

УДК 621.9

Определение профиля передней поверхности в торцевом сечении зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками

Мальков О. В.^{1,*}

 olma70@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Повышение точности резбы в деталях машиностроительного производства связано с усовершенствованием этапов проектирования и изготовления резьбообразующего инструмента. В современном производстве для образования резбы все большее распространение получают резбовые фрезы. Предварительные исследования показали, что повышение точности нарезаемой резбы тесно связано с решением задачи профилирования зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками, а точность решения зависит от профиля передней поверхности инструмента в торцевом сечении. Кроме этого, форма профиля передней поверхности требуется для решения задач, связанных с расчетом прочности резбовых фрез и оценки геометрических параметров зубьев. Проведенный анализ ГОСТ 1336-77 на резбовые фрезы показал, что в нем отсутствуют геометрические и конструктивные параметры, характеризующие концевые гребенчатые резбовые фрезы с винтовой стружечной канавкой. Поскольку в стандарте представлены фрезы только с прямой стружечной канавкой, у которых форма профиля зуба фрезы второго порядка совпадает в нормальном и торцевом сечениях, то для фрез с винтовыми канавками необходимо решение задачи пересчета нормального и торцевого сечений для получения требуемой формы режущей кромки. Для оценки профиля передней поверхности проведен анализ концевых фрез изготовленных из быстрорежущей стали и твердого сплава, который показал, что в подавляющем большинстве случаев передняя поверхность зуба задается в нормальном сечении прямой, что взято в качестве исходных данных при определении функции формы профиля передней поверхности торцевого сечения зубьев резбовой фрезы с винтовыми канавками. Решена задача расчета координат профиля передней поверхности торцевого сечения зуба фрезы с винтовыми стружечными канавками при принятом исходном профиле зуба в нормальном сечении, которая была проверена моделированием в программном комплексе CATIA V5 R17. На примере показано получение функции формы торцевого сечения. Расчеты показали, что в торцевом сечении зуба получается кривая, описываемая полиномом второй степени с высокой степенью точности. Полученные данные могут использоваться для коррекции профиля зубьев резбовых фрез с целью повышения точности получаемой резбы.

Ключевые слова: резбовая фреза, винтовая стружечная канавка, профилирование, функция формы канавки

Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к режущему инструменту, является обеспечение требуемой формы, размеров и качества поверхностей обрабатываемой детали при выполнении критерия экономической эффективности ее производства. С учетом предъявляемых требований производится проектирование конструкции и технологии изготовления режущего инструмента. Особенно это касается конструкций резьбообразующих инструментов, в частности, резьбовых фрез, которые работают в сложных условиях продольного изгиба, а при обработке внутренних резьб и большого угла контакта с нарезаемой резьбой. При этом специфика резьбообработки требует изготовления узких заостренных вершин зубьев резьбовых фрез, а в случае с резьбовыми фрезами с винтовыми стружечными канавками различные геометрические параметры режущих кромок профиля зубьев. Указанные особенности снижают стойкость в целом резьбовых фрез. Кроме того, ранее было показано [1-6], что наличие угла наклона винтовых стружечных канавок, переднего и заднего углов зубьев требует профилирования зубьев фрезы с целью получения обрабатываемой резьбы принятой степени точности. Исследования также показали, что наряду с геометрическими параметрами при решении задачи профилирования зубьев резьбовых фрез большую роль играет форма профиля передней поверхности винтовой стружечной канавки.

Таким образом, проектирование конструкции цельной концевой резьбовой фрезы (однониточной или гребенчатой) требует подготовки исходных данных по параметрам профиля передней поверхности винтовой стружечной канавки, которые следует использовать при решении таких задач, как профилирование зубьев, оценки геометрических параметров зубьев, оценки прочностных характеристик резьбовых фрез.

В настоящее время современной технологией изготовления концевых фрез различных типов, включая резьбовые фрезы (в большинстве случаев из твердого сплава) является их изготовление на многокоординатных шлифовальных станках с ЧПУ компаний *ANCA* (Австралия-Германия), *WALTER AG* (Германия) и др. за одну операцию при помощи нескольких шлифовальных кругов различной формы. При этом форма передней поверхности винтовой стружечной канавки зависит от ряда факторов: формы и размера применяемого шлифовального круга, параметров фрезы (угла наклона канавок, количества зубьев, глубины профиля, ширина затылка и др.), а также взаимного расположения заготовки (фрезы) и шлифовального круга. Практика показывает, что изменяя указанные выше параметры, можно изготовить фрезу с формой канавки максимально приближенной к требуемой. В случае с изготовлением фрезы из быстрорежущей стали существуют методики расчета профиля фрезы второго порядка, обеспечивающие изготовление инструмента с формой канавки максимально приближенной к требуемой.

