

УДК 621.9.02

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЁРТОК И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ НА УГОЛ СБЕГА СТРУЖКИ

**Мирошниченко А.В.**  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Одной из основных причин, вызывающих увеличение шероховатости поверхности отверстий, обработанных развёрткой, является соприкосновение стружки с обработанной поверхностью. Для устранения данного недостатка процесса обработки развёртками, целесообразно направлять стружку на обрабатываемую поверхность заготовки. Управлять направлением движения стружки можно за счёт изменения угла сбегания стружки.

Среди геометрических параметров режущего инструмента угол наклона главной режущей кромки  $\lambda^{\circ}$ , передний угол  $\gamma^{\circ}$ , и главный угол в плане  $\varphi^{\circ}$  занимают особое место. Так изменение углов  $\gamma^{\circ}$  и  $\varphi^{\circ}$  влияют на положение поверхности резания или на толщину срезаемого слоя  $a$ .

Угол  $\lambda^{\circ}$  оказывает наибольшее влияние на главные характеристики процесса резания и в первую очередь на деформирование срезаемого слоя. Изменение угла наклона главной режущей кромки вызывает одновременное изменение положения передней поверхности относительно направления движения инструмента (поверхности резания), и соотношение между толщиной срезаемого слоя и рабочей длиной режущей кромки  $\frac{a}{b}$ . При этом изменяется не только рабочая длина режущей кромки, но и зачастую толщина срезаемого слоя. Одновременное изменение ориентации передней поверхности и отношения  $\frac{a}{b}$  вызывает изменение угла сдвига, величины нормальной силы, силы трения и силы сдвига. Кроме того, сила трения и сила сдвига при изменении угла наклона главной режущей кромки изменяют не только свою величину, но и направление и уже не располагаются в плоскости, нормальной к режущей кромке. В зависимости от изменения ориентации передней поверхности изменяется и направление сбегания стружки, отклоняясь от перпендикуляра к режущей кромке на больший или меньший угол.

Целью данной работы является определение степени влияния геометрических параметров развёрток, а также режимов резания на направление движения стружки и непосредственно на угол сбегания стружки.

Комплексные исследования влияния геометрических параметров осевых инструментов на процесс резания и на направление движения стружки отсутствуют. Известны исследования [1, 2], относящиеся к отдельным, частным вопросам процесса резания резцами.

Основными задачами, решаемыми в данной статье, являются:

- 1) определение степени влияния геометрических параметров развёрток на параметры, характеризующие контакт зуба инструмента со срезаемым слоем;
- 2) определение степени влияния геометрических параметров развёртки на направление движения стружки;

- 3) определение степени влияния режимов резания развёртки на угол сбег стружки.

Параметрами, характеризующими контакт инструмента со срезаемым слоем, являются толщина срезаемого слоя и рабочая длина режущей кромки.

Толщина среза – расстояние, измеренное по нормали, между последовательными положениями поверхности резания или её соседними витками. Рабочая длина режущей кромки есть длина участка главной режущей кромки, находящегося в соприкосновении с поверхностью резания. При угле  $\lambda \neq 0$  рабочая длина режущей кромки не равна ширине срезаемого слоя и её величина зависит от величины и знака угла  $\lambda^o$ . Толщина среза также зависит от угла наклона  $\lambda^o$ , изменяясь при изменении абсолютного значения  $\lambda^o$  и его знака.

Для количественной оценки степени влияния угла  $\lambda^o$  на толщину срезаемого слоя и рабочую длину режущей кромки составим уравнения, связывающие их величину с величиной и знаком угла наклона главной режущей кромки зенкера  $\lambda^o$ .

Задача определения толщины срезаемого слоя в зависимости от угла  $\lambda^o$ , с математической точки зрения, решается следующим образом. Составляем уравнение поверхности резания и касательной к ней плоскости в данной точке главной режущей кромки. Положение касательной плоскости в пространстве фиксируем нахождением следов пересечения её с какими либо двумя координатными плоскостями. Отыскиваем расстояние по нормали между касательными плоскостями, отстоящими друг от друга в направлении движения подачи на расстоянии равном подаче на зуб  $s_z$ , приходящейся на одну режущую кромку инструмента. Данное расстояние с достаточной точностью может быть принято за толщину срезаемого слоя. На рис. 1 представлена схема развёртывания отверстия с углом  $\lambda \neq 0$ .

