

А.В. МОВСИЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗАТЫЛОВАННЫХ ФРЕЗ ПРИ ПЕРЕТАЧИВАНИИ

Исследованы погрешности после обработки фрезой j -й степени сточенности в i -й точке: погрешность по высоте Δh_{ij} , по нормали ΔN_{ij} , по углу профиля $\Delta \varphi_{ij}$, по отклонению от прямолинейности f_{ij} . Эксперименты проводились с использованием алгоритмических языков программирования системы Madcad, Tflex-3D. Установлена зависимость изменения погрешности общей (габаритной) высоты профиля Δh обрабатываемой поверхности от величины (угла) стачивания фрезы: $\Delta h=f(\xi)$.

Ключевые слова: фреза, кромка фрезы, сточенность фрезы, характеристики погрешностей, погрешности при перетачивании, погрешности после обработки, затылование.

Введение. При перетачивании затылованных фрез по передней поверхности форма кромки фрезы может меняться, даже при идеально точно выполненной ее форме на непереточенной фрезе и точно выдержанной заданной геометрии фрезы при ее переточке. При этом точность обрабатываемой поверхности может оказаться неудовлетворительной, и теряется основное преимущество затылованных фрез – постоянство формы и размеров обрабатываемых деталей при переточках.

Методы исследования. В работе использованы основные положения теории проектирования режущих инструментов и теории огибающих поверхностей [1]. При проведении исследований применялись средства дифференциальной геометрии, матричного исчисления, численные методы, алгоритмические языки программирования, системы Madcad, Tflex-3D и др.

Математическая формулировка задачи. Степень сточенности фрезы характеризуется углом стачивания ξ_j между двумя радиусами фрезы, проведенными в точке кромки наружного радиуса новой – непереточенной фрезы (при $j=0$, $\xi_j = 0$) и переточенной (при заданном значении j и $\xi_j = f(j)$).

Характеристиками погрешностей после обработки фрезой j -й степени сточенности в i -й точке поверхности являются (рис.1): погрешность по высоте Δh_{ij} , по нормали ΔN_{ij} , по углу профиля $\Delta \varphi_{ij}$, по отклонению от прямолинейности f_{ij} [2]. Во многих типичных случаях основной погрешностью, от которой зависят остальные, является погрешность по высоте Δh_{ij} . Для поверхностей закрытого (замкнутого по высоте) профиля погрешность Δh_{ij} в крайней точке является погрешностью высоты профиля обработанной детали.

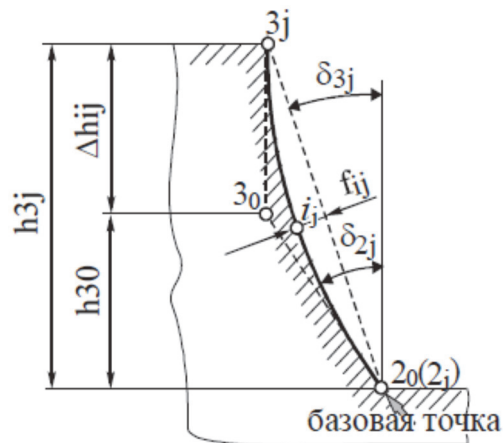


Рис. 1. Погрешность обработанной поверхности с прямолинейным профилем:
 h_{30} – заданная высота поверхности в точке 3_0 ($i=3$), получаемая после обработки фрезой до ее перетачивания (степень сточенности $j=0$); h_{3j} – высота поверхности, получаемая после обработки переточенной фрезой с j -й степенью сточенности; Δh_{ij} – погрешность по высоте поверхности в i -й (здесь $i=3$) точке после обработки фрезой с j -й степенью сточенности

Задняя поверхность зуба фрезы при затыловании резцом образуется кромкой затыловочного резца в движении (состоящем из вращения w фрезы и поступательных движений резца вдоль осей x и z со скоростями V_x , V_z , рис.2) относительно фрезы при ее затыловании.

