



## Новый подход в профилировании фасонных резцов

С. В. Швець<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, Сумы, Украина, 40007

### Article info:

Paper received:

11 February 2016

The final version of the paper received:

18 Mart 2016

Paper accepted online:

22 Mart 2016

### Correspondent Author's Address:

<sup>1)</sup> shvets46@yandex.ru

В условиях использования современных вычислительных средств актуальным становится наличие единого алгоритма, независимого от геометрических параметров детали и требуемого типа резца. Исходя из этого, предложена единая математическая модель, обобщающая известные ранее подходы при проектировании различных типов резцов. Исходными данными для расчета являются количество узловых точек на поверхности детали, значения переднего и заднего углов, диаметры детали в каждой узловой точке поверхности и осевые расстояния узловых точек от торца, выбранного за базу. Тип резца на алгоритм расчета не влияет.

Графическое профилирование проще, понятнее и нагляднее выполнять на 3D-модели. Процесс профилирования основан на определении исходной инструментальной поверхности и характеристики.

Сравнение результатов аналитического и графического профилирования фасонного резца показывает полное совпадение во всех узловых точках, что подтверждает адекватность математической модели и алгоритма графического профилирования.

**Ключові слова:** тип резца, алгоритм расчета, математическая модель, характеристика, 3D-модель.

## ВВЕДЕНИЕ

Фасонные резцы применяются для обработки тел вращения с различной формой образующей, используются в основном в крупносерийном и массовом производствах на токарных и револьверных станках. Они обеспечивают идентичность формы, точность размеров деталей, так как эти параметры в большей мере зависят от точности изготовления резца. Благодаря одновременной обработке всех участков фасонного профиля детали фасонные резцы обеспечивают высокую производительность обработки.

Современная методика проектирования фасонных резцов [1–4] основана на получении профиля задней поверхности по известному осевому профилю детали с последующей конструктивной доработкой в зависимости от условий эксплуатации и формы присоединительной поверхности. При этом главной задачей является профилирование – определение его профиля в плоскости, нормальной к задней поверхности.

Используются графическое и аналитическое профилирования. При графическом профилировании профиль устанавливается с помощью положений начертательной геометрии. Сначала создается чертеж детали (вид сбоку и вид сверху); на виде сбоку строят проекцию режущей кромки; на том же виде сбоку строят проекцию задней поверхности резца; рассекают проекцию

задней поверхности резца нормальной плоскостью; строят профиль задней поверхности резца [1–4]. Фасонные резцы могут быть круглыми, призматическими и стержневыми. В зависимости от типа резца (круглый, призматический,  $\lambda = 0$ ,  $\lambda \neq 0$ ) перечень и количество действий, позволяющих выполнить каждый из пунктов указанной последовательности, отличаются, при том что название пунктов остается неизменным.

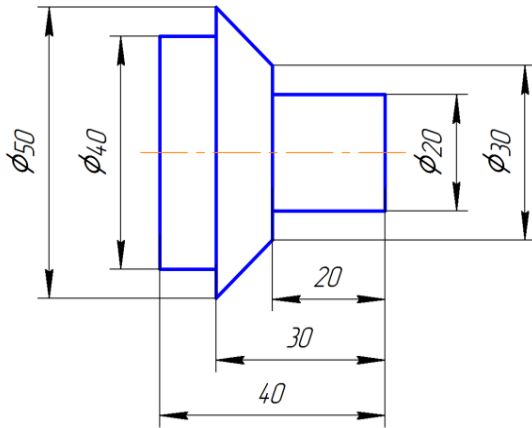
Аналитическое профилирование заключается в расчете координат узловых точек профиля резца в Декартовой системе с началом в характерной (базовой) точке. Это удается сделать, решая в зависимости от типа резца ту или иную систему треугольников.

Схемы для расчетов различных типов резцов не совпадают. Различные вычислительные алгоритмы позволяют экономить вычислительные ресурсы при профилировании конкретного типа фасонного резца. Однако недостатком такого подхода является то, что расчетная процедура не поддается автоматизации. Для каждой отдельной фасонной поверхности детали, для конкретного типа резца необходимо устанавливать и решать соответствующую систему треугольников.

Целью настоящей статьи является повышение уровня автоматизации и наглядности при профилировании фасонных резцов.

### Аналитическое профилирование

Основной причиной различия математических моделей, применяемых для профилирования фасонных резцов, является стремление уменьшить саму модель (что существенно экономит расчетное время) при проектировании того или иного типа фасонного резца. В условиях использования современных вычислительных средств такое стремление становится не актуальным. И более того, гораздо предпочтительнее становится наличие единого алгоритма, независимого от геометрических параметров детали и требуемого типа резца. Исходя



из этих требований, предложена новая математическая модель, обобщающая известные ранее подходы при проектировании различных типов резцов [1].

