

при работе без компенсации осевой составляющей силы резания.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При ультразвуковом резбонарезании мелких резб в труднообрабатываемых материалах величина и отрицательное влияние осевой составляющей силы резания, по сравнению с обычным резбонарезанием, в несколько раз меньше, что ведет к улучшению качества получаемой резбы.

2. Рекомендуемый автором метод компенсации осевой силы резания обладает положительными качествами и может быть рекомендован для практического применения.

Литература

1. Кравченко Б.А., Нерубай М.С., Турков А.Г., Цейтли А.Н., Попов Н.Т. Ультразвуковой станок для нарезания мелких резб в труднообрабатываемых деталях, ЦНТИ, Куйбышев, 1971.

2. Матвеев В.В., Выборщик В.Н., Миронов И.Я. Повышение точности резбонарезания на сверлильных станках. "Станки и инструмент", 1971, № 3.

УДК 621.919

М.Э.Иткин

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОТЯЖЕК С ВИНТОВЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ЗУБЬЕВ

При протягивании высокопрочных термообработанных сталей с пределом прочности $\sigma_B > 100 \text{ кг/мм}^2$ достижение чистоты 7-го класса затруднено вследствие ряда причин, к числу которых относятся:

- 1) наличие высоких удельных нормальных усилий на передней и задней гранях зубьев протяжки, что приводит к микровыкрашиванию лезвия зуба и ухудшению качества обработанной поверхности;
- 2) переменное число зубьев, находящихся в работе;
- 3) небольшое число зубьев протяжки, находящихся в работе при малой длине протягивания.

Так, например, при протягивании детали самолета (тяги), имеющей ушко с размерами протягиваемого отверстия $d = 36$ мм и $l = 12,5$ мм, количество зубьев, участвующих в работе, при шаге между зубьями протяжки $t = 5$ мм составляет попеременно то 2, то 3 зуба. При таких условиях не обеспечивается стабильность работы протяжки, а получаемая при этом чистота обработки не превышает 6-го класса.

Для повышения качества обработанной поверхности при протягивании коротких отверстий можно рекомендовать протяжки со спиральным расположением зубьев. Проектирование и расчет таких протяжек до настоящего времени еще мало освещены в литературе. Поэтому считаем полезным ознакомить читателей с результатами исследования спиральнозубых протяжек (рис.1), проведенного автором на кафедре резания КАИ.

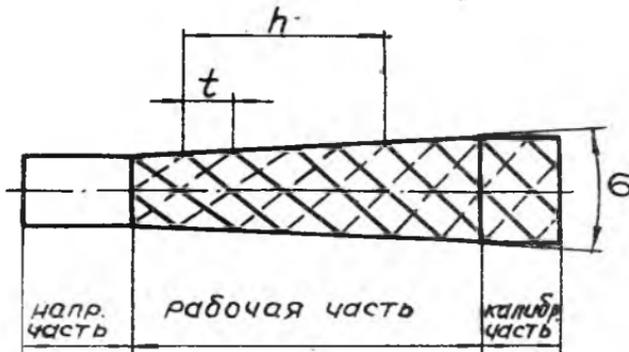


Рис.1. Схема протяжки с винтовым расположением зубьев

Для уменьшения нагрузки на зуб протяжки и обеспечения плавности работы винтовые нитки делаются многозаходными с количеством витков $n \geq 3$. Более устойчиво работают протяжки с четным числом витков. Витки зубьев на рабочей части образованы на конусе с углом при вершине $\beta = 2 \arctg \left(\frac{z_0 a}{L} \right)$, где z_0 - число зубьев на рабочей части протяжки; a - подъем на зуб, мм; L - длина рабочей части протяжки, мм. На рис.2 показана проекция винтовой линии на плоскость, перпендикулярную оси протяжки.

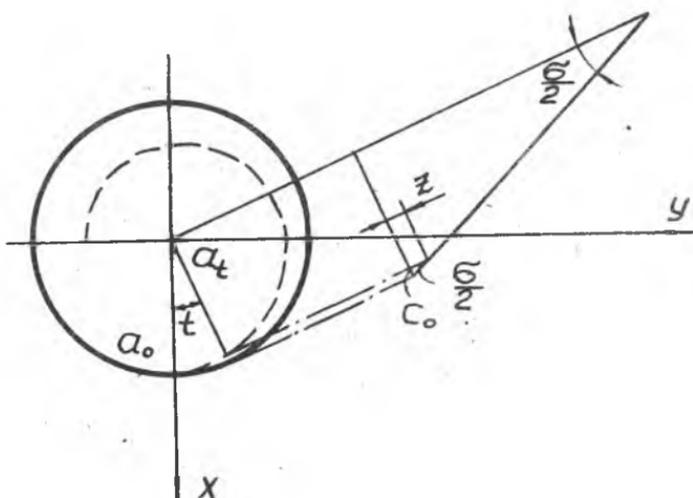


Рис.2. Проекция винтовой линии на плоскость, перпендикулярную оси протяжки

Из пропорции $\frac{2\pi}{t} = \frac{h}{z}$ следует, что $z = \frac{h \cdot t}{2\pi} = b \cdot t$. (1)

Обозначим начальный радиус через a_0 , тогда

$$a_t = a_0 - z \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} = a_0 - b t \cdot \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} = a_0 - B t, \quad (2)$$

где $B = b \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}$.

Уравнение винтовой линии на конусе, записанное в параметрической форме, будет иметь вид

$$x = a_t \cdot \cos t = (a_0 - B t) \cos t \quad (3)$$

$$y = a_t \cdot \sin t = (a_0 - B t) \sin t \quad (4)$$

$$z = b t. \quad (5)$$

Длина винтовой линии S , описанная на конусе, которая находится в контакте с протягиваемым отверстием, определится выражением

$$S = \int_0^{2\pi} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \cdot dt \quad (6)$$

Дифференцируя уравнения (3-5) по параметру t , после соответствующей подстановки в (6), получим

$$S = \int_0^{2\kappa\pi} \sqrt{B^2 + (a_0 - Bt)^2 + b^2} dt. \quad (7)$$

Приведем интеграл к форме квадратного трехчлена типа

$$S = \int_0^{2\kappa\pi} \sqrt{M + Nt + ct^2} dt, \quad (8)$$

где $M = B^2 + b^2 + a_0^2$; $N = -2a_0B$; $C = B^2$.

Решение интеграла производится подстановкой Эйлера, при этом необходимым условием должно быть $C > 0$.

$$S = \frac{2C2\kappa\pi + N}{4C} \sqrt{M + 2\kappa\pi N + C4\kappa^2\pi^2} - \frac{N^2 - 4MC}{8C^{3/2}} \times$$

$$\times \ln[2C2\kappa\pi + N + 2\sqrt{C} \cdot \sqrt{M + 2\kappa\pi N + C4\kappa^2\pi^2} -$$

$$- \frac{N}{4C} \sqrt{M} + \frac{N^2 - 4MC}{8C^{3/2}} \ln[N + 2\sqrt{C} \sqrt{M}]. \quad (9)$$

Подсчитаем значение S для одного витка протяжки, предназначенной для протягивания отверстия в указанной детали. В этом случае наибольший размер S будет соответствовать последним трем зубьям рабочей части протяжки, имеющим $\mathcal{D} = 37$ мм и $a_0 = \frac{\mathcal{D}}{2} = 18,5$ мм.

Для рассматриваемой детали: $\mathcal{D}_{\text{отв.}}$ до протягивания - 36,05 мм, после протягивания $\mathcal{D}_1 = 37$ мм. Тогда припуск на сторону будет равен $\frac{37 - 36,05}{2} = 0,48$ мм.

Выбираем подъем на зуб 0,025 и шаг между соседними зубьями $t = 6$ мм. Тогда $t a_0^2 \frac{C}{2} = \left(\frac{0,025}{6} \right) = 0,174 \cdot 10^{-4}$.

Для четырехзубной протяжки $h = 4t = 24$ мм.

