24.				



Нарезание резьбы на ручных метчиках

Резьба по ОСТ 271 и 272				Резьбы по ОСТ 32			
Диаметр фрезы мм	Ширина фрезы мм	Число зубьев	Диаметр отверстия под оправку мм	Диаметр резьбы мм	Диаметр фрезы мм	Ширина фрезы мм	Число зубьев
50	50	10	22	M10	50	37	10
50	40	10	22	M12	50	42	10
55	50	10	22	M14—16	53	48	10
55	60	10	22	M18—22	53	60	10
65	80	12	27	M24—27	58	70	12
65	95	12	27				

Нарезание метрической резьбы по ОСТ 32

Диаметр фрезы мм	Шаг	Ширина фрезы мм	Число зубьев	Диаметр фрезы мм	Шаг	Ширина фрезы мм	Число зубьев
65	1,25	40	10	65	1,50	20	10
65	1,25	30	10	65	1,50	15	10
65	1,25	20	10	65	1,75	40	10
65	1,25	15	10	65	1,75	30	10
65	1,50	50	10	65	2,00	76	10
65	1,50	45	10	65	2,00	46	10
65	1,50	40	10	65	2,00	40	10
65	1,50	30	10	65	2,50	40	10
65	1,50	27	10	80	3,00	33	12

Примечание. Составлено по «Альбому нормального режущего инструмента для механических цехов» (Гипромаш, сер. III, вып. 14, карты Р-129, 124, Р-122).

Таблица 31

НКМ СССР Комиссия по резанию металлов при Техническом отделе и Гипромаш		СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ, ПОДАЧИ НА ЗУБ ПРИ НАРЕЗАНИИ НА- РУЖНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ ГРУППОВОЙ ФРЕЗОЙ				Нарезание резьбы фрезами			
						Карта 25			
Наименование материала	σ _b кг/мм ²	Шаг резьбы, мм							
		до 3 мм		свыше 3 мм		до 3 мм		свыше 3 мм	
		мм	м/мин	мм	м/мин	мм	м/мин	мм	м/мин
Машиноподельная - сталь	до 50	38	0,06	32	0,05	34	0,07	29	0,06
	50—60	32	0,06	27	0,05	29	0,07	24	0,06
	60—70	27	0,07	23	0,06	24	0,08	21	0,07
	70—80	22	0,07	19	0,06	20	0,08	17	0,07
	> 80	19	0,06	16	0,05	17	0,07	14	0,06
Хромоникелевая сталь	60—70	25	0,06	21	0,05	23	0,07	19	0,06
	70—80	21	0,05	18	0,04	19	0,06	16	0,05
	> 80	17	0,04	15	0,03	15	0,05	14	0,04
Хромистая сталь	60—70	24	0,06	20	0,05	22	0,07	18	0,06
	70—80	20	0,05	17	0,04	18	0,06	15	0,05
	> 80	17	0,04	15	0,03	15	0,05	14	0,04
Серый чугун	Мягкий	35	0,09	28	0,08	32	0,10	25	0,09
	Средний	29	0,08	23	0,07	26	0,09	21	0,08
	Твердый	23	0,07	18	0,06	21	0,08	16	0,06
Ковкий чугун	Мягкий	38	0,10	32	0,09	24	0,11	29	0,10
	Средний	31	0,09	26	0,08	28	0,10	24	0,09
	Твердый	25	0,08	21	0,07	22	0,09	19	0,08

Примечание. Скорости в таблице рассчитаны на 4-часовую стойкость фрезы при обильном охлаждении. Для перехода на другую стойкость приведены поправочные коэффициенты.

Поправочные коэффициенты на скорость в зависимости от стойкости

Стойкость в часах	6	4	3	2,5	2	1,5	1
Поправочный коэффициент	0,82	1,00	1,15	1,27	1,42	1,63	2,00

Таблица 32

НКМ СССР Комиссия по резанию металлов при Техническом отделе и Гипромаш	ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ МОСКОВСКОГО ВЕЛОЗАВОДА И СТАНКОЗАВОДА ИМ. ОРДЖОНИКИДЗЕ Нарезание резьбы групповыми фрезами	Карта 26

Московский велозавод

Групповая фреза из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал—сталь 1015 σ_b 60 кг/мм²

Род резьбы	Диаметр резьбы		Число витков на 1 дюйм	Длина резьбы, мм	Фреза		Режим		Примечание
	дюйм	мм			диаметр мм		м/мин	мм	
Наружная	1,29	32,77	24	—	26	10	1170	96	Стойкость фрез 60—80 м.ш.
»	1,37	34,8	24	—	26	10	1300	106	
»	1,37	34,8	24	11,20	26	10	1110	90	
»	1,37	34,8	24	13,80	26	10	1100	90	
»	1,50	38,1	24	5,00	26	10	1320	108	
»	1,50	38,1	24	7,25	26	10	1320	108	
Внутренняя	1,00	25,4	24	4,85	15	8	1600	75	0,047
»	1,50	38,1	24	5,50	26	10	917	75	0,045
»	1,5	38,1	24	9,30	26	10	917	75	0,045

Примечание. Числа оборотов даны применительно к станкам завода.

Станкозавод им. Орджоникидзе

Нарезание треугольной резьбы с шагом 1—6 мм групповой фрезой

Обрабатываемый материал	Машиноделочная сталь σ_b кг/мм ²		Хромистая сталь 20X, 40X σ_b кг/мм ²	Хромоникелевая сталь 12ХН σ_b кг/мм ²	Чугун		
	40—50	65—70	65—70	75—80	мягкий	средний	твердый
Наружная резьба							
Скорость резания м/мин	25—30	20—25	18—23	18—20	22—27	12—22	14—18
Подача на 1 зуб мм/мин	0,05—0,06 100—145	0,06—0,07 95—140	0,05—0,06 70—110	0,04—0,05 55—80	0,065— —0,075 115—160	0,06—0,07 90—127	0,04—0,05 45—75
Внутренняя резьба							
Скорость резания м/мин	23—26	19—23	16—20	16—20	19—23	16—19	12—15
Подача на 1 зуб мм/мин	0,06—0,07 110—145	0,07—0,08 105—145	0,06—0,07 80—115	0,05—0,06 65—85	0,075— —0,085 115—160	0,07—0,07 90—125	0,05—0,06 45—75

Примечание. Скорости резания и подачи даны в пределах: первый предел, т. е. меньшие скорости и подачи следует применять для треугольной резьбы при повышенной твердости материала, при малом диаметре фрезы (до 55 мм), при крупной резьбе (шаг > 3 мм), при длинной резьбе (выше 40 мм); второй предел, т. е. большие скорости и подачи следует применять при пониженной твердости материала, при диаметре фрезы выше 55 мм, при резьбе с шагом < 3 мм, при длине резьбы < 40 мм.

Режимы резания приведены для фрез диаметром 35—65 мм с числом зубьев 10—16 для треугольной резьбы.

Стойкость фрез—до 4 часов.

Приводимая ниже таблица скоростей и подач при фрезеровании резьб составлена по данным американской станкостроительной фирмы Хэнсон-Витней. Данные взяты фирмой из практики ряда машиностроительных заводов США. Эти данные позволяют сделать заключение о том, что в поисках наиболее рациональных режимов при резьбофрезеровании американские заводы также увеличивают скорость резания, одновременно уменьшая подачи.

Скорости и подачи при резьбофрезеровании по данным фирмы
Хэнсон-Витней (США)

AE (стан- дарт США №)	Материал	Число ниток на 1"	Круговая подача изделия м/мин	Скорость резания м/мин	Примечание
1030	Углеродистая сталь . .	16	11	38	Термообработанная
1045	« « . .	12	11	33	
1045	« « . .	5	9	33	
1050	« « . .	12	11	33	
1112	Подделочная сталь . . .	канавки для масла	25	61	
1225		20	11	46	
2035		16	15,3	41	
3031		24	5,8	38	
3135	Хромо-никелевая сталь	24	14,2	33	Термообработанная $R_C = 24 \div 32$
3135	» »	16	8,7	33	
6140	Хромованадиевая сталь	18	8,1	45	Термообработанная $R_C = 37 \div 39$
6165	» »	12	5,8	45	
	Монель	16	3,7	45	
	Нержавеющая сталь	14	2,7	35	
	Быстрорежущая сталь	18	2,5	19,5	

ГЛАВА IV

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗЬБ

ДЕФЕКТЫ НАРЕЗОК

Встречаются следующие дефекты резьб.

1. Отклонения основных размеров: наружный, внутренний и средний диаметры, а также шаг резьбы.

2. Искажения резьбового профиля.

3. Дефекты поверхностей: надирь, местные вырывы материала, трещинки и пр.

Проф. Шлейзингер¹ выдвигает в качестве основной предпосылки правильного изготовления резьбы следующее положение.

Резьба болта ни в одной точке не должна выходить за пределы теоретического профиля; резьба гайки не должна доходить до пределов теоретического профиля.

Рассмотрим последовательно влияние отклонений в элементах резьбового профиля.

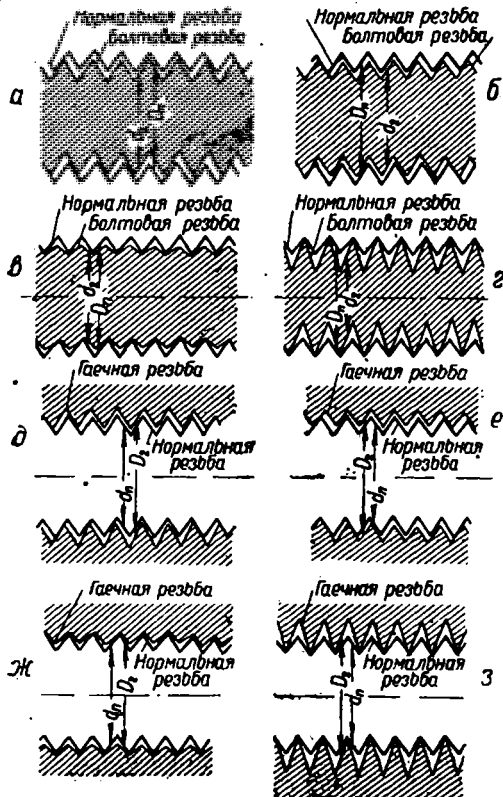
1. Увеличение или уменьшение величины шага вызывает увеличение среднего диаметра болтовой резьбы (фиг. 66, а, б, д, е). На фиг. 66, а показан случай, когда шаг болтовой резьбы больше нормального. Такой болт можно ввинтить в нормальное

¹ 2-я книга DIN, проф. Шлейзингер, Винтовая нарезка.

калибровое кольцо только в том случае, если уменьшить средний диаметр болтовой резьбы на величину

$$D_n - d_2 = f_1 = \delta h \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2},$$

где δh — отклонение величины шага, отнесенное к длине винченной части резьбы; α — угол профиля.



Фиг. 66.

Здесь также

$$D_2 - d_2 = f_1 = \delta h \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Фиг. 66, д и е показывают, что при наличии ошибок шага средний диаметр гаечной резьбы должен быть увеличен на величину

$$D_2 - d_n = f_1 = \delta h \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Влияние длины винченной части можно также видеть из фиг. 66, а. Для этой цели представим себе, что последние витки отрезаны. Если величина d_2 будет везде одинакова, то болт будет свободно входить в калибровое кольцо. С другой стороны, если бы резьба была на один или несколько витков длиннее, чем показано на фиг. 66, а, то болт вовсе не вошел бы в калибровое кольцо. Отсюда можно заключить, что средний диаметр d_2 с увеличением длины ввинчивания должен уменьшаться.

Из фиг. 66, б видно, что то же самое происходит, когда шаг болтовой резьбы меньше нормального.

2. Увеличение или уменьшение среднего диаметра вызывает в болтовой резьбе уменьшение, а в гаечной резьбе увеличение среднего диаметра (фиг. 66, *в*, *г*, *ж*, *з*).

Погрешности в профиле уничтожают прилегание боковых сторон; витки начинают соприкасаться гребнями, что нежелательно для прочности резьбы.

Фиг. 66, *б* показывает, что, если угол профиля болтовой резьбы больше нормального, то болт с теоретическим средним диаметром D_n не входит в нормальное калибровое кольцо. Средний диаметр болта в этом случае должен быть уменьшен до величины d_2 . Уменьшение среднего диаметра равно

$$D_n - d_2 = f_2 \approx \frac{2t_2}{\sin \alpha} \delta \frac{\alpha}{2},$$

где t_2 — высота треугольника резьбы, α — угол профиля и $\delta \alpha$ — отклонение угла профиля в дуговых единицах измерения.

На фиг. 66, *г* показан случай, когда угол профиля болтовой резьбы меньше нормального. И здесь необходимо уменьшить средний диаметр до величины d_2 , для того чтобы болт вошел в калибровое кольцо.

Фиг. 66, *ж* и *з* показывают, что в случае отклонений угла профиля от нормы средний диаметр гаечной резьбы должен быть увеличен против нормального, так как иначе нельзя навинтить гайку на нормальную калибровую пробку. Величина приращения среднего диаметра равна

$$D_2 - d_n = f_2 \approx \frac{2t_2}{\sin \alpha} \delta \frac{\alpha}{2}.$$

3. Если налицо одновременно отклонения в величине шага и угла профиля (как это обычно и бывает), то необходимые изменения среднего диаметра суммируются.

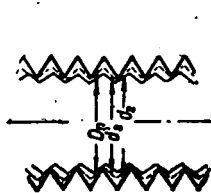
На фиг. 67 в качестве примера показан случай, когда болтовая резьба имеет меньший шаг и больший средний диаметр против нормальных. Из-за отклонения в угле профиля средний диаметр должен быть уменьшен до величины d_2 (пунктирный профиль). Из-за отклонения в величине шага средний диаметр должен быть уменьшен еще больше (тонкая линия на фиг. 67). Общая величина, на которую должен быть изменен средний диаметр из-за погрешностей в величине шага и угла профиля, всегда равна

$$f = f_1 + f_2 = \delta h \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2t_2}{\sin \alpha} \delta \frac{\alpha}{2}.$$

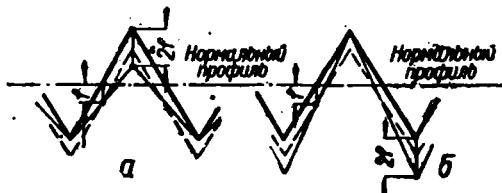
Допуски на внутренний и наружный диаметры резьб значительно превышают допуски на средний диаметр. Пусть например допуск для наружного и внутреннего диаметров вдвое больше допуска для среднего диаметра. На фиг. 68, *а* жирной линией вычерчен теоретический профиль. Отрезок f изображает допуск для среднего диаметра, который согласно вышесказанному

состоит из двух допусков: допуска, выравнивающего отклонение в угле профиля, и допуска, выравнивающего отклонение в величине шага. Если использовать этот суммарный допуск f только для выравнивания погрешности в угле профиля, то получается профиль, вычерченный на фиг. 68, *а* тонкой линией. Таким образом наружный диаметр болта может быть уменьшен на величину $2f$.

На фиг. 68, *б* показано, что по той же причине может быть уменьшен на $2f$ и внутренний диаметр болта. В аналогичных

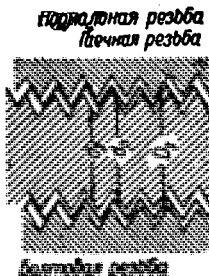


Фиг. 67.



Фиг. 68.

условиях находится гаечная резьба, только здесь наружный и внутренний диаметры приходится увеличивать на величину двойного допуска для среднего диаметра.



Фиг. 69.

5. Если шаг болтовой и гаечной резьбы больше или меньше нормы и если кроме того средний диаметр резьбы болта уменьшен на величину f_1 , а средний диаметр гаечной резьбы увеличен на f_1 , то при ввинчивании болта в гайку получается радиальный люфт $2f_1$ и соответствующий осевой люфт. Это обстоятельство является следствием построения системы резьбовых допусков. Для обеспечения возможности ввинчивания требуется, чтобы болтовая резьба нигде не выходила за пределы теоретического профиля, а гаечная резьба не доходила до них. Соблюдение этого условия может быть установлено просто путем проверки болта калиберным кольцом и гайки калиберной пробкой, причем кольцо и пробка должны, по возможности, точно соответствовать теоретическому профилю. Для того чтобы болт и гайка могли войти в свои калибры, нужно сначала исправить их средние диаметры. Если затем ввинтить такой болт в гайку, то получится люфт в радиальном направлении равный $2f_1$ (фиг. 69).

6. Если шаг болтовой резьбы больше, а шаг гаечной резьбы меньше нормы или наоборот, то хотя средние диаметры будут различны на величину $2f_1$, но осевого и радиального люфта не получится, так как крайние витки резьбы будут соприкасаться друг с другом. Это можно усмотреть из фиг. 66 путем сравнения *а* и *е* или *б* и *д*.