Исходя из вышесказанного, для решения задачи получения функции формы торцевого сечения фрезы с винтовыми стружечными канавками возможно несколько путей решения:

- используя программы-симуляторы технологии изготовления фрезы (типа *ANCA iGrinder*), которые предназначены для создания управляющей программы по изготовлению цельного осевого инструмента путём его шлифования и имеют 3D-симулятор технологии обработки концевых инструментов. В этом случае, задавая все необходимые параметры, указанные выше, возможно получить 3D-модель инструмента и средствами программных продуктов работы с 3D-моделями получить форму торцевого сечения стружечной канавки инструмента. Достоинством данного подхода является то, что решение (т.е. форма торцевого сечения) является точным с точки зрения реализации в готовом инструменте, при этом недостаток - это решение является частным, т.е. зависящим от большого количества вводимых параметров;

- используя задание собственной формы нормального (торцевого) сечения винтовой стружечной канавки. Достоинством данного подхода является простота задания формы и аналитическое решение задачи пересчета формы нормального сечения канавки в торцевое и дальнейшее решение задачи профилирования зубьев резьбовой фрезы, а недостатком является сложность реализации выбранной формы в технологическом процессе, что неизбежно приведет к погрешности формы канавки изготовленного инструмента.

В представленной статье решается задача по определению функции формы торцевого сечения профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками (модель которых представлена цилиндром с винтовыми канавками) при заданной форме профиля канавки в нормальном сечении. Решение поставленной задачи позволяет подготовить исходные данные для решения задачи профилирования зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками для изготовления резьбы принятой степени точности.

Целью работы является создание математической модели определения координат торцевого сечения профиля зуба резьбовой фрезы с винтовыми стружечными канавками при заданном профиле зуба в нормальном сечении. Научной новизной и практической ценностью работы является разработанная математическая модель и методика расчета координат торцевого сечения профиля зуба резьбовой фрезы с винтовыми стружечными канавками.

Анализ профиля стружечных канавок концевых фрез

Для задания формы канавки в дальнейших расчетах проведем анализ типовых конструкций стандартизованных резьбовых и концевых фрез из различного инструментального материала, основные параметры которых представлены в таблицах 1,2. Обозначения представленных фрез взяты в соответствии со стандартом.

В настоящее время в России стандартизованы гребенчатые хвостовые и насадные резьбовые фрезы (ГОСТ 1336-77). Однако стандарт предлагает резьбовые фрезы из быстрорежущей стали по ГОСТ 19265-73 с прямыми стружечными канавками и передним

углом зубьев резбообразующей части $\gamma=5^\circ$. Основные геометрические и конструктивные параметры резбовых фрез в соответствии с ГОСТ 1336-77 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры резбовых фрез по ГОСТ 1336-77.

ГОСТ	Наименование	d, мм	ω, град	z	h, мм	α/k, град/мм	γ, град
Быстрорежущие фрезы							
1336-77	Фрезы резбовые гребенчатые* (* хвостовые верхняя строка, насадные нижняя)	10...32	0° (допускается не более 7°)	6,8	2,5...4,5	(11°...9°)/(1...2)	5° (допускается γ=0°)
		32...100		8...18	4,5...8,5	9°/(2...3)	
Твердосплавные фрезы - нет							

Анализ ГОСТ 1336-77 и таблицы 1 показывает, что:

- отсутствуют зависимости, связывающие геометрические параметры резбовых фрез с совокупным влиянием угла наклона винтовой стружечной канавки и передним углом зубьев;
- отсутствуют геометрические и конструктивные параметры, характеризующие концевые гребенчатые резбовые фрезы с винтовой стружечной канавкой, изготовленные из твердого сплава;
- поскольку в стандарте представлены фрезы только с прямой стружечной канавкой, у которых форма профиля зуба фрезы второго порядка совпадает в нормальном и торцевом сечениях, то для фрез с винтовыми канавками необходимо решение задачи пересчета нормального и торцевого сечений для получения требуемой формы режущей кромки;
- отсутствие угла наклона стружечных канавок фрез требует решения задачи профилирования зубьев резбообразующей части.

Анализ представленных в таблице 2 конструкций концевых фрез показал, что:

- параметры фрез варьируются в широком диапазоне значений, что требует в дальнейшем решения задачи создания зависимостей скорректированных углов профиля зубьев резбообразующей части резбовой фрезы от указанных параметров;
- передние и задние углы концевых фрез (за редким исключением) имеют фиксированные значения, связанные с типом обрабатываемого и инструментального материалов;
- в большинстве случаев форма канавки зуба концевой фрезы задается в нормальном сечении.

Таблица 2. Основные параметры концевых фрез.

ГОСТ	Наименование	d , мм	ϕ , град	z	h , мм	α , град	γ , град
Быстрорежущие фрезы							
16225-81	Фрезы концевые для обработки легких сплавов	1,5...50,0	20°...40°	2, 3	3,6...14,5	20°	15°
17025-71	Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком	2,0...28,0	30°...45°	2...6	0,3...5,6	14°	15°
17026-71	Фрезы концевые с коническим хвостовиком	10...63	30°...45°	3...8	2,4...9,0	14°	15°
23247-78	Фрезы концевые для обработки деталей из легких сплавов на станках с программным управлением	8...63	40°, 45°	3, 4	2...16	14°...20°	10°...20°
23248-78	Фрезы концевые для обработки деталей из высокопрочных сталей и титановых сплавов на станках с программным управлением	8...63	30°...45°	3...8	1,6...11	20°	0°...15° (возможна упрочняющая фаска с углом (-5°) для титановых сплавов с $\sigma > 1000$ МПа)
Твердосплавные фрезы							
16463-80	Фрезы шпоночные цельные твердосплавные	2...12	20°	2	0,6...3,5	12°	5°
18372-73	Фрезы концевые твердосплавные	3...12	30°...40°	3...5	0,75...2,1	15°	5°

На рисунке 1 представлена типовая форма стружечной канавки в нормальном сечении концевой фрезы.

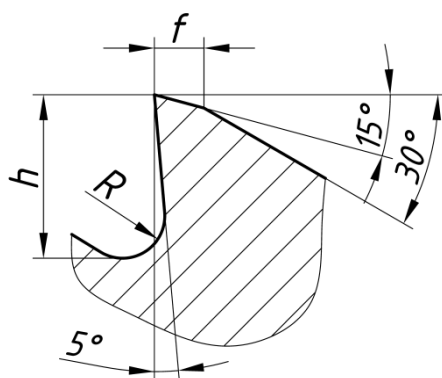


Рисунок 1. Типовая форма канавки в нормальном сечении.

Таким образом, задачу можно сформулировать следующим образом: определить параметры профиля передней поверхности в торцевом сечении зуба резбовой фрезы с

винтовыми стружечными канавками при исходном профиле передней поверхности в нормальном сечении в виде прямой, проходящей через вершину зуба под углом равным переднему углу инструмента.

Расчет профиля передней поверхности в торцевом сечении зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками

На рисунке 2 представлена модель расчета функции формы торцевого сечения винтовой канавки концевой фрезы в произвольной точке i спирали, построенной на цилиндре диаметром d с углом наклона спирали ω . Для нахождения положения нормального сечения N-N в текущей i спирали зададимся параметром θ , определяющим расположение i на спирали (рисунок 3). В соответствии со схемой представленной на рисунке 3 текущее положение i на спирали можно определить по формуле:

$$\begin{cases} x_i = R \cdot \sin \theta_i \\ y_i = R \cdot \cos \theta_i \\ z_i = p \cdot \theta_i = \frac{R}{\operatorname{tg} \omega} \cdot \theta_i \end{cases}, \quad (1)$$

где $R=d/2$ – радиус направляющего цилиндра, мм.

Значение винтового параметра p координаты z рассчитывается исходя из шага спирали T : $T = \pi d / \operatorname{tg} \omega$. Учитывая, что шаг спирали рассчитывается для угла поворота точки спирали на угол 2π , значение винтового параметра для произвольного угла поворота точки спирали θ рассчитаем по формуле:

$$p = \pi d / (2\pi \operatorname{tg} \omega) = R / \operatorname{tg} \omega.$$

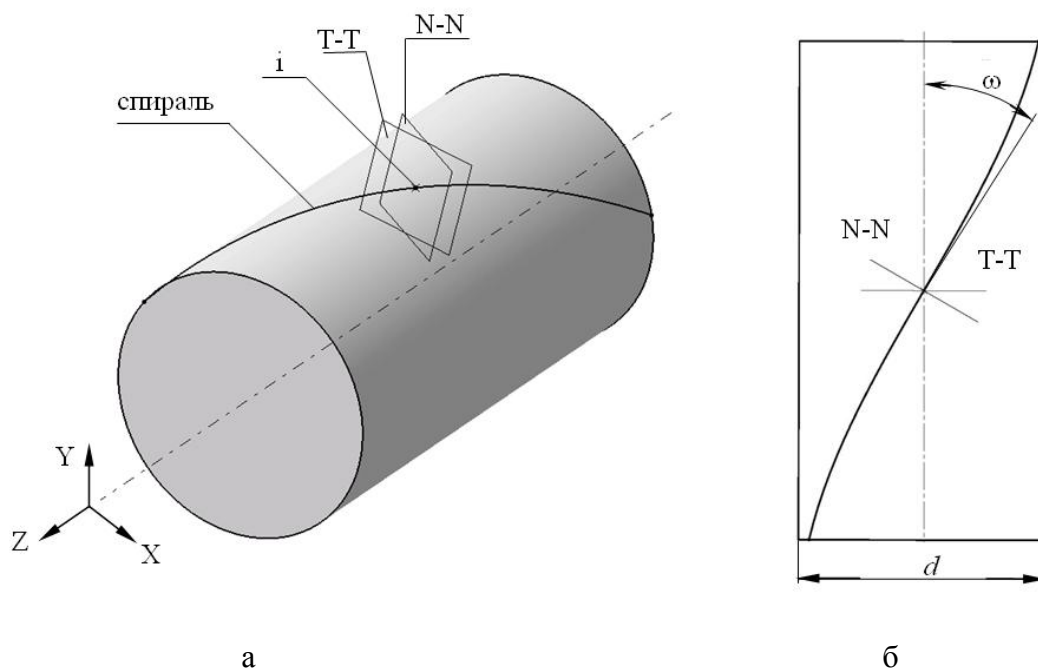


Рисунок 2. Модель расчета функции торцевого сечения винтовой стружечной канавки.