Рис. 1. Схема развёртывания отверстия с углом  $\lambda \neq 0$

Параметрические уравнения винтовой поверхности резания в декартовой системе координат примут вид

$$\begin{cases} X = \rho \cdot \cos(\theta + \nu) ; \\ Y = \rho \cdot \sin(\theta + \nu) ; \\ Z = \frac{s \cdot \theta}{2 \cdot \pi} + \operatorname{tg}(\varphi_k) \cdot \sqrt{\rho^2 - r_0^2} . \end{cases} \quad (1)$$

где  $\theta^o$  – угол поворота, отсчитываемый от оси  $X$ , точки касания продолжения проекции режущей кромки с основным цилиндром;

$\nu^o$  – угол, определяющий положение любой точки режущей кромки относительно точки касания её проекции с основным цилиндром;

$r_0$  – радиус основного цилиндра поверхности резания, мм;

$s$  – подача на оборот, мм/об;

$\rho$  – произвольный радиус поверхности резания;

$\varphi_k^o$  – угол наклона главной режущей кромки к оси изделия в плоскости, проходящей через главную режущую кромку параллельно оси изделия.

Уравнение (1) является уравнением конвольютной винтовой поверхности [3]. Действительно, если при угле  $\lambda = 0^o$  поверхность резания представляет собой архимедову винтовую поверхность, то при угле  $\lambda$ , отличным от  $0^o$ , поверхность резания превращается в конвольютную винтовую поверхность.

Уравнение касательной плоскости к поверхности резания в любой точке главной режущей кромки, а также толщина срезаемого слоя для условий конвольютной винтовой поверхности были определены в работе [1].

Толщина срезаемого слоя при развёртывании с углом наклона главной режущей кромки  $\lambda \neq 0^o$  определяется из выражения:

$$a = s_Z \cdot \sin \varphi_Z \cdot \sin \sigma_N, \quad (2)$$

где  $s_Z$  – подача на зуб инструмента, мм/зуб;

угол  $\sigma_N$  определится из уравнения

$$\operatorname{tg} \sigma_N = \frac{\operatorname{tg} \varphi_Z}{\sin \varphi_Z}, \quad (3)$$

где  $\varphi_Z^o$  – угол наклона прямой линии, характеризующей след пересечения касательной плоскости с координатной плоскостью  $XOZ$  по отношению к оси  $Z$ ;

$\sigma_Z^o$  – угол наклона прямой линии, характеризующей след пересечения касательной плоскости с координатной плоскостью  $YOZ$  по отношению к оси  $Z$ .

Угол  $\varphi_Z^o$  можно определить из выражения

$$\operatorname{tg} \varphi_Z = \frac{1}{\frac{s \cdot x / 2\pi}{x^2 + y^2} - \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 - r_0^2}} \cdot \left( \frac{s \cdot r_0 / 2\pi}{x^2 + y^2} - \operatorname{tg} \varphi_k \right)}. \quad (4)$$

Угол  $\sigma_z^o$  соответственно равен

$$\operatorname{tg} \sigma_z = \frac{1}{-\frac{s \cdot y / 2\pi}{x^2 + y^2} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 - r_0^2}} \cdot \left( \frac{s \cdot r_0 / 2\pi}{x^2 + y^2} - \operatorname{tg} \varphi_k \right)}. \quad (5)$$

Рабочая длина режущей кромки, в случае отсутствия переходной режущей кромки, согласно рис. 1 равна

$$b_{pa\bar{b}} = \frac{\sqrt{R^2 - r_0^2} - \sqrt{r^2 - r_0^2}}{\sin \varphi_k}. \quad (6)$$

Радиус основного цилиндра винтовой поверхности  $r_0$  и угол  $\varphi_k^o$ , входящие в уравнение (6), можно определить следующим образом

$$r_0 = R \cdot \sin \lambda_k; \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \lambda_k}, \quad (8)$$

где угол  $\lambda_k$  согласно рис. 1 равен

$$\operatorname{tg} \lambda_k = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\sin \varphi}. \quad (9)$$

Для количественной оценки степени влияния углов развёртки  $\lambda^o$  и  $\varphi^o$  на толщину срезаемого слоя и рабочую длину режущей кромки воспользуемся уравнениями (2 – 9).

Определим степень влияния угла наклона главной режущей кромки  $\lambda^o$  и главного угла в плане  $\varphi^o$  на рабочую длину режущей кромки развёртки  $b$ , при глубине резания 0,1 мм, диаметре инструмента  $d_{разв} = 20$  мм. Результаты расчётов приведены на рис. 2.