Тогда $C = \frac{24^2}{4\pi^2} \cdot 0,174 \cdot 10^{-4} = 2,53 \cdot 10^{-4}$

Величина $K = \frac{L}{h}$, где $L = 12,5$ мм - длина протягиваемого отверстия, $h = 24$ мм - ход винтовой линии. Откуда $K =$

$$= \frac{12,5}{24} = 0,521.$$

величина $N = -2a_0 \cdot B = -2a_0 \sqrt{C} = -2 \cdot 18,5 \times \sqrt{2,53 \cdot 10^{-4}} = -0,5889$.

Величина $M = B^2 + b^2 + a_0$; $b = \frac{h}{2\pi} = \frac{24}{2\pi} = 3,82$;
 $B^2 = C = 2,53 \cdot 10^{-4}$; $a_0 = 18,5$. Откуда $M = 356,84$.

Подставив найденные значения C , K , N и M в уравнение (9) , получим $S = 61,8$ мм.

Учитывая, что угол конуса в спиральных протяжках невелик ($\beta = \text{от } 20' \text{ до } 40'$), можно с достаточной для практики точностью определить по рис.3 длину контактируемого с протягиваемым отверстием лезвия, полагая, что винтовая линия описана не вокруг конуса, а вокруг цилиндра. Тогда вместо сложного уравнения (9) получим простое выражение

$$S = \frac{L}{\sin \beta} . \quad (10)$$

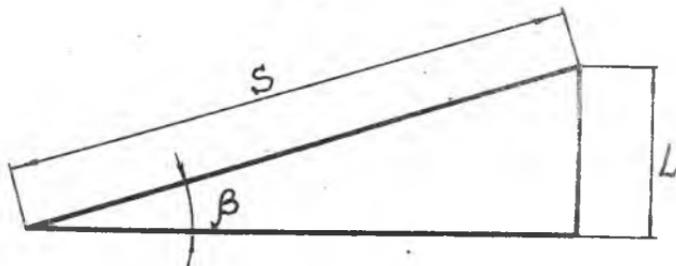


Рис.3. К определению длины контактируемого с протягиваемым отверстием лезвия

Как видно из выражения (10), при данном L длина контакта лезвия протяжки с материалом уменьшается с увеличением β . Сечение среза, снимаемое одним витком, будет равно

$$F = S \cdot a = \frac{La}{\sin \beta} . \quad (11)$$

Ряд условий накладывает ограничения на выбор угла подъема витка β .

Тянущая сила (рис.4) определяется выражением

$$P = P_N \cos \beta - P_s \sin \beta , \quad (12)$$

а окружная вращающая сила

$$P_a = P_N \sin \beta + P_s \cos \beta .$$

$$\text{Сила } P_N = pF = \frac{K}{a^m} \cdot \frac{La}{\sin \beta} = \frac{KL}{\sin \beta}$$

$$\text{Силу трения можно принять равной } P_s = f \cdot P_N = \frac{f \cdot K \cdot L \cdot a^{1-m}}{\sin \beta} \quad (I4)$$

$$\text{Откуда } P = \frac{K \cdot L \cdot a^{1-m} (\cos \beta + f \sin \beta)}{\sin \beta} , \quad (I5)$$

$$P_a = \frac{K \cdot L \cdot a^{1-m} (\sin \beta + f \cos \beta)}{\sin \beta} . \quad (I6)$$

Из выражений (I5), (I6) следует, что с увеличением угла подъёма витка β тянущая сила P уменьшается, а окружная сила, скручивающая оправку, P_a увеличивается либо остается постоянной.

Определим шаг между зубьями (витками) $t = \frac{H}{n}$, где H - ход витка; n - число заходов.

$$\text{Величина } H = 2\pi R \operatorname{tg} \beta , \quad t = \frac{2\pi R \operatorname{tg} \beta}{n} .$$

При выборе шага следует исходить из условия размещения стружки в стружечных канавках протяжки. Площадь стружечной канавки $F_{ск}$ должна быть равна площади, занимаемой деформированной и свернутой стружкой, умноженной на коэффициент запаса K_2 .

$F_{ск} = F_{ср} \cdot K_1 \cdot K_2$, где $F_{ср}$ - площадь продольного среза, K_1 - коэффициент усадки стружки.

Площадь стружечной канавки (рис.5) можно принять равной площади трапеции с размерами сторон: $0,65t$ и $0,25t$, - и высотой $h = 0,4t$. Тогда $F_{ск} = \frac{(0,25 + 0,65)t}{2} \times 0,4t = 0,18t^2$. Площадь продольного среза $F_{ср} = La$, где подъём на зуб принимаем с некоторым запасом $a = 0,04$ мм; K_1 - согласно данным Еремина, принимаем примерно равным 5; K_2 - коэффициент запаса, принимаем равным 2. Тогда $F_{ск} = 0,18t^2 = 0,04L \cdot 5 \cdot 2 \text{ мм}^2$. Откуда

$$t_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{0,4L}{0,18}} = 1,5\sqrt{L} \text{ мм} . \quad (I7)$$

При выбранном числе витков n и шаге t , рассчитанном

по формуле (17), устанавливаем минимальное значение угла β , которое нельзя уменьшить, так как при этом недопустимо уменьшится объём стружечной канавки.

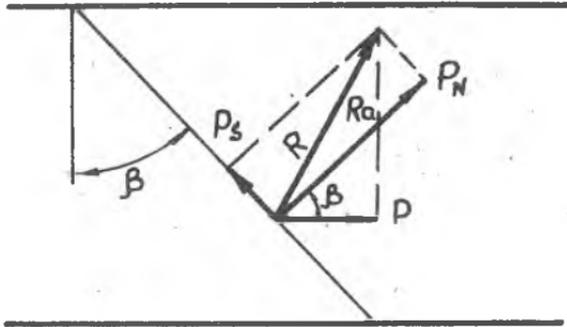


Рис.4 Схема действующих сил

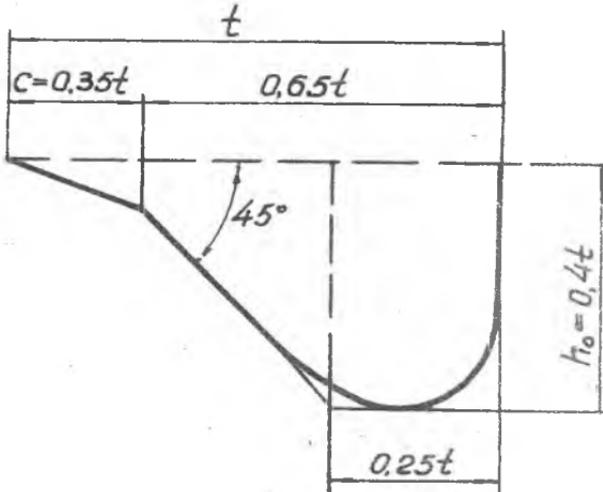


Рис.5 Форма стружечной канавки

В этом случае, учитывая, что $H = 2\sqrt{R} \operatorname{tg} \beta$ находим

$$\text{и } t = \frac{H}{n}$$

$$\beta_{\text{м.ч.}} \geq \arctg \frac{p \cdot 1,5\sqrt{L}}{2}$$

(18)

Условием для максимального значения $\beta_{\text{макс}}$ будет

$$\beta_{\text{макс}} \leq \arctg \frac{L \cdot n}{\pi \cdot D} \quad (19)$$

Приводим пример определения β для проектируемой спиральной протяжки. Дано $D = 35$ мм; $L = 12,5$ мм; $n = 4$. Тогда

$$\beta_{\text{макс}} \leq \arctg \frac{L \cdot n}{\pi \cdot D} = \frac{12 \cdot 4}{\pi \cdot 35} = 0,435 \text{ и } \beta_{\text{макс}} \leq 23^{\circ} 30'$$

$$\beta_{\text{мин}} \geq \arctg \frac{n \cdot 1,5 \sqrt{L}}{\pi \cdot D} = \arctg \frac{4 \cdot 1,5 \sqrt{12,5}}{\pi \cdot 35} \geq 10^{\circ} 50'$$

В спроектированной протяжке угол $\beta = 12^{\circ}$, что удовлетворяет расчету.

Осевой шаг в спроектированной протяжке подсчитан по формуле (17) $t_{\text{опт}} = 1,5 \sqrt{12,5} = 5,2$; принято 6 мм. Шаг по нормали $t_n = t_o \cos \beta = 6 \cdot 0,978 = 5,85$ мм.

Длина рабочей части протяжки рассчитывается из условия получения минимальной ее длины и обеспечения достаточного объема стружечных канавок. Очевидно, что при выбранном пропуске Δ и подъеме на зуб A , чем больше витков на протяжке n , тем короче будет ее рабочая часть. Но, с другой стороны, увеличение n приводит к удорожанию изготовления и эксплуатации протяжек.

При выборе числа витков можно руководствоваться рекомендациями П.Г. Кацева [1]. При этом следует иметь в виду, что увеличение n влечет за собой увеличение угла β , который имеет предел, определяемый выражением (19). Увеличение β , хотя и облегчает процесс стружкообразования, но увеличивает момент, скручивающий протяжку.

Для проектирования протяжек с винтовым зубом предлагается следующий порядок расчета.

1. Выбирается по возможности наименьший припуск. Можно рекомендовать выражение для определения припуска на диаметр:

$$\Delta = 0,15 \sqrt{D}$$

2. Подъем на зуб при протягивании круглых отверстий можно выбирать по табл. 1, а число витков по табл. 2.

Таблица 1

Обрабатываем. материал	Твердость по Бринеллю HB кг/мм ²	Подъем на зуб, α мм
Сталь Б _в до 50 кг/мм ²		0,02
50-70 "	143-207	0,02-0,03
70-90 "	208-269	0,03-0,06
91 - и выше	270-320	0,01-0,03
	321 и выше	0,01 -0,015
Стальное литье		0,02-0,05
Чугун серый		0,04-0,08
Алюминий		0,01-0,05
Бронза		0,04-0,15

Таблица 2

Диаметр отверстия	Число заходов на рабочей части, П
6-10	2
12-25	3
25 - и выше	4

Для материала ЗОХГСА ($\sigma_b = 120 \text{ кг/мм}^2$), в частности, могут быть рекомендованы для отверстия $d = 30 + 35 \text{ мм}$, $\alpha = 0,02 \text{ мм}$ и $\Pi = 4$.

3. Угол подъема витка выбирать по уравнению (18) и сделать проверку по уравнению (19).

4. Оптимальный шаг определять по уравнению (17).

5. Длину рабочей части определять по формуле

$$L_p = \frac{\Delta \cdot T \cdot D \cdot t_0 \cdot \beta_{\text{мин}}}{\alpha \cdot \Pi}$$

6. Число зубьев на калибрующей части $Z_1 = 5 + 8$.

7. Подсчет напряжения на разрыв протяжки производить по суммарной силе $P_{\text{общ}} = P \cdot \Pi$, где величина P определяется по уравнению (15).

8. Расчет на кручение оправки производить по величине $M_{\text{кр}} = P_{\alpha} \cdot \frac{D}{2} \cdot \Pi$. Величину P_{α} подсчитывать по уравнению (16).

9. Размеры стружечной канавки выбирать согласно рис. 5. Все остальные параметры протяжки (геометрия зуба, размеры хвоста

товой, направляющей и калибрующей (частей) выбираются так же, как для обычных протяжек.

Разработанная нами конструкция протяжки изготовлена и испытана на производстве. Полученные результаты показали вполне удовлетворительную ее работу. Чистота обработанных отверстий достигала 7-го класса. Точность вполне укладывается в пределы допуска. Деформация детали сведена к минимуму.

Литература

Г. Кацев П.Г. Конструирование, изготовление и эксплуатация протяжек. Машпром. Общественный университет. Москва, 1962.