Уравнение траектории i -й точки кромки резца с цилиндрическими координатами $(r_{0ri}, \theta_{0ri}, Z_{0ri})$ в начальный момент (рис.2) имеет вид

$$r_i(\varphi_i) = r_{0ri} \times \sin(\theta_{0ri}) \times \operatorname{cosec} \left\{ \theta_{0ri} + \arctg \left[\frac{ar \times \varphi_i \times \sin(\theta_{0ri})}{r_{0ri} - ar \times \varphi_i \times \cos(\theta_{0ri})} \right] \right\}, \quad (1)$$

$$\zeta_i(\varphi_i) = \theta_{0ri} + \varphi_i + \arctg \left[\frac{ar \times \varphi_i \times \sin(\theta_{0ri})}{r_{0ri} - ar \times \varphi_i \times \cos(\theta_{0ri})} \right],$$

$$Z_i(\varphi_i) = Z_{0ri} - p \times \varphi_i,$$

где ar , p – параметры затылования, постоянные для затылования по "архимедовой спирали" данной фрезы; φ_i – угол поворота фрезы вокруг ее оси.

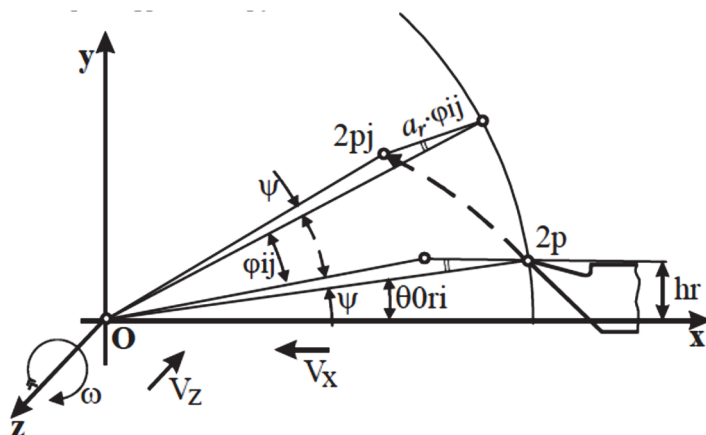


Рис. 2. Траектория $2p-2pj$ точки кромки резца (проекция на торцевую плоскость Oxz фрезы)

Кромка сточенной фрезы, затылованной резцом или шлифовальным кругом, рассматривается как линия пересечения плоскости передней поверхности фрезы с задней затылованной поверхностью. Уравнение (1) совместно с уравнением режущей кромки резца определяет затылованную поверхность. Пересечение последней с плоскостью передней грани сточенной фрезы дает режущую кромку фрезы, которая обрабатывает заданную поверхность детали. Реальная затылованная поверхность образуется в сложном движении кромки резца, форма которой зависит в том числе от геометрии передней поверхности фрезы, геометрии и установки резца на затыловочном станке [3]. Поэтому при перетачивании фрезы (в т.ч. идеально точно изготовленной, а также с идеально точно выполненной геометрией переточенной передней поверхности) форма и размеры профиля кромки фрезы меняются, что в общем случае приводит к погрешностям обработанной поверхности.

Для предварительного анализа возникающих при стачивании фрезы погрешностей и выбора метода их расчета и исследования был выполнен анализ погрешностей для характерных и относительно простых случаев:

- для фрезы, имеющей нулевые передний угол γ_a и угол наклона передней поверхности зуба λ_a , затылованной резцом с положительным передним углом γ_f с установкой его точки $2r$ (здесь «г» или «р» – индекс или наименование для точки 2 резца) на высоте линии центров затыловочного станка, т.е. в плоскости Oxz (рис.3); точка $2p$ ($2r$) резца образует точку 2 кромки фрезы на ее наружном радиусе ra ;

- для фрезы с такой же геометрией, затылованной резцом с положительным передним углом γ_T с установкой в плоскости Oxz его точки кромки, которая образует точку 6 на внутреннем радиусе r_6 кромки фрезы, т.е. когда смещение hr установочной точки 6 кромки резца относительно плоскости Oxz равно 0 (рис.3).