6. Если шаг болтовой резьбы больше, а шаг гаечной резьбы меньше нормы или наоборот, то хотя средние диаметры будут различны на величину $2f_1$, но осевого и радиального люфта не получится, так как крайние витки резьбы будут соприкасаться друг с другом. Это можно усмотреть из фиг. 66 путем сравнения *а* и *е* или *б* и *д*.

7. Если углы профиля болтовой и гаечной резьбы больше или меньше нормы и если, кроме того, средний диаметр болта уменьшен на величину f_2 , а средний диаметр гайки увеличен на f_2 , то при винчивании болта в гайку получается радиальный люфт величиной в $2f_2$ и соответствующий осевой люфт. Из сравнения фиг. 66, в и ж или г и з можно убедиться в том, что при односторонне направленных отклонениях в угле профиля боковые стороны остаются параллельными друг другу и что при этом получается осевой люфт.

8. Если угол профиля болтовой резьбы больше, а угол профиля гаечной резьбы меньше нормы или наоборот, то хотя средние диаметры будут разниться на величину $2f_2$, но осевого и радиального люфта не получится, так как вершины резьбы будут соприкасаться.

При винчивании болта в гайку по фиг. 66, в и 66, з вершины гребней соприкасаются по внутреннему диаметру. При винчивании же болта в гайку по фиг. 66, г и 66, ж вершины гребней соприкасаются по наружному диаметру.

Из всех известных методов нарезания резьбы метод резьбофрезерования допускает наиболее удобное исправление дефектов.

Исправление шага и угла профиля при резьбофрезеровании достигается перешлифовкой резьбовой фрезы по ее профилю, а корректирование среднего диаметра и глубины резьбы получается установкой фрезы на глубину врезания при настройке станка.

КОНТРОЛЬ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА АВИАЦИОННЫХ ЗАВОДАХ США

Представляют интерес методы контроля резьбовых изделий на авиационных заводах США.

В технологическом процессе изготовления шпильки или болта предусмотрены три или четыре контрольные операции.

Контроль до термообработки производится в том случае, когда деталь перед термообработкой подвергается нескольким механическим операциям, вроде обточки по наружному диаметру, шлифовки концов, сверления отверстий и т. д. Если перед термообработкой производится нарезание резьбы, то деталь контролируется независимо от числа операций. Если деталь изготавливается на автомате, то она направляется в термообработку без контроля.

Контроль перед термообработкой заключается в проверке всех размеров детали и резьбы (если последняя нарезается перед термообработкой).

Контроль после термообработки заключается в проверке твердости и в наружном осмотре. Изделия длиной более 3 дюймов проверяются на биение. Допуск на биение $\pm 0,00025$ дюйма. Если резьба нарезалась до термообработки изделия, то проверяется состояние резьбы.

В качестве антикоррозийного покрытия для резьбовых деталей, работающих в неблагоприятных условиях, применяется кадмирование. Контроль перед кадмированием производится в том случае, если кадмирование не следует непосредственно за термообработкой и если между этими двумя операциями изделие подвергается еще другим операциям (нарезанию резьбы). При контроле перед кадмированием тщательно проверяют все элементы резьбы и устанавливают, нет ли на поверхности трещин и рисков. При проверке следят за тем, чтобы был обеспечен нормальный „отрицательный припуск“ на кадмирование—0,0003 дюйма.

При окончательном контроле измеряют средние и наружные диаметры резьбы. Проверяют также наличие захода у ниток резьбы и основные размеры деталей.

Контроль шпилек, которые крепят цилиндр авиационного мотора к картеру, организован следующим образом. Средний диаметр этих шпилек проверяется индикаторной резьбовой скобой. В зависимости от точности среднего диаметра шпильки делятся на три группы:

Отклонение от максимального размера
среднего диаметра в дюймах

1 группа	0,0000 — 0,0005
2 группа	+ 0,001 0,000
3 группа	0,000 — 0,001.

Каждая группа шпилек поступает в монтажно-сборочный цех со своим ярлыком. В цехе имеются соответственно подобранные калиброванные метчики для нарезания отверстий в картере под эти шпильки. Путем подбора, выдерживается натяг в пределах 0,002—0,0035 дюйма.

КОНТРОЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

Для контроля резьб на производстве употребляются следующие инструменты и приборы.

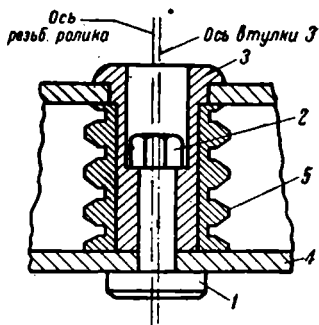
1. Резьбовые роликовые скобы.
2. Индикаторные скобы.
3. Микрометры с тремя проволочками.
4. Резьбовые микрометры.
5. Разжимные резьбовые кольца.
6. Компаратор.
7. Магнитный дефектоскоп (Магнафлюкс).

На авиационных заводах США в качестве контрольно-мерительного цехового инструмента чаще всего применяется роликовая резьбовая скоба. Устройство резьбовой скобы показано на фиг. 70. Общий вид роликовой скобы показан на фиг. 71.

Резьбовой калибр 5 представляет собой втулку с профилированными кольцевыми канавками. Ролик-калибр надевается на

штулку - ось 3. Втулка - ось 3 надевается в свою очередь на болт 1 и вся конструкция прижимается при помощи гайки 2 к бортам обоймы 4. Втулка - ось имеет небольшой эксцентриситет относительно оси болта. Благодаря этому эксцентриситету скобу можно отрегулировать на определенный допуск. Это делается в центральном контрольном отделе. После того как скоба отрегулирована на определенный размер, отверстие во втулке заливается сургучом. Для характеристики точности роликовых резьбовых скоб приводим табл. 34. В этой таблице приводятся размеры и допуски на средние диаметры скоб наиболее часто встречающихся размеров резьб.

Помимо резьбовых скоб применяются также и разжимные резьбовые кольца. Этот способ измерения является более дорогим и менее надежным. Чаще всего разжимными резьбовыми кольцами проверяют настройку резьбонарезного станка. Основные дефекты этого способа контроля заключаются в том, что при регулировке кольца изменяется профиль его резьбы. Кроме того, этим способом нельзя



Фиг. 70. Сечение по оси роликового калибра.

установить таких дефектов, как овальность резьбы и ошибок шага.

Более совершенный прибор этого типа, изображенный на фиг. 72, выпущен недавно фирмой Джонс - Ламсон. Прибор имеет две зоны допусков в сторону плюсов и в сторону минусов. Эти допуски определены классом точности нарезаемой резьбы. Резьбовое кольцо этого прибора

представляет собой сменную плашку. Плашки делают для любого класса точности. Калибр устанавливается на определенную точность при помощи резьбовой пробки и фиксируется в данном положении. Измерение производится следующим образом: деталь свертывают в резьбовое кольцо, которое устанавливают предварительно в положение *опер.* После того как винт свернут, резьбовое кольцо повертывают вправо и

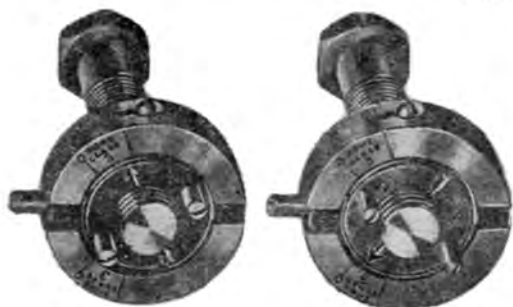
Таблица 34

Средний диаметр в дюймах

Проходной размер	Непроходной размер
0,3474 ^{+0,0000} _{-0,0003}	0,3454 ^{+0,0003} _{-0,0000}
0,4670 ^{+0,0000} _{-0,0003}	0,4649 ^{+0,0003} _{-0,0000}
0,4040 ^{+0,0000} _{-0,0001}	0,4035 ^{+0,0000} _{-0,0001}
0,3401 ^{+0,0000} _{-0,0003}	0,3385 ^{+0,0000} _{-0,0003}



Фиг. 71. Общий вид роликовой резьбовой скобы.



Фиг. 72. Кольцевые резьбовые калибры.

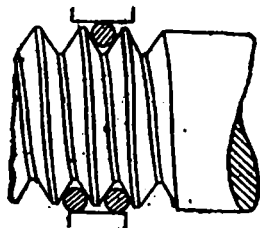


Фиг. 73. Измерение резьбы роликовой индикаторной скобой.

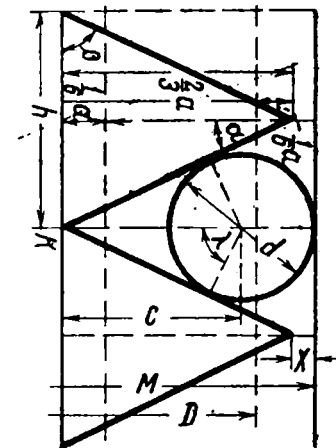
влево доотказа. Если стрелка кольца устанавливается в пределах обеих зон допусков, то деталь годна. Этот прибор одновременно контролирует ошибки шага.

При измерении точных резьб применяют индикаторные резьбовые скобы (фиг. 73). Индикаторная скоба представляет собой очень удобный контрольный инструмент.

В отдельных случаях для проверки средних диаметров ответственных резьб (эталонные резьбы, резьбовые калибры, силовые шпильки экспериментальных двигателей и пр.) применяется метод "трех проволочек", который заключается в следующем. Три проволочки, имеющие точно определенный диаметр, вкладываются во впадины между нитками резьбы (фиг. 74); расстояние между крайними точками этих проволочек измеряется микрометром. На фиг. 75 изображена геометрическая схема резьбового профиля с заложенной между сторонами резьбы проволочкой¹.



Фиг. 74.



Фиг. 75.

Обозначив: наружный диаметр резьбы — D ,
раствор губок микрометра — M ,
средний диаметр резьбы — d_{cp} ,
по фиг. 75 получаем

$$M = D + 2 \frac{1}{8} a + 2x, \quad (1)$$

где

$$a = \frac{h}{2} \operatorname{tg} \beta = \\ = \frac{h}{2} \operatorname{tg} (90^\circ - \alpha) = \frac{h}{2} \operatorname{ctg} \alpha,$$

но

$$a + x = \frac{d}{2} + c, \quad (2)$$

где c — расстояние от оси проволочки до внутренней вершины K_1 , причем

$$c = \frac{\frac{d}{2}}{\cos (90^\circ - \alpha)} = \frac{d}{2 \sin \alpha}.$$

Подставляя значение c в формулу (2), получаем

$$x = \frac{d}{2} + \frac{d}{2 \sin \alpha} - a.$$

¹ Проф. Г. А. Апарин, Измерительные приборы и инструменты в машиностроении, ч. 2.

После подстановки значений a и c формула (1) принимает следующий вид:

$$M = D + 2 \frac{1}{6} \frac{h}{2} \operatorname{ctg} \alpha + 2 \left[\frac{d}{2} + \frac{d}{2 \sin \alpha} - a \right]$$

или после упрощений

$$M = D - \frac{5}{6} h \operatorname{ctg} \alpha + d \left(\frac{\sin \alpha + 1}{\sin \alpha} \right). \quad (3)$$

Если проверке подвергается резьба Витворта, угол $\alpha = 27^{\circ}30'$. В таком случае $\operatorname{ctg} \alpha = 1,92098$ и $\sin \alpha = 0,46175$. Подставляя эти данные в формулу (3), получаем

$$M = D - 1,6008 h + 3,1657 d.$$

В случае метрической резьбы $\alpha = 30^{\circ}$, $\operatorname{ctg} \alpha = 1,73205$, $\sin \alpha = 0,5$. В этом случае формула (3) примет вид

$$M = D - 1,44337 h + 3 d.$$

Средний диаметр у резьбы Витворта без зазора у вершины выражается следующей формулой:

$$d_{\text{ср}} = D - \frac{2}{3} a. \quad (4)$$

Подставляя значение D из формулы (3), получаем

$$d_{\text{ср}} = M + \frac{h}{2} \operatorname{ctg} \alpha - d (1 + \cos \alpha). \quad (5)$$

Для резьбы Витворта с углом при вершине 55° формула (5) имеет следующий вид:

$$d_{\text{ср}} = M + 0,96049 h - 3,1657 a.$$

Для метрической резьбы формула (5) после подстановки значений $\operatorname{ctg} \alpha$ и $\sin \alpha$ принимает следующий вид:

$$d_{\text{ср}} = M + 0,86603 h - 3 d.$$

Диаметр проволок, служащих для измерения резьбы, подбирается в зависимости от шага и определяется по формуле

$$d = \frac{h}{2} \sec \alpha.$$

Точность контроля резьбы методом трех проволок зависит от точности микрометра. При измерении нельзя допускать чрезмерного нажатия губок микрометра на проволочки.

Измерение при помощи резьбового микрометра применяется в тех случаях, что и метод трех проволок; однако недостатки резьбового микрометра: износ вставных наконечников, трудность проверки этого износа и то обстоятельство, что средний диаметр резьбы измеряется не по нормали к оси винта, дают преимущество методу трех проволок.

Резьбовой компаратор в цеховой практике применяется лишь как контрольный прибор для калибров, в сложных случаях и при настройке станков, когда по качеству нарезанных деталей судят о точности настройки станка. Резьбовой компаратор описан в разделе „Резьбовые фрезы“.

На фиг. 76 показан участок контрольного отдела крупного машиностроительного завода США, где производится проверка резьбовых деталей. Ящики с деталями подаются к контрольным столам и отсылаются от них на рольганге. Качество резьбовой поверхности исследуется магнитным дефектоскопом типа „Магнофлюкс“.



Фиг. 76. Контрольный пункт проверки резьбовых изделий.

ГЛАВА V

РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

СТАНКИ ВАНДЕРЕР

Современные станки Вандерер изготавливаются двух типов: а) для мелких и средних деталей (модели 21к и 23к) и б) для крупных деталей (модели 24к и 25к).

Станки 21к и 23к

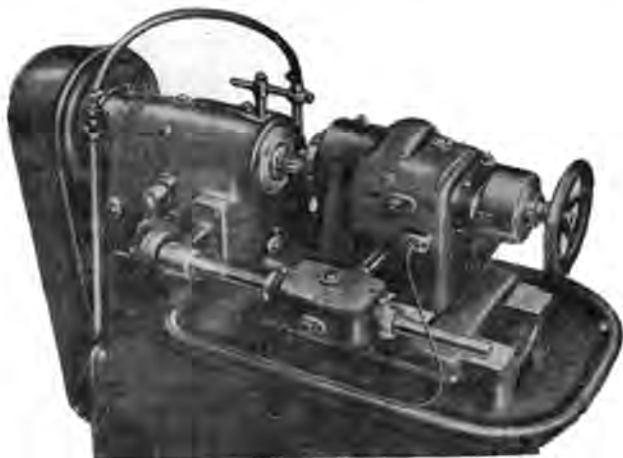
Характеристика

1. Диаметр отверстия в зажимном шпинделе: модель 21к — 55 мм, модель 23к — 135 мм.
2. Наибольший диаметр нарезаемой наружной резьбы для обеих моделей 150 мм.
3. Наибольший диаметр нарезаемой внутренней резьбы: модель 21к — 175 мм, модель 23к — 200 мм.
4. Наибольшая длина нарезаемой резьбы: модель 21к — 50 мм, модель 23к — 75 мм.
5. Наибольший шаг резьбы 6 мм для обеих моделей.
6. Число оборотов фрезерного шпинделя для обеих моделей 160—225; 320—450.
7. Мощность мотора 1,5 л. с.

Устройство

Станки приводятся от индивидуальных двухскоростных моторов с числом оборотов 750 и 1500 об/мин. Фрезерный шпиндель приводится от мотора через двухступенчатый шкив.

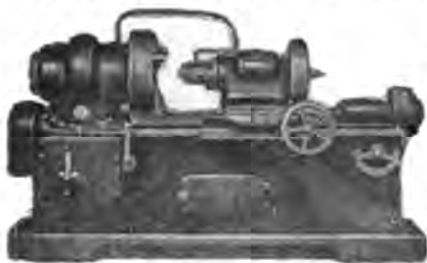
Шпиндель изделия получает вращение от фрезерного шпинделя через сменные шестерни, трензель и червячную передачу. На переднем конце фрезерного шпинделя имеется конус Морзе № 3 для крепления оправки с фрезом. Шпиндель вращается в подшипниках качения.



Фиг. 77. Станок Вандерер для коротких нарезок.

На шпинделе изделия устанавливается зажимная цанга или патрон.

Продольное перемещение на шаг резьбы изделие получает от сменного пространственного кулачка. По окончании нарезки резьбы кулачок приводит шпиндель изделия в исходное положение. Нарезание резьбы осуществляется за $1\frac{1}{6}$ оборота изделия.



Фиг. 78. Станок Вандерер для крупных деталей.

Кулачок, осуществляющий врезание фрезы в изделие, имеет подъем 5 мм, рассчитанный на максимальную глубину резьбы.

Станок имеет кнопочное управление.

На фиг. 77 показан общий вид станка. На фиг. 78 изображен общий вид станка моделей 24к и 25к для крупных деталей.