Из графика (см. рис. 2) видно, что при уменьшении угла  $\varphi^o$  рабочая длина режущей кромки развёртки увеличивается и, наоборот, при увеличении угла  $\lambda^o$  рабочая длина режущей кромки уменьшается. Однако стоит отметить, что влияние угла наклона главной режущей кромки развёртки при углах  $\varphi \geq 10^o$  оказывает малое влияние на изменение величины рабочей длины режущей кромки. Так, в рассматриваемом примере, разница рабочих длин режущей кромки при угле  $\varphi = 15^o$  для углов  $\lambda = (-5^o)$  и  $\lambda = (-25^o)$  составила всего 0,046 мм. В то же время при угле  $\varphi = 5^o$  уменьшение угла наклона главной режущей кромки  $\lambda^o$  приводит к резкому увеличению рабочей длины режущей кромки развёртки. Это является свидетельством того, что при величине глав-

ного угла в плане  $\varphi = 5^\circ$  можно достичь максимально возможного отклонения стружки от перпендикуляра к главной режущей кромки в направлении подачи.

Рис. 2. Влияние углов  $\lambda^\circ$  и  $\varphi^\circ$  на рабочую длину режущей кромки развёртки:

1 – главный угол в плане  $\varphi = 5^\circ$ ; 2 –  $\varphi = 10^\circ$ ; 3 –  $\varphi = 15^\circ$

Определим степень влияния угла  $\lambda^\circ$  при развёртывании на толщину срезаемого слоя. В качестве примера рассмотрим обработку отверстия диаметром 19,8 мм развёрткой со следующими геометрическими и конструктивными параметрами:  $d_{раз} = 20$  мм;  $Z = 8$ ;  $\lambda = -5^\circ \dots -30^\circ$ ;  $\varphi = 15^\circ$  при подаче  $s_o = 0,8$  мм/об. Результаты расчётов представлены в виде графика (рис. 3).

Рис. 3. Влияние угла  $\lambda^\circ$  на толщину среза при развёртывании:

1 – для точки, лежащей на обрабатываемой поверхности;  
2 – для точки, лежащей на обработанной поверхности

Проанализировав расчётные данные (рис. 3), можно сделать следующий вывод: толщина срезаемого слоя по длине режущей кромки развёртки не одинакова. Изменение толщины срезаемого слоя по длине режущей кромки развёртки становится заметной только при углах  $\lambda^o \leq (-25^o)$ .

Таким образом, на параметры, характеризующие контакт зубьев развёртки со срезаемым слоем (толщина срезаемого слоя и рабочая длина режущей кромки), оказывают наибольшее влияние режимы резания ( $t, s_z$ ), а так же главный угол в плане  $\varphi^o$  и угол наклона главной режущей кромки  $\lambda^o$ .

Угол сбегания стружки при развёртывании определяется по формуле [4]:

$$\eta_c^{разв} = \arctg \left[ \frac{\sin(\varphi - \varphi_0 - \nu + \nu_0)}{b/b_0 + \cos(\varphi - \varphi_0 - \nu + \nu_0)} \right] + \arctg \left[ \frac{\sin(\varphi + \varphi_1 - \nu - \psi_1)}{b'/b_1 + \cos(\varphi + \varphi_1 - \nu - \psi_1)} \right] + \nu, \quad (10)$$

где  $b, b_0, b_1$  – рабочая длина главной режущей кромки, рабочая длина переходной режущей кромки и рабочая длина вспомогательной режущей кромки соответственно;

$b' = \sqrt{b^2 + b_0^2 + 2 \cdot b \cdot b_0 \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)}$  [1] – большая сторона треугольника, двумя другими сторонами которого являются главная и переходная режущие кромки;

$\varphi^o, \varphi_0^o, \varphi_1^o$  – главный угол в плане, переходной угол в плане и вспомогательный угол в плане соответственно;

$\nu^o, \nu_0^o$  – угол, на величину которого отклоняется сила трения, действующая на режущей кромке, от перпендикуляра к ней [4];

$$\psi_1 = \arctg \left( \frac{\sin(\varphi - \varphi_0 - \nu + \nu_0)}{b/b_0 + \cos(\varphi - \varphi_0 - \nu + \nu_0)} \right) - \text{угол между силой трения на главной}$$

режущей кромке и результирующей силой трения на главной и переходной режущих кромках [4].

На основании выражения (10) рассмотрим влияние следующих геометрических параметров развёртки на направление движения стружки: угол наклона главной режущей кромки, главный угол в плане.