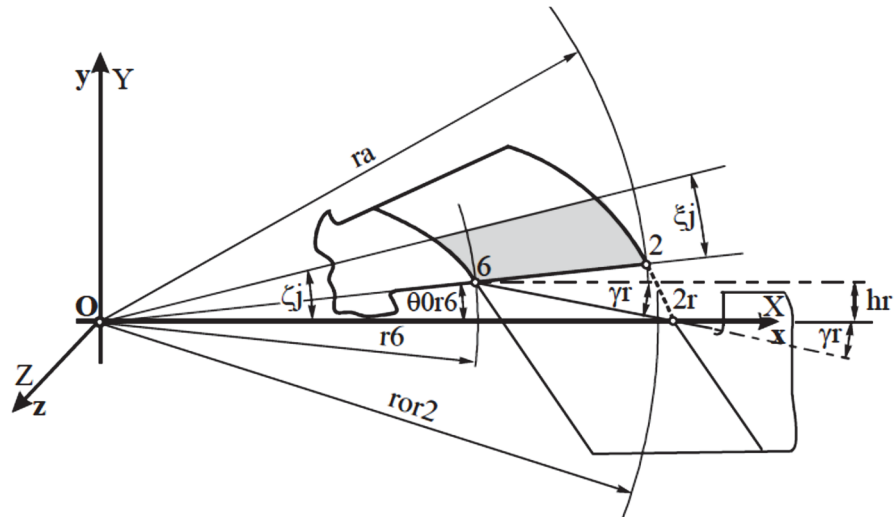


Рис. 3. Схема установки резца при затыловании фрезы

Для случая, когда $hr > 0$, высота h детали в зависимости от сточенности фрезы, определяемой углом φ , при угле косо́го затылования $\mu = 0$ определяется уравнением

$$h(\varphi) = A \operatorname{cosec} [\eta + \arctg (B\varphi / (r_6 - C\varphi))] - ar [\eta + \varphi + \arctg (B\varphi / (r_6 - C\varphi))] + r_0r_2, \quad (2)$$

где $\eta = \theta_0r_6$, θ_0r_6 – угловая координата точки 6 кромки резца в начальный момент затылования, т.е. при $\varphi = 0$; φ – угол поворота фрезы в движении затылования; r_6 – радиус фрезы в точке 6 ее кромки; r_0r_2 – радиус, проведенный в точку 2 кромки резца, которая образует точку 2 кромки фрезы на ее наружном радиусе ra ; A, B, C, ar – постоянные, зависящие от размеров фрезы и резца.

Угол сточенности фрезы ξ_j несколько отличается от угла φ . Кроме того, угол φ поворота фрезы от начального момента до момента образования любой точки кромки фрезы с соответствующей точкой кромки резца различен для разных точек кромки. Зависимость φ от ξ_j выражается трансцендентным уравнением, поэтому в явной форме выразить h как функцию от ξ_j не представляется возможным.

Для фрезы с размерами $r_a=74 \text{ мм}$, $r_b=43,8 \text{ мм}$, $r_g = 14,3 \text{ мм}$, задним вершинным углом $\alpha_B = 11^\circ$, $\lambda_a = \gamma_a = 0$, затылованной резцом с передним углом $\gamma_r = 10^\circ$ с установкой по схеме на рис.2 при $h = 30,157 \text{ мм}$, были численным методом рассчитаны значения высоты h профиля детали при стачивании фрезы, приведенные на рис.4 [4].

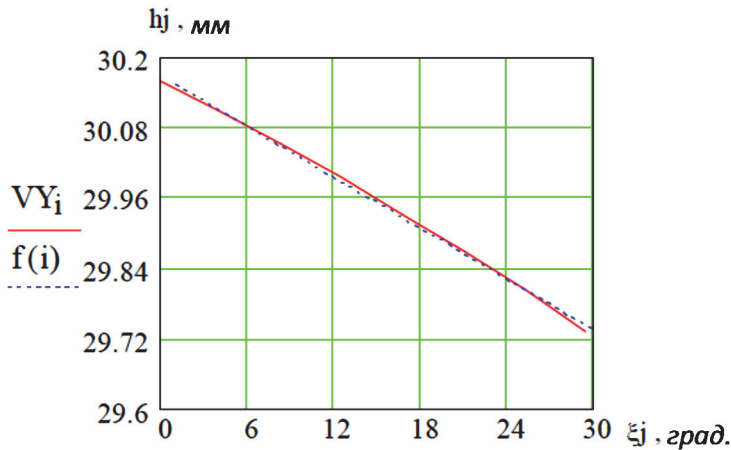


Рис. 4. Изменение высоты h детали при стачивании фрезы

Из полученных данных (рис. 4) следует, что при стачивании фрезы на угол $\xi_j = 6^\circ$ высота h_j детали уменьшается на величину около $0,08 \text{ мм}$, т.е. $\Delta h_j = - 0,08 \text{ мм}$, а при стачивании на угол 24° Δh по абсолютной величине - более $0,3 \text{ мм}$. Полученное на основании расчетов уравнение линейной регрессии для зависимости $h_j = f(\xi_j)$ имеет вид

$$h_j = a + b \cdot \xi_j, \text{ где } a = 30,1670034, \text{ } b = - 0.0144245, \quad (3)$$