Модели 24к и 25к

Модели 24к и 25к характеризуются следующими данными.

1. Диаметр отверстия в зажимном шпинделе: модель 24к — 180 мм, модель 25к — 250 мм.
2. Наибольший диаметр наружной резьбы для обеих моделей 350 мм.
3. Наибольший диаметр внутренней резьбы для обеих моделей 150 мм.
4. Наибольшая длина нарезаемой резьбы для обеих моделей 140 мм.
5. Наибольший шаг резьбы: модель 24к — 10 мм, модель 25к — 12 мм.
6. Число оборотов фрезерного шпинделя для обеих моделей 65, 85, 125, 180, 270.
7. Мощность мотора 3,5 л. с.

Конструкция

Станок приводится от индивидуального мотора (фиг. 78). Фрезерный шпиндель приводится от мотора через ременную передачу и пятиступенчатую коробку скоростей. Направление вращения фрезы изменяется переключением реверсивного мотора. Зажимный шпиндель получает вращение от фрезерной головки через сменные шестерни и трензель.

На переднем конце фрезерного шпинделя имеется конус Морзе для крепления оправки с фрезой. На задний конус шпинделя посажен маховик, обеспечивающий плавность работы фрезы.

Фрезерный шпиндель вращается в конических роликовых подшипниках. Число оборотов шпинделя изделия изменяется при помощи сменных шестерен. Бабка изделия может поворачиваться вокруг вертикальной оси, что позволяет фрезеровать коническую резьбу.

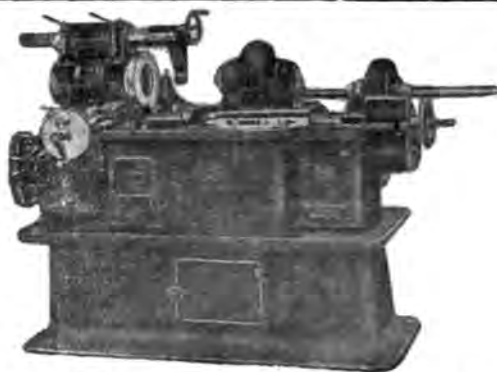
Резьба фрезеруется цилиндрической гребенчатой фрезой. Продольное перемещение на шаг резьбы производится ходовым винтом. Настройка на различный шаг резьбы осуществляется при помощи сменных шестерен. Нарезание резьбы производится за $1\frac{1}{6}$ об/мин. изделия.

Станки моделей 24к и 25к сложнее станков моделей 21к и 23к, но лучше приспособлены для нарезания точных резьб. Наиболее уязвимым местом у этих станков является ходовой винт, износ которого нарушает точность резьбы.

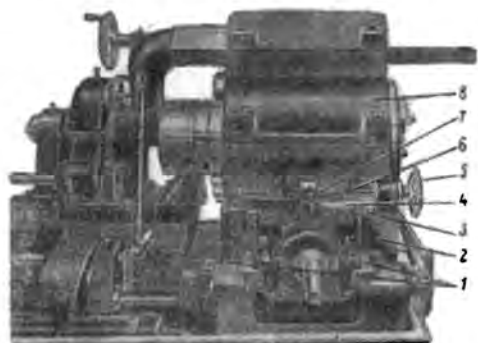
СТАНКИ ХАССЕ-ВРЕДЕ

На резьбофрезерных станках фирмы Хассе-Вреде нарезается наружная и внутренняя резьба гребенчатой цилиндрической фрезой за один с небольшим оборот изделия.

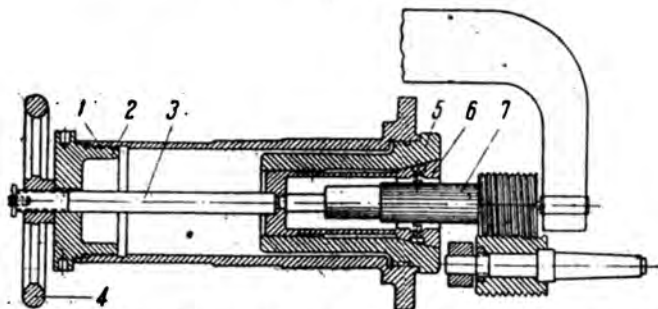
Фирма выпускает станки следующих моделей: FGK IX; FGK XX; FGK XIX; FGK III; FGK XVII; FGK XVIII.



Фиг. 79. Резьбофрезерный станок Хассе-Вреде.
Вид спереди.



Фиг. 80. Обработка крупной детали на станке
Хассе-Вреде.



Фиг. 81. Продольный разрез рабочего шпинделя станка Хассе-Вреде.

Модель FGK IX

Характеристика

1. Максимальный диаметр фрезерования внутренней резьбы 160 мм.
- 2. Максимальный диаметр фрезерования наружной резьбы 200 мм.
- 3. Высота центров 145 мм.
- 4. Отверстие в зажимном шпинделе 120 мм.
5. Крепление фрезера на конусе Морзе № 4.
6. Число оборотов одиночного шкива 425 об/мин.
7. Необходимая мощность 3 л. с.

Станок приводится от контрпривода или от индивидуального мотора.

Бабка изделия может перемещаться по направляющим в поперечном направлении станка. Шпиндель для изделий полый, что дает возможность обрабатывать длинные изделия. Изделия зажимаются в простом трехкулачковом патроне при помощи зажимной цапги или при помощи специального зажимного приспособления.

Для устранения вибраций длинных и особенно тонких изделий предусмотрен задний центр, укрепленный на жестком кронштейне.

Зажимной шпиндель приводится через червячную передачу от главного вала через набор сменных шестерен. Шпинделю изделий можно сообщить 10 различных чисел оборотов.

Фрезерный шпиндель приводится от главного вала через коробку сменных шестерен, обеспечивающую 9 различных чисел оборотов.

При 10 скоростях шпинделя изделия и 9 скоростях фрезерного шпинделя получается 90 различных комбинаций скоростей резания и подач.

Врезание фрезы в изделие на глубину резьбы осуществляется автоматически перемещением бабки изделия в поперечном направлении. Фрезерная головка перемещается в продольном направлении ходовым винтом. Настройка станка на различные шаги осуществляется набором сменных шестерен.

При применении индивидуального мотора приводной шкив станка снимается и вместо него ставится зубчатое колесо, через которое и осуществляется привод станка.

На фиг. 79 изображен вид станка Хассе-Вреде спереди. На фиг. 80 показана обработка крупной детали на станке.

Фиг. 81 изображает продольный разрез рабочего шпинделя. Деталь 7 зажимается в разрезной пружинной цапге 6, расположенной в переходной втулке 5 рабочего шпинделя. Цапга затягивается при помощи тяги 3 поворотом сидящего на этой тяге маховичка 4. Тяга проходит сквозь гайку 2, ввинченную в шпиндель 1.

СТАНКИ ХИЛЛЕ KGF-1, KGF-2, KGF-3

Характеристика

	KGF-1	KGF-2	KGF-3 ¹⁾
1. Диаметр отверстия зажимного шпинделя	55	85	140
2. Наибольшая длина фрезерования при шаге до 3 мм	75	75	75
3. Наибольшая длина фрезерования при шаге до 6 мм	40	40	40
4. Наибольший диаметр наружной резьбы	150	150	150
5. Наибольший диаметр внутренней резьбы	200	200	200
6. Скорости фрезы при нормальном приводном моторе	180—230—280 об/мин.		
7. Скорости фрезы при моторе с двумя переключающимися полюсами	160—960 или 60—320 об/мин.		
8. Скорости фрезы при моторе с тремя переключающимися полюсами	60—625 об/мин.		
9. Необходимая мощность, л. с.	1,5	1,5	1,5

Устройство станка

Станки Хилле предназначены для нарезки внутренней и наружной правой и левой резьбы.



Фиг. 82. Резьбофрезерный станок Хилле.

¹⁾ Фрезерная головка приводится от мотора, через трехступенчатые текстурные шкивы. Зажимной шпиндель приводится от фрезерной головки через сменные шестерни и червячные пары. Станок может приводиться также от трансмиссии.

Число оборотов фрезы изменяется переключением полюсов мотора. Число оборотов изделия изменяется при помощи гитары скоростей.

Пустотелый шпиндель изделия вращается в подшипниках скольжения и крепится в шпинделе на конусе Морзе № 3. Направление вращения фрезы изменяется посредством переключения мотора, а изделия — посредством реверсивного механизма.

Шпиндель изделия перемещается в продольном и поперечном направлениях вручную; перемещение в продольном направлении ограничивается регулируемым упором. Перемещение на шаг, отвод изделия в исходное положение, врезание на глубину резьбы и вывод фрезы из изделия производится кулачками.

Изделие зажимается в цапгах, в патроне вручную или в трехкулачковом патроне с пневматическим зажимом. Резьба нарезается гребенчатой фрезой.

Резьбофрезерный станок фирмы Хилле модели КСРСД отличается от моделей КGF-1, КGF-2, КGF-3 расположением механизмов (фиг. 82).

Работа на этом станке производится на двух головках поочередно; т. е. пока в одной головке нарезают резьбу, в другой укрепляют изделие.

ПЛАНЕТАРНЫЙ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК ХИЛЛЕ FP-2

Этот станок употребляется в крупно-серийном и массовом производствах при нарезании коротких наружных и внутренних резьб на больших деталях.

На резьбофрезерном шпинделе укреплен маховик, который обеспечивает плавность хода шпинделя.

Особенностью этого станка является также бесступенчатая регулировка подачи по шагу, получаемая механическим путем при помощи шестерен специальной конструкции. Эта регулировка позволяет между прочим компенсировать небольшие ошибки, происходящие в результате износа или неправильного изготовления резьбовой фрезы.

Нарезание резьбы заканчивается за $1\frac{1}{4}$ оборота резьбофрезерного шпинделя вокруг оси нарезаемой детали. Операция нарезки производится полуавтоматически, после установки и зажима заготовки. Резьбовая фреза сперва подается в радиальном направлении до требуемой глубины резьбы, одновременно вращаясь вокруг заготовки и вокруг своей собственной оси.

В это же время передняя бабка станка перемещается продольно на направляющих, имеющих форму ласточкина хвоста, на величину шага резьбы.

После того как планетарная головка совершила $1\frac{1}{4}$ оборота, резьбовая фреза автоматически выводится из зацепления с деталью.

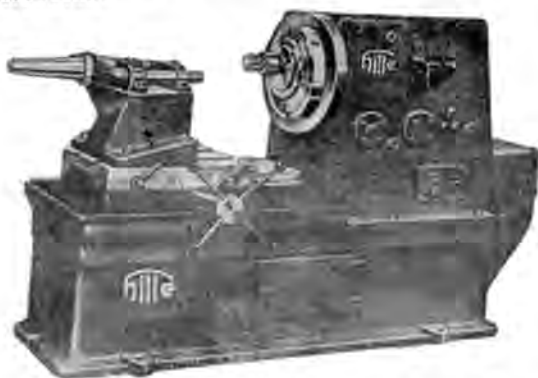
На станке можно нарезать наружные резьбы диаметром до 100 мм и до 200 мм.

Максимальная длина нарезаемой резьбы 50 мм. Станок допускает бесступенчатую регулировку шага в пределах 0—3 мм.

Скорости резьбовой фрезы меняются в пределах 150—750 об/мин. Мотор станка делает 3000 об/мин.

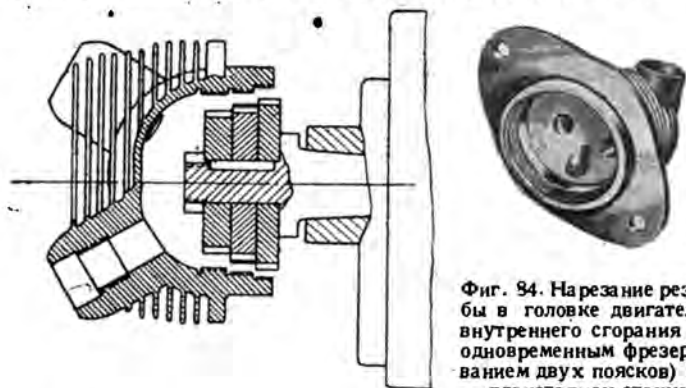
Применяя специальные фрезы, можно использовать станок для одновременного фрезерования резьбы и расточки направляющих поясков. Соединение этих операций не только уменьшает время обработки деталей, но и обеспечивает концентричность

поясков относительно резьбы, что имеет большое значение для некоторых деталей.



Фиг. 83. Планетарный резьбофрезерный станок Хилле.

На фиг. 83 изображен общий вид станка. На фиг. 84 представлена головка авиационного мотора, обработанная на станке



Фиг. 84. Нарезание резьбы в головке двигателя внутреннего сгорания (с одновременным фрезерованием двух поясков) на планетарном станке Хилле.

Хилле. За один проход профрезерованы два пояска и нарезана резьба.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК АРЧДЕЙЛЬ 3 $\frac{1}{2}$ и 4 $\frac{1}{2}$

Станок предназначен для нарезания наружной и внутренней резьбы.

Фрезерная головка станка монтирована на крестовом супорте. Поперечные салазки этого супорта могут перемещаться на

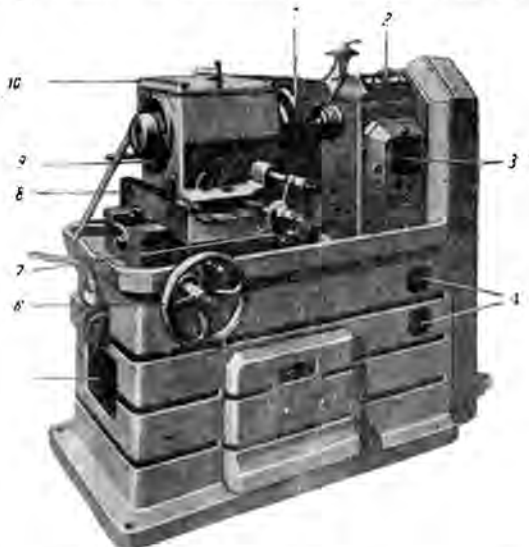
глубину врезания автоматически и, при помощи микрометрического винта, от руки.

Шпиндельная головка может перемещаться вдоль станины при помощи маховичка.

Для более спокойного хода и обеспечения точной и правильной резьбы шпиндель монтирован на длинных конических подшипниках скольжения из фосфористой бронзы. Шпиндель изготовлен из азотированной стали, что повышает в значительной степени его сопротивляемость износу.

Резьбофрезерный шпиндель имеет 4 скорости. Станок приводится от встроенного электродвигателя через двухступенчатый шкив резьбофрезерного шпинделя. Мотор имеет две скорости.

Скорость вращения детали может изменяться при помощи коробки скоростей типа Нортон.



Фиг. 85: Резьбофрезерный станок Арчдейль.

1—рабочий шпиндель, 2—пусковые кнопки, 3—головка резьбофрезерного шпинделя, 4—направление вращения, 5—резервуар для охлаждающей жидкости, 6—маховичок для продольного перемещения головки рабочего шпинделя вручную, 7—рукоятка для закрепления салазок, 8—салазки, 9—фланец шпинделя, 10—головка рабочего шпинделя.

Характеристика станков Арчдейль

	Размер $3\frac{1}{4}$ Размер $4\frac{1}{4}$	
	в дюймах	
Максимальный диаметр внутренней нарезки	8	$9\frac{1}{2}$
Максимальный диаметр наружной нарезки	6	8
Максимальная длина нарезаемой резьбы	2	2
Максимальный шаг резьбы	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$
Максимальный диаметр отверстия рабочего шпинделя	$3\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{4}$
Диапазон чисел оборотов рабочего шпинделя	1 оборот в 6 сек.— $12\frac{1}{2}$ мин.	1 оборот в $7\frac{1}{2}$ — $14\frac{1}{2}$ мин.
Мощность мотора л. с.	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$

ПЕРЕДВИЖНОЙ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК СПИРО

Английская фирма Спиро Болл Бэринг строит передвижные резьбофрезерные станки, предназначенные для нарезания резьбы на трубах диаметром 1—6" (фиг. 86).

Эти станки во многих отношениях отличаются от других резьбофрезерных станков. На фиг. 86 изображен передвижной резьбофрезерный станок Спиро с электрическим приводом.

Подлежащая обработке труба надевается на оправку, снабженную раздвижными плашками, при помощи которых труба центрируется и прочно зажимается на оправке.



Фиг. 86. Передвижной резьбофрезерный станок Спиро.

При пуске станка в ход оправка с трубой подается по направлению к гребенчатой резьбовой фрезе: труба приводится во вращение и делает немногим более одного оборота, в течение которого и происходит нарезание резьбы. Станок приводится в действие электромотором мощностью 1 л. с. В другом варианте трубонарезного станка этого типа электромотор заменен

бензиновым мотором мощностью 1,3 л. с., который смонтирован на основной тележке станка и соединен со станком посредством цепной передачи.

