

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА СДВИГА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Татьянченко А.Г.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Определение угла сдвига Φ и связанного с ним коэффициента усадки стружки K_a является очень важной задачей в теплофизике механической обработки отверстий, поскольку эти параметры являются базовыми при исследовании различных тепловых и контактных процессов. Поэтому точность определения Φ и K_a в значительной степени определяет достоверность теоретических исследований, связанных с лезвийной обработкой отверстий осевым инструментом.

До настоящего времени нет достаточно достоверной аналитической зависимости, позволяющей определять угол сдвига для широкого диапазона различных параметров, характеризующих условий резания. Поэтому в большинстве случаев проводятся специальные экспериментальные исследования для определения угла сдвига для заданных конкретных условий. В литературе известны аналитические зависимости для определения угла сдвига [1,2,3], которые были получены на основе экспериментальных данных для ортогонального резания или математического моделирования на основе теории подобия. Однако, как правило, они не учитывают особенностей обработки отверстий – большой кривизны обрабатываемой поверхности и высокой рабочей температуры в практически изолированной зоне резания. Применительно к условиям обработки отверстий известна зависимость для определения угла сдвига при развертывании, полученная Барановым А.В. на основе теории подобия [4]:

$$\Phi = \arctan \frac{1,51 \text{Pe}^{0,21} D^{0,30}}{F^{0,21} E^{0,07} (1 - \sin \gamma)^{0,65}}, \quad (1)$$

где $\text{Pe} = \frac{Va_1}{\omega}$ – критерий Пекле, $F = \frac{\lambda_p}{\lambda} \beta \varepsilon$, $D = \frac{a_1}{b_1}$, $\beta = \frac{\pi}{2} - (\alpha + \gamma)$ – угол заострения реза, $\varepsilon = \pi - (\varphi + \varphi_1)$ – угол при вершине реза в плане, φ и φ_1 – главный и вспомогательный углы в плане, $\omega = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, $a_1 = S \sin \varphi$, $b_1 = t / \sin \varphi$, S – подача, V – скорость резания, t – глубина резания, $E = \rho / a_1$.

Эта зависимость учитывают некоторые особенности геометрии резания при обработке отверстий, но имеет те же недостатки, что и другие формулы, полученные на основе теории подобия, – узкий диапазон варьирования параметров, отсутствие учета влияния кривизны обрабатываемой поверхности и теплового воздействия на физико-механические свойства материалов инструмента и детали. Тем не менее, зависимость (1) можно считать базовой для дальнейших исследований влияния кривизны и температуры.

Попытки учета кривизны обрабатываемой поверхности известны из работ [5,6]. Однако, зависимость С.Н. Филоненко [5]:

$$\Phi = \arctan \frac{R - \sqrt{(R-a)^2 - a_1^2}}{a_1} - \arctan \frac{R - \sqrt{R^2 - a_1^2}}{a_1}, \quad (2)$$

где a_1 – толщина стружки, не учитывает величины переднего угла γ , основана на экспериментальных замерах и поэтому нуждается в дальнейшем развитии и уточнении.

Таким образом, получение аналитической зависимости, позволяющей определять угол сдвига для различных параметров режимов резания и физико-механических свойств материалов инструмента и детали, является актуальной задачей, так как позволит прогнозировать точность механической обработки отверстий без специальных экспериментальных исследований. Для решения этой задачи автором была поставлена цель – получение аналитической зависимости для определения угла сдвига при обработке отверстий, которая учитывала бы влияние кривизны обрабатываемой поверхности и температурного режима в зоне резания и не нуждалась бы в дополнительных экспериментальных замерах.

Для оценки влияния кривизны на угол сдвига Φ при обработке отверстий автором [7] на основе схемы стружкообразования с одной плоскостью сдвига (рис.1) было получено базовое уравнение для определения параметров $\tan \Phi$ и $K_0 = \beta_R K_a$, связывающее элементы срезаемого слоя при обработке отверстий с кривизной обрабатываемой поверхности:

$$\begin{aligned} & - 2RK_0 \tan \Phi \cos \gamma + 2RK_0 \tan^2 \Phi \sin \gamma + K_0^2 a \tan^2 \Phi = \\ & = - D_0 \cos^2 \gamma + 2D_0 \cos \gamma \sin \gamma \tan \Phi - D_0 \sin^2 \gamma \tan^2 \Phi - K_0^2 a. \end{aligned} \quad (3)$$

где K_0 – коэффициент усадки при обработке отверстий, учитывающий влияние кривизны обрабатываемой поверхности, $D_0 = (2R - a)$ – средний диаметр срезаемого слоя.