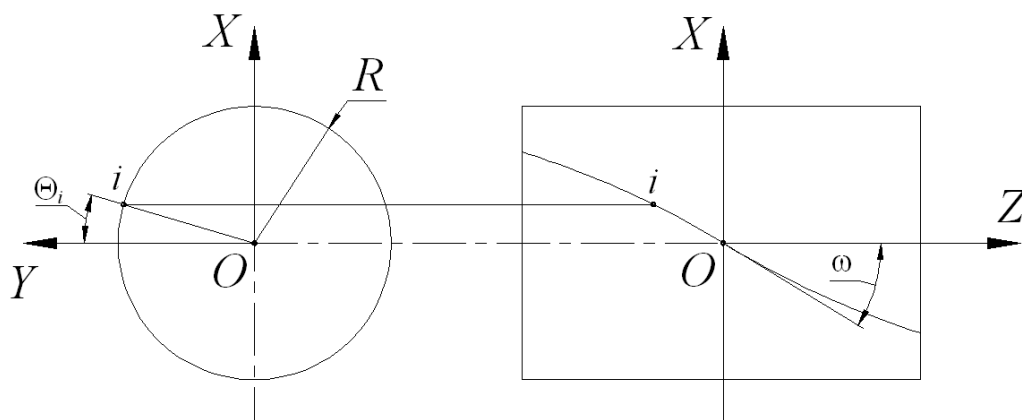


Рисунок 3. Расчетная схема определения координат т. i на спирали.

Для задания профиля передней поверхности винтовой стружечной канавки в нормальном сечении N-N, проходящем через произвольную т. i спирали, рассчитаем элементы сопровождающего трехгранника в т. i (рисунок 4). Формулы расчета элементов сопровождающего трехгранника представлены в таблице 3.

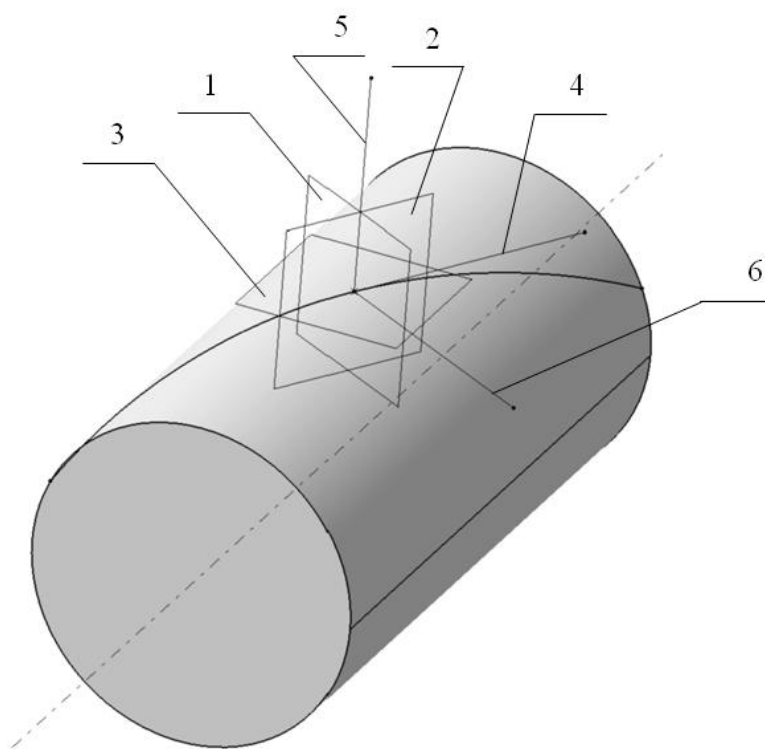


Рисунок 4. Элементы сопровождающего трехгранника спирали: 1- нормальная плоскость, 2 - соприкасающаяся плоскость, 3 - спрямляющая плоскость, 4 – касательная, 5 - главная нормаль, 6 – бинормаль.

Таблица 3. Элементы сопровождающего трехгранника спирали

Элементы сопровождающего трехгранника спирали [7]	Уравнение*
Нормальная плоскость	$x'(X-x) + y'(Y-y) + z'(Z-z) = 0,$ $A_N = x', B_N = y', C_N = z', D_N = -x' \cdot x - y' \cdot y - z' \cdot z (**)$
Соприкасающаяся плоскость	$l(X-x) + m(Y-y) + n(Z-z) = 0, \text{ где}$ $l = \begin{vmatrix} y' & z' \\ y'' & z'' \end{vmatrix}, m = \begin{vmatrix} z' & x' \\ z'' & x'' \end{vmatrix}, n = \begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix}$ $A_S = l, B_S = m, C_S = n, D_N = -l \cdot x - m \cdot y - n \cdot z (**)$
Спрямяющая плоскость	$\begin{vmatrix} X-x & Y-y & Z-z \\ x' & y' & z' \\ l & m & n \end{vmatrix} = 0$ $A_{SP} = y' \cdot n - z' \cdot m, B_{SP} = z' \cdot l - x' \cdot n, C_{SP} = x' \cdot m - y' \cdot l,$ $D_{SP} = x(z' \cdot m - y' \cdot n) + y(x' \cdot n - z' \cdot l) + z(y' \cdot l - x' \cdot m) (**)$
Касательная	$\frac{X-x}{x'} = \frac{Y-y}{y'} = \frac{Z-z}{z'}$
Главная нормаль	$\frac{\begin{vmatrix} X-x & Y-y \\ y' & z' \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} y' & z' \\ m & n \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} Y-y & Z-z \\ z' & x' \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} z' & x' \\ n & l \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} Z-z & X-x \\ x' & y' \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x' & y' \\ l & m \end{vmatrix}}$
Бинормаль	$\frac{X-x}{l} = \frac{Y-y}{m} = \frac{Z-z}{n}$
* x, y, z – координаты вершины i (рисунок 2) трехгранника; X, Y, Z – текущие координаты элемента трехгранника; производные $x', y', z', x'', y'', z''$ вычисляются при значении параметра θ (рисунок 3), соответствующего текущей точке $i(x, y, z)$. ** - представлены коэффициенты уравнения плоскости после преобразования.	

Учитывая параметрическое задание уравнения спирали (1), а также уравнения задания элементов (таблица 3) определим величины, необходимые для задания элементов сопровождающего трехгранника в текущей точке $i(x, y, z)$ спирали:

$$x' = R \cos \theta, y' = -R \sin \theta, z' = \frac{R}{\operatorname{tg} \omega},$$

$$l = \frac{R^2 \cos \theta}{\operatorname{tg} \omega}, m = -\frac{R^2 \sin \theta}{\operatorname{tg} \omega}, n = -R^2 \quad (2)$$

Перепишем уравнения, представленные в таблице 3 с учетом (2). В результате получим следующие уравнения, представленные в таблице 4.

Таблица 4. Элементы сопровождающего трехгранника спирали

Элементы сопровождающего трехгранника спирали	Уравнение
Нормальная плоскость	$R \cos \theta (X - x) - R \sin \theta (Y - y) + \frac{R}{\operatorname{tg} \omega} (Z - z) = 0$
Соприкасающаяся плоскость	$\frac{R^2 \cos \theta}{\operatorname{tg} \omega} (X - x) - \frac{R^2 \sin \theta}{\operatorname{tg} \omega} (Y - y) - R^2 (Z - z) = 0$
Спрямяющая плоскость	$R^3 \sin \theta \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \omega}\right) (X - x) + R^3 \cos \theta \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \omega}\right) (Y - y) = 0$
Касательная	$\frac{X - x}{R \cos \theta} = \frac{Y - y}{-R \sin \theta} = \frac{Z - z}{R / \operatorname{tg} \omega}$
Главная нормаль	$\frac{X - x}{R^3 \sin \theta \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \omega}\right)} = \frac{Y - y}{R^3 \cos \theta \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \omega}\right)} = \frac{Z - z}{0}$
Бинормаль	$\frac{X - x}{R^2 \cos \theta / \operatorname{tg} \omega} = \frac{Y - y}{-R^2 \sin \theta / \operatorname{tg} \omega} = \frac{Z - z}{-R^2}$

Из уравнений, представленных в таблице 4 видно, что спрямяющая плоскость не имеет слагаемого с координатой Z из-за коэффициента равного нулю, что свидетельствует о том, что спрямяющая плоскость является касательной плоскостью сопровождающего трехгранника в текущей точке i спирали. А главная нормаль является перпендикуляром оси Z выбранной системы координат (рисунок 2) из-за знаменателя равного нулю, т.е. любая координата Z главной нормали равна координате z текущей точки i спирали, в которой воспроизведена эта главная нормаль.

Получив уравнение нормальной плоскости в каждой текущей точке спирали зададим в ней линию, характеризующую положение передней поверхности. В соответствии с типовой формой канавки в нормальном сечении (рисунок 1) зададимся уравнением прямой, проходящей через вершину зуба инструмента под углом γ (рисунок 5).

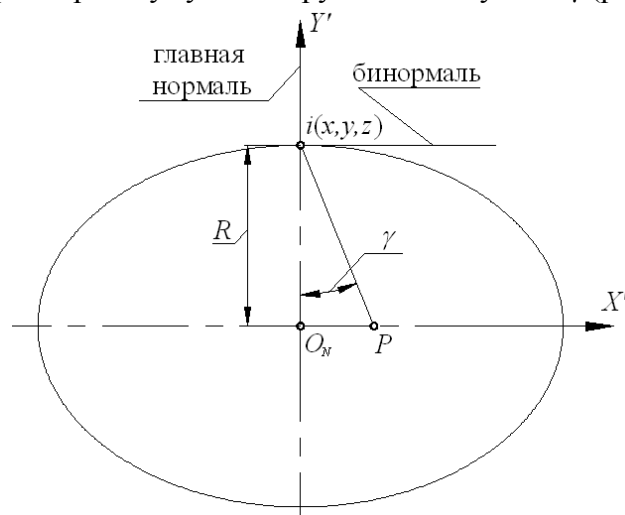


Рисунок 5. Расчетная схема формы канавки в нормальной секущей плоскости.

Поскольку главная нормаль перпендикулярна оси Z , следовательно, координаты точки $O_N(0,0,z_N)$. Также, согласно схеме $\overline{O_N P} = R \operatorname{tg} \gamma$. Поскольку прямая, проходящая

через т. O_N в направлении X' параллельна бинормали (рисунок 5) следовательно, уравнение этой прямой, проходящей через т. O_N описывается уравнением:

$$\frac{X}{R^2 \cos \theta / \operatorname{tg} \omega} = \frac{Y}{-R^2 \sin \theta / \operatorname{tg} \omega} = \frac{Z - (R\theta) / \operatorname{tg} \omega}{-R^2}$$

или в параметрическом виде:

$$\begin{cases} x = \frac{R^2 \cos \theta}{\operatorname{tg} \omega} \cdot t \\ y = -\frac{R^2 \sin \theta}{\operatorname{tg} \omega} \cdot t \\ z = \frac{R}{\operatorname{tg} \omega} \cdot \theta - R^2 \cdot t \end{cases} \quad (3)$$

Определим параметр t , соответствующий т. P (рисунок 5). Длина отрезка $\overline{O_N P}$ может быть определена согласно уравнению расстояния между двумя точками [7]:

$$\overline{O_N P} = \sqrt{(x_P - x_{O_N})^2 + (y_P - y_{O_N})^2 + (z_P - z_{O_N})^2} \quad (4)$$

Учитывая, что $O_N (0, 0, \frac{R}{\operatorname{tg} \omega} \cdot \theta)$, $\overline{O_N P} = R \operatorname{tg} \gamma$, а также подставив координаты т. P , описанные системой уравнений (3), после преобразований (4) получим:

$$t = \pm \frac{\operatorname{tg} \gamma}{R \sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \omega}}} \quad (5)$$

Проверка модели в программе CATIA V5R17 показала, что подходит отрицательное значение параметра t , следовательно координаты т. P в параметрическом виде после подстановки параметра t в систему уравнений (3):

$$\begin{cases} x_P = -\frac{R \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg} \omega + \operatorname{ctg} \omega}} \\ y_P = \frac{R \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg} \omega + \operatorname{ctg} \omega}} \\ z_P = R \left(\frac{\theta}{\operatorname{tg} \omega} + \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{1 + 1/\operatorname{tg}^2 \omega}} \right) \end{cases} \quad (6)$$

Согласно уравнению прямой проходящей через две точки [7] уравнение прямой проходящей через т. i (x, y, z) и т. P с координатами, определяемыми системой параметрических уравнений (6):

$$\frac{X - x}{x_P - x} = \frac{Y - y}{y_P - y} = \frac{Z - z}{z_P - z} \quad (7)$$

или в параметрическом виде:

$$\begin{cases} X = x + (x_P - x) \cdot t_1 \\ Y = y + (y_P - y) \cdot t_1 \\ Z = z + (z_P - z) \cdot t_1 \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая, что для сечения Т-Т (рисунок 2,б) координата $z = 0$, получим значение параметра $t_1 = -\frac{z}{z_P - z}$, подставив который в (8) получим координаты торцевого сечения Т-Т:

$$\begin{cases} X_{T-T} = x + (x_P - x) \cdot \left(-\frac{z}{z_P - z} \right) \\ Y_{T-T} = y + (y_P - y) \cdot \left(-\frac{z}{z_P - z} \right) \end{cases} \quad (9)$$

Согласно теоретическим расчетам, представленным выше, в программе *MS Excel* разработана программа расчета координат торцевого сечения.

Приведем пример получения функции формы торцевого сечения.

Исходные данные: диаметр инструмента $d = 25$ мм, передний угол в нормальном сечении $\gamma = 15^\circ$, угол наклона стружечной канавки $\omega = 30^\circ$.

На рисунке 6, а представлена форма передней поверхности профиля стружечной канавки инструмента в нормальном сечении (исходный профиль), а на рисунке 6, б – в торцевом сечении (профиль, рассчитанный согласно (9)).

Аппроксимация рассчитанных координат точек торцевого сечения с помощью программы *approx.exe*, разработанной на кафедре «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э.Баумана показала, что согласно коэффициента корреляции и полученной ошибке наилучшим образом они описываются полиномом. В результате форма торцевого сечения профиля передней поверхности винтовой стружечной канавки инструмента в торцевом сечении описывается функцией вида:

$$y_{T-T} = -0,2777 x_{T-T}^2 - 3,2089 x_{T-T} + 12,4975 .$$

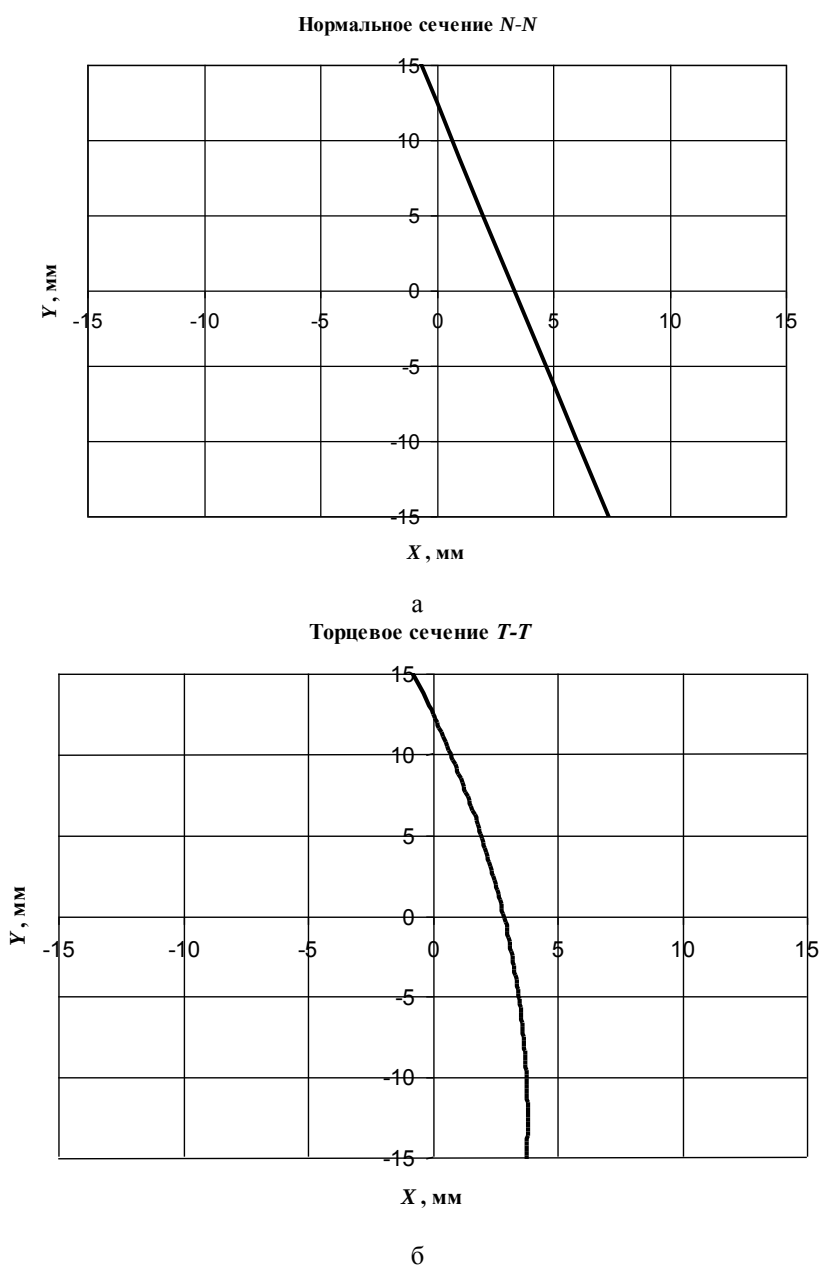


Рисунок 6. Форма профиля передней поверхности стружечной канавки. а - в нормальном сечении, б - в торцевом сечении. $d = 25$ мм, $\gamma = 15^\circ$, $\omega = 30^\circ$

Заключение

Проведенный анализ ГОСТ 1336-77 на резьбовые фрезы показал, что в нем отсутствуют геометрические и конструктивные параметры, характеризующие концевые гребенчатые резьбовые фрезы с винтовой стружечной канавкой. Поскольку в стандарте представлены фрезы только с прямой стружечной канавкой, у которых форма профиля зуба фрезы второго порядка совпадает в нормальном и торцевом сечениях, то для фрез с винтовыми канавками необходимо решение задачи пересчета нормального и торцевого сечений для получения требуемой формы режущей кромки.

Для оценки профиля передней поверхности проведен анализ концевых фрез изготовленных из быстрорежущей стали и твердого сплава, который показал, что в подавляющем большинстве случаев передняя поверхность зуба задается в нормальном сечении прямой, что взято в качестве исходных данных при определении функции формы профиля передней поверхности торцевого сечения зубьев резьбовой фрезы с винтовыми канавками.

Решена задача расчета координат профиля передней поверхности торцевого сечения зуба фрезы с винтовыми стружечными канавками при принятом исходном профиле зуба в нормальном сечении, которая была проверена моделированием в программном комплексе CATIA V5 R17. На примере показано получение функции формы торцевого сечения. Расчеты показали, что в торцевом сечении зуба получается кривая, описываемая полиномом второй степени с высокой степенью точности. Полученные данные могут использоваться для коррекции профиля зубьев резьбовых фрез с целью повышения точности получаемой резьбы.

Список литературы

1. Мальков О.В., Литвиненко А.В. Общий случай профилирования зубьев резьбовой части сверлорезьбофрезы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1997. № 2. С. 77-84.
2. Мальков О.В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. С. 37-54. DOI: [10.7463/0613.0579350](https://doi.org/10.7463/0613.0579350)
3. Мальков О.В. Разработка и исследование модели расчета углов профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 3. С. 24-43. DOI: [10.7463/0314.0702743](https://doi.org/10.7463/0314.0702743)
4. Мальков О.В., Малькова Л.Д. Разработка математической модели углов профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 4. С. 33-44. DOI: [10.7463/0414.0707227](https://doi.org/10.7463/0414.0707227)
5. Титов А.И. Изготовление резьбовых фрез со спиральными канавками и передним углом $\gamma > 0$ // Холодная обработка металлов: сб. статей. М.: Оборонгиз, 1958. С. 13-17.

(Сер. Передовой опыт производства / Науч.-исслед. ин-т технологии и организации производства авиац. пром-ти НИАТ; вып. 7).

6. Пикалов Б.И., Пашко Н.М., Жигалов В.И. Исследование зависимости параметров профиля резьбы в системе деталь - метчик // Исследования в области технологии образования наружных и внутренних резьб, резьбообразующих инструментов, станков и методов контроля резьб: сб. статей. Тула: Тульский политехнический институт, 1974. С. 134-141.
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: ГИТТЛ, 1957. 608 с.

.

Definition of the Face Profile in the End Section of the Teeth of the Thread Milling Cutters with Helical Flutes

O.V. Malkov^{1,*}

 olma70@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: thread milling cutter, helical flute, correction, shape function of the flute

An increasing thread accuracy in details of the machine-building production results from the improved design and manufacturing stages of threading tools. In modern industry, thread milling cutters gain an increasingly greater spread for thread manufacturing. Preliminary studies have shown that improving the accuracy of a cut thread is closely connected with the task of profiling the teeth of the thread milling cutters with helical flutes, and the accuracy of the solution depends on the face profile of the tool into the end section. In addition, the face profile of the tool is required to solve problems related to the calculation of strength thread milling cutters and evaluation of geometrical parameters of the teeth.

The analysis of GOST 1336-77 on thread milling cutters showed that there are no geometric and structural parameters characterizing the end thread milling cutters with helical flutes. Since the standard presents thread milling cutters with a straight flutes, in which the shape of the tooth profile cutters of the second order is the same as in normal and end sections, for cutters with helical flutes it is necessary to solve the problem of conversion of normal and end sections to get the desired shape of the cutting edge.

In order to assess the face profile, the end mills of high speed steel and carbide have been analyzed to show that the vast majority of the face profile of the tooth is specified in the normal section line, which is taken as an input in determining the function of the profile form for the face of the end section of the teeth thread milling cutter with helical flutes.

The paper solves the problem of calculating the coordinates of the profile of the end-section of a tooth cutters with helical flutes adopted at the original tooth profile in normal section. It has been verified by modeling software CATIA V5 R17. An example illustrates finding the function form of the end section. Calculations have shown that in the end section of a tooth there is a curve described by a second-degree polynomial with a high degree of accuracy. The data obtained can be used to correct tooth profile thread milling cutters to improve the accuracy of the obtained thread.

References

1. Mal'kov O.V., Litvinenko A.V. General case of profiling teeth of threaded part of drill-thread mill. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering*, 1997, no. 2, pp. 77-84. (in Russian).
2. Mal'kov O.V. Teeth profiling of thread milling cutters with helical flutes. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 6, pp. 37-54. DOI: [10.7463/0613.0579350](https://doi.org/10.7463/0613.0579350) (in Russian).
3. Mal'kov O.V. Design and research of calculation models of the tooth profile angles of thread milling cutter with helical flutes. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 3, pp. 24-43. DOI: [10.7463/0314.0702743](https://doi.org/10.7463/0314.0702743) (in Russian).
4. Mal'kov O.V., Mal'kova L.D. Developing a mathematical model of the tooth profile angles of thread milling cutter with helical flutes. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 4, pp. 33-44. DOI: [10.7463/0414.0707227](https://doi.org/10.7463/0414.0707227)
5. Titov A.I. Manufacturing of thread milling cutters with spiral grooves and rake angle $\gamma > 0$. *Kholodnaya obrabotka metallov: sb. statey* [Cold working of metals: collected papers]. Moscow, NIAT, Oborongiz Publ., 1958, pp. 13-17. (Ser. *Peredovoy opyt proizvodstva* [Advanced production experience]; iss. 7). (in Russian).
6. Pikalov B.I., Pashko N.M., Zhigalov V.I. Study of the dependence of parameters of the thread profile in the system of detail - tap. *Issledovaniya v oblasti tekhnologii obrazovaniya naruzhnykh i vnutrennikh rez'b, rez'boobrazuyushchikh instrumentov, stankov i metodov kontrolya rez'b: sb. statey* [Research in technology of formation of external and internal threads, tools for tapping, machine tools and methods of control of threads: collected papers]. Tula, TPI Publ., 1974, pp. 134-141. (in Russian).
7. Bronshtein I.N., Semendiaev K.A. *Spravochnik po matematike* [Handbook of Mathematics]. Moscow, GITTL Publ., 1957. 608 p. (in Russian).