Передвижные трубонарезные станки Спиро строятся двух стандартных моделей, из которых одна пригодна для нарезания труб диаметром 1½—4", а вторая — для труб диаметром 3—6".

Вес станка вместе с тележкой в зависимости от размера и системы привода колеблется в пределах 200—320 кг.

СТАНОК 563-Б ЗАВОДА им. ЦК МАШИНОСТРОЕНИЯ

Кинематика станка

Кинематическая схема станка изображена на фиг. 87. От мотора переменного тока, снабженного двумя шкивами и встроенного в станину станка, вращение передается на шкивы диаметром 350 и 375 мм шпинделя резьбофрезерной головки.

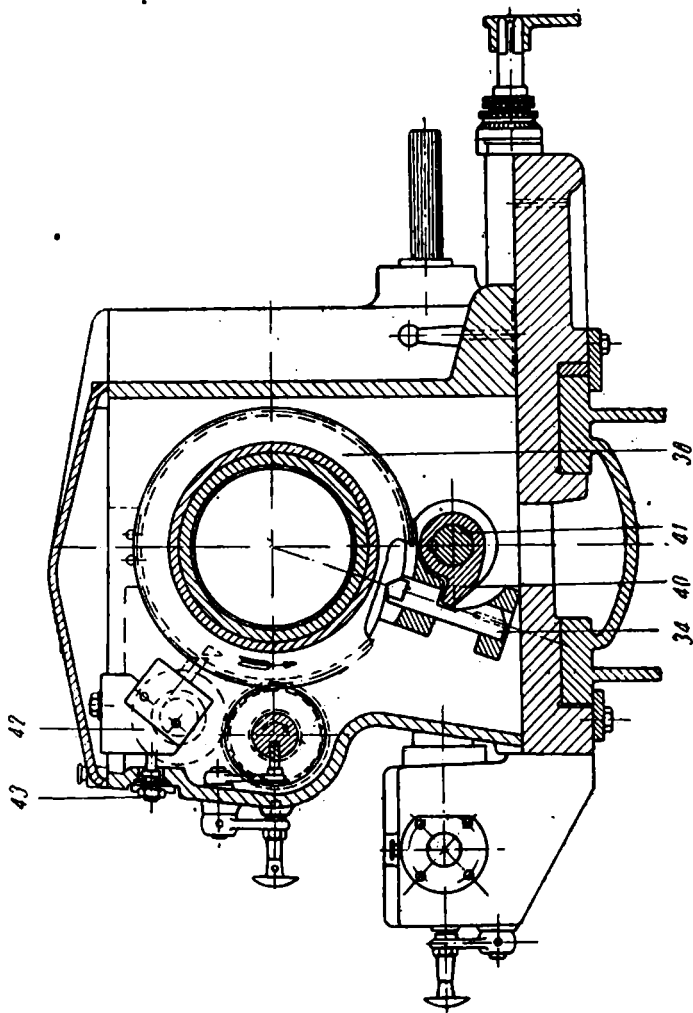
Шпиндель резьбовой фрезы может вращаться с четырьмя различными скоростями. Числа оборотов резьбофрезерного шпинделя $n = 160, 225, 320, 450$ об/мин. На валу шпинделя находится шестерня 16, закрепленная на нем шпонкой. С этой шестерней сцепляется шестерня 40, закрепленная на валике 1. При помощи сменных шестерен ABCD вращение передается с валика 1 на валик 2 и с валика 2, при помощи пары конических шестерен 32, на шлицевой валик 3. На этом валике сидят две конические шестерни 36, которые имеют возможность перемещаться вдоль валика и образуют реверсивный механизм. Каждая из этой пары может сцепляться с шестерней 32, сидящей на конце валика 4. В зависимости от того, какая из шестерен сцеплена с этим валиком, последний вращается в правую или левую сторону. На другом конце валика сидит коническая шестерня 32, которая сцепляется с аналогичной шестерней вертикального промежуточного валика. На вертикальном промежуточном валике укреплен червячный однозаходный винт, передающий вращение шестерне шпинделя изделия через червячную шестерню 90. Вместе с червячной шестерней вращаются цилиндрические шестерни 75. От этих шестерен вращение может передаваться через два промежуточных валика на шестерню 77. На торце этой шестерни имеется эксцентрик А, который при вращении шестерни скользит по винтовому копиру, укрепленному в станине станка, перемещающая шпиндель в осевом направлении. Величина этого перемещения определяется подъемом винтовой линии копира и равна шагу нарезаемой резьбы. В исходное положение шпиндель возвращается при помощи коротких пружин, помещенных в корпусе шпиндельной бабки и упирающихся во фланец носка шпинделя. Копиры меняют в зависимости от шага нарезаемой резьбы.

Поперечное перемещение шпиндельной бабки

Шпиндельная бабка может перемещаться вручную при помощи рукоятки. В процессе резьбофрезерования поперечное перемещение шпиндельной бабки происходит автоматически.

Автоматическое перемещение шпиндельной бабки происходит в период врезания фрезы в изделие в начале работы и в конце фрезерования в момент выхода изделия из зацепления с фрезой. Автоматическое поперечное перемещение шпиндельной бабки осуществляется при помощи следующей кинематической цепи (фиг. 88): эксцентриковый кулачок 38, вращаясь, задевает за толкатель 34, который, перемещаясь вниз, приводит во вращение посредством рычага 40 валик-шестерню 41, вследствие чего корпус шпиндельной бабки передвигается перпендикулярно оси фрезы, заставляя фрезу врезаться в изделие на определенную глубину.

По окончании фрезерования толкатель возвращается в первоначальное положение и шпиндельная бабка под действием пружины 37 (фиг. 89) отходит от фрезы. Пружина 37 должна



Фиг. 88. Бабка зажимного шпинделя. Вид сзади.

Быть точно отрегулирована, так как давление ее должно преодолеть сопротивление трения при передвижении шпindelной бабки и создать необходимое натяжение в кинематической цепи механизма.

После окончания фрезерования шпindelная бабка, как уже было указано, отодвигается от фрезы; вслед за этим под действием винтового копира 29 и пружины 28 (фиг. 89) шпindel возвращается в исходное положение. Вслед за этим действием выступа на шестерне 39 и выключателя 42, связанного с мотором, станок останавливается. Момент остановки мотора регулируется винтом 43.

На фиг. 89 изображен продольный разрез головки зажимного шпинделя (шпindelной бабки). Шпindel представляет собою стальную полу трубу с внутренним диаметром 136 мм. В шпindel вставляется разрезная цанга, служащая для зажима изделия. Изделие зажимается при помощи специальной гайки. При наворачивании этой гайки на носок шпинделя она упирается своим внутренним торцом в торец цанги, толкая ее вперед. Конус цанги входит в конус носка шпинделя, цанга сжимается и захватывает деталь. Между фланцем шпинделя и торцевой частью бабки расположены короткие сильные пружины, отводящие шпindel в исходное положение в конце рабочего цикла. Осевой люфт шпинделя регулируется специальной гайкой, навинченной на шпindel.

Настройка станка

Для настройки станка необходимо:

1. Установить винтовой копир в соответствии с шагом нарезаемой резьбы.
2. Установить фрезу на требуемую глубину резьбы.
3. Установить круговую подачу изделия при помощи сменных шестерен.
4. Установить число оборотов резьбовой фрезы.

Смена и установка винтового копира

Винтовой копир устанавливают следующим образом: в отверстие в каретке 18 вводят штифт; вращая рукоятку, передвигают шпindelную бабку до упора в этот штифт. При дальнейшем вращении рукоятки в том же направлении валик 41 разгружается от давления пружины 37 и толкатель 34 выходит из сцепления с кулачковой шестерней 38. После этого шпindelную бабку передвигают по направлению к резьбофрезерному шпинделю до тех пор, пока зажимной шпindel изделия не подойдет вплотную к шпинделю резьбовой фрезы. При дальнейшем передвижении бабки шпindel изделия, упираясь в резьбофрезерный шпindel, входит в корпус 17, освобождая тем самым гайку 32 от давления пружины 28. Вслед за этим ослабляют винт 33

снимают гайку 32, пользуясь тем, что толкатель выходит из сцепления с шестерней 38, снимают шестерню 38 и вслед за ней копир.

После этого устанавливают новый копир и все перечисленные выше детали устанавливают в порядке, обратном описанному.

Установка фрезы на требуемую глубину

Для установки резьбовой фрезы на требуемую глубину включают станок и подводят нарезаемое изделие до легкого соприкосновения с фрезой. После автоматического отхода головки зажимного шпинделя от фрезы корпус головки подают на требуемую глубину по лимбу.

Установка скорости резания и круговой подачи изделия

Приведем пример настройки станка на скорость резания и круговую подачу. Пусть:

диаметр деталн — 60 мм

фрезы — 10 "

подача на один зуб фрезы — 0,04 мм

скорость резания — 35 мм/мин.

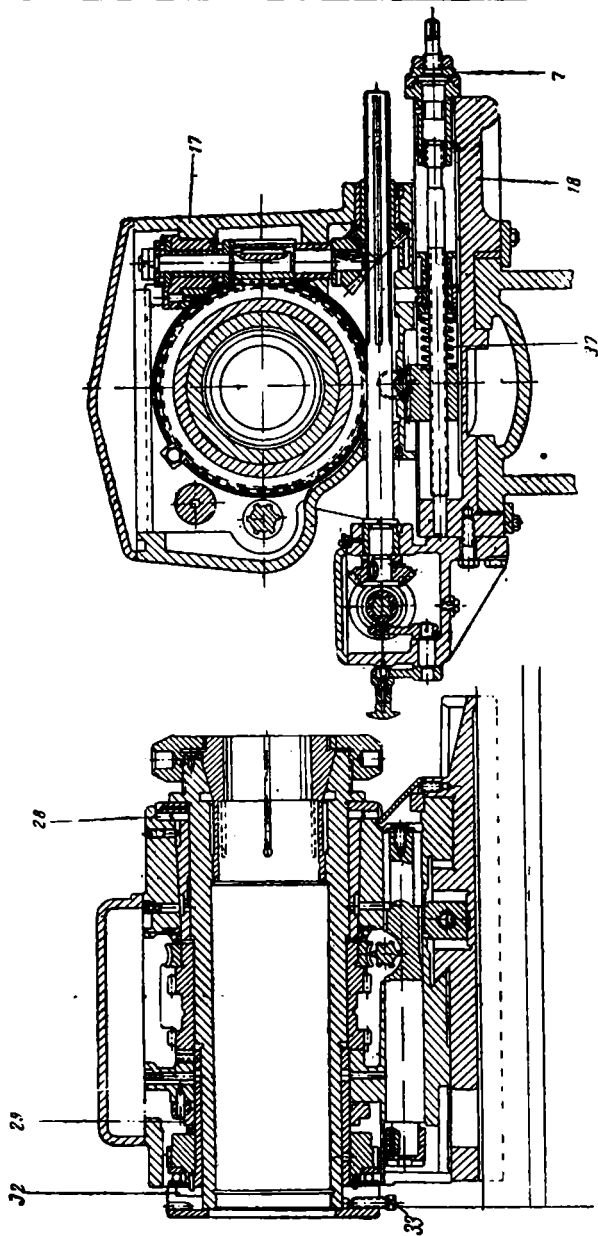
По графику скорости резания (фиг. 90), зная диаметр фрезы и скорость резания, находим требуемое число оборотов резьбофрезерного шпинделя $n = 225$ об/мин. По графику подач (фиг. 91) определяем подачу в мм/мин по окружности нарезаемой детали: $s = 90$ мм/мин.

Определив подачу по таблице сменных шестерен, находим по правой части табл. 35, что при диаметре нарезаемой резьбы 60 мм и подаче 90 мм/мин машинное время $T_{\text{маш}}$ составит 2,44 мин. за период нарезания. В течение этого периода изделие повернется на 420° . В левой части этой же таблицы в вертикальной графе по времени за период и при данном числе оборотов находим требуемый набор сменных шестерен. Находим по вертикальной графе время оборота изделия за один период, наиболее близкое к ранее полученной нами цифре 2,44 мин. Это 2,39 об/период. Влево от этой цифры находим требуемый набор шестерен

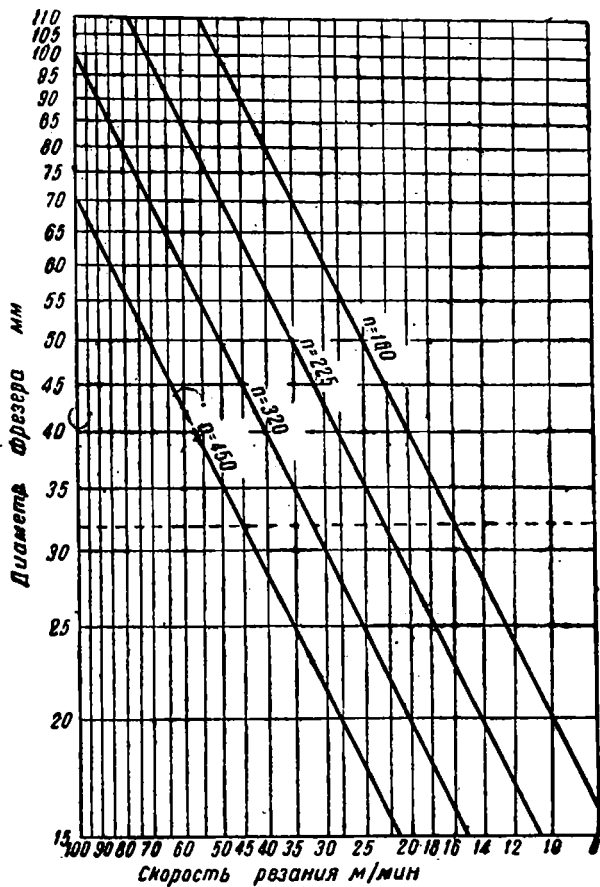
$$\frac{AC}{BD} = \frac{70 \times 25}{90 \times 40}.$$

РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 561 ЗАВОДА ИМ. ЦК МАШИНОСТРОЕНИЯ

Станок предназначен для фрезерования резьб на изделиях значительной длины. Изделие при фрезеровании зажимается в патроне, укрепленном на шпинделе передней бабки и подпирается сзади центром задней бабки. Головка резьбофрезерного шпинделя имеет два рабочих движения: в поперечном направлении для врезания фрезы в изделие и выхода из него (после окончания работы, и в осевом направлении — для подачи на величину шага нарезаемой резьбы. Поперечная подача произво-



Фиг. 89. Продольный разрез головки зажимного шпинделя.



Фиг. 90. ¹/₂ График скоростей резания резьбофрезерного станка 563-Б завода им. ЦК Машиностроения.

Таблица сменных шестерен резьбобрезерного станка Б63-Б зав. нм. ЦК Машиностроения

Сменные шестерни	Время оборота изделия за 1 период (на 420°)		Диаметр изделия	Время оборота изделия за 1 период (на 420°)											
	число оборотов фрез			20	25	30	40	50	60	75	90	105	120	140	160
	160	225		320	450										
30,100	0,55	0,39		3,66	2,93	2,44	1,83	1,46	1,22	0,98	0,81	0,70	0,61	0,52	0,46
40,25	0,61	0,44	20	4,58	3,66	3,05	2,29	1,83	1,53	1,22	1,02	0,87	0,76	0,65	0,57
50,80			25	5,50	4,40	3,66	2,75	2,20	1,83	1,47	1,22	1,05	0,92	0,79	0,69
25,90			35	6,40	5,12	4,28	3,20	2,57	2,14	1,72	1,42	1,22	1,07	0,92	0,80
50,100	0,59	0,49	40	7,32	5,88	4,89	3,66	2,93	2,44	1,96	1,63	1,40	1,22	1,05	0,92
70,30			45	8,24	6,60	5,50	4,12	3,30	2,75	2,20	1,84	1,57	1,38	1,18	1,03
80,70	0,78	0,55	50	9,18	7,33	6,11	4,58	3,66	3,06	2,44	2,04	1,75	1,51	1,31	1,14
50,10			55	10,08	8,08	6,72	5,03	4,04	3,36	2,68	2,24	1,92	1,68	1,44	1,26
40	0,94	0,57	60	11,00	8,80	7,33	5,50	4,40	3,66	2,93	2,44	2,09	1,83	1,57	1,36
23			65	11,92	9,55	7,95	5,97	4,77	3,97	3,18	2,65	2,27	1,99	1,70	1,49
60,90	0,97	0,69	70	12,82	10,24	8,57	6,41	5,13	4,27	3,42	2,85	2,44	2,14	1,84	1,60
80,40			75	13,75	11,00	9,17	6,87	5,49	4,58	3,66	3,05	2,62	2,29	1,96	1,72
60,50	1,09	0,78	80	14,65	11,75	9,79	7,32	5,87	4,80	3,91	3,26	2,79	2,44	2,09	1,83
25,80			85	15,59	12,43	10,40	7,79	6,22	5,19	4,15	3,46	2,96	2,60	2,22	1,95
30,90	1,21	0,86	90	16,48	13,20	11,00	8,23	6,59	5,49	4,39	3,66	3,14	2,75	2,35	2,06
80,25			95	17,40	13,90	11,60	8,70	6,95	5,70	4,64	3,87	3,32	2,90	2,49	2,17
30	1,36	0,97	100	18,30	14,62	12,20	9,15	7,32	6,10	4,88	4,07	3,48	3,05	2,61	2,28
25			105	19,21	15,39	12,81	9,61	7,70	6,41	5,12	4,27	3,66	3,20	2,75	2,40
25,90	1,53	1,08	110	20,10	16,15	13,42	10,05	8,07	6,71	5,38	4,48	3,84	3,36	2,88	2,52
70,30			115	21,10	16,82	14,02	10,55	8,42	7,01	5,61	4,68	4,01	3,51	3,01	2,63
50,90	1,72	1,22	120	22,00	17,60	14,62	11,00	8,80	7,32	5,87	4,89	4,19	3,66	3,14	2,75
60,70			125	22,90	18,30	15,25	11,42	9,18	7,62	6,10	5,09	4,36	3,82	3,27	2,86
60	1,91	1,36	130	23,80	19,02	15,85	11,88	9,51	7,92	6,34	5,20	4,53	3,96	3,40	3,07
70			135	24,70	19,80	16,30	12,39	9,90	8,27	6,60	5,50	4,71	4,13	3,54	3,09
80,60	2,15	1,53	140	25,60	20,60	17,15	12,82	10,25	8,58	6,84	5,70	4,89	4,28	3,66	3,21
70,90			145	26,60	21,20	17,70	13,25	10,61	8,86	7,09	5,90	5,06	4,42	3,79	3,32
50,25	2,41	1,71	150	27,50	22,00	18,30	13,75	11,00	9,18	7,32	6,10	5,23	4,58	3,92	3,44
23,30			155	28,40	22,70	18,90	14,20	11,38	9,48	7,58	6,30	5,40	4,73	4,05	3,55

23,80	2,67	1,90	1,33	0,95	160	29,30	23,40	19,57	14,62	11,72	9,78	7,82	6,52	5,58	4,88	4,18	13,65
50,60					165		24,20	20,20	15,12	12,08	10,06	8,07	6,72	5,77	5,03	4,32	3,77
80	2,95	2,09	1,48	1,05	170	24,90	20,70	15,58	12,44	10,39	8,30	6,92	5,93	5,19	4,45	3,89	
70,25	3,37	2,39	1,68	1,20	175	25,60	21,40	16,00	12,80	10,66	8,54	7,12	6,11	5,34	4,58	4,00	
40,90																	
60,23	3,79	2,69	1,90	1,35													
40,80	4,18	2,97	2,09	1,49													
50,26	4,74	3,37	2,37	1,69													
60,23	5,33	3,79	2,67	1,90													
50,90	5,91	4,21	2,96	2,11													
30,60	8,63	4,72	3,32	2,35													
80,70	7,48	5,31	3,73	2,66													
23,40																	
70,80	8,19	5,81	4,09	2,91													
115	8,95	6,36	4,47	3,18													
30,35																	
50,115	10,45	7,44	5,23	3,72													
25,50	11,85	8,43	5,93	4,22													
60,80	13,08	9,31	6,54	4,65													
30,23	14,01	9,98	7,01	4,98													
80,115	16,01	11,40	8,01	5,70													
100,90	17,95	12,78	8,98	6,38													
23,40																	
70,90	20,01	14,25	10,02	7,12													
25,30	22,60	16,02	11,28	8,02													
80,115	25,60	18,20	12,80	9,10													
90,115	28,45	20,20	14,20	10,10													

Пример. Диаметр изделия — 60 мм

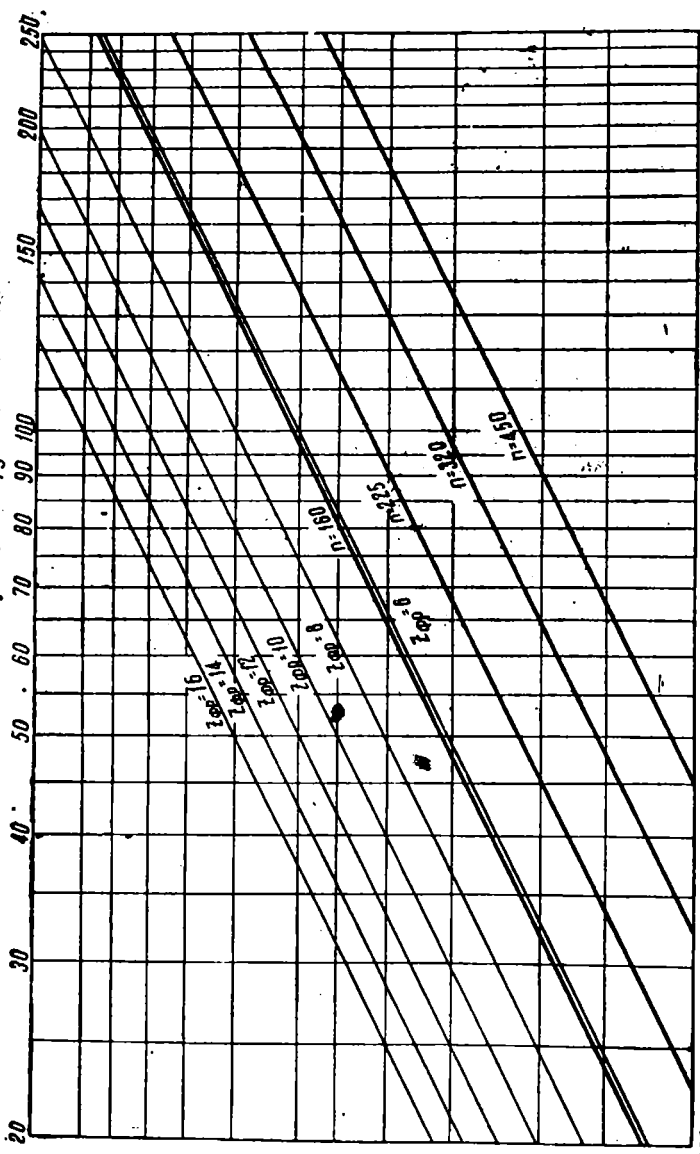
Подача — 90 мм/мин

Число оборотов фрезы — 225

Время фрезерования по таблице: 2,44 мин.

Сменные шестерни по таблице: $\frac{AC}{BD} = \frac{70 \cdot 25}{90 \cdot 40}$

S_1 - подача в мм/мин. по окружности заготовки

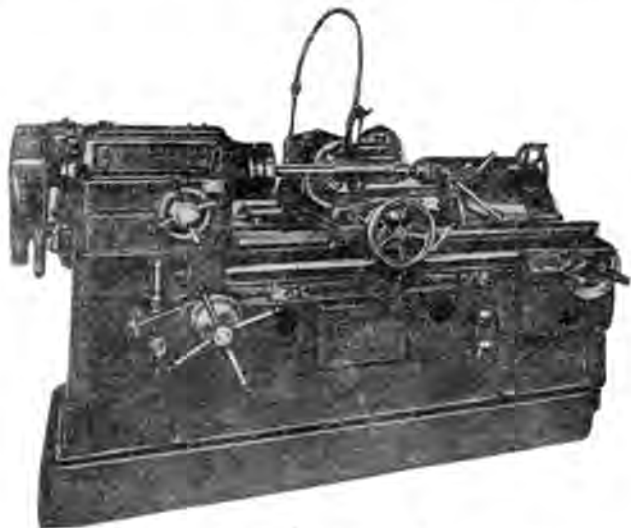


S_2 - подача в мм на 1 зуб фрезы
0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10

Фиг. 91. График для определения подачи (в мм/мин) к резьбофрезерному станку 563-Б.

дится от руки при помощи маховичка с нониусом. Продольная подача осуществляется ходовым винтом при помощи набора сменных шестерен.

Управление скоростями фрезы и изделия сосредоточено на передней части станины. Для нарезания резьбы на определенной длине имеются упоры, которые укреплены в пазу на передней части станины. Станок имеет индивидуальный привод от мотора мощностью 3 кВт, делающего 1460 об/мин. Управление пуском и остановом станка кнопочное. На фиг. 92 показан вид станка спереди.



Фиг. 92. Станок 561 завода им. ЦК Машиностроения.

Приводим характеристики станка (размеры в мм, за исключением особо оговоренных случаев).

Высота центра . . . 200
 Наибольшая длина фрезерования . . . 700
 Наибольшая глубина фрезерования . . . 25
 Наибольший и наименьший шаг метрической резьбы . . . 48 — 1
 Наибольший нарезаемый модуль . . . 12
 Наибольший и наименьший шаг дюймовой резьбы . . . $1\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{16}$ дюйм.

Наибольший и наименьший диаметр фрезы 115 — 70
 Число скоростей фрезерования шпинделя 5
 Пределы скоростей фрезерования шпинделя 55—250 об/мин.
 Пределы скоростей зажимного шпинделя 0,014—52 об/мин.
 Мощность электромотора 3 кВт
 Габариты станка . . . 2340×1320

На фиг. 93 изображена кинематическая схема станка. Приводим формулы для нарезания резьб с нормальным шагом¹.

Шаг в мм $t_{\text{мм}}$	Шаг в дюймах $t_{\text{дюм}}$	Число ниток на 1 дюйм $t_{\text{нит}}$	Шаг в модулях $t_{\text{мод}}$
$K: \frac{A+C}{B+D} = \frac{10+t_{\text{мм}}}{3+127}$	$K: \frac{A+C}{B+D} = \frac{2+t_{\text{дюм}}}{3}$	$K: \frac{A+C}{B+D} = \frac{2}{3+t_{\text{нит}}}$	$K: \frac{A+C}{B+D} = \frac{47t_{\text{мо}}}{6+9}$

Примечание: K — постоянная кинематической цепи.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК ВАНДЕРЕР GFV-500

Универсальный резьбофрезерный станок Вандерер GFV-500 имеет неподвижную переднюю бабку и подвижную заднюю.

На супорте станка располагается головка резьбофрезерного шпинделя. На конце шпинделя закрепляется резьбовая фреза. При нарезании длинных резьб к резьбофрезерной головке привинчивают специальный кронштейн в качестве опоры для консольного конца шпинделя. Резьбофрезерная головка вместе с супортом передвигаются в осевом направлении ходовым винтом на величину шага нарезаемой резьбы. Ходовой винт вращается от шпинделя станка через гитару. При нарезании резьбы фреза, вращаясь, вместе с тем перемещается в осевом направлении. Изделие в это время медленно вращается.

При работе фрезу устанавливают так, чтобы плоскость ее вращения составляла с осью нарезаемой детали угол, равный углу подъема винтовой линии резьбы. Это достигается поворотом головки. Вращение резьбофрезерному шпинделю сообщается от ходового валика станка, который, в свою очередь, получает вращение от главного приводного шкива через коробку скоростей.

При помощи поворотного диска на супорте резьбофрезерный шпиндель можно установить под углом к оси изделия.

Осевая подача на шаг нарезаемой резьбы производится ходовым винтом с шагом $\frac{1}{2}$ дюйма. Врезание в изделие производится вручную при помощи винта поперечной передачи.

Настройка станка

Кинематическая схема станка изображена на фиг. 94.

При настройке станка задаются скоростью резания и круговой подачей изделия на один зуб фрезы на основании нормативных материалов, таблиц и номограмм по режимам резьбофрезерования.

¹ По данным завода им. ЦК Машинностроения.

Как известно, скорость резания $v = \frac{\pi d n}{1000}$, где v — скорость резания, d — диаметр фрезы, n — число оборотов фрезы.

Необходимое число оборотов шпинделя резьбовой фрезы равно $n = \frac{1000}{\pi d} = 318 \frac{v}{d}$.

Исходя из кинематики станка, имеем

$$n = n_{\text{пр. шк}} i_{1 \div 3} i_{\text{тр}} \frac{40}{40} \frac{29}{36} i_{\text{тр}} \frac{18}{31} \frac{21}{21}$$

или

$$n = 320 i_{1 \div 3} \frac{40}{40} \frac{29}{36} \frac{28}{41} \frac{18}{31} \frac{21}{21} = 102 i_{1 \div 3},$$

или

$$318 \frac{v}{d} = 102 i_{1 \div 3}.$$

Следовательно,

$$i_{1 \div 3} = \frac{318v}{102d} = 3,12 \frac{v}{d}.$$

В общем виде

$$i = A \frac{v}{d},$$

где A — постоянная скоростной настройки.

Настройка на шаг

Шаг нарезаемой резьбы обусловлен величиной осевого перемещения резьбофрезерной головки за один оборот шпинделя изделия. Следовательно, при заданном шаге резьбы надо определить передаточное число в гитаре.

Обозначим: T_n — шаг нарезаемой резьбы;

$t_{x. в}$ — шаг ходового винта;

x — искомое передаточное число в гитаре.

Составим уравнение баланса:

$$1 \text{ об. шпинделя} \frac{78}{36} x t_{x. в} = T_n.$$

Формула настройки для гитары будет

$$x = \frac{38 T_n}{76 t_{x. в}},$$

так как $t_{x. в} = \frac{1}{2}''$, то

$$x = \frac{38 \cdot 2 \cdot T_n}{76} = T_n,$$

где T_n в дюймах. Если T_n выражается в мм, то последняя формула имеет следующий вид:

$$x = \frac{5T_n}{127},$$

для модульной резьбы $x = \frac{5m\pi}{127},$

для питчевой резьбы $x = \frac{\pi}{A}.$

Настройка круговой подачи изделия

Один оборот фрезы соответствует части s_z дуги заготовки. Уравнение баланса:

$$1 \text{ об. фрезы } \frac{21}{21} \frac{31}{18} \frac{41}{28} \frac{36}{29} \frac{40}{40} \frac{36}{89} i_{1-18},$$

$$\frac{18}{32} \frac{1}{120} \frac{\pi D}{\cos \alpha} = s.$$

Отсюда:

$$i_{1-18} = \frac{[s_z \cos \alpha]}{\pi A' D}.$$

В общем виде

$$i = A' \frac{s \cos \alpha}{D},$$

где i_{1-18} — передаточные числа коробок подач,

D — диаметр заготовки в мм,

s — круговая подача или поворот заготовки за один поворот фрезы,

α — угол подъема винтовой линии резьбы,

A' — станочная постоянная цепи подач, равная для станка Вандерер:

$$A' = \frac{21}{21} \frac{31}{18} \frac{41}{28} \frac{36}{29} \frac{40}{40} \frac{36}{89} \frac{18}{32} \frac{1}{120} = 0,06.$$

Формула для определения подачи на зуб фрезы s_z имеет следующий вид:

$$s_z = \frac{i\pi A' D}{z \cos \alpha},$$

где z — число режущих гребенок резьбовой фрезы. Приводим таблицу резьб станка Вандерер GFV-500 (табл. 36).

Вспомогательные механизмы станка

Механизм включения станка

Перемена скоростей у станка выполняется при помощи скользящих пружинных шпонок. Переключение производится при остановленном станке при помощи маховичка у приводного шкива.

Вращение маховичка продолжается до тех пор, пока не придет в движение червячное колесо, которое можно видеть через окошечко в коробке скоростей. Движение червячного колеса служит признаком включения шпонки.

Механизм для ручной установки фрезы на нитку

Иногда резьба на детали нарезается не за один, а за два прохода. При повторном нарезании резьбы важно попасть фрезой в нитку, иначе произойдет подрез резьбы. Для правильной установки фрезы при повторной нарезке служит механизм *E* (см. фиг. 94). Внешняя поверхность гайки ходового винта представляет собой червячную шестерню, связанную с червяком, на валу которого сидит маховичок. Вращая маховичок, можно подавать супорт на любую требуемую величину и точно установить фрезу в нитку нарезаемой детали. При работе ходового винта червяк служит стопором для гайки.

Механизм автоматического выключения

Механизм автоматического выключения устроен следующим образом. Через каретку супорта проходит валик, один конец которого оперт в подшипнике, помещенном в конце станины с правой стороны, а другой конец — в коробке, где помещается рычаг для включения подачи; на валик надеты кольца со стопорными винтами. Валик может перемещаться вдоль оси. Супорт, подойдя к кольцу, заставляет его передвигаться вместе с валиком, а последний в свою очередь нажимает на рычаг, выводит супорт из рабочего положения, после чего под действием пружины валик возвращается в исходное положение и таким образом подача заготовки прекращается. Переставлявая стопорное кольцо, можно менять момент включения.

Механизм поперечной подачи

Механизм поперечной подачи состоит из червячного винта поперечного супорта и находящегося на конце этого винта маховичка, на котором нанесены 100 делений. Так как шаг винта равен 5 мм, то при одном его обороте супорт перемещается на 5 мм, а при 0,01 оборота — на 0,05 мм. Таким образом, пользуясь этим механизмом, можно установить глубину резания. Резьбовую фрезу подводят к нарезаемой детали до соприкосновения с последней. Одновременно ставят маховичок на ноль. После этого пускают в ход станок и углубляют фрезу на число делений маховичка, соответствующего заданной глубине резьбы.

