

СПОСОБ ЗАТЫЛОВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ**О.В. Мальков**

olma70@mail.ru

И.А. Павлюченков

mockbaonline@gmail.com

А.А. Смирнов

smirnoff0320@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Приведен способ затылования зубьев резьбовых фрез шлифовальным кругом, повернутым относительно двух осей, что существенно упрощает технологическую подготовку производства инструментов, поскольку сочетая углы поворота, можно одним стандартным шлифовальным кругом выполнить профилирование резьбовых фрез нескольких типоразмеров, с принятой степенью точности обрабатываемой резьбы. Предлагаемые алгоритм и программа, основанные на разработанном математическом аппарате, позволяют определять углы разворота шлифовального круга для требуемых углов профиля затылка резьбовой фрезы. Приведен пример расчета углов поворота шлифовального круга для принятых исходных данных

Ключевые слова

Резьбовая фреза, резьба, затылование, затылованная фреза

Поступила 12.07.2018

© Автор(ы), 2019

Введение. Фрезы с затылованными зубьями получили широкое распространение в машиностроительном производстве, что связано с такими преимуществами, как возможность обработки выпуклых и вогнутых фасонных поверхностей, идентичность получаемого профиля при перетачивании зубьев фрезы, высокая прочность зубьев и большое число переточек по сравнению с острозаточенными фрезами и др. При этом затылованные фрезы имеют ряд таких недостатков (по сравнению с острозаточенными фрезами), как невозможность выбора большого числа зубьев и значительное радиальное биение зубьев. Первый недостаток связан с крупной формой зуба, а второй с возможным отсутствием круглого шлифования по наружному диаметру [1–3].

Затылование — это разновидность обработки резанием, которая заключается в образовании задних поверхностей лезвий затылованных зубьев (ГОСТ 25761–83). В большинстве случаев с затылованными зубьями изготавливают фасонные фрезы (червячные, резьбовые, фрезы для фасонных

поверхностей, в частности винтовых канавок инструментов), метчики и плашки. Затылованная задняя поверхность зубьев может быть образована семейством архимедовых спиралей, логарифмических спиралей, дуг окружностей, прямых линий, которые выбираются из условий обеспечения постоянного и оптимального заднего угла при переточках и возможности технической реализации затылования на имеющемся оборудовании [4, 5]. В большинстве случаев затылование профиля зубьев резьбовых фрез выполняется по архимедовой спирали, обеспечивающей постоянство формы и размеров профиля при переточке инструмента по передней поверхности в пределах допуска на наружный и средний диаметры.

Резьбовые фрезы являются разновидностью большой номенклатуры затылованных фрез. Анализ литературных источников показал, что согласно ГОСТ 1336–77 в России резьбовые фрезы производятся из быстрорежущей стали и в зависимости от диаметра имеют один или два затылка, один из которых получается точением, а другой шлифованием.

На рис. 1 приведена схема затылования резьбовой фрезы на универсальном резьбошлифовальном станке модели 5822 [6, 7]. Затылование резьбообразующего профиля происходит от прямолинейного возвратно-поступательного перемещения шлифовальной бабки 4 по направляющим качения б: поступательное — за счет кулачка 7 с архимедовой спиралью, а возвратное — от воздействия пружины 5, закрепленной одним концом на шлифовальной бабке, а другим на станине станка. Перемещение шлифовального круга 3 происходит в плоскости, проходящей через оси изделия 2, установленного на столе станка 1, и шпинделя шлифовальной бабки 4,

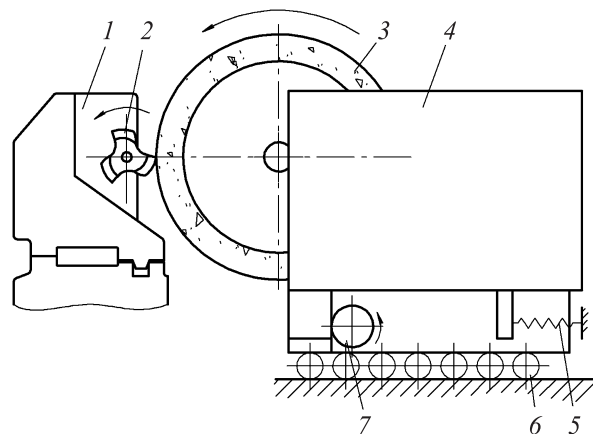


Рис. 1. Схема затылования резьбовой фрезы на резьбошлифовальном станке модели 5822 [6, 7]

что позволяет получить наименьшие отклонения углов профиля в пределах всего участка затылования. При затыловании резьбовых фрез по схеме (см. рис. 1) шлифовальный круг устанавливается вертикально без угла наклона его оси и перемещается в направлении, перпендикулярном оси изделия.

В настоящее время основной тенденцией в производстве резьбовых фрез является их обработка за один установ на многокоординатных заточных станках с ЧПУ (фирм ANCA (Австралия–Германия), WALTER AG (Германия), Rollomatic SA и др.) шлифовальным кругом с использованием программы затылования резьбового профиля зубьев. Затылование — важная операция технологического процесса изготовления резьбовой фрезы и выполняется в основном алмазным шлифовальным кругом типа 14EE1 с двусторонним коническим профилем с углом 60° . В случае затылования на заточном оборудовании с ЧПУ шлифовальный круг устанавливается аналогично схеме затылования, приведенной на рис. 1. В общем случае, затылование резьбовой фрезы предполагает профилирование резьбового профиля инструмента за счет корригирования профиля шлифовального круга. Это обуславливает необходимость использования дополнительной операции правки шлифовального круга, что снижает технологичность подобной схемы, особенно при производстве большой номенклатуры малых партий резьбовых фрез.

Необходимость использования инструментов для затылования (резцов и шлифовальных кругов) требует решения задачи профилирования зубьев затылованных инструментов [2, 3, 5, 8–10], которая, в свою очередь, позволяет определить профиль затыловочного инструмента, обеспечивающего принятую степень точности обработки. Анализируя литературные источники, посвященные затылованию резьбовых фрез [5, 11–15], выявили, что наличие угла наклона винтовых стружечных канавок, переднего и заднего углов зубьев требует корригирования резьбового профиля зубьев фрезы с целью получить обрабатываемую резьбу принятой степени точности.