На рис. 4 представлен график зависимости, отражающей влияние угла наклона главной режущей кромки развёртки  $\lambda^o$  и режимов резания ( $t$ , (мм);  $s_z$ , (мм/зуб)) на величину угла сбегания стружки  $\eta_c^o$ . Кривые были получены путём расчёта по формуле (10) при следующих значениях геометрических параметров развёртки и её режимов резания:  $\varphi = 5^o$ ;  $\varphi_0^o = \frac{\varphi^o}{2}$ ;  $s_z = 0,1$  мм/зуб;  $b_0 = 0,2$  мм;  $t = 0,1 \dots 0,25$  мм.

Из графика, представленного на рис. 4, можно сделать следующие выводы:

1) устойчивый стружкоотвод при значении главного угла в плане  $\varphi = 5^o$  в направлении подачи будет происходить при любых отрицательных углах  $\lambda^o$  вне зависимости от режимов резания;

2) при развёртывании с углом в плане  $\varphi \in 5^\circ$ , величина угла сбега стружки  $\eta$  увеличивается при больших значениях отношения  $t/s_Z$ . В связи с этим возникает необходимость в рассмотрении влияния главного угла в плане  $\varphi^0$  на угол сбега стружки.

Расчёт влияния главного угла в плане развёртки на величину угла сбега проведём по формуле (10) при следующих значениях геометрических параметров и режимов резания развёртки:  $\varphi = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ ;  $\varphi_0^0 = \frac{\varphi^0}{2}$ ;  $s_Z = 0,1$  мм/зуб;  $t = 0,1 \dots 0,25$  мм;  $\lambda = (-15^\circ)$ ;  $b_0 = 0,2$  мм. Результаты расчётов представлены на рисунке 5.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

– при развёртывании увеличение угла  $\varphi^0$  приводит к росту значений угла сбега стружки, т.е. для обеспечения

$\eta$   $s_Z$   $0$

$0$   $\eta$   $s_Z$

1

Расчёт влияния длины переходной режущей кромки на угол  $\eta_C^o$  проведём по формуле (10) при следующих значениях геометрических параметров и режимов резания развёртки:

$$\varphi = 15^o; \quad \varphi_0^o = \frac{\varphi^o}{2}; \quad s_z = 0,1$$

$$\text{мм/зуб}; \quad t = 0,1 \dots 0,25 \quad \text{мм};$$

$\lambda = (-15^o); \quad b_0 = 0,2 \dots 0,5 \quad \text{мм}$ . Результаты расчётов представлены на рис. 6.

Проанализировав полученные зависимости

$$\eta_C^o = f(\varphi, s_z, t) \quad \text{можно сказать,}$$

что увеличение длины переходной режущей кромки, приводит к нивелированию влияния главной режущей кромки на угол сбега стружки.

Нетрудно заметить, что в тех случаях, когда на направление дви-

жения стружки наибольшее влияние оказывает переходная режущая кромка, угол сбега увеличивается. Таким образом, при применении развёрток с малыми отрицательными углами  $\lambda^o$  необходимо стремиться к максимально возможному уменьшению длины переходной режущей кромки.

**Список литературы:** 1. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металла. – М.: Машгиз, 1962. – 149 с. 2. Филоненко С.Н. Резание металлов. – К.: Вища школа, 1969. – 260 с. 3. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1968 – 376 с. 4. Мирошниченко А.В. Взаимосвязь направления схода стружки с шероховатостью обработанной поверхности при развёртывании/ Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Машинобудування і машинознавство». Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Вип. 71. – С. 110-119

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗВЕРТОК  
І РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ РОЗВЕРТАННІ НА КУТ ЗБІГУ СТРУЖКИ

Мірошніченко О.В.

У статті розглядається питання визначення впливу геометричних параметрів розверток на процес різання і на напрям руху стружки. Отримані результати дозволяють встановити найбільш оптимальне поєднання геометричних параметрів розверток для управління напрямом руху стружки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЁРТОК  
И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ НА УГОЛ СБЕГА СТРУЖКИ

Мирошніченко А.В.

В статье рассматривается вопрос определения влияния геометрических параметров развёрток на процесс резания и на направление движения стружки. Полученные результаты позволяют установить наиболее оптимальное сочетание геометрических параметров развёрток для управления направлением движения стружки.

DETERMINATION OF INFLUENCE OF GEOMETRICAL PARAMETERS  
OF REAMERS AND CUTTING CONDITIONS AT REAMING ON CHIP  
RUN OFