

¶ (11 pt)

¶ (11 pt)

¶ (11 pt)

¶ (11 pt)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

¶ (11 pt)

Tatiana Ivchenko¹, Irina Petryaeva² & Roman Grubka³

¶ (11 pt)

Donetsk National Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 58, Artioma str. Donetsk, Ukraine

¶ (11 pt)

Tatiana Ivchenko, ivchenko.sovet@gmail.com

¶ (11 pt)

Повышение качества деталей машин с достижением максимально возможной производительности обработки - важная задача современного машиностроения. Среди разнообразных видов поверхностей деталей машин особое место занимают фасонные поверхности, механическая обработка которых весьма затруднена.

Обеспечение качества изготовления деталей, рабочая поверхность которых ограничена фасонным профилем, является сложной технологической задачей. Обработка фасонных поверхностей требует сложной кинематики относительного движения заготовки и режущего инструмента и характеризуется переменными значениями технологических параметров, которые определяют условия обработки.

В настоящее время основное внимание при обработке фасонных поверхностей уделяется вопросам обеспечения точности [1]. Информация по обоснованию выбора рациональных параметров процесса резания с учетом особенностей обработки фасонных поверхностей практически отсутствует.

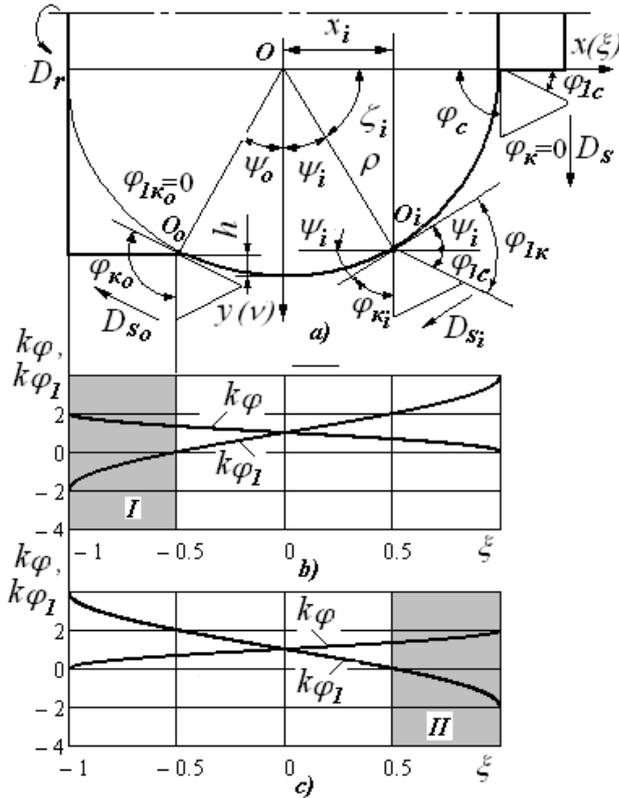
Наиболее обосновано задачи повышения производительности решаются на основании оптимизации режимов резания по критерию максимальной производительности с использованием метода линейного программирования, который позволяет осуществлять одновременную оптимизацию скорости резания и подачи с учетом действующих ограничений [2].

Однако, известные методики определения оптимальных режимов резания не учитывают переменности параметров обработки фасонных поверхностей, что требует дальнейшего их развития. На основе анализа черновой и чистовой токарной обработки [3, 4] обоснована необходимость учета силовых и температурных ограничений, а так же ограничений по шероховатости обработанной поверхности, которые в случае обработки фасонных поверхностей являются

переменными и требуют специальных подходов для их определения.

Целью работы является повышение производительности точения фасонных поверхностей за счет обоснования рациональных условий обработки с учетом переменности параметров процесса резания.

При точении фасонных поверхностей переменными вдоль криволинейной образующей являются углы в плане, параметры среза и скорости резания. В результате переменными становятся физические параметры процесса резания: коэффициенты усадки стружки, силы и температуры резания. Закономерности изменения углов в плане представлены на рис.1.