В настоящей работе предлагается способ затылования зубьев резьбовых фрез по схеме, приведенной на рис. 2, за счет использования шлифовального круга, имеющего поворот относительно двух осей. В этом случае путем подбора сочетаний значений углов наклона можно стандартным шлифовальным кругом (например, с двусторонним коническим профилем типа 4 по ГОСТ Р 52781–2007, 1EE1 и 14EE1 по ГОСТ 16179–91 или 1E6Q по ГОСТ 17123–79) выполнить профилирование резьбовых фрез различных типоразмеров, способных изготовить резьбу принятой степени точности.

Цель настоящей работы — разработка математических зависимостей для описания процесса затылования зубьев резьбовых фрез шлифовальным кругом, имеющим поворот вокруг двух осей в целях профилирования зубьев резьбовых фрез с различными геометрическими и конструктивными параметрами одним стандартизованным шлифовальным кругом, что позволит улучшить технологичность затылования резьбовых фрез на многокоординатных заточных станках с ЧПУ.

На рис. 2 приведена кинематическая схема резьбошлифовального станка Mikromat 3G, имеющего различные модификации [16], в зависимости от которых возможен поворот шлифовальной бабки относительно двух осей: оси X на угол $A = -90^\circ \dots +60^\circ$ (опционально $-200^\circ \dots +20^\circ$) и оси Y на угол $B = -15^\circ \dots +15^\circ$. На рис. 2, б показана схема поворота шлифовального круга на углы ω_x и ω_y в соответствии с кинематической схемой

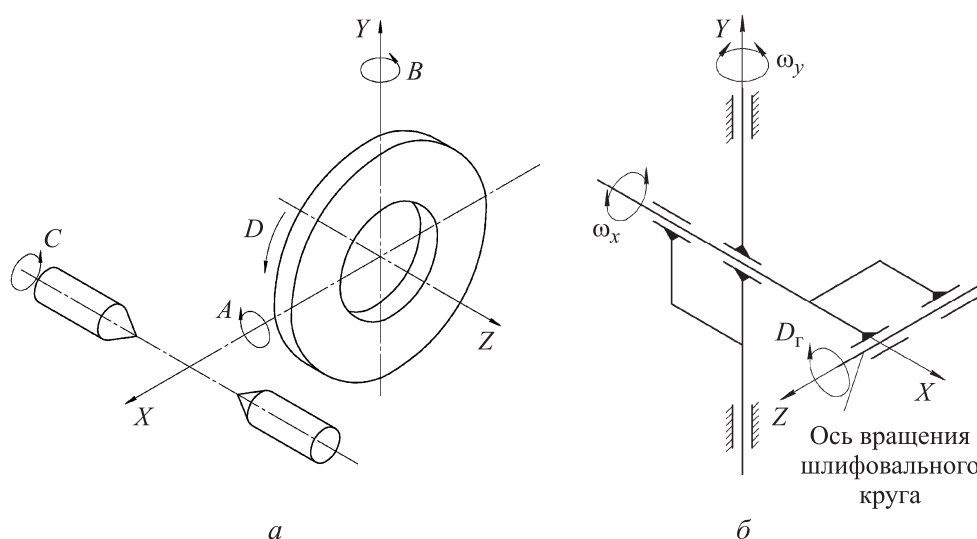


Рис. 2. Кинематическая (а) и адаптированная кинематическая (б) схемы [16] резьбошлифовального станка Mikromat 3G

станка Mikromat 3G (см. рис. 2, а), адаптированная для разработки математических зависимостей. Указанный станок позволяет выполнить операцию затылования с использованием поворота шлифовального круга на два угла, поэтому будем разрабатывать математические зависимости, основываясь на кинематической схеме, приведенной на рис. 2, а. При необходимости использования представленной далее методики расчета на станках с другой кинематикой необходимо адаптировать ее с учетом последовательности двух поворотов.

На рис. 3 приведен поворот шлифовального круга в системе координат $X_1Y_1Z_1$ (перенесенной параллельно системе координат XYZ на рис. 2 к точке O) на угол ω_x относительно оси OX_1 и на угол ω_y относительно оси OY_1 . Положительные значения углов отсчитываются против хода часовой стрелки при направлении оси поворота на наблюдателя.

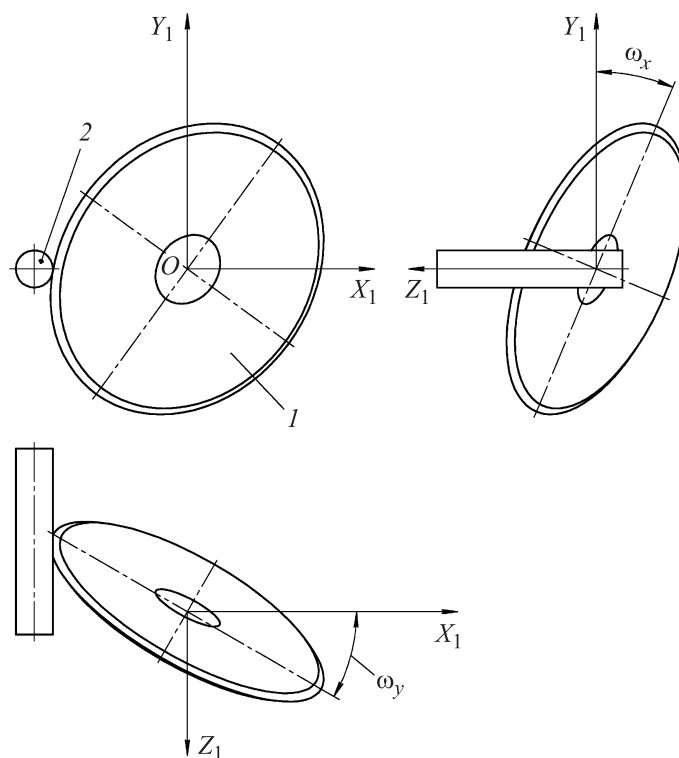


Рис. 3. Схема поворота шлифовального круга:
1 — шлифовальный круг; 2 — заготовка инструмента

Далее в работе будет рассматриваться затылование резьбового профиля на цилиндре, т. е. резьбовой фрезы без стружечных канавок. Наличие стружечных канавок и затылование определяют режущие кромки, которые определяют осевой профиль формируемой резьбы. Форма и параметры стружечных канавок не влияют на форму профиля затылованной поверхности, поэтому стружечные канавки не рассматриваются.

В общем случае при использовании шлифовального круга с двусторонним коническим профилем (рис. 4) в сечении круга плоскостью (на расстоянии z_{1i}), параллельной плоскости X_1Y_1 (в системе координат шлифовального круга $X_1Y_1Z_1$), получим элементарную окружность радиуса

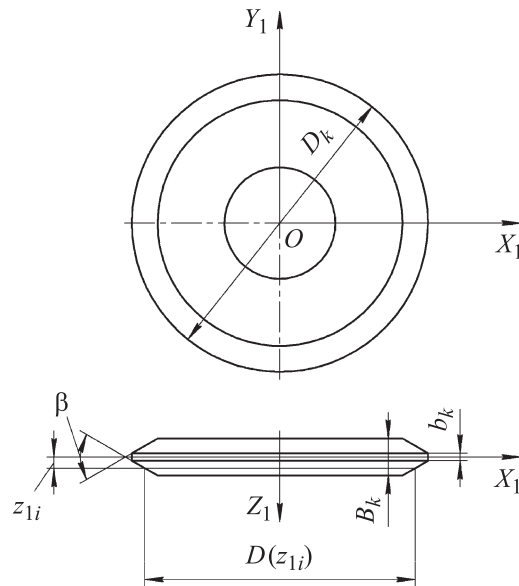


Рис. 4. Графическая интерпретация параметра z_{1i}

$R_k(z_{1i}) = \frac{D(z_{1i})}{2}$. На рис. 4 обозначено: b_k — ширина вершины двусторонне-го конического профиля; D_k и B_k — диаметр и высота шлифовального круга соответственно. Справедливы следующие выражения:

$$x_1^2 + y_1^2 = [R_k(z_1)]^2; \tag{1}$$

$$R_k(z_1) = \begin{cases} \frac{D_k}{2}, & -\frac{b_k}{2} \leq z_1 \leq \frac{b_k}{2}; \\ \frac{D_k}{2} - \frac{|z_1 - \frac{b_k}{2}|}{\text{tg } 30^\circ}, & z_1 > \left| \frac{b_k}{2} \right|. \end{cases} \tag{2}$$

Окружности $R_k(z_1)$ вырождаются в эллипсы (см. рис. 3) после поворота шлифовального круга на углы ω_x и ω_y в плоскости профилирования. Определим уравнения эллипсов, используя матрицы поворота. При повороте следует учитывать, что в трехмерных аффинных преобразованиях матрицы поворота некоммутативны, т. е. имеет значение порядок, в котором осуществляются два поворота вокруг различных осей [17]. Кроме того, следует учесть, что при первом повороте относительно любой оси системы координат XYZ на произвольный угол (не равный 90°) следующий поворот будет осуществляться относительно повернутой оси.

При использовании двух углов поворота шлифовального круга возможны два варианта комбинации матриц вращения с учетом их некоммутативности: сначала поворот вокруг оси OX_1 , затем вокруг оси OY_1 , или сначала поворот вокруг оси OY_1 , затем вокруг оси OX_1 .

В нашем случае конструкция станка обеспечивает коммутативность данных последовательностей поворотов. Это вызвано тем, что ось Y станка стационарна, т. е. поворот вокруг оси X не вызывает изменения положения оси Y в пространстве. В противном случае положение оси X зависит от поворота вокруг оси Y . Матрица поворота в первом случае имеет более простой вид для использования в математических расчетах, поскольку во втором случае придется использовать сложную матрицу поворота вокруг произвольно направленного орта вектора, координаты которого потребуется находить путем умножения матрицы поворота вокруг оси Y на орт вектора $(1, 0, 0)$. Следовательно, для простоты расчетов используем сначала поворот вокруг оси X , затем поворот вокруг оси Y .

В результате получим

$$\begin{pmatrix} x_{1\omega} \\ y_{1\omega} \\ z_{1\omega} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \omega_y & 0 & \sin \omega_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \omega_y & 0 & \cos \omega_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_x & -\sin \omega_x \\ 0 & \sin \omega_x & \cos \omega_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где x_1, y_1, z_1 — координаты точки окружности до поворота в системе координат $X_1Y_1Z_1$; $x_{1\omega}, y_{1\omega}, z_{1\omega}$ — координаты точки эллипса после поворота окружности в системе координат $X_1Y_1Z_1$. Для удобства примем

$$\cos \omega_x = a; \quad \sin \omega_x = b; \quad \cos \omega_y = c; \quad \sin \omega_y = d. \quad (4)$$

Тогда (3) принимает вид

$$\begin{pmatrix} x_{1\omega} \\ y_{1\omega} \\ z_{1\omega} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c & 0 & d \\ 0 & 1 & 0 \\ -d & 0 & c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a & -b \\ 0 & b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Раскрывая (5), получаем

$$x_{1\omega} = cx_1 + d(by_1 + az_1); \quad (6)$$

$$y_{1\omega} = ay_1 - bz_1; \quad (7)$$

$$z_{1\omega} = -dx_1 + c(by_1 + az_1). \quad (8)$$

Из (1) запишем

$$x_1 = \pm \sqrt{[R_k(z_1)]^2 - y_1^2}. \quad (9)$$

Выберем отрицательный корень, так как согласно расчетной схеме (рис. 5) часть шлифовального круга, ответственная за формирование профиля на фрезе, находится в отрицательной области оси OX_1 .

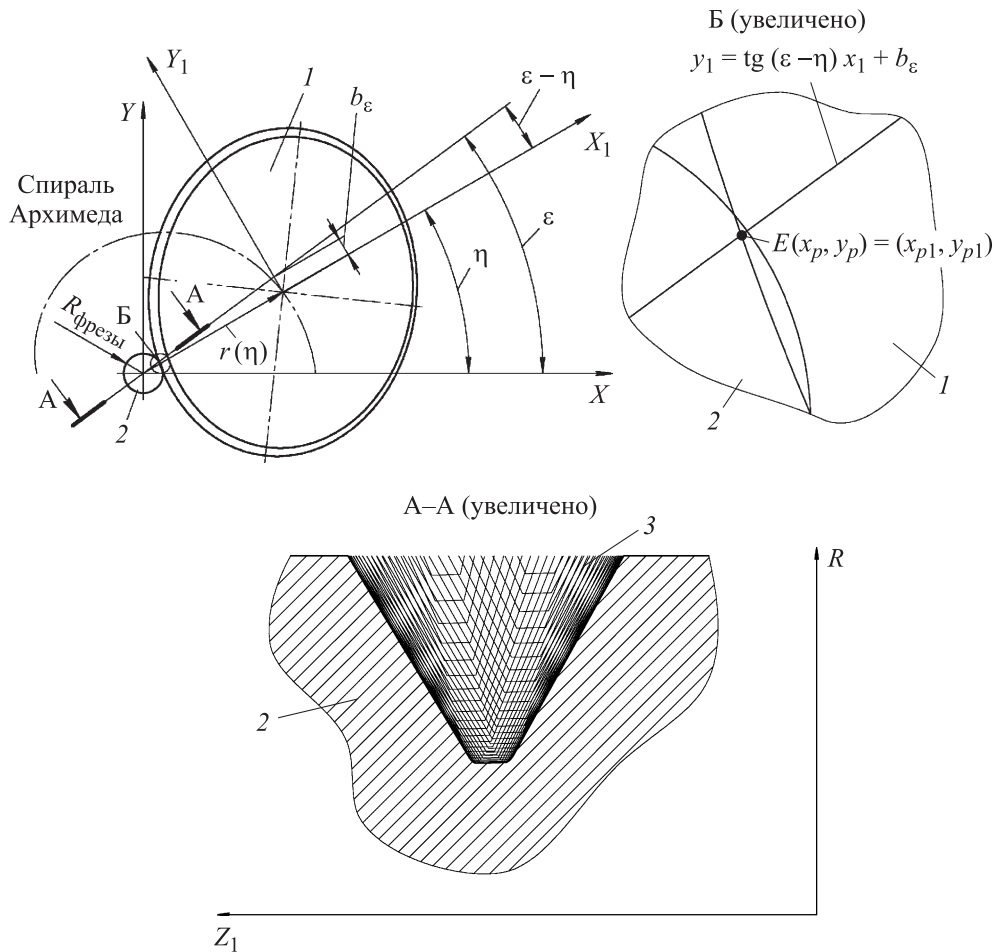


Рис. 5. Расчетная схема затывания цилиндра повернутым шлифовальным кругом:

1 — шлифовальный круг; 2 — заготовка фрезы; 3 — множество сечений шлифовального круга, проходящих через рассматриваемое сечение заготовки

Из (7) имеем

$$y_1 = \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a}. \quad (10)$$

Подставив (10) в (6), преобразовав и подставив в (9), получим:

$$x_{1\omega} = cx_1 + d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right);$$

$$x_1 = \frac{x_{1\omega} - d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right)}{c};$$

$$-\sqrt{[R_k(z_1)]^2 - y_1^2} = \frac{x_{1\omega} - d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right)}{c};$$

$$x_{1\omega} = -c \sqrt{[R_k(z_1)]^2 - \left(\frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} \right)^2} + d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right). \quad (11)$$

Перенесем $d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right)$ в левую часть и возведем обе части равенства в квадрат:

$$\left[x_{1\omega} - d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right) \right]^2 = [cR_k(z_1)]^2 - \left(c \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} \right)^2. \quad (12)$$

Приведем выражение (12) к виду [18]:

$$Ax_{1\omega}^2 + 2Bx_{1\omega}y_{1\omega} + Cy_{1\omega}^2 + 2Dx_{1\omega} + 2Ey_{1\omega} + F = 0; \quad (13)$$

$$x_{1\omega}^2 - 2d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right) x_{1\omega} + \left[d \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} + az_1 \right) \right]^2 -$$

$$- [cR_k(z_1)]^2 + \left(c \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} \right)^2 = 0; \quad (14)$$

$$x_{1\omega}^2 - \frac{2db}{a} x_{1\omega}y_{1\omega} - \frac{2db^2z_1}{a} x_{1\omega} - 2daz_1x_{1\omega} + d^2 \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} \right)^2 +$$

$$+ 2d^2 \left(b \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} \right) az_1 + (daz_1)^2 - [cR_k(z_1)]^2 + \left(c \frac{y_{1\omega} + bz_1}{a} \right)^2 = 0; \quad (15)$$

$$x_{1\omega}^2 - \frac{2db}{a} x_{1\omega}y_{1\omega} - \frac{2db^2z_1}{a} x_{1\omega} - 2daz_1x_{1\omega} + \left(\frac{db}{a} \right)^2 y_{1\omega}^2 + \frac{2d^2b^3z_1}{a^2} y_{1\omega} +$$

$$+ \left(\frac{db^2z_1}{a} \right)^2 + 2d^2bz_1y_{1\omega} + 2(dbz_1)^2 + (daz_1)^2 - [cR_k(z_1)]^2 + \left(\frac{c}{a} \right)^2 y_{1\omega}^2 +$$

$$+ \frac{2c^2bz_1}{a^2} y_{1\omega} + \left(\frac{cbz_1}{a} \right)^2 = 0; \quad (16)$$

$$A = 1; \quad (17)$$

$$2B = -\frac{2db}{a}; \quad (18)$$

$$C = \left(\frac{db}{a}\right)^2 + \left(\frac{c}{a}\right)^2; \quad (19)$$

$$2D = -\frac{2db^2z_1}{a} - 2daz_1; \quad (20)$$

$$2E = \frac{2d^2b^3z_1}{a^2} + 2d^2bz_1 + \frac{2c^2bz_1}{a^2}; \quad (21)$$

$$F = \left(\frac{db^2z_1}{a}\right)^2 + 2(dbz_1)^2 + (daz_1)^2 - [cR_k(z_1)]^2 + \left(\frac{cbz_1}{a}\right)^2. \quad (22)$$

Подставив (6), (7), (17)–(22) в (13), получим уравнение искомого эллипса в системе координат $X_1Y_1Z_1$ после последовательного вращения произвольного осевого сечения шлифовального круга.

Для определения профиля канавки при затыловании повернутым шлифовальным кругом воспользуемся итерационным методом. Профиль канавки будем определять в осевом сечении А–А заготовки резбовой фрезы под углом ε (см. рис. 5). Разобьем шлифовальный круг на некоторое число сечений плоскостями, перпендикулярными оси, в которых шлифовальный круг будет представлять собой окружность, повернутую аналогично всему кругу. В качестве параметров, определяющих профиль канавки на заготовке после затылования, выберем z_1 (см. рис. 4), определяющий положение секущей плоскости и размеры окружности, а второй параметр — угловое положение круга, который перемещается по спирали Архимеда относительно заготовки (угол η , см. рис. 5). В качестве неподвижной системы координат выберем XYZ , а подвижной (связанной с осью шлифовального круга) — систему координат шлифовального круга $X_1Y_1Z_1$.

Обозначим:

1) x_{p1}, y_{p1} — координаты точки E пересечения следа рассматриваемого сечения А–А с элементарной окружностью шлифовального круга в системе координат $X_1Y_1Z_1$ (см. рис. 5);

2) x_p, y_p — координаты точки E пересечения следа рассматриваемого сечения с элементарной окружностью шлифовального круга в системе координат XYZ .

Определим точку $E(x_{p1}, y_{p1})$ пересечения искомого осевого сечения и эллипса. Уравнение эллипса запишем в виде (13). Уравнение прямой,

являющейся следом секущей плоскости искомого профиля в системе координат круга, имеет вид

$$y_1 = \operatorname{tg}(\varepsilon - \eta) x_1 + b_\varepsilon. \quad (23)$$

Согласно рис. 5 запишем

$$b_\varepsilon = \operatorname{tg}(\varepsilon - \eta) r(\eta). \quad (24)$$

Подставив (24) в (23), получим

$$y_1 = \operatorname{tg}(\varepsilon - \eta) [x_1 + r(\eta)], \quad (25)$$

где $r(\eta) = R_0 - \frac{kz}{2\pi} \eta$ — радиус-вектор, определяющий движение шлифовального круга по спирали Архимеда; $R_0 = R_{\text{фрезы}} + R_K - \Delta$ — расстояние между осями заготовки и неповернутого шлифовального круга; Δ (рис. 6) — подбирается в зависимости от высоты профиля h ; k — величина падения затылка на один зуб; z — число зубьев.

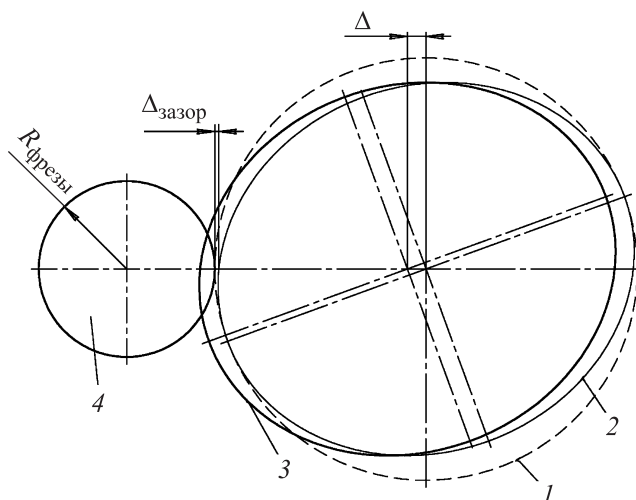


Рис. 6. Обработка шлифовальным кругом заготовки фрезы:

1 — круг до поворота; 2 — круг после поворота; 3 — круг после поворота и смещения;
4 — заготовка

Смещение Δ (см. рис. 6) определяет высоту формируемого резьбового профиля, зависит от углов поворота круга, его диаметра и величины падения затылка на зуб затылуемой фрезы и определяется подбором. Величина смещения Δ включает в себя компенсацию образовавшегося зазора между повернутым кругом и заготовкой ($\Delta_{\text{зазор}}$), высоту профиля (h) и компенсацию ($\Delta_{\text{комп}}$), связанную с перемещением круга по затыло-

вочной кривой (высота формируемого профиля определяется не единственным сечением):

$$\Delta = \Delta_{\text{зазор}} + h + \Delta_{\text{комп}}.$$

Величина h является частью исходных данных, а $\Delta_{\text{зазор}}$ можно определить аналитически, однако $\Delta_{\text{комп}}$ определить аналитическими методами невозможно (определяется подбором).

Подставив (6), (7), (17)–(22), (25) в (13), получим квадратное уравнение относительно x_1 с параметрами η , z_{1b} , ε , a , b , c , d , R_0 , k , z вида $a_{yp}x_1^2 + b_{yp}x_1 + c_{yp} = 0$.

Принимая $k_\varepsilon = \text{tg}(\varepsilon - \eta)$, запишем:

$$a_{yp} = A + 2Bk_\varepsilon + Ck_\varepsilon^2;$$

$$b_{yp} = 2(Bb_\varepsilon + Ck_\varepsilon b_\varepsilon + D + Ek_\varepsilon);$$

$$c_{yp} = Cb_\varepsilon^2 + 2Eb_\varepsilon + F.$$

Требуемый для решения задачи корень для точки $E(x_p, y_p)$ будет иметь вид (обозначение стандартное для решения квадратного уравнения)

$$x_1 = \frac{-b_{yp} - \sqrt{D_{yp}}}{2a_{yp}}. \quad (26)$$

Затем из (25) найдем y_1 . Чтобы определить глубину проникновения круга в заготовку, необходимо перейти в систему координат заготовки и найти в ней радиус-вектор $r(\eta)$.

Координаты точки x_p, y_p в системе координат фрезы следующие:

$$\begin{aligned} x_p &= x_1 \cos \eta - y_1 \sin \eta + r(\eta) \cos \eta; \\ y_p &= x_1 \sin \eta + y_1 \cos \eta + r(\eta) \sin \eta. \end{aligned} \quad (27)$$

Глубину проникновения круга в заготовку запишем как

$$\Delta R = R_{\text{фрезы}} - \sqrt{x_p^2 + y_p^2}. \quad (28)$$

Глубина проникновения круга — это первая координата для построения положения точки на профиле детали, вторая — координата z_1 . Она численно равна координате z_1 точки проникновения круга в заготовку в системе координат круга.

Для определения z воспользуемся следующим алгоритмом.

1. Из (7) определим y_1 .
2. Зная y_1 из (6), определим x_1 .

3. Зная x_1 и y_1 из (8), определим $z_{1\omega}$, равную z_1 , для профиля.

Зная координаты ΔR и z , меняя значения параметров η и z_{1i} , можно построить профиль в сечении на угле ε .

Разработана программа, позволяющая определить облако точек, описывающих профиль канавки, полученной при затыловании шлифовальным кругом, повернутым на два угла. Алгоритм программы приведен на рис. 7.

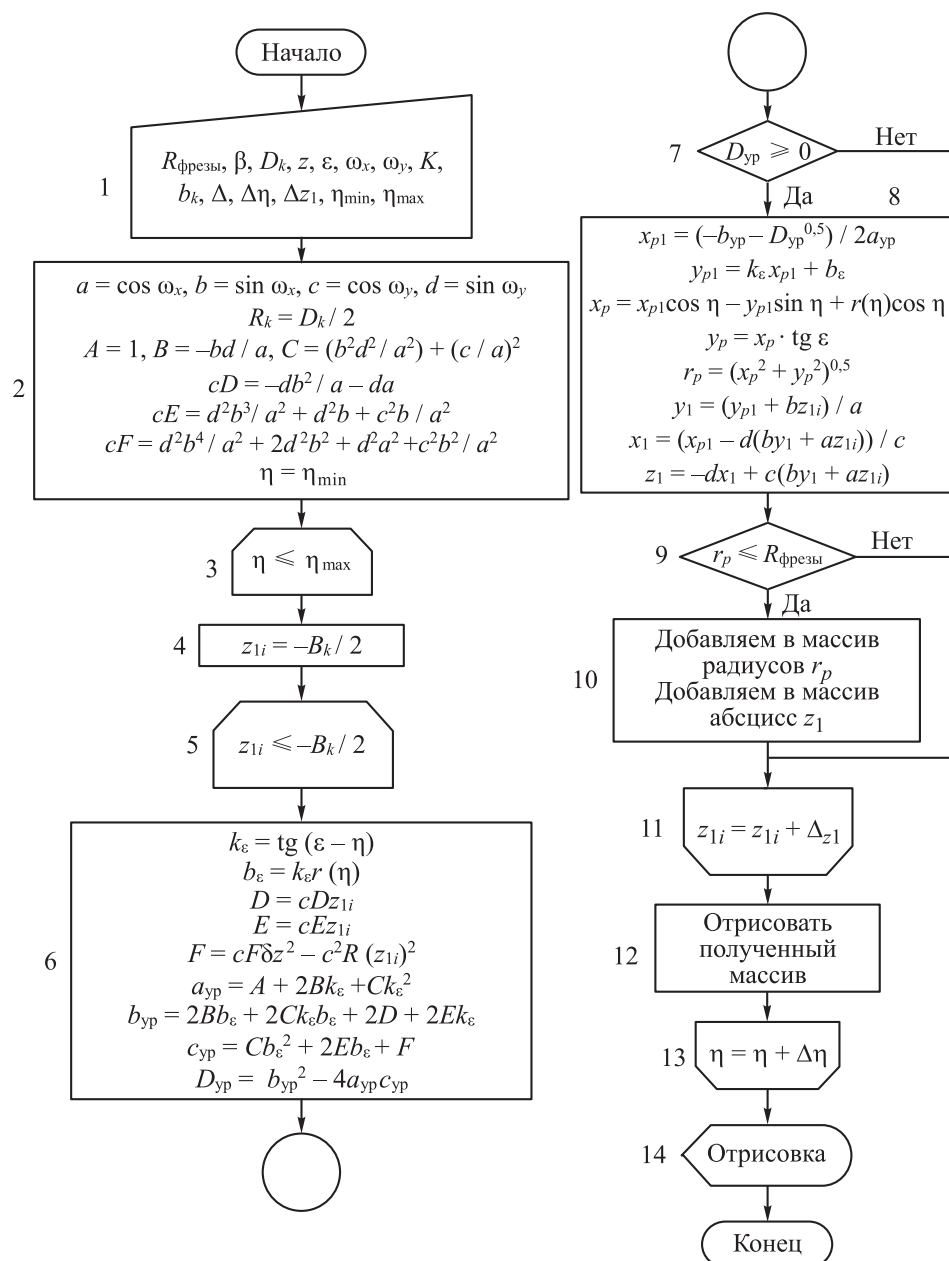


Рис. 7. Алгоритм программы вывода профиля канавки

Работа программы состоит из следующих этапов.

1. Ввод исходных данных для затылования: D_k — диаметр шлифовального круга; β — угол при вершине шлифовального круга; $R_{\text{фрезы}}$ — радиус заготовки; z — число зубьев изготавливаемой фрезы; ε — угол рассматриваемого сечения, значение "0" соответствует осевому сечению, проходящему через вершину зуба; ω_x, ω_y — углы поворота шлифовального круга вокруг собственных осей OX и OY ; k — величина падения затылка; B_k — высота шлифовального круга; b_k — ширина вершины двустороннего конического профиля шлифовального круга, для острого шлифовального круга $b_k = 0$; Δ — полное установочное смещение шлифовального круга; $\Delta\eta$ — угловой шаг движения круга вокруг оси заготовки; Δz_1 — линейный шаг вдоль собственной оси z_1 шлифовального круга; η_{\min} и η_{\max} — начальное и конечное угловые положения круга в системе координат заготовки.

2. Расчет необходимых констант для упрощения и ускорения работы программы. Задаются массивы для координат точек пересечения профилей круга с заданным осевым сечением заготовки. Углу текущего положения шлифовального круга присваивается начальное значение — $\eta = \eta_{\min}$.

3. Начало цикла. В конце каждой итерации цикла угол текущего положения шлифовального круга η увеличивается на шаг $\Delta\eta$. Цикл прервется, когда значение η превысит η_{\max} .

4. Задается текущее положение сечения шлифовального круга по собственной координате z_1 : $z_{1i} = -b_k / 2$.

5. Начало цикла. В конце каждой итерации цикла текущее значение положения сечения шлифовального круга z_{1i} увеличивается на Δz_1 . Цикл прервется, когда значение z_{1i} будет больше значения $b_k / 2$.

6. Определение коэффициента наклона k_ε и коэффициента b_ε прямой, являющейся следом плоскости рассматриваемого осевого сечения, в системе координат круга. Расчет констант D, E, F для составления уравнения эллипса, образованного поворотом сечения круга. Определение коэффициентов a_{yp}, b_{yp} и c_{yp} для решения квадратного уравнения пересечения прямой, являющейся следом плоскости рассматриваемого осевого сечения, с эллипсом. Определение дискриминанта D_{yp} квадратного уравнения.

7. Проверка условия наличия пересечения ($D_{yp} > 0$). Если условие выполняется, то переходим к пункту 8, если нет — к пункту 11.

8. Определение точки пересечения $E(x_{p1}, y_{p1})$ в системе координат круга. Переходя от одной системы координат к другой, находят координаты

наты точки пересечения $E(x_p, y_p)$ в системе координат заготовки. Расчет глубины проникновения шлифовального круга в заготовку r_p в этой точке. Нахождение координат (x_1, y_1) точки пересечения на эллипсе в системе координат круга до его поворота. Определение смещения z_1 точки пересечения от начала координат оси круга до его поворота.

9. Проверка — произошло ли проникновение круга в заготовку. Если да, то переходим к пункту 10, если нет — к пункту 11.

10. Значения координат точки пересечения заносятся в массивы.

11. Счетчик цикла z_{1i} увеличивается на z_1 , переходим к пункту 5.

12. По составленным массивам строится график, массивы удаляются.

13. Счетчик цикла η увеличивается на $\Delta\eta$, переходим к пункту 3.

14. Отображение множества графиков.

Отметим, что данный алгоритм позволяет получить множество точек как внутри, так и на периферии формируемого профиля. Для получения профиля требуется обработать полученные результаты.

В результате расчетов установлено, что полученный профиль после затылования шлифовальным кругом, повернутым на два угла, имеет отклонения от прямолинейности боковых сторон (Δ_1, Δ_2 , рис. 8, а), радиусы скругления во впадине профиля (r_1, r_2), наклон впадины профиля (δ), ширина впадины $l_{вп} \neq b_k$, в общем случае различные углы профиля $\alpha_1 \neq \alpha_2$.

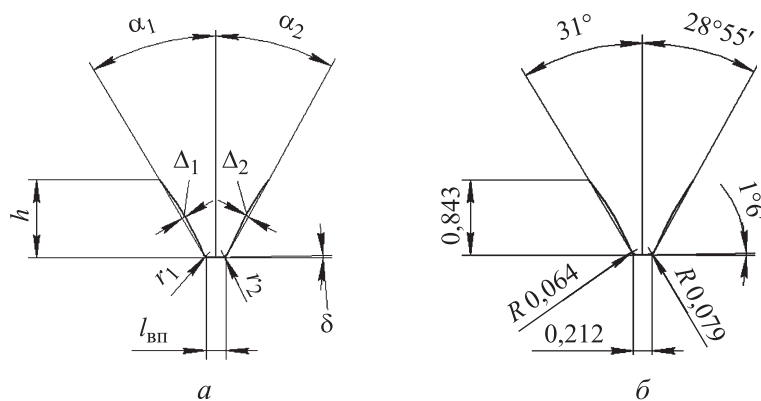


Рис. 8. Профиль, полученный после затылования шлифовальным кругом, повернутым на углы ω_x, ω_y :

а — общий вид профиля; б — профиль осевого сечения затылованной поверхности заготовки резьбовой фрезы

По разработанному алгоритму и программе выполнен подбор параметров для получения профиля фрезы при следующих исходных данных.

Параметры фрезы:

$R_{\text{фрезы}} = 3$ мм, $z = 3$, $k = 1,108$ мм (соответствует заднему углу $\alpha = 10^\circ$),
 $\alpha_1 = 31^\circ \pm 0,25^\circ$, $\alpha_2 = 29^\circ \pm 0,25^\circ$, $h = 0,843$ мм, $l_{\text{ВП}} = 0,2$ мм.

Параметры шлифовального круга:

$\beta = 60^\circ$, $D_k = 100$ мм, $B_k = 3$ мм, $b_k = 0,165$ мм, $\Delta = 0,77895$ мм.

В результате расчетов получены следующие значения углов поворота шлифовального круга: $\omega_x = -6^\circ$, $\omega_y = -1,125^\circ$.

Расчеты показали, что для принятых исходных данных при проектировании операции затылования резбовой фрезы существуют сочетания углов ω_x и ω_y , которые позволяют получить заданный профиль задней поверхности инструмента.

Выводы. 1. Предложен способ затылования зубьев резбовых фрез за счет использования шлифовального круга, имеющего поворот вокруг двух осей. В этом случае путем подбора сочетаний углов наклона можно стандартным шлифовальным кругом выполнить профилирование резбовых фрез различного типоразмера, способных изготовить резьбу принятой степени точности.

2. Разработан математический аппарат определения углов разворота шлифовального круга для требуемых углов профиля затылка резбовой фрезы.

3. Разработана программа, позволяющая определить облако точек, описывающих профиль канавки, получаемой при затыловании шлифовальным кругом, повернутым на два угла.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Баклунов Е.Д. Расчет конструктивных параметров затылованных фасонных фрез. М., МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1984.
- [2] Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. Киев, Вища школа, 1974.
- [3] Баранчиков В.И., ред. Справочник конструктора-инструментальщика. М., Машиностроение, 1994.
- [4] Древаль А.Е., Грубый С.В., Литвиненко А.В. Затылование зубьев режущих инструментов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
- [5] Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. М., Машгиз, 1962.
- [6] Тульпа С.М. Резьбошлифовальные работы. М., Высшая школа, 1965.
- [7] Меньшаков В.М., Урлапов Г.П., Середа В.С. Бесстружечные метчики. М., Машиностроение, 1976.
- [8] Цепков А.В. Профилирование затылованных инструментов. М., Машиностроение, 1979.

- [9] Мишкин С.В. Профилирование и оптимизация установки шлифовальных кругов для затылования прецизионных червячных фрез. *Известия вузов. Машиностроение*, 2007, № 11, с. 63–68.
- [10] Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Металлорежущие инструменты. Минск, Новое знание, 2009.
- [11] Левицкий М.Я. Резьбофрезерование. Киев, Машгиз, 1950.
- [12] 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.
- [13] Мальков О.В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками. *Наука и образование: научное издание*, 2013, № 6.
- [14] Мальков О.В. Разработка и исследование модели расчета углов профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками. *Наука и образование: научное издание*, 2014, № 3. DOI: 10.7463/0314.0702743
- [15] Мальков О.В., Малькова Л.Д. Разработка математической модели углов профиля зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками. *Наука и образование: научное издание*, 2014, № 4. DOI: 10.7463/0414.0707227
- [16] MIKROMAT. Grinding machines. *MIKROMAT: веб-сайт*. URL: http://www.mikromat.net/downloads/G-Flyer_en_w.pdf (дата обращения: 07.12.2017).
- [17] Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. СПб., Питер, 2002.
- [18] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М., Наука, 1986.

Мальков Олег Вячеславович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Павлюченков Игорь Анатольевич — ассистент кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Смирнов Алексей Александрович — студент 6-го курса кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Мальков О.В., Павлюченков И.А., Смирнов А.А. Способ затылования резьбовых фрез. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2019, № 2, с. 83–101. DOI: 10.18698/0236-3941-2019-2-83-101

FORM-RELIEVING METHOD FOR THREAD MILLS

O.V. Malkov

olma70@mail.ru

I.A. Pavlyuchenkov

mockbaonline@gmail.com

A.A. Smirnov

smirnoff0320@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper presents a form-relieving method for thread mill teeth by means of a grinding wheel rotated about two axes, which significantly simplifies design process for tool manufacturing, since combining rotation angles makes it possible to use the same standard grinding wheel to profile thread mills of several size classes, accounting for acceptable accuracy class for the thread being processed. The algorithm and software proposed, based on the mathematical technique we developed, allow the user to compute the grinding wheel positioning angles to obtain the desired relief angles for a thread mill.

We present an example of computing the grinding wheel rotation angles for a set of input data

Keywords

Thread mill, thread, relieving, form-relieved mill

Received 12.07.2018

© Author(s), 2019

REFERENCES

- [1] Baklunov E.D. Raschet konstruktivnykh parametrov zatylovannykh fazonnykh frez [Calculation of the design parameters of tapered shaped milling cutters]. Moscow, Bauman MVTU Publ., 1984.
- [2] Rodin P.R. Metallorezhushchie instrument [Metal-cutting tools]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1974.
- [3] Baranchikov V.I., ed. Spravochnik konstruktora-instrumentalshchika [Handbook of tool-maker engineer]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1994.
- [4] Dreval A.E., Grubyy S.V., Litvinenko A.V. Zatylovanie zubyev rezhushchikh instrumentov [Form-relieving of cutting tools teeth]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1999.
- [5] Semenchenko I.I., Matyushin V.M., Sakharov G.N. Proektirovanie metallorezhushchikh instrumentov [Designing metal cutting tools]. Moscow, Mashgiz Publ., 1962.
- [6] Tulpa S.M. Rezboshlifovalnye raboty [Thread grinding]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1965.
- [7] Menshakov V.M., Uralpov G.P., Sereda V.S. Besstruzhechnye metchiki [Threadless taps]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976.
- [8] Tsepkov A.V. Profilirovanie zatylovannykh instrumentov [Profiling of backed-off tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979.
- [9] Mishkin S.V. Profiling and optimization of the installation of grinding wheels for tightening precision worm cutters. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*

[Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2007, no. 11, pp. 63–68 (in Russ.).

[10] Feldshteyn E.E., Kornievich M.A. *Metallorezhushchie instrument* [Metal-cutting tools]. Minsk, Novoe znanie Publ., 2009 (in Russ.).

[11] Levitskiy M.Ya. *Rezbofrezerovanie* [Thread milling]. Kiev, Mashgiz Publ., 1950 (in Russ.).

[12] Malkov O.V., Litvinenko A.V. General case of the teeth profiling for drill-thread-mill threading part. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 1997, no. 2, pp. 77–84 (in Russ.).

[13] Malkov O.V. Teeth profiling of thread milling cutters with helical flutes. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2013, no. 6 (in Russ.).

[14] Malkov O.V. Design and research of calculation models of the tooth profile angles of thread milling cutter with helical flutes. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 3 (in Russ.).

DOI: 10.7463/0314.0702743

[15] Malkov O.V., Malkova L.D. Developing a mathematical model of the tooth profile angles of thread milling cutter with helical flutes. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 4 (in Russ.).

DOI: 10.7463/0414.0707227

[16] MIKROMAT. Grinding machines. *MIKROMAT*: website. Available at: http://www.mikromat.net/downloads/G-Flyer_en_w.pdf (accessed: 07.12.2017).

[17] Hill F.S. *Computer graphics: using OpenGL*. Prentice Hall, 2001.

[18] Bronshteyn I.N., Semendyaev K.A. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov* [Handbook on mathematics for engineers and students of technical colleges]. Moscow, Nauka Publ., 1986.

Malkov O.V. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Tooling Equipment and Technologies, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Pavlyuchenkov I.A. — Assistant Lecturer, Department of Tooling Equipment and Technologies, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Smirnov A.A. — 6th year student, Department of Tooling Equipment and Technologies, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Malkov O.V., Pavlyuchenkov I.A., Smirnov A.A. Form-relieving method for thread mills. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2019, no. 2, pp. 83–101 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2019-2-83-101