с коэффициентом корреляции свыше $0,99$.

На рис. 4 зависимость (3) соответствует пунктирной прямой.

Таким образом, по мере стачивания погрешность в данном случае увеличивается почти прямо пропорционально углу стачивания и достигает 9 значительных величин, которые могут превышать допуск на погрешность профиля обработанной поверхности.

Уравнение (3), как показали выполненные расчеты, может дать ошибку в вычислениях h_j при малых и больших ξ_j (около $0,01 \text{ мм}$). Это допустимо для ориентировочных расчетов погрешности, но неприемлемо для точных расчетов погрешностей стачивания. Указанная ошибка объясняется отклонением зависимости $h_j = f(\xi_j)$ от линейной.

Аналогичный описанному выше анализ погрешностей выполнен для фрезы тех же размеров и геометрии, затылованной таким же резцом, но с его установкой в точке б кромки на линии центров станка (т.е. при $h_r = 0$, рис. 3) [4].

Величины погрешностей Δh_{ij} для разных точек i , т.е. при разных h_i , и при угле стачивания 19° приведены на рис.5.

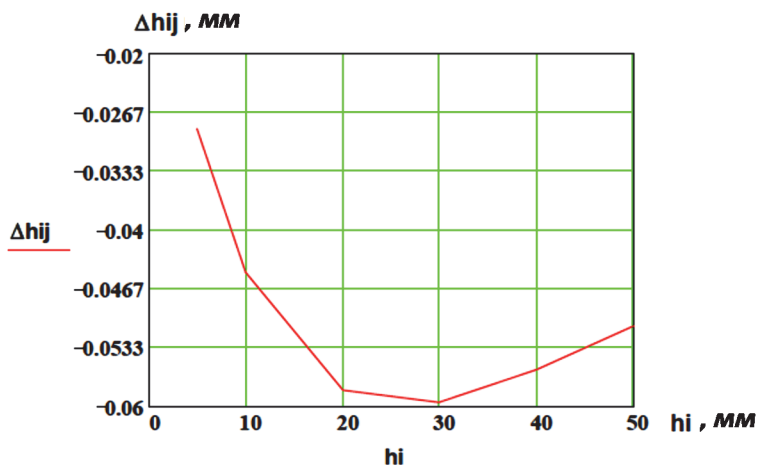


Рис. 5. Изменение $\Delta h_{ij} = f(h_i)$ при затыловании фрезы с $\gamma_a = \lambda_a = 0$ с внутренним радиусом $r_b = 43,84$ мм, с наружным радиусом $r_a = r_b + h_i$; резец: $\gamma_r = 10^\circ$; $\lambda_r = 0$; $h_r = 0$, $\xi_j = 19^\circ$

Как видно, высота детали при перетачивании фрезы, так же, как и в предыдущем случае, уменьшается. Погрешности имеют достаточно существенную величину; при $h_i = 30$ Δh_{ij} составляет 0,06 мм, но в то же время величина погрешности в 4 раза меньше, чем при затыловании резцом с установкой на линии центров точки 2г (рис.3). Кроме того, как видно из характера графика на рис.5, величина погрешности в зависимости от высоты профиля h_i изменяется по сложной, нелинейной зависимости.

Выводы. Обобщая проведенные исследования, можно сделать следующие выводы:

- функциональная зависимость $\Delta h = f(\xi)$ изменения Δh высоты профиля h обрабатываемой поверхности от величины ξ стачивания фрезы, полученная на основании уравнения траектории движения кромки резца, образующего затылованную поверхность фрезы, является трансцендентной. Поэтому для ее анализа требуются численные методы;

▪ величина погрешности от стачивания фрезы, затылованной резцом, по высоте обрабатываемой поверхности может достигать 0,2 ... 0,3 мм (при высоте h около 30 мм), что существенно снижает точность обработки и может выходить за пределы допуска. Для шлифованных фрез большие изменения формы кромки вдоль затылованной резцом поверхности могут приводить к необходимости увеличения припуска под шлифование фрезы после ее затылования резцом;

▪ геометрия и установка затыловочного резца при затыловании фрезы оказывают существенное влияние на погрешность стачивания: величина Δh может изменяться в несколько раз (от 0,06 ... 0,1 мм до 0,3 ... 0,4 мм и более);

▪ изменение погрешности профиля детали при стачивании фрезы носит нелинейный характер. При затыловании фрезы резцом с положительным передним углом и с установкой вершины резца на линии центров погрешность профиля по высоте детали возрастает в зависимости от высоты профиля в большей мере для соответствующих точек кромки фрезы, расположенных ближе к вершине резца (т.е. на меньших радиусах фрезы), и в меньшей мере для точек, расположенных ближе к наружному радиусу фрезы;

▪ зависимость изменения погрешности общей (габаритной) высоты профиля Δh обрабатываемой поверхности от величины (угла) стачивания фрезы может носить характер, весьма близкий к линейному, с коэффициентом корреляции более 0,9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Залгаллер В.А.** Теория огибающих. - М.: Наука, глав. ред. физ. – мат. Литературы, 1975.-104 с.
2. **Гречишников В.А., Колесов Н.В., Петухов Ю.Е.** Математическое моделирование в инструментальном производстве: Учебное пособие. –М.: МГТУ "Станкин", 2003. -113 с.
3. **Петухов Ю.Е.** Проектирование производящей инструментальной и исходной поверхностей на основе методов машинного моделирования: Дис. ... канд. техн. наук/ МГТУ "Станкин". –М., 1984. -240с.
4. **Мовсисян А.В.** Повышение точности дисковых фасонных затылованных фрез при перетачивании: Дис....канд. техн. наук/ МГТУ "Станкин". – М., 2008. - 175 с.

Ա.Վ. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

ԾՈԾՐԱԿԱՀԱՆՎԱԾ ՖՐԵՉՆԵՐԻ ՎԵՐԱՍՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՍԽԱԼԱՆՔՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ

Հետազոտվել են j աստիճանի սրվածությամբ ֆրեզով մշակումից հետո առաջացած սխալանքները՝ Δh_{ij} սխալանքները՝ ըստ բարձրության, ΔN_{ij} սխալանքները՝ նորմալով, $\Delta \varphi_{ij}$ սխալանքները՝ ըստ պրոֆիլի անկյան, f_{ij} շեղվածության սխալանքները ուղղագծայնությունից: Փորձերը կատարվել են ծրագրավորման ալգորիթմական լեզուների՝ Madcad և Tflex-3D համակարգերի կիրառմամբ: Որոշվել է Δh պրոֆիլի բարձրության ընդհանուր (գաբարիտային) սխալանքի փոփոխության կախվածությունը ֆրեզի սրվածության մեծությունից (անկյունից)՝ $\Delta h=f(\xi)$:

Առանցքային բառեր. ֆրեզ, ֆրեզի եզր, ֆրեզի սրվածություն, սխալանքների բնութագրիչներ, սխալանքներ վերասրման դեպքում, սխալանքներ մշակումից հետո, ծոծրակահանում:

A.V. MOVSISYAN

A METHOD FOR CALCULATING THE ERRORS OF THE FLATTENED MILLING CUTTERS DURING GRINDING

The errors after processing by a mill of the j -th power degree in the i -th point are investigated: the error in height Δh_{ij} ; by the normal ΔN_{ij} ; on the profile angle $\Delta \varphi_{ij}$; on the deviation from straightness f_{ij} . The experiments were carried out, using the algorithmic programming languages, the Madcad and the Tflex-3D system. The dependence of the change in the error of the overall (overall) height of the profile Δh of the machined surface on the value (angle) of grinding of the milling cutter is established: $\Delta h = f(\xi)$.

Keywords: cutter, milling cutter edge, milling cutter length, error characteristics, inaccuracies in re-sharpening, errors after machining, backing.