Исходными данными для расчета являются чертеж детали (рис. 1) и значения переднего  $\gamma$  и заднего  $\alpha$  углов. По чертежу определяются количество узловых точек  $n$ , диаметры в каждой узловой точке поверхности  $d_i$  и осевые расстояния узловых точек  $L_i$  от торца ( $i = 1, \dots, n$ ), выбранного за базу, номер характерной точки  $m$ .

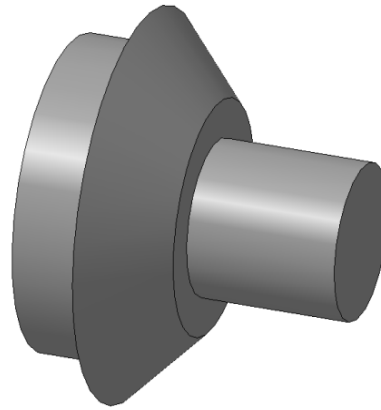


Рисунок 1 – Чертеж и 3D-модель детали

Новый подход основан на понятии характеристики [5], образующейся при пересечении передней поверхностью реза поверхности детали. Проведем переднюю поверхность через три точки.

Для этого установим систему координат  $xyz$  таким образом, что ось  $y$  совмещена с осью детали, а ось  $x$  направлена через характерную точку. Точка  $a$  – это характерная точка (номер ее на поверхности детали  $m$ ) с координатами  $a(r_m, 0, 0)$ . Точку  $b$  выберем на луче, выходящем из характерной точки под углом  $\gamma$  к горизонтали. Пусть она ограничивает отрезок  $ab = w$ . При этом проекции отрезка  $w$  на оси  $x$  и  $z$  соответственно равны:  $h = -w \cdot \sin \gamma$ ,  $s = w \cdot \cos \gamma$ . Тогда точка  $b$  имеет координаты  $b(r_m + s, 0, h)$ . Третья точка  $c$  (под номером  $p$ ) располагающаяся на окружности радиуса  $r_p$ , отстоящей от плоскости  $xOz$  на расстоянии  $l_p$  и ограничивающей с противоположной от окружности  $r_m$  стороны участок поверхности, имеет следующие координаты:  $c(r_p, l_p, 0)$ .

Уравнение плоскости, проходящей через три данные точки  $a(x_a, y_a, z_a)$ ,  $b(x_b, y_b, z_b)$ ,  $c(x_c, y_c, z_c)$ , имеет вид [6]:

$$\begin{vmatrix} y_a & z_a & 1 \\ y_b & z_b & 1 \\ y_c & z_c & 1 \end{vmatrix} x + \begin{vmatrix} z_a & x_a & 1 \\ z_b & x_b & 1 \\ z_c & x_c & 1 \end{vmatrix} y + \begin{vmatrix} x_a & y_a & 1 \\ x_b & y_b & 1 \\ x_c & y_c & 1 \end{vmatrix} z - \begin{vmatrix} x_a & y_a & z_a \\ x_b & y_b & z_b \\ x_c & y_c & z_c \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

Подставляя значения координат точек  $a, b, c$  в формулу (1), после преобразования получим

$$l_p h x + h(r_m - r_p)y + s l_p z - l_p h r_m = 0. \quad (2)$$

Это уравнение передней поверхности реза, пересекающей поверхность детали. Уравнения окружностей, проходящих через узловые точки профиля детали  $x^2 + z^2 = r_i^2$ ,  $y = l_i$  (где  $i = 1, \dots, n$  – номер узловой точки профиля,  $l_i = L_i - L_m$ ). Имеем систему уравнений

$$\begin{cases} l_p h x + h(r_m - r_p)y + s l_p z - l_p h r_m = 0, \\ x^2 + z^2 = r_i^2, \\ y = l_i, \end{cases} \quad (3)$$

решив которую, получаем координаты узловых точек характеристики:

$$x = \cos \gamma \left( \sqrt{(\sin \gamma \cdot F_i)^2 - F_i^2 + r_i^2} - \sin \gamma \cdot F_i \right), \quad (4)$$

$$z = -x \tan \gamma - F_i, \quad (5)$$

$$\text{где } F_i = \frac{\tan \gamma (r_m l_i - r_p l_i - r_m l_p)}{l_p}.$$

Систему координат  $x_1 y_1 z_1$  разместим так, что ось  $y_1$  совмещена с осью круглого резца, а плоскость  $x_1 O_1 z_1$  – с плоскостью  $xOz$ . Тогда начало системы  $xyz$

в системе  $x_1y_1z_1$  имеет координаты  $O(-r_m - R \cos \alpha; 0; -R \sin \alpha)$ , где  $R$  – внешний радиус круглого резца. При этом профиль круглого резца можно рассчитать по формуле

$$X_{np_i} = R - \sqrt{(z - R \sin \alpha)^2 + (x - r_m - R \cos \alpha)^2}. \quad (6)$$

По формуле (6) рассчитывается и профиль призматического резца, если задать значение  $R \rightarrow \infty$ . При  $R = 10^6$  мм результаты расчета совпадают с выполненными по традиционной методике [1] расчетами до 4-го знака после запятой.

Внешний радиус круглого резца зависит от глубины профиля детали  $t$ . Его можно рассчитать по формуле [7]:

$$R = \left( \sqrt{695t - 1183 \ln(t)} \right) / 2 \quad (7)$$

или установить по таблице в зависимости от  $t$  [1].

Угол  $\lambda$  равняется

$$\lambda = \arctan \left( \frac{r_p - r_m}{|l_p|} \sin \gamma \right). \quad (8)$$

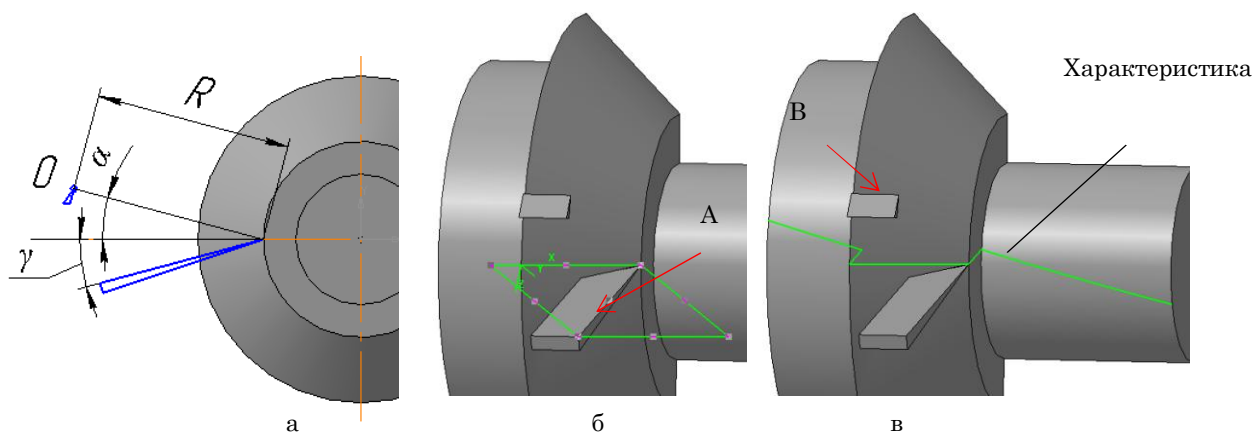


Рисунок 2 – Образование характеристики на поверхности детали

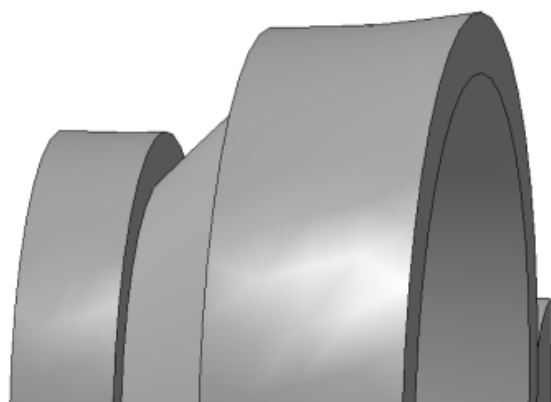


Рисунок 3 – Задняя поверхность круглого резца с  $\lambda \neq 0$

**Графическое профилирование.** Проще, понятнее и нагляднее выполнять на 3D-модели. В перпендикулярной к оси и проходящей через характерную точку плоскости определяем проекцию режущей кромки резца с  $\lambda = 0$  и центр круглого резца  $O$ . Для этого из характерной точки (рис. 2 а) проводим отрезок под углом  $\gamma$  к горизонтали. Далее еще один отрезок длиной  $R$  под углом  $\alpha$ . Если проектируется призматический резец, проводить отрезок длиной  $R$  не нужно. Строим треугольник с вершиной в точке  $O$  (см. рис. 2 а). При выполнении операции выдавливания образуется ребро, которое будет служить осью круглого резца. Образованная одной из сторон этого треугольника грань призмы может использоваться как плоскость для нормального сечения. Треугольник на стороне нижнего отрезка при выдавливании создает переднюю поверхность резца с  $\lambda = 0$ . При  $\lambda \neq 0$  следует переднюю поверхность повернуть вокруг ребра  $A$ , выходящего из характерной точки (рис. 2 б), так, чтобы образующая конуса оказалась в плоскости передней поверхности. Линия пересечения передней поверхности инструмента с поверхностью детали – характеристика (рис. 2 в).