Полученное на основе базового уравнения (3) выражение для определения угла сдвига с учетом кривизны обрабатываемой поверхности при известной усадке стружки принимает вид

$$\tan \Phi = \frac{\cos \gamma ((2\xi - 1) \sin \gamma + \xi K_0) \pm K_0 \sqrt{\xi^2 \cos^2 \gamma - 2\xi + 1 - K_0^2 - 2\xi K_0 \sin \gamma}}{K_0^2 + 2\xi K_0 \sin \gamma + (2\xi - 1) \sin^2 \gamma}, \quad (4)$$

где $\xi = \frac{R}{a}$ – безразмерный параметр, характеризующий условия обработки отверстия осевым инструментом. В частном случае, при $\gamma = 0$, $\sin \gamma = 0$, $\cos \gamma = 1$

$$\tan \Phi = \frac{\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 2\xi + 1 - K_0^2}}{K_0}. \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) параметр K_0 отражает особенности геометрии стружкообразования при обработке криволинейных поверхностей

$$K_0 = \frac{(K_a - 2 \sin \gamma) [\xi \cos^2 \gamma \pm \cos \gamma \sqrt{\xi^2 \cos^2 \gamma - (2\xi - 1)(1 + K_a^2 - 2K_a \sin \gamma)}]}{(1 + K_a^2 - 2K_a \sin \gamma)}. \quad (6)$$

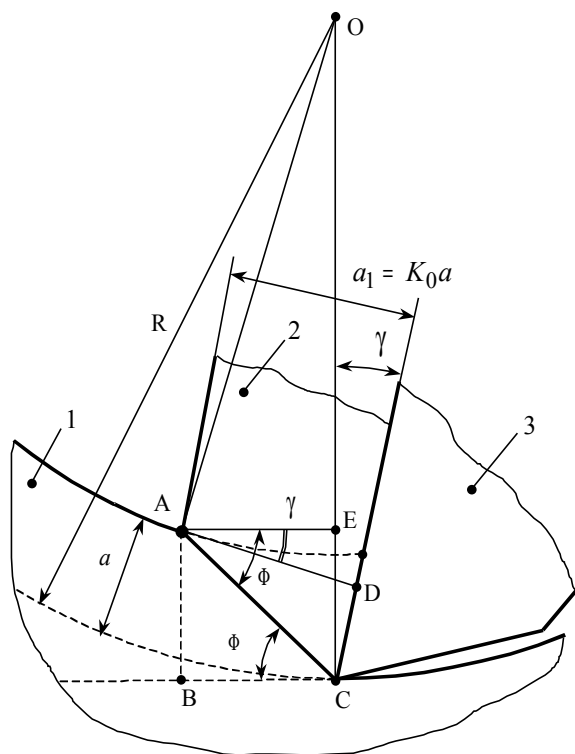


Рис. 1. Определение угла сдвига с учетом кривизны обрабатываемого отверстия: 1 – деталь, 2 – стружка, 3 – инструмент

В частном случае, при $\gamma = 0$, когда $\sin \gamma = 0$, $\cos \gamma = 1$,

$$K_0 = \frac{K_a \left(\xi - \sqrt{\xi^2 - (2\xi - 1)(1 + K_a^2)} \right)}{(1 + K_a^2)}. \quad (7)$$

Зависимости (4) и (5) позволяют определять значение угла сдвига исходя из экспериментальных данных о коэффициенте усадки стружки K_0 . Если такие данные отсутствуют, угол сдвига можно определить исходя из соотношений (6) и (7) между K_0 и K_a . Однако в этом случае угол сдвига необходимо определять из классического соотношения

$$\tan \phi = \frac{\cos \gamma}{K_a - \sin \gamma}. \quad (8)$$

Соотношение (5) вытекает из базового уравнения (3) и получено из предположения об одинаковом характере деформирования материала независимо от толщины срезаемого слоя.

Оно объективно отражает соотношение между K_0 и K_a при обработке вогнутых поверхностей и дает увеличение усадки стружки по сравнению с прямолинейными поверхностями, что подтверждается данными С.Н. Филоненко [5].

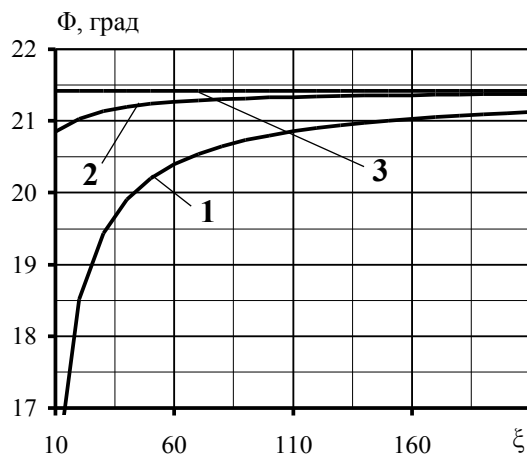
Поскольку зависимости (4) и (5) достаточно сложные, удобнее учитывать влияние кривизны обрабатываемой поверхности при помощи поправочных коэффициентов K_R и β_R . Полученные автором аналитические зависимости коэффициентов K_R и β_R в экспоненциальной форме имеет вид

$$K_R(R, \gamma) = \frac{\Phi_R}{\Phi} = \xi^{0,23} \gamma^{0,56} = R^{0,23} \gamma^{0,56} a^{-0,23}, \quad (9)$$

$$\beta_R(R, \gamma) = \frac{K_0}{K_a} = \xi^{0,71} \gamma^{1,32} = R^{0,71} \gamma^{1,32} a^{-0,71}, \quad (10)$$

где Φ_R – угол сдвига с учетом кривизны обрабатываемой поверхности.

Рис. 2. Зависимость угла сдвига от кривизны обрабатываемой поверхности ($\gamma = 0$): 1 – (4); 2 – (2); 3 – $R = \infty$



Проведенные исследования влияния кривизны на угол сдвига и на коэффициент усадки стружки показали, что несомненным объективным последствием криволинейно-

сти обрабатываемой поверхности является увеличение усадки стружки K_0 , которое подтверждается многочисленными экспериментальными данными. Поэтому уменьшение угла сдвига Φ , связанного с K_0 зависимостью (5) также является объективным показателем, оказывающим влияние на характер контактного взаимодействия в зоне резания. Степень влияния кривизны на угол сдвига при обработке отверстий малого диаметра достигает 15% и более и поэтому ее необходимо учитывать при исследовании точности обработки качественных отверстий.

Влияние температуры на угол сдвига связано с тем, что многие теплофизические и механические свойства материалов имеют ярко выраженную температурную зависимость. Учет этой зависимости для многих свойств материалов возможен с использованием известных соотношений [2,3,4] и с учетом физических процессов, происходящих в зоне резания при повышении температуры. Установлено, что температурное воздействие на характер резания передается в значительной степени через изменение характера контактного взаимодействия по передней поверхности инструмента (которое выражается через изменение коэффициента трения и сил адгезии), а также через изменение физико-механических характеристик обрабатываемого материала в условной плоскости сдвига. Известные способы учета температурного влияния на угол сдвига связаны с использованием температурной зависимости касательных напряжений q_F на передней поверхности инструмента. Эта зависимость, согласно [2], имеет вид

$$q_F = S_b[0,4 - 0,125 \cdot 10^{-3}(\theta_n^\circ - 600)]. \quad (11)$$

С учетом (11) автором была получена температурная зависимость угла сдвига в виде

$$\Phi = \arccos[0,3358 - 0,884 \cdot 10^{-4} \theta_n^\circ] - \frac{\pi}{4} + \gamma, \quad (12)$$

где θ_n° – средняя температура на передней поверхности инструмента.

Коэффициент усадки стружки при этом будет равен

$$K_a = \sin \gamma + \frac{\cos \gamma}{\tan \{ \arccos[0,3358 - 0,884 \cdot 10^{-4} \Theta_n^\circ] - \pi / 4 + \gamma \}}. \quad (13)$$

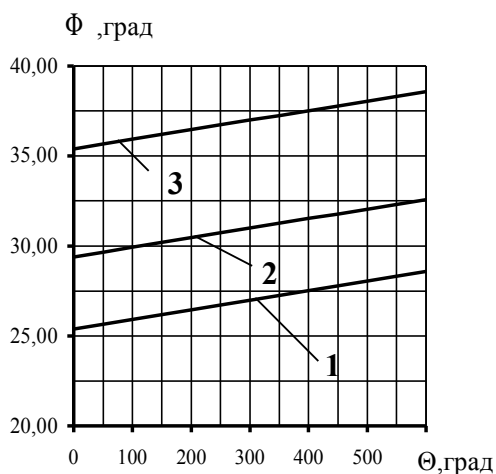


Рис. 3. Температурная зависимость угла сдвига:

1) $\gamma = 0^\circ$; 2) $\gamma = 4^\circ$; 3) $\gamma = 10^\circ$

На рис.3 приведена зависимость угла сдвига от температуры согласно (12). Из приведенных данных видно, что эта зависимость носит практически линейный характер. Как и влияние кривизны, степень температурного воздействия на угол сдвига удобно выразить через относительный коэффициент

$$K_\theta = \frac{\tan \Phi(\theta)}{\tan \Phi(0)}, \quad (14)$$

значения которого в интервале температур $\theta = 0 \div 600^\circ\text{C}$ можно представить в виде

$$K_{\theta}(\theta, \gamma) = 0,00039\gamma^{0,65}\theta. \quad (15)$$

В зависимостях (12)-(15) температурное воздействие на характер процесса резания учитывается непосредственно через температуру в зоне контакта. Однако эти зависимости не учитывают изменения параметров режимов резания и особенностей работы осевого инструмента. Влияние этих факторов можно учесть, используя выражение (1), в котором косвенно учитывается влияние температуры через изменения основных параметров режимов резания: скорости резания V , подачи S и глубины резания t , а также через температурную зависимость физико-механических и теплофизических свойств материалов. Для этого представим (1) в виде

$$\tan \Phi = 1,51V^{0,21}S^{0,58}t^{-0,3}K_{\varphi}K_{\delta}K_{\rho}K_{\lambda}, \quad (16)$$

где $K_{\varphi} = \sin^{0,88} \varphi \cdot (\pi - \varphi - \varphi_1)^{-0,21}$ – коэффициент, учитывающий влияние угла заострения резца в плане, $K_{\delta} = (\pi / 2 - \alpha - \gamma)^{-0,21}(1 - \sin \gamma)^{-0,65}$ – коэффициент, учитывающий влияние угла заострения в главной секущей плоскости, $K_{\rho} = \rho^{-0,07}$ – коэффициент, учитывающий влияние радиуса округления вершины режущей кромки, $K_{\lambda} = c\rho^{0,21}\lambda_p^{-0,21}$ – коэффициент, учитывающий влияние свойств обрабатываемого материала.

Анализ зависимости (16) показал, что наибольшее влияние на угол сдвига в пределах рекомендованных диапазонов оказывает главный угол в плане φ и подача S , и позволил разработать аналитическую зависимость для определения угла сдвига Φ при финишных операциях обработки отверстий с учетом влияния теплового воздействия и кривизны обрабатываемой поверхности в виде

$$\Phi = a \tan[\psi V^{0,21}S^{0,58}t^{-0,3}], \quad (17)$$

где

$$\psi = K_{\varphi}K_{\delta}K_{\rho}K_{\lambda}K_RK_{\theta}. \quad (18)$$

Экспериментальные замеры показали хорошую сходимость с расчетными значениями угла сдвига по предложенной методике. Рассогласование результатов теоретических (17) и экспериментальных [6] исследований не превышали 12%.

Таким образом, полученная автором зависимость позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью определять значения угла сдвига при обработке отверстий. При этом в ней используются различные объективные параметры, не требующие экспериментальных замеров. Резервом повышения точности определений угла сдвига в (17) является учет температурного влияния на физико-механические свойства контактируемых материалов, что требует дополнительных исследований.

Список литературы: 1. Розенберг Ю.А. Методы аналитического определения степени деформации металла стружки при резании / Вестник машиностроения. – 2001. – №3. – С. 34-37. **2.** Виноградов А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами. – К.: Наукова думка, 1985. – 263с. **3.** Силин С.С., Баранов А.В. Оптимизация операций механической обработки по энергетическим критериям // СТИН. – 1999. – №1. – С.16-17. **4.** Баранов А.В. Расчет режимов резания при обработке отверстий осевым инструментом / Вестник машиностроения. – 2002. – №2. – С.45-48. **5.** Филоненко С.Н. Резание металлов. - К.: Техника, 1975. – 232 с. **6.**

Малышко И.А. Основы теории проектирования осевых комбинированных инструментов: Автореф. дис... докт. техн. наук. – К., 1995. – 36 с. 7. Татьянченко А.Г., Малышко И.А. Влияние кривизны обработанной поверхности на характер тепловыделения по задней поверхности инструмента при обработке отверстий // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – Вып.21. – С. 80-85.

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ЗСУВУ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ ОСЬОВИМ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Татьянченко О.Г.

У статті запропонована аналітична залежність для визначення кута зсуву при обробці отворів, яка враховує вплив кривизни оброблюваної поверхні і температуру в зоні різання. Залежність використовує тільки відомі параметри і не вимагає експериментальних вимірів.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА СДВИГА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Татьянченко А.Г.

В статье предложена аналитическая зависимость для определения угла сдвига при обработке отверстий, которая учитывает влияние кривизны обрабатываемой поверхности. Зависимость использует только известные параметры и не требует экспериментальных замеров.

DETERMINATION OF THE SHIFT ANGLE ON MACHINING OF THE HOLES WITH AXIAL CUTTING TOOLS

Tatjanchenko A.G.

In the paper the dependence for determination of shift angle on machining of the holes is proposed. The dependence take into account the influence of curvature of cutting surface and the temperature in the cutting zone. The dependence employ only the determine parameters and do not required of experimental measurements.