инструмента – а) и графики их изменения при токарной обработке выпуклых – б) и вогнутых – в) фасонных поверхностей

Пример определения кинематических главных φ_K и вспомогательных φ_{1K} углов в плане приведен для выпуклой поверхности (рис. 1а) с постоянным радиусом кривизны ρ (образующая поверхности вращения – дуга окружности, центр принятой системы координат является центром кривизны, то есть центром окружности). Обработка выполняется инструментом с трехгранной пластиной, для которой статические углы в плане: $\varphi_C = 90^\circ$; $\varphi_{1C} = 30^\circ$. Положение вершины лезвия на указанной криволинейной поверхности определяется мгновенным углом поворота ψ_i , который для выпуклых ψ_{i1} и вогнутых ψ_{i2} поверхностей рассчитывается следующим образом:

$$\sin \psi_i = x_i / \rho; \quad \psi_{i1} = \arcsin(\xi_i); \quad \psi_{i2} = \arcsin(-\xi_i), \quad (1)$$

где $\xi_i = x_i / \rho$ – безразмерная координата.

Кинематические главный φ_K и вспомогательный φ_{1K} углы в плане определяются относительно направления движения подачи D_{Si} углом ψ_i :

$$\varphi_{Ki} = \varphi_C - \psi_i; \quad \varphi_{1Ki} = \varphi_{1C} - \psi_i. \quad (2)$$

Общие закономерности изменения главных φ_K и вспомогательных φ_{1K} углов в плане вдоль безразмерной координаты ξ в сравнении со значениями этих углов в точке, соответствующей началу принятой системы координат, могут быть описаны с помощью безразмерных коэффициентов $k_\varphi(\xi) = \varphi_K(\xi) / \varphi_K(0)$, $k_{\varphi 1}(\xi) = \varphi_{1K}(\xi) / \varphi_{1K}(0)$:

$$k_\varphi(\xi) = \frac{\varphi_C - \arcsin(\xi)}{\varphi_C - \arcsin(0)} = \frac{\varphi_C - \arcsin(\xi)}{\varphi_C}; \quad (3)$$

$$k_{\varphi 1}(\xi) = \frac{\varphi_{1C} + \arcsin(\xi)}{\varphi_{1C} + \arcsin(0)} = \frac{\varphi_{1C} + \arcsin(\xi)}{\varphi_{1C}}. \quad (4)$$

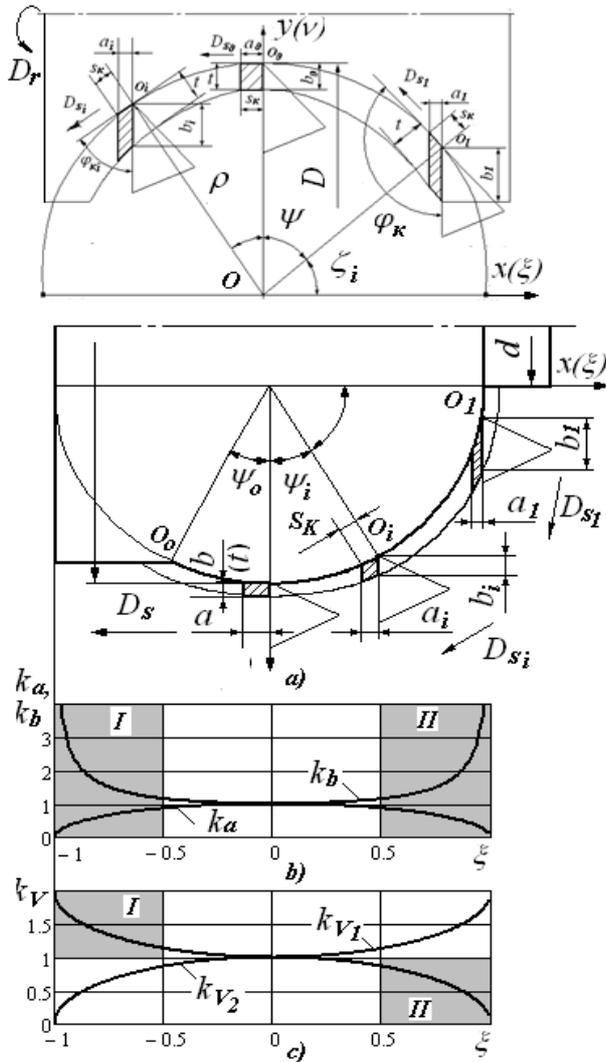
Графики безразмерных коэффициентов k_φ , $k_{\varphi 1}$, характеризующих относительные изменения кинематических главных $\varphi_K(\xi) = k_\varphi(\xi)\varphi_C$ и вспомогательных $\varphi_{1K}(\xi) = k_{\varphi 1}(\xi)\varphi_{1C}$ углов в плане вдоль безразмерной координаты ξ в сравнении со статистическими, представлены на рис. 1б и рис. 1с.