СТАНОК ШЮТТОФ

Универсальный резьбофрезерный станок Шюттоф 131 применяется для нарезания резьбы любого профиля на длинных винтах:

Таблица резьб
(к резьбофрезерному станку Вандерер GFV - 500)

Таблица 3

Число ниток 1"	Дюймовая резьба				Модульная резьба				Метрическая резьба							
	Шаг в дюймах	сменные шестерни			модуль	шаг в мм	сменные шестерни			шаг в мм	сменные шестерни					
		шпindel- ный вал	гитара	ходовой винт			шпindel- ный вал	гитара	ходовой винт		шпindel- ный вал	гитара	ходовой винт			
														a	b	c
1/4	4	75	25	120	30	0,5	1,57	50	77	30	105	0,5	25	100	30	127
1/8	3	75	25	120	40	0,75	2,356	50	77	45	105	1	25	100	60	127
1/8	2	75	30	120	50	1	3,142	50	77	60	105	1,5	30	80	60	127
3/8	1 1/8	75	40	120	50	1,25	3,93	50	77	75	105	2	40	80	60	127
3/8	1 1/8	80	40	100	50	1,5	4,71	60	77	75	105	2,5	50	80	60	127
3/8	1 1/8	75	40	100	50	1,75	5,5	60	77	75	90	3	60	80	60	127
1	1	75	50	80	40	2	6,28	60	77	80	84	3,5	70	80	60	127
1 1/7	7/8	75	50	70	40	2,25	7,07	60	77	75	70	4	40	60	90	127
1 1/8	3/4	75	50	90	60	2,5	7,85	75	77	80	84	4,5	60	80	90	127
1 1/8	3/4	80	—	—	40	2,75	8,64	50	77	110	70	5	60	80	100	127
1 1/8	3/4	75	—	—	40	3	9,425	80	77	90	84	5,5	60	80	110	127
2	1/2	75	—	—	50	3,25	10,21	65	77	100	70	6	60	60	90	127
2 2/7	7/16	70	80	90	60	3,5	11,00	50	77	100	50	6,5	65	60	90	127
2 1/4	5/8	80	—	—	60	3,75	11,78	75	77	100	70	7	70	60	90	127
2 1/8	5/8	80	—	—	50	4	12,57	80	77	100	70	7,5	75	60	90	127
2 1/8	5/8	60	40	60	105	4,25	13,25	60	77	85	42	8	80	60	90	127
2 3/8	3/4	50	40	90	100	4,5	14,14	60	77	90	42	8,5	75	50	86	127
2 3/8	3/4	80	40	60	110	4,75	14,92	60	77	95	42	9	75	50	90	127
2 1/2	1/2	80	40	60	119	5	15,71	75	77	80	42	9,5	75	50	95	127
3	1/3	60	—	—	60	5,25	16,49	60	77	106	42	10	75	50	100	127
3 1/5	5/16	75	—	—	80	5,5	17,28	60	77	110	42	10,5	75	50	106	127
3 1/4	4/7	60	—	—	65	5,75	18,05	60	77	115	42	11	75	50	110	127
3 1/8	3/7	60	—	—	70	6	18,85	80	77	90	42	11,5	75	50	115	127
4	1/4	60	—	—	80	6,25	19,64	75	77	100	42	12	75	50	120	127
4 1/2	2/5	60	—	—	90	6,5	20,42	65	77	120	42	14	70	30	90	127
5	1/5	60	—	—	100	7	21,99	70	77	120	42	15	75	30	90	127
5 1/8	3/8	45	—	—	80	7,6	23,56	75	77	120	42	16	80	40	120	127
5 1/8	3/8	60	—	—	110	8	25,13	80	77	120	42	18	75	25	90	127
6	1/6	50	—	—	110	9	28,27	80	49	90	44	20	75	25	100	127
7	1/7	30	—	—	70	10	31,42	80	49	100	44	24	75	25	120	127
8	1/8	30	—	—	80	11	34,56	80	49	110	44	28	63	80	105	127
9	1/9	30	—	—	80	12	37,70	80	49	120	44					
10	1/10	30	—	—	100	13	40,84	65	49	120	33					
11	1/11	30	—	—	110	14	43,98	70	49	120	33					
12	1/12	40	80	60	120	15	47,12	75	49	120	33					
13	1/13	60	65	30	120	16	50,27	80	49	120	33					
14	1/14	60	80	30	105	17	53,41	85	49	120	33					
16	1/16	30	80	60	120	18	56,55	90	49	120	33					
18	1/18	40	100	50	120											
20	1/20	90	100	60	120											

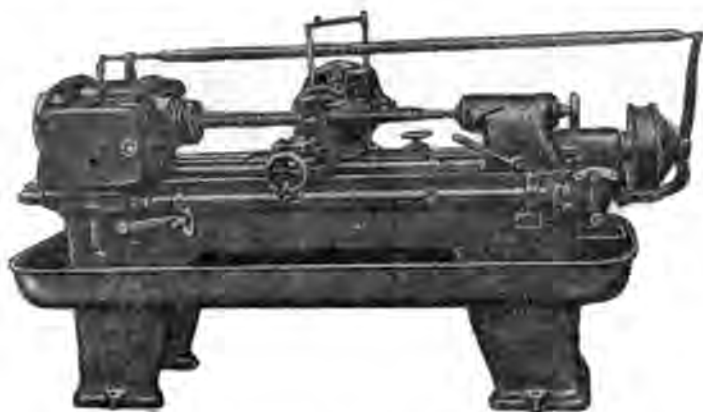
Формулы для подбора сменных шестерен для дюймовой резьбы: $\frac{ac}{bd} = \frac{3}{\text{число ниток на 1"}}$

То же для метрической резьбы: $\frac{ac}{bd} = \frac{15 \times \text{шаг в мм}}{127}$

Головка резьбофрезерного шпинделя (фиг. 95) сделана поворотной и устанавливается соответственно углу подъема резьбы. Она перемещается на салазках в поперечном направлении посредством винта с насаженным на нем маховичком. Установка на глубину резьбы может быть произведена с точностью до 0,05 мм по шкале.

Шпиндельную головку после установки прочно закрепляют с целью предотвращения вибрации. Для этой же цели служит люнет, расположенный против головки резьбофрезерного шпинделя. Им пользуются при обработке деталей диаметром более 60 мм.

Перемещение резьбофрезерной головки вдоль станины производится ходовым винтом.



Фиг. 95. Станок Шютгоф. Вид спереди.

Передняя бабка станка представляет собой коробку, в которой помещается шпиндель и механизм окружных подач для изделия. Шпиндель станка полый и имеет внутренний диаметр 82 мм. Длинные детали просовываются сквозь шпиндель и затем закрепляются в патроне или ином зажимном приспособлении, насаженном на носок шпинделя.

Для фрезерования многозаходной нарезки или для изготовления червячных колес в задней части шпинделя имеется делительный аппарат.

Фрезерный шпиндель приводится во вращение валиком, расположенным вдоль задней части станины через конические цилиндрические шестерни.

Несколько станков такого типа могут быть обслужены одним рабочим.

Настройка станка

Настройка на скорость производится через коробку скорости, на шаг нарезаемой резьбы — через гитару ходового винта, на окружную подачу — через коробку подачи у шпинделя изделия.

На фиг. 96 изображена кинематическая схема станка.
Формула скоростной настройки имеет следующий вид:

$$i = A \frac{v}{d},$$

где v — скорость резания в $м/мин$,

d — диаметр фрезы в $мм$,

A — постоянная формулы скоростной настройки.

Иначе

$$i_{1 \rightarrow 8} = 2,15,$$

где 2,15 есть постоянная настройки A .

Настройка на шаг нарезаемой резьбы производится по следующим формулам:

Обозначим шаг нарезаемой резьбы T_n , передаточное число гитары x , шаг ходового винта $t_{х.в.}$.

Так как один оборот шпинделя соответствует шагу T_n нарезаемой резьбы, то уравнение баланса имеет следующий вид:

$$1 \text{ об. шпинделя } \frac{100}{25} x t_{х.в.} = T_n,$$

откуда

$$x = 0,5T_n,$$

где T_n в дюймах

$$t_{х.в.} = \frac{1'}{2}$$

или

$$x = \frac{2,5T_n}{127},$$

где T_n в $мм$.

Формула настройки на окружную подачу за один оборот фрезы имеет следующий вид:

$$s = 1 \text{ об. фрезы } \frac{23}{23} \frac{26}{26} \frac{100}{52} \frac{38}{27} \frac{25}{30} \frac{27}{54} \frac{1}{32} \frac{25}{100} \frac{\pi D}{\cos \alpha}$$

или

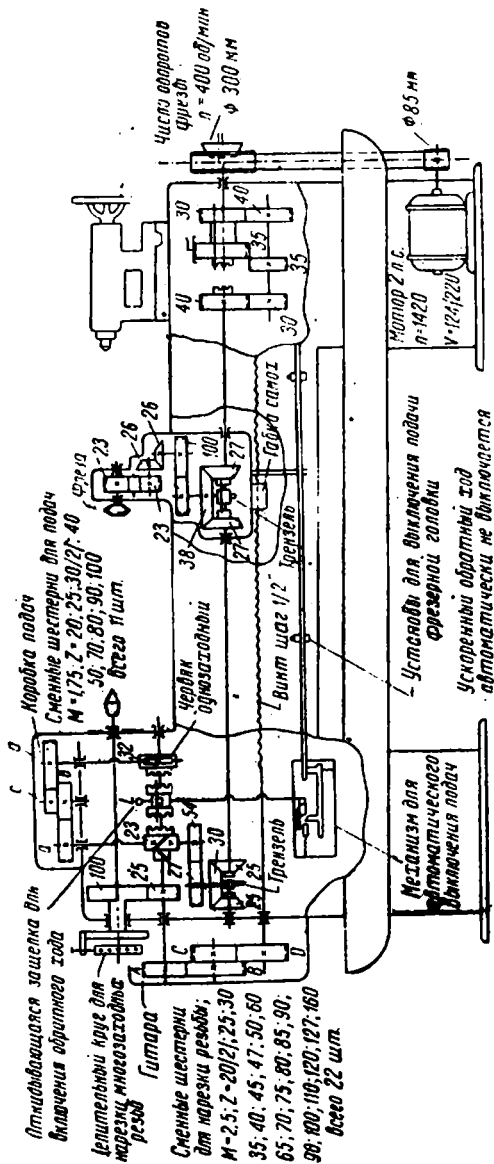
$$y = \frac{36,2s \cos \alpha}{D},$$

где y — передаточное число гитары настройки на окружную подачу,

α — угол подъема нарезаемой резьбы,

s — подача на один оборот фрезы в $мм$,

D — диаметр заготовки в $мм$.



Фиг. 96. Кинематическая схема станка Шюттоф.

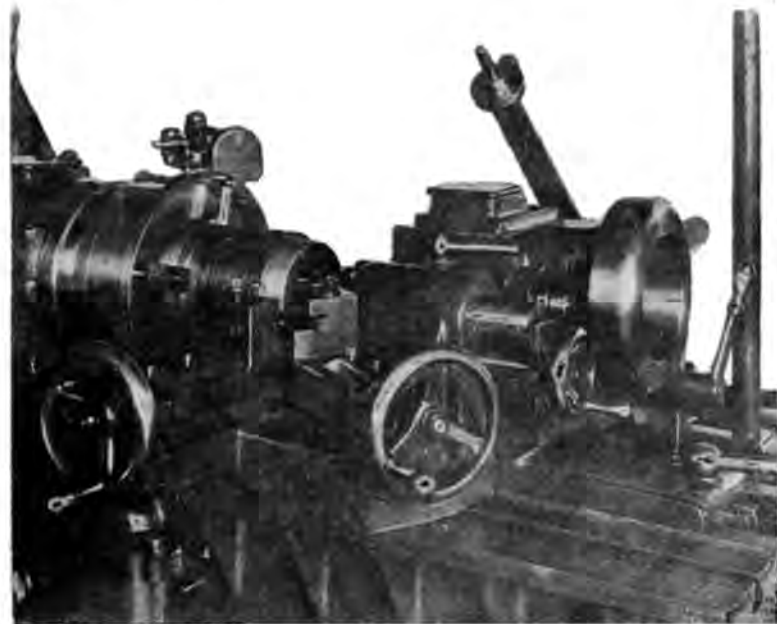
Если необходимо выбрать подачу на зуб фрезы, то надо помнить, что

$$s_{z1} = \frac{s}{z},$$

где s_z — подача на зуб,
 z — число зубьев фрезы,
 s — подача на оборот фрезы.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК ХЭНСОН-УИТНЕЙ

Полуавтоматический универсальный резьбофрезерный станок Хэнсон-Уитней широко применяется в авиационной промышленности.



Фиг. 97. Обработка цилиндра авиационного мотора на специализированном резьбофрезерном полуавтомате Хэнсон-Уитней.

Основными преимуществами этого станка являются производительность, точность и чистота нарезаемых резьб.

Производительность станка обусловлена его кинематикой. Вручную производится лишь установка и зажим детали, рабочий же цикл автоматизирован. Подача резьбовой фрезы к изделию, отход ее от изделия, выход фрезы из зацепления с изделием ускорены, что снижает рабочее время на единицу продукции.

Конструкция зажимного шпинделя обеспечивает правильную установку детали относительно резьбовой фрезы, а жесткость станины способствует улучшению чистоты поверхности нарезаемой детали.

К положительным качествам станка надо добавить удобство и простоту регулировки и ухода.

На фиг. 97 изображен специализированный станок для нарезания резьбы на цилиндре авиационного мотора. Помимо обычной резьбофрезерной головки, станок имеет два супорта, из которых один установлен перпендикулярно оси станка, а другой под углом 45°. В процессе фрезерования резьбы резец, установленный на поперечном супорте, вырезает канавку между резьбовым пояском на цилиндре и нижним ребром охлаждения. Резец, установленный на другом супорте, снимает фаску внутреннего края цилиндра.

Устройство универсального станка Хэнсон-Уитней

Передняя бабка

Осевая игра шпинделя регулируется при помощи гайки 2 (фиг. 98). Рычаг 4 управляет цанговым механизмом. Предварительная затяжка механизма осуществляется гайкой 5.

Рукоятка 6 служит для вращения шпинделя вручную при установке. Кнопка 7 включает круговую подачу изделия для автоматического цикла обработки.

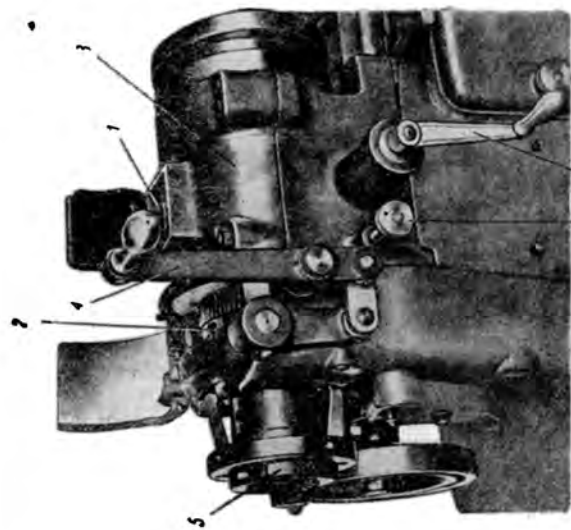
Шпиндель заканчивается закаленной и шлифованной короткой втулкой (фиг. 99), в которую вставляется зажимное приспособление. Втулка выступает за фланец шпинделя, что дает возможность удобно устанавливать приспособления.

Зажимные приспособления

Зажимная коническая гильза (фиг. 101) служит державкой для четырех закаленных и шлифованных кулачков. Кулачки приходят в непосредственное соприкосновение с внутренней поверхностью муфты шпинделя; при оттяжке зажимной гильзы назад кулачки, выступающие из нее, перемещаются параллельно оси и зажимают изделие. Такая конструкция позволяет надежно зажать деталь по всей длине кулачка.

Диаметр гильзы — 3 дюйма. Для изделий малых диаметров употребляются разрезные переходные пружинные втулки (цанги). Длинная деталь диаметром до 3 дюймов может быть пропущена сквозь шпиндель:

При настройке станка зажимная гильза вводится в муфту шпинделя и устанавливается в определенном положении при помощи фиксатора 8 (фиг. 100).



Фиг. 98. Передняя бабка универсального резьбо-
фрезерного станка Хансон-Уитней.



Фиг. 99.



Фиг. 100.



Фиг. 101.



Фиг. 102.

Детали передней бабки универсального резьбо-
фрезерного станка Хансон-Уитней.

В тех случаях, когда деталь должна подпираться центром, применяется патрон с центром (фиг. 102). Кроме центра патрон имеет кулачки для зажима деталей.

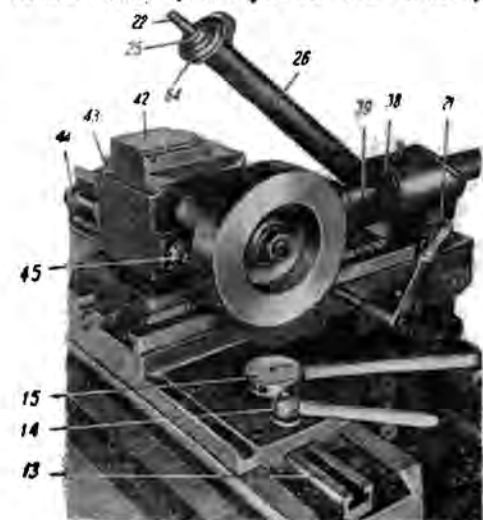
Перемещение каретки

Осевая и поперечная подачи производятся при помощи пространственных кулачков. Кулачки приводятся в действие от зубчатой передачи, которая в свою очередь получает вращение от шпинделя передней бабки.

В течение полного автоматического рабочего цикла шпиндель станка делает шесть оборотов, кулачки же в течение этого периода поворачиваются только один раз. Кулачки эти сконструированы таким образом,



Фиг. 103. Кулачок осевой подачи (резьбо-фрезерный станок Хэнсон-Уитней).



Фиг. 104. Механизм продольной подачи (резьбо-фрезерный станок Хэнсон-Уитней).

в фиксаторы 12. После этого закручивают винты 10 и 11. При несоблюдении этого порядка резьба на изделии получается неправильной. Кулачок, который служит для нарезания правой

что вспомогательные движения рабочего цикла производятся ускоренно.

Кулачок, осуществляющий подачу в осевом направлении, представляет собой короткий стальной цилиндр (фиг. 103) с винтовым пазом. Подъем паза равен шагу нарезаемой резьбы.

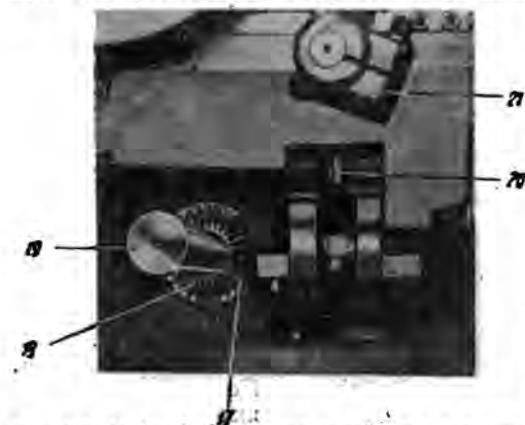
Кулачок крепится на ведущем валу винтами 9 и 10 и болтом 11. При монтаже кулачка на валу при помощи болта 11 подтягивают его в осевом направлении до упора торцевой поверхности кулачка

наружной резьбы, пригоден также для нарезания левой внутренней резьбы этого же шага. Ролик, скользящий в пазу кулачка, связан с малой шестерней, сидящей на оси 15 (фиг. 104) и поворачивает ее при своем перемещении. Шестеренка сцеплена с рейкой 13 и, поворачиваясь, перемещает ее в осевом направлении. Рейка 13 находится внутри продольных салазок резбозерной головки.

При помощи запорной рукоятки 14 рейка 13 жестко скрепляется с салазками и при своем движении толкает салазки, которые перемещаются на величину, обусловленную величиной подъема кривой кулачка, т. е., другими словами, на величину шага нарезаемой резьбы. Так происходит продольная подача по шагу. Рукоятка 14 служит также для регулировки при настройке станка.

Кулачок поперечной подачи

Кулачок поперечной подачи (фиг. 105) помещается под кареткой. Он приводится во вращение от вала 19 при помощи пары конических шестерен 17 и 18. Штифт 20, перемещающийся в пазу кулачка,



связан при помощи муфты 21 с гайкой винта поперечной подачи. Гайка поперечной подачи связана при помощи стопорной рукоятки 21 с салазками поперечного супорта.

Максимальный подъем кривой у нормального кулачка $\frac{1}{8}$ дюйма. Подъем кривой у кулачка постоянен, но позиция салазок резбозерной головки

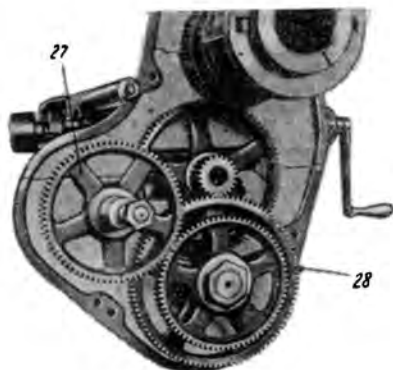
Фиг. 105. Кулачок поперечной подачи (резбозерный станок Хэнсон-Уитней).

относительно кулачка может изменяться. Изменение позиции салазок резбозерной головки производится валиком, 22 (фиг. 104), который связан с винтом поперечной подачи коническими шестернями.

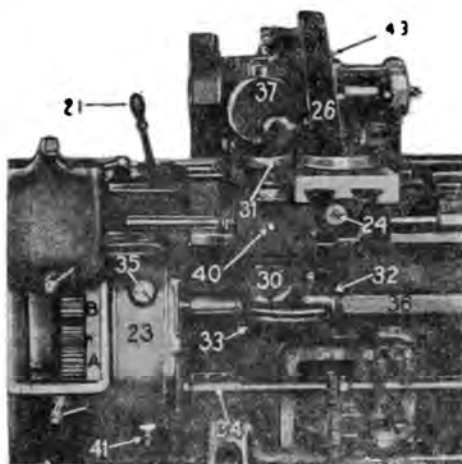
Движение кулачков согласовано при помощи шестерен 17 и 18 (фиг. 105) и 27 (фиг. 106).

Резбозерные головки

К станку прилагаются три резбозерных головки для разных работ.



Фиг. 106.



Фиг. 107.

Фиг. 106 и 107. Механизмы поперечной подачи
резьбофрезерного станка Хэнсон-Уитней.

Нормальная резбобрезерная головка предназначена для нарезания внутренней и наружной резьбы.

Головка тяжелого типа дает возможность применять резьбовые фрезы длиной до 8 дюймов.

Шпиндель резбобрезерной головки вращается только в одном направлении, независимо от того, нарезается ли правая или левая резьба. Крутящий момент на шпиндель передается через коробки скоростей 23 (фиг. 107), нижнюю коническую шестерню 30 и коническую шестерню 31.

Чтобы снять коробку скоростей 23, надо освободить муфту 32, вынуть из кожуха нижнюю коническую шестерню, снять полукоробку 33 и разъединить муфту 34. Коробка скоростей удерживается пятью винтами. Один из них проходит сквозь отверстие 35, два через дверцу и два через нижнюю часть фланца.

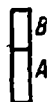
Отвертывание всех этих винтов освобождает коробку.

Скорости резания

Изменение скоростей резания происходит при помощи сменных шестерен коробки скоростей. Для этого имеется набор сменных шестерен с числом зубьев 30 — 35 — 41 — 46 — 524 — 57. В табл. 37 приведены значения скоростей для всех головок. Правильное положение шестерен помечено буквами А и В (фиг. 107).

Таблица 37

Таблицы скоростей резания и подач для станка Хэнсон-Уитней



(Скорость резания в футах в минуту, диаметры фрез в дюймах)

Шестерни		Диаметры фрез для нормальных головок			Диаметры фрез для головок тяжелого типа					Диаметры фрез для внутренней резьбы			
A	B	1 1/8	2	2 1/4	1 1/8	1 3/8	2	2 1/4	2 3/4	3 1/8	7/8	1	1 1/8
30	57	91	104	117	47	55	63	71	79	84	99	113	127
35	52	117	134	150	60	70	81	91	101	108	127	144	162
41	46	155	177	199	80	94	108	121	135	143	163	191	214
46	41	195	223	250	101	118	135	152	169	180	211	241	271
52	35	253	289	325	131	153	175	197	219	234	273	312	351
57	30	331	378	425	172	200	229	253	287	306	357	408	459

Привод рабочей головки

Рабочий шпиндель приводится во вращение от червячного винта и червячной шестерни. Крутящий момент из коробки подач 46 (фиг. 108) передается на рабочий шпиндель через коробку реверсивного механизма 47 (фиг. 109) и связанный с ним червячный вал с муфтой 48.

Шпиндель по очереди вращает кулачки продольной и поперечной подачи.

Механизм для быстрого поперечного перемещения является частью коробки подач. Изменение круговых подач изделия производится при помощи сменных шестерен. Этих шестерен 14 со следующими числами зубьев 32—32—38—41—51, 59—64—67, 67—75—83—90—96 и 102.

В табл. 38 приведены величины круговых подач изделия и соответствующие наборы шестерен. Правильное расположение сменных шестерен помечено на фиг. 108 буквами *ABCD*.

Таблица 38

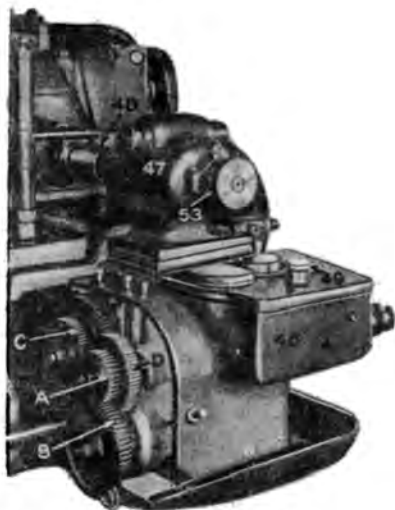
Круговая подача изделия в дюймах в минуту



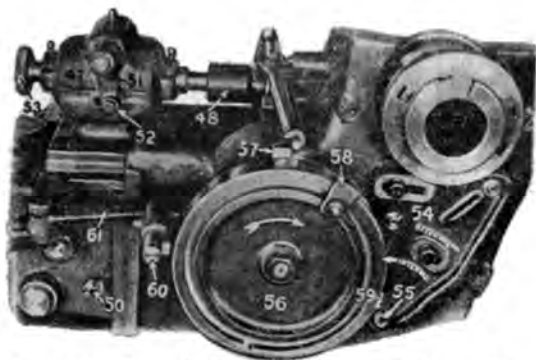
Шестерни				Диаметр изделия									
A	B	C	D	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	
32	64	32	102	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,4	2,7	
32	64	38	96	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	
32	64	44	90	0,9	1,3	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5	4	4,4	
32	64	51	83	1,1	1,6	2,2	2,7	3,3	3,8	4,4	4,9	5,5	
32	64	59	75	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,1	
32	64	67	67	1,8	2,7	3,6	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	
64	32	32	102	2,3	3,4	4,5	5,6	6,8	7,9	9	10,2	11,3	
64	32	38	96	2,8	4,3	5,7	7,1	8,6	10	11,4	12,8	14,3	
64	32	44	90	3,5	5,3	7,1	8,9	10,6	12,4	14,2	16	17,7	
64	32	51	83	4,4	6,7	8,9	11,1	13,4	15,6	17,8	20	22,3	
64	32	59	75	5,7	8,6	11,4	14,3	17,1	20	22,8	25,7	28,6	
64	32	67	67	7,3	11,9	14,6	18,2	21,8	25,5	29,1			
64	32	75	59	9,2	13,8	18,5	23,1	27,7					
64	32	83	51	11,8	17,7	23,7	29,6						

Нарезание наружной и внутренней резьбы

При переходе от нарезания наружной к нарезанию внутренней резьбы направление вращения шпинделя меняется. Кулачки же все время вращаются в одном направлении.



Фиг. 108. Привод рабочей головки
резьбофрезерного станка Хэнсон-Уитней.



Фиг. 109. Реверсивный механизм
резьбофрезерного станка Хэнсон-Уитней.

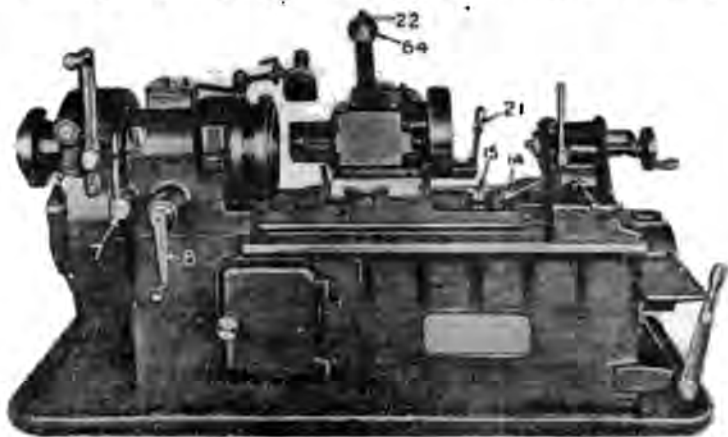
Направлением вращения шпинделя управляет реверсивный механизм 47. Рычаг 51 реверса (фиг. 109) фиксируется в одном из своих положений стопором 52. Гитара 54 также служит для изменения вращения шпинделя и ее позиция должна быть увязана с положением рукоятки реверсивного механизма. Гитара удерживается на месте тремя болтами. При помощи болтов гитара может быть установлена для нарезания наружной или внутренней резьбы. Передвигать гитару надо в направлении стрелки, как указано на гитаре.

Подача регулируется упором на маховике 56 (фиг. 109).

Маховик вращается в направлении стрелки. За один оборот маховика завершается рабочий цикл. Кулачок 57 служит для выключения движения резьбофрезерной головки в необходимый момент. Кулачок 58 и кулачок 59 управляют быстрыми перемещениями и подачей. Кулачки приводят в действие качающийся штифт 60, который связан с рычагом 61, передающим движение коробке подачи.

Наладка станка

При наладке станка все движения его механизмов производятся вручную. Каретка станка устанавливается в положение,



Фиг. 110. Общий вид резьбофрезерного станка Хэвсон-Уитней.

при котором возможна свободная загрузка детали. При помощи валика подачи 22 (фиг. 110) резьбофрезерная головка отодвигается в такое положение, при котором между фрезой и деталью при всех условиях наладки остается зазор. Муфта включения 48 (фиг. 111) должна быть при этом разъединена.

Процесс наладки заключается в следующем.

Установив нарезаемую деталь в соответствии с шагом резьбы подбирают и устанавливают кулачок продольной подачи и соответствующую резьбовую фрезу. После этого, нажав плунжер 62 (фиг. 111), поворачивают рукоятку 6 вправо, пока упор 5 (фиг. 111) не пройдет мимо плунжера и каретка не переместится в крайнее положение по направлению к передней бабке (эту операцию надо выполнять осторожно, так чтобы муфта 48 случайно не включилась).

Окончательную установку каретки производят при помощи реечной шестеренки 15 фиг. 110. После того как фреза займет



Фиг. 111. Механизм привода шпинделя резьбофрезерного станка Хэнсон-Уитней.

правильное положение относительно детали (в осевом направлении), каретку закрепляют стопорной рукояткой 14. Затем вращают рукоятку 6 вправо до тех пор, пока резьбофрезерная головка не продвинется в поперечном направлении к оси обрабатываемого изделия до полной глубины врезания. Ролик кулачка поперечной подачи при этом находится в высшей точке концентрического участка кривой кулачка. Для точной регулировки освобождают стопорную рукоятку 21 и продвигают резьбофрезерную головку по направлению к детали, вращая валик подачи 22 вправо. Между деталью и надвигающейся фрезой помещают листок папиросной бумаги. Когда листок перерезается, передвижение головки прекращают и закрепляют стопорную рукоятку.

На диске 56 (фиг. 111) укреплены собачки 57, 58 и 59, управляющие вращением и остановкой шпинделя, а также сменой подачи.

При включении станка фреза начинает быстро надвигаться на изделие до тех пор, пока при помощи собачки 59 не включается рабочая поперечная подача. Точность установки собачки имеет большое значение. Если сцепление собачки с кулачком 63 произойдет преждевременно, т. е. если фреза еще не успеет войти в соприкосновение с изделием, а рабочая подача уже будет включена, то произойдет потеря времени на операции. Если же включение рабочей подачи запаздает, то фреза на быстром ходу врежется в изделие и у нее выкрошатся зубья.

Вращая рукоятку 6 (фиг. 110), возвращают салазки вправо в исходное положение, при котором может производиться загрузка нарезаемой детали. После этого воспроизводят полный рабочий цикл при управлении вручную. Маховичок 56 повертывают на один оборот и кулачок 57 опять находит на плунжер 62, который препятствует дальнейшему вращению шпинделя вручную.

Градуированную головку 64 (фиг. 110) устанавливают на нуль и определяют глубину нарезаемой резьбы. Освободив стопорную рукоятку 21 и сдвинув каретку резьбофрезерной головки назад при помощи одного поворота валика влево, поворачивают штифт 22 вправо на один полный оборот и на часть оборота, соответствующую глубине резьбы. Это необходимо для поглощения мертвых ходов между деталями механизма поперечной подачи.

Кулачок 57 включает механическую круговую подачу шпинделя изделия через муфту 48 (фиг. 111), когда каретка находится в своей крайней исходной позиции. Каретку устанавливают в этом положении и соответственно регулируют положение кулачка.

Кулачок 58 быстрой поперечной подачи устанавливается так, чтобы быстрая подача включалась в момент окончания фрезерования резьбы. Моментом окончания считается тот момент, когда режущие грани, закончив резанье, заглаживают поверхность резьбы.

После того как все вышеописанные манипуляции произведены, станок полностью приготовлен к работе.

При демонтаже кулачка или шестерен 17 и 18 (фиг. 105) поступают следующим образом. Сняв коробку скоростей резьбофрезерной головки 23 (фиг. 107), сдвигают салазки за станину и снимают их.

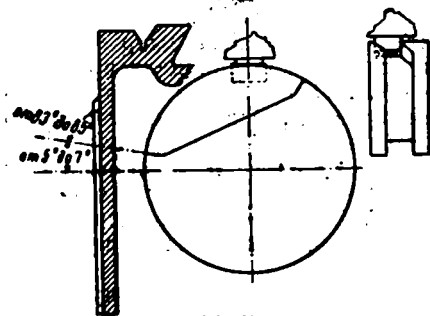
Для демонтажа узла поперечной подачи снимают хомутик 21, освобождают гайку 24 (фиг. 107) и снимают конические шестерни, сидящие на винте, путем вращения винта 22 (фиг. 110) вправо. Когда винт выйдет из гайки, снимают хомутик 26 (фиг. 107), после чего валик свободно вынимается из трубы. Затем освобождают подшипник винта и снимают его вместе с винтом. После этого выдвигают вручную салазки поперечного сдвигателя, пока не покажутся гайки поперечной подачи и штифт кулачка,

Регулировка механизма подачи

Смена шестерен производится следующим способом.

Устанавливают шестерни 17 и 18 (фиг. 105), помеченные нулями, которые должны всегда совпадать при монтаже.

Прямозубая цилиндрическая шестерня 26 (фиг. 106) монтирована на валу кулачка продольной подачи. Шестерня 27 монтирована на валу кулачка поперечной подачи. Повернув шестерню 27 вправо, пока кулачок поперечной подачи не продвинет резцовфрезерную головку вперед на максимальную глубину врезания, устанавливают индикатор так, чтобы пуговка его уперлась в поверхность резцовфрезерной головки. Затем устанавливают шкалу индикатора на нуль, поворачивают шестерню 27 влево,



Фиг. 112. Схема регулирования механизма подачи станка Хенсон-Уитней.

пока резцовфрезерная головка не отодвинется на несколько тысячных дюйма. Снова вращают шестерню 27 вправо, пока стрелка индикатора не станет на нуль. Целью этой операции является установка ролика кулачка поперечной подачи в начале того участка кривой кулачка, на котором ролик не получает поперечного перемещения. Этот участок кривой удерживает режущую головку в соответствующей позиции в течение процесса резания.

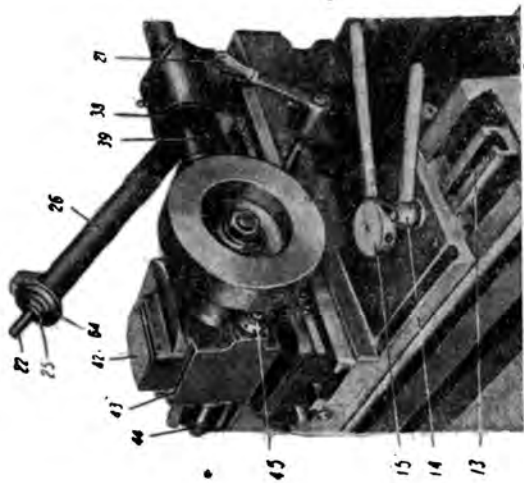
Шестерню 26 повертывают настолько, чтобы плоскость 29 (фиг. 103) повернулась на $5-7^\circ$ относительно оси (фиг. 112). После этого расцепляют шестерни 27 и 28.

Регулировка фрезерного шпинделя

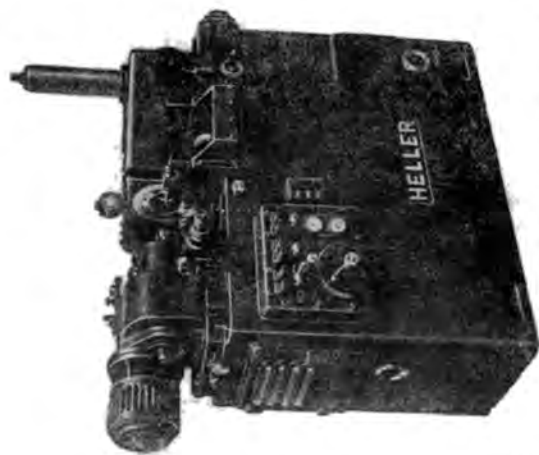
Регулировка осевого положения шпинделя осуществляется при помощи разрезной гайки 45 (фиг. 113). Регулировку шпинделя следует тщательно проверять через определенные промежутки времени.

РЕЗЦОВФРЕЗЕРНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ СТАНОК ХЕЛЛЕР 50/120

Резцовфрезерный станок Хеллер полностью гидрофицирован. Все рабочие движения: установка и зажим заготовки, продольные и поперечные движения салазок резцовфрезерного шпинделя, вращение изделия, холостые ходы и т. д. совершаются автоматически при помощи гидравлических механизмов.



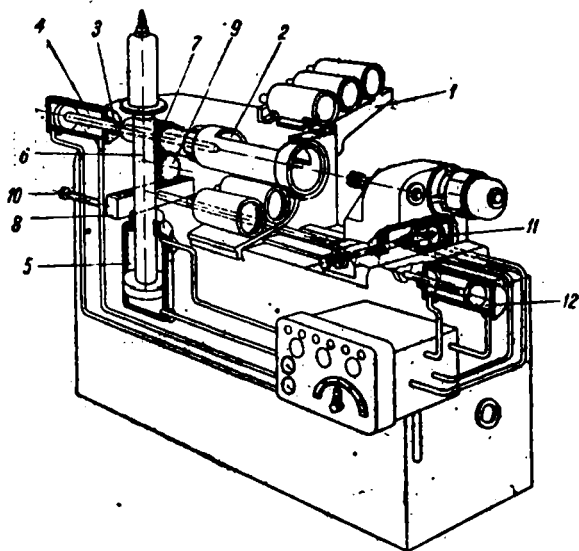
Фиг. 113. Механизм регулировки осевого положения шпинделя (резьбофрезерный станок Хансон-Уитней).



Фиг. 114. Резьбофрезерный станок-автомат Хеллер с гидравлическим приводом.

Фрезерный шпindel приводится от фланцмотора через трехступенчатую коробку скоростей. Скорость вращения изделия регулируется шестеренчатым насосом; подача производится регулируемым насосом. Охлаждающая жидкость подается отдельным насосом. Все три насоса расположены на одном валу и приводятся в действие от мотора, расположенного в нижней части станины.

Конструкция станка показана на фиг. 115. Изделия из магазина 1 закатываются в пустотелый шпindel 2. После загрузки шпинделя 2 из цилиндра 4 в осевом направлении подается поршневой шток 3 навстречу заготовке. Поршневой шток имеет заостренный конец, который упирается в центровое углубление на торце заготовки и прижимает последнюю к внут-



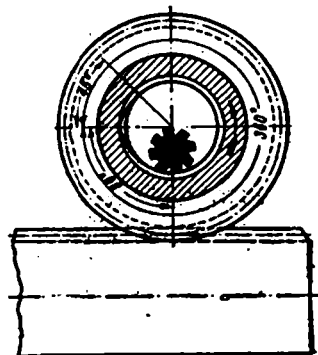
Фиг. 115. Кинематическая схема резьбофрезерного автомата Хеллер.

реннему буртику цапги зажимного шпинделя. Так происходит зажим заготовки в шпинделе. После того как деталь зажимается в зажимном шпинделе станка, масло поступает в полость цилиндра 5 под поршень и начинает толкать его вверх. Будучи сцеплен с шестерней 7 зажимного шпинделя, он, поворачивая ее, вращает шпindel с зажатой в нем заготовкой. Подача фрезы в осевом направлении на величину шага осуществляется конусной линейкой 8, выполненной в виде бруска. Верхняя плоскость линейки представляет собой рейку, которая приводится в движение шестерней 9, получающей вращение от шестерни зажимного шпинделя. Линейка, перемещаясь в направлении, перпенди-

кулярном оси станка, толкает скалку, связанную с салазками резьбофрезерного шпинделя, и таким образом заставляет их передвигаться в осевом направлении. Сзади линейки находится установочный винт 10, при помощи которого можно регулировать положение линейки относительно скалки. Установка на шаг проверяется индикатором. Цилиндры 11 и 12 обслуживают движение резьбофрезерной головки в поперечном и осевом направлениях.

Рабочий цикл фрезерования резьбы протекает в течение $1\frac{1}{8}$ оборота заготовки. На фиг. 116 изображена схема рабочего цикла. Фреза врежется в изделие за $\frac{1}{4}$ оборота, т. е. на дуге 90° . Затем следует фрезерование резьбы, которое происходит за один полный оборот заготовки. Выход фрезы из изделия происходит за $\frac{1}{8}$ оборота (45°).

Врезание фрезы в заготовку выполняется при помощи механизма, показанного на фиг. 117. Фреза подается на глубину резьбы кулачком. Величина резания устанавливается упором, регулируемым с точностью до $0,0025$ мм. Гидравлический агрегат смонтирован на передней стенке пустотелой станины. Внутренняя часть станины используется в качестве резервуара для масла. Управление мотором кнопочное.



Фиг. 116. Схема резьбофрезерования на станке Хеллер.

На фиг. 118 изображена головка резьбофрезерного шпинделя с насаженной на него фрезой и механизм регулировки подачи фрезы в поперечном направлении.

Основные преимущества станка заключаются в следующем:

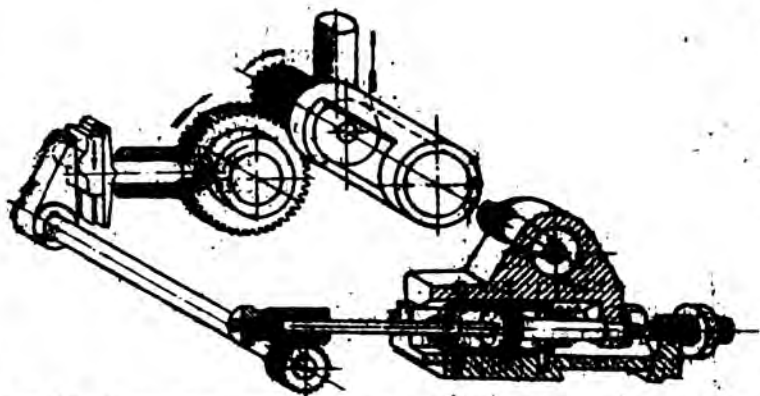
- 1) бесступенчатая установка на шаг при помощи конусной линейки,

- 2) бесступенчатая установка величины диаметра, глубины резьбы и окружной подачи изделия,

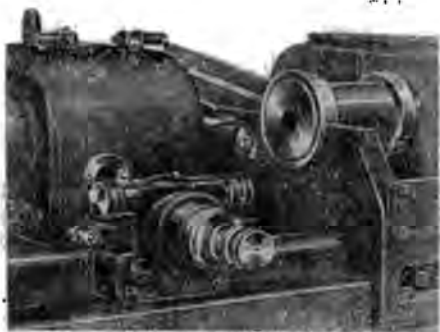
- 3) быстрая установка инструмента по индикатору.

Характеристика станка (размеры в мм)

Наибольший диаметр изделия	65
Наибольшая длина изделия	120
Наибольший диаметр наружной резьбы	65
Наибольший диаметр внутренней резьбы	60
Наибольшая длина резьбы	30
Наибольший шаг резьбы	3
Мощность мотора	0,3 kW



Фиг. 117. Механизм поперечной подачи резьбозерного автомата Хеллер.



Фиг. 118. Головка резьбозерного шпинделя и механизм регулировки тягач автомата Хеллер.

Литература

- Проф. Я. Х. Костюков, Теоретические основы фрезерования резьбы групповой цилиндрической фрезой, „Вестник металлопромышленности“ № 10, 1937.
- Проф. И. И. Семенченко, „Режущий инструмент“, т. II, Машгиз, 1938.
- Л. А. Цейтлин, Оптимальные практические режимы резания на резьбофрезерных станках, „Станки и инструмент“ № 5, 1938.
- И. А. Сухарев, Заглохшие резьбовые фрезеры с прямыми канавками, „Органиформация“ № 3, 1936.
- Проф. д-р Г. Берндт, Измерение резьб, перевод с немецкого, ОНТИ, 1936.
- Проф. Р. А. Апарид, Измерительные приборы и инструменты в машиностроении, Госмашметиздат, 1934.
- Инж. Ф. Ф. Ткаченко, Опыт цаннирования резьбовых фрез из быстрорежущей стали ФФ-Ф, „Авиапромышленность“ № 7, 1939 г.
- Проф. В. А. Кривоухов, Резание металлов, ОНТИ, 1938.
- М. Д. Гейкин, Резьбофрезерование, „Машиностроитель“ № 1, 15, 1937.
- Н. Н. Савин, Заметки о работе резьбовой фрезы, „Органиформация“ № 10, 1928.
- НКМ СССР, Комиссия по резанию металлов и Гипромаш, „Режимы резания при нарезании резьбы“, раздел 4-й.
- Проф. Шляхтенберг, Витровая нарезка, 2-я книга.
- И. А. Ромашов и А. А. Зброхович, Производство авиационных резьб в США, „Американская техника и промышленность“ № 10, 1937.
- Проф. Бриткий и доц. Кружилин, Металлорежущие станки, ОНТИ, 1937.
- Смолянский и Скопцов, Зуборезные станки, Сборник под ред. проф. Голована, 1932.
- Г. М. Захаров, О проекте резьбофрезерного станка для длинных резьб, „Станки и инструмент“, 1933.
- Инж. П. В. Долголенко, Вопросы правильной эксплуатации режущего инструмента в условиях массового производства, ОНТИ, 1935.
- Beachtung zur Werkzeugmaschinen, Leipzig, 1935, Nr. 8. Churchill-Cleveland Gear Hobbing Machine, Machinery, v. 43, 1934.
- Hall-Planetary Thread-Milling Machine, Machinist, v. 77, 1933.
- Machin à tracer les filets, Machine moderne, No 310, 1935.
- productomille No. 4. Thread and Cam Milling Machine, Machinist, No 16, 1934.
- Industrienwerke, Rheinbach, Gewindeschneidmaschinen, Versenk-Präsmaschinen
- Hutharch N. S., Clacker Gear Changer in Thread-Milling, Machinist (London) No 21, vol. 81, 1933.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Процесс резьбофрезерования

	Стр.
Введение	3
Скорости резания и подачи	4
Условия зацепления фрезы с изделием	—
Динамика резьбофрезерования	6
Мощность, необходимая при фрезеровании резьбы групповой цилиндрической фрезой	—
Наибольшие усилия, действующие при фрезеровании резьбы групповой цилиндрической фрезой	13
Фрезерование наружной резьбы	—
Фрезерование внутренней резьбы	19
Характер усилий, действующих в процессе резьбофрезерования	22

Глава II. Резьбовые фрезы

Типы резьбовых фрез	26
Резьбовые фрезы со вставными режущими зубьями	29
Полые фрезы для нарезания наружной резьбы на планетарных резьбофрезерных станках	30
Основные конструктивные элементы резьбовых фрез	—
Геометрия режущих зубьев	32
Изготовление резьбовых фрез	33
Контроль резьбовых фрез	40
Заточка резьбовых фрез	44
Материал резьбовых фрез	47
Дефекты фрез	49
Износ резьбовых фрез	—

Глава III. Оптимальные режимы резьбофрезерования

Введение	52
Методика исследования	—
Стойкостные испытания резьбовых фрез и признаки их затупления	57
Аналитическая проверка результатов исследования методом наименьших квадратов	60
Расчет экономического периода стойкости резьбовой фрезы	68
Выбор режима резьбофрезерования	70
Нормативы	71

Глава IV. Производственный контроль резьб

Дефекты нарезок	80
Контроль резьбовых изделий на авиационных заводах США	90
Контрольные инструменты и приборы	91

Глава V. Резьбофрезерные станки

Станки Вандерер	92
Станки Хассе-Вреле	100
Станки Хилле KGF-1, KGF-2, KGF-3	100
Планетарный резьбофрезерный станок Хилле FP-2	101
Полуавтоматический резьбофрезерный станок Арчлейль 3 ¹ / ₂ и 4 ¹ / ₂	101
Передвижной резьбофрезерный станок Спиро	101
Станок 563-Б завода им. ЦК Машиностроения	101
Резьбофрезерный станок 561 завода им. ЦК Машиностроения	101
Универсальный резьбофрезерный станок Вандерер GFV-500	101
Станок Шюттоф	101
Полуавтоматический резьбофрезерный станок Хэнсон и Уитней	101
Резьбофрезерный автоматический станок Хеллер 80/120	101