Поворот характеристики вокруг оси круглого резца (ребро  $B$ , см. рис. 2 в) создает заднюю поверхность круглого резца (рис. 3), а движение вдоль направляющей, проходящей под углом  $\alpha$  к вертикали, – заднюю поверхность призматического резца. Рассекая нормальной плоскостью образовавшуюся поверхность получаем искомый профиль резца.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение результатов аналитического,  $x_{кр i}$ , и графического профилирования круглого фасонного резца с  $\lambda = 0$  для обработки детали, показанной на рисунке 1, показывает (рис. 4) полное совпадение до 4-го знака после запятой во всех узловых точках. Что подтверждает адекватность математической модели и алгоритма графического профилирования.

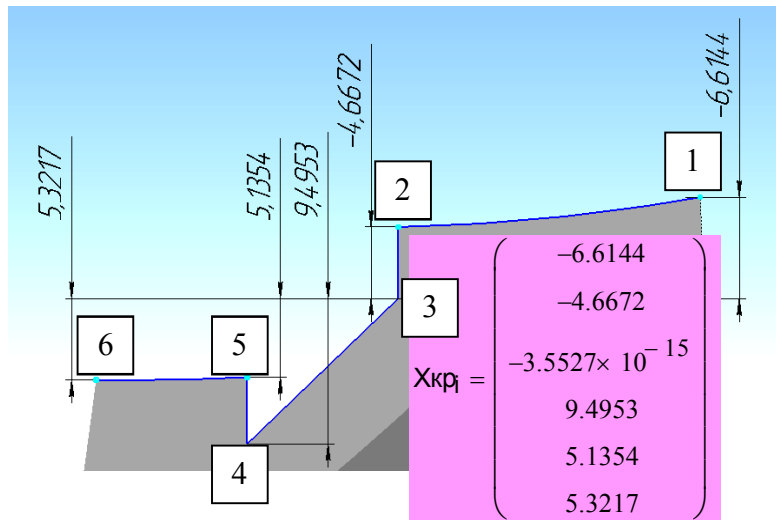


Рисунок 4 – Результаты графического и аналитического,  $x_{кр i}$ , профилирования круглого фасонного резца с  $\lambda \neq 0$

Графическое 3D-профилирование показало, что ограничивающая фасонный резец задняя поверхность не может быть исходной инструментальной поверхностью. При обработке резанием необходимо относительное движение детали и инструмента [5, 8]. В результате этого движения поверхность детали занимает ряд последовательных положений. Поверхность, касательная к рассматриваемым последовательным положениям поверхности детали, будет исходной инструментальной поверхностью [5]. Деталь  $D$  и эту поверхность  $I$  «...можно рассматривать как своеобразный механизм из двух сопряженных звеньев, все время касающихся друг друга в процессе обработки» [5]. Однако задняя поверхность фасонного резца не касается поверхности детали, а пересекает ее, поэтому в данном случае исходной инструментальной поверхностью следует считать поверхность, состоящую из передней и задней поверхностей, касающейся детали линией их пересечения. Фактически, при проектировании фасонных резцов, первостепенное значение имеет форма характеристики, материализующейся в режущую кромку путем создания тела резца (круглого или призматического). Так как необходимую форму режущей кромки можно создать с заданной точностью как при изготовлении круглого, так и призматического резца, то эти типы инструмента по точности изготовления деталей не отличаются.

## ВЫВОДЫ

1. С целью повышения уровня автоматизации при аналитическом определении профиля фасонных резцов создана единая математическая модель, с помощью которой осуществляется профилирование всех типов фасонных резцов (круглый, призматический,  $\lambda = 0$ ,  $\lambda \neq 0$ ).
2. Предложенный метод графического профилирования с использованием понятия характеристики и 3D-построений повышает наглядность и точность процесса.
3. Результаты профилирования по предложенным аналитической и графической методикам полностью совпадают, что указывает на их точность и правомерность.
4. Лезвие фасонного резца формируется на базе характеристики (линии пересечения передней поверхности с поверхностью детали), поэтому тип резца на точность детали влияния не оказывает.

## New approach in form cutter profiling

S. V. Shvets<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., Sumy, Ukraine, 40007

The universal algorithm, independent of geometric parameters of detail and required cutter type, becomes relevant within using modern computing means. Following this argument the universal mathematical model, which generalizes formerly known approaches in the designing of different cutter types is offered. The initial data for calculation are the number of points on the detail surface, the values of

rake and clearance angles, parameters of detail in each point of the surface and the axial distances of these points from the flat end chosen as the datum. The cutter type has no influence on the calculation algorithm.

3-D modeling is the easiest way to do graphic profiling. Profiling process is based on determining the initial tool surface and characteristics.

The comparison of the results of analytical and graphic profiling of form cutter shows the full match in all points, which confirms the adequacy of the mathematical model and the graphic profiling algorithm.

**Keywords:** cutter type, calculation algorithm, mathematical model, characteristic, 3D-model.

## Новий підхід у профілюванні фасонних різців

С. В. Швець

*1) Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, Україна, 40007*

В умовах використання сучасних обчислювальних засобів актуальним стає наявність єдиного алгоритму, незалежного від геометричних параметрів деталі та необхідного типу різця. Виходячи з цього, запропонована єдина математична модель, яка узагальнює відомі раніше підходи під час проектування різних типів різців. Вихідними даними для розрахунку є кількість вузлових точок на поверхні деталі, значення переднього і заднього кутів, діаметри деталі в кожній вузловій точці поверхні та осові відстані вузлових точок від торця, обраного за базу. Тип різця на алгоритм розрахунку не впливає.

Графічне профілювання простіше, зрозуміліше й наочніше виконувати на 3D-моделі. Процес профілювання ґрунтується на визначенні вихідної інструментальної поверхні та характеристики.

Порівняння результатів аналітичного й графічного профілювання фасонного різця засвідчує повний збіг у всіх вузлових точках, що підтверджує адекватність математичної моделі та алгоритму графічного профілювання.

**Ключові слова:** тип різця, алгоритм розрахунку, математична модель, характеристика, 3D-модель.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Семенченко И. И. Проектирование металлорежущих инструментов / И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров; под ред. И. И. Семенченко – М. : Машгиз, 1963. - 952 с.
2. Смирнов, М. Ю. Расчет и проектирование фасонных резцов / М. Ю. Смирнов, Г. И. Киреев, В. В. Демидов. Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 77 с.
3. Проектирование фасонных резцов : методические указания / Сост. А. В. Оборин. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2013. – 28 с.
4. Кожевников Д. В. Режущий инструмент / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов, В. И. Кокарев, А. Г. Схиртладзе. – М. : Машиностроение, 2007. - 528 с.
5. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П. Р. Родин. – К. : Вища школа, 1977. – 192 с.
6. Корн Г. А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. А. Корн, Т. М. Корн. – М. : Наука, 1973. – 832 с.
7. Швець С. В. Металорізальні інструменти / С. В. Швець. – Суми : СумДУ, 2007. – 185 с.
8. Швець С. В. Системний аналіз теорії резання / С. В. Швець. – Суми : СумГУ, 2009. – 212 с.

## REFERENCES

1. Semenchenko, I. I., Matushin, V. M., & Sakharov, G. N. (1963). Proektirovanie metalloruzhushchikh instrumentov [Projection of metal-cutting tools]. M.: Mashgiz [in Russian].
2. Smirnov, M. Yu., Kireev, G. I., & Demidov, V. V. (2011). Raschet i proektirovanie fasonnykh reztsov [Calculation and projection of shaped cutting tools]. Uljanovsk: UlSTU [in Russian].
3. Oborin, A. V. (2013). Proektirovanie fasonnykh reztsov: metodicheskie ukazaniya [Projection of shaped cutting tools: methodical indicatings]. Yaroslavl: YaSTU [in Russian].
4. Kozhevnikov, D. V., Grechishnikov, V. A., & Kirsanov, S. V. (2007). Rezhushchii instrument [The cutting tools]. M. : Mashinostroenie [in Russian].
5. Rodin, P. R. (1977). Osnovy formoobrazovaniia poverkhnostei rezaniem [The fundamentals of formation of shapes of surfaces cutting]. K.: Vyshcha shkola [in Russian].
6. Korn, G. A., & Korn, T. M. (1973). Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [The quick reference on the mathematician for science officers and engineers]. M.: Nauka [in Russian].
7. Shvets, S. V. (2007). Metalorizalni instrumenty [Metal-cutting instruments]. Sumy : SumSU [in Russian].
8. Shvets, S. V. (2009). Sistemnii analiz teorii rezaniia [The system analysis of the theory of cutting]. Sumy : SumSU [in Russian].