Особенностью обработки выпуклой криволинейной поверхности является возможность обработки одним и тем же инструментом поверхности до точки O_0 , для которой $\varphi_{1K_0} = 0$. Безразмерные координаты точки O_0 : $\xi_0 = -\sin(\varphi_{1C})$; $\nu_0 = -\cos(\varphi_{1C})$. Максимальная возможная для обработки безразмерная глубина выпуклой (вогнутой) поверхностей $h/\rho = 1 - \cos(\varphi_{1C})$. Заштрихованная область I (рис. 1б) соответствует зоне невозможной обработки данным инструментом выпуклой поверхности; область II (рис. 1с) – вогнутой.

Геометрические параметры сечения среза, или параметры среза – толщина a и ширина b зависят от технологических параметров – подачи S и глубины резания t , а также главного угла в плане φ . При обработке криволинейных поверхностей глубина резания t остается постоянной, в связи с чем ширина среза b изменяется в зависимости от главного кинематического угла в плане φ_K : $b(\xi) = t / \sin(\varphi_C - \arcsin \xi)$.

В случае обработки на станках из ЧПУ с постоянной контурной скоростью подачи S_K , толщина среза a изменяется в зависимости от главного кинематического угла в плане φ_K : $a(\xi) = S_K \sin(\varphi_C - \arcsin \xi)$

Закономерности изменения параметров среза и скорости резания представлены на рис. 2.



Общие закономерности изменения параметров среза и скорости резания вдоль безразмерной координаты ξ могут быть описаны с помощью безразмерных коэффициентов $k_a(\xi) = a(\xi)/a(0)$, $k_b(\xi) = b(\xi)/b(0)$, $k_V(\xi) = V(\xi)/V(0)$:

$$k_a(\xi) = \frac{\sin(\varphi_C - \arcsin(\xi))}{\sin(\varphi_C)}; \quad (5)$$

$$k_b(\xi) = \frac{\sin(\varphi_C - \arcsin(\xi))}{\sin(\varphi_C)}; \quad (6)$$

$$k_V(\xi) = \left[1 \mp \left(\frac{1 - \cos(\arcsin(\xi))}{2\delta} \right) \right]; \quad (7)$$

где $\delta = D/\rho$ – безразмерный диаметр обрабатываемой поверхности в точке, соответствующей началу принятой системы координат; знак « - » соответствует выпуклой поверхности, знак « + » – вогнутой.

Установленные коэффициенты позволяют рассчитывать параметры среза и скорость резания в любой точке криволинейной образующей с соответствующей безразмерной координатой ξ :

$$a(\xi) = k_a(\xi)a, \quad (8)$$

$$b(\xi) = k_b(\xi)b, \quad (9)$$

$$V(\xi) = k_V(\xi)V_D. \quad (10)$$

Графики безразмерных коэффициентов k_a , k_b , k_V , характеризующих относительные изменения толщины и ширины среза, а также скорости резания вдоль безразмерной координаты ξ в сравнении со значениями этих параметров в точке, соответствующей началу принятой системы координат, представлены на рис. 2б, рис. 2с ($\delta = 0,5$).

Заштрихованные области I (рис. 2 б,с) соответствуют зоне невозможной обработки данным инструментом выпуклых поверхностей; области II – вогнутых.

На основании установленных закономерностей изменения углов в плане, параметров среза и скорости резания при точении фасонных поверхностей исследованы закономерности изменения коэффициентов усадки стружки, сил и температур резания. Известны зависимости коэффициента усадки стружки, сил и температур резания от режимов резания при точении:

$$k = C_k K_k V^{-nk} S^{yk} t^{xk}, \quad (8)$$

$$P_z = C_P K_P V^{-nP} S^{yP} t^{xP}, \quad (9)$$

$$\Theta = C_\Theta K_\Theta V^{n\Theta} S^{y\Theta} t^{x\Theta}, \quad (10)$$

где C , K – постоянные и переменные коэффициенты, x , y , n – показатели степени влияния скорости резания V , подачи S и глубины t на коэффициенты усадки стружки, силы и температуры резания соответственно.

Общие закономерности изменения указанных параметров процесса резания вдоль безразмерной координаты ξ в сравнении со значениями этих параметров в точке, соответствующей началу принятой системы координат, могут быть описаны с помощью безразмерных коэффициентов: $k_k(\xi) = k(\xi)/k(0)$, $k_P(\xi) = P(\xi)/P(0)$, $k_\Theta(\xi) = \Theta(\xi)/\Theta(0)$:

$$k_k(\xi) = \left[1 \mp \left(\frac{1 - \cos(\arcsin(\xi))}{2\delta} \right) \right]^{-nk}; \quad (11)$$

$$k_P(\xi) = \left[1 \mp \left(\frac{1 - \cos(\arcsin(\xi))}{2\delta} \right) \right]^{-nP}; \quad (12)$$

$$k_\Theta(\xi) = \left[1 \mp \left(\frac{1 - \cos(\arcsin(\xi))}{2\delta} \right) \right]^{n\Theta}. \quad (13)$$

Закономерности изменения вдоль криволинейной образующей коэффициента усадки стружки, сил и температур резания с учетом переменности углов в плане, параметров среза и скорости резания могут быть представлены следующим образом:

$$k(\xi) = C_k K_k k_k(\xi) V^{-n_k} S^{y_k} t^{x_k}, \quad (14)$$

$$P_z(\xi) = C_P K_P k_P(\xi) V^{-n_P} S^{y_P} t^{x_P}, \quad (15)$$

$$\Theta(\xi) = C_\Theta K_\Theta k_\Theta(\xi) V^{z_t} S^{y_t} t^{x_t}. \quad (16)$$

Графики безразмерных коэффициентов k_k , k_P , k_Θ , характеризующих относительные изменения коэффициентов усадки стружки, сил и температур резания вдоль безразмерной координаты ξ в сравнении со значениями этих параметров в точке, соответствующей началу принятой системы координат, представлены на рис. 3 (для условий обработки конструкционных сталей приняты значения показателей $n_k = -0,36$; $n_P = -0,15$; $n_\Theta = 0,55$).

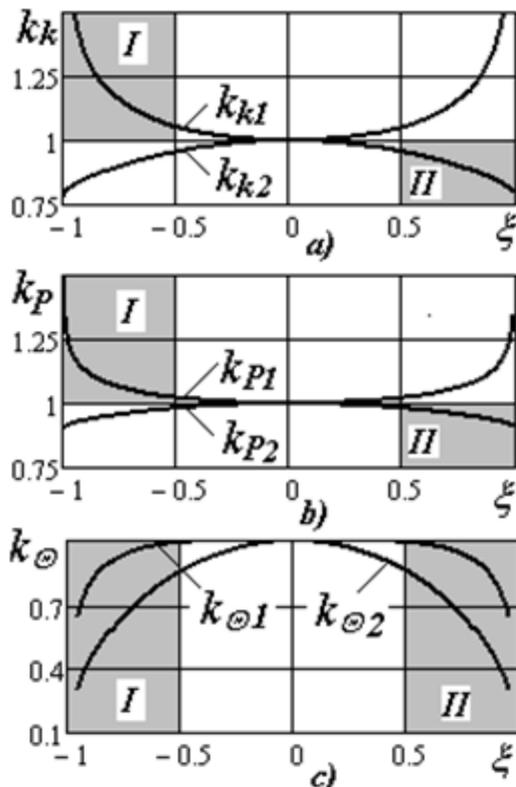


Fig. 3. Графики изменения коэффициента усадки стружки – а), силы резания – б) и температуры резания – в) при обработке фасонных поверхностей

В результате проведенных исследований установлено, что параметры процесса резания в различных точках фасонной поверхности существенно различаются. При обработке выпуклых поверхностей максимальные значения коэффициентов усадки стружки, сил и температур резания имеют место в точке, соответствующей началу принятой системы координат. Для вогнутых поверхностей коэффициенты усадки стружки и силы резания в точке, соответствующей началу

принятой системы координат, имеют минимальное значение, однако температуры резания в этой точке все равно остаются максимальными. Результаты расчета фактических температур резания, представленные на рис. 4, свидетельствуют о том, что при обработке как выпуклых, так и вогнутых фасонных поверхностей значения температур в отдельных точках могут существенно превышать допустимый уровень 800°C , что не обходимо учитывать при выборе рациональных условий обработки.

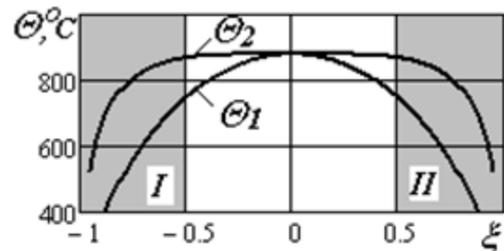


Fig. 4. Графики изменения температур резания при обработке выпуклых – 1 и вогнутых – 2 фасонных поверхностей

При обработке с постоянной контурной подачей снижение температуры резания до допустимого уровня может быть осуществлено за счет выбора рациональной скорости резания. Коэффициент необходимого снижения скорости резания Для обеспечения условий

Установлены закономерности изменения вдоль криволинейной образующей фасонной поверхности углов в плане, параметров среза и скорости резания, которые определяют переменность физических параметров процесса резания: коэффициентов усадки стружки, сил и температур резания. Определены коэффициенты изменения усадки стружки, сил и температур резания вдоль образующей, позволяющие рассчитать фактические значения этих параметров в любой точке фасонной поверхности.

Оптимальні подача S_{o1} та швидкість різання V_{o1} визначаються:

$$S_o(\xi) = \left(\frac{340c^{1,35} t^{(0,77-x_P)} K_\varphi}{C_P K_P K_P(\xi)} \right)^{1/y_P};$$

$$V_o(\xi) = \left(\frac{\Theta}{C_\Theta K_\Theta K_\Theta(\xi)} \right)^{\frac{1}{n_t}} S_o(\xi)^{\frac{y_t}{y_P n_t}}, \quad (3.11)$$

З урахуванням змінності сили P та температури різання Θ вздовж безрозмірної координати ξ встановлені коефіцієнти відносно оптимальної подачі $K_S(\xi) = S_o(\xi)/S_o(0)$ та оптимальної швидкості різання $K_V(\xi) = V_o(\xi)/V_o(0)$ (рис. 3.1):

$$K_S(\xi) = K_P(\xi)^{1/y_p};$$

$$K_V(\xi) = K_P(\xi)^{y_t/y_p n_t} / K_\Theta(\xi)^{1/n_t}. \quad (3.12)$$

$$S_o(\xi) = \left[\frac{\Theta(k_o K_R)^{n_t/k_3}}{C_\Theta K_\Theta K_\Theta(\xi) R_a^{n_t/k_3}} \right]^{k_3 / (y_t k_3 - n_t k_1)}$$

$$V_o(\xi) = \left(\frac{R_a}{k_o K_R S_o^{k_1}} \right)^{1/k_3}$$

Коефіцієнти відносної оптимальної подачі $K_S(\xi)$ та оптимальної швидкості різання $K_V(\xi)$ (рис. 4):

$$K_S(\xi) = [1/K_\Theta(\xi)]^{k_3 / (y_t k_3 - n_t k_1)};$$

$$K_V(\xi) = [1/K_\Theta(\xi)]^{k_1 / (n_t k_1 - y_t k_3)}.$$

$$K_{S2}(\xi) = \left(k_R(\xi)^{n_t/n_r} / k_\Theta(\xi) \right)^{n_r / (y_t n_r - n_t y_r)};$$

$$K_{V2}(\xi) = \left(k_R(\xi)^{n_t/n_r} / k_\Theta(\xi) \right)^{y_r / (y_t n_r - n_t y_r)}.$$

1. Марецкая В.В. К вопросу автоматизации направленного формирования показателей качества деталей // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 3. – с. 29–34.

2. Івченко Т.Г. Визначення температури різання з урахуванням змінності параметрів стружкоутворення в залежності від умов обробки // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 1(10). - Донецьк, ДонНТУ, 2013.- С.21-27.

3. Vadim Boguslavskiy, Tatiana Ivchenko, Viktor Polchenko, Iliya Navka. Intensification of finish turning of stainless steels with the use of technological cutting fluids. Applied Mechanics and Materials Innovative Manufacturing Engineering. TransTech Publication LTD Zurich-Durnten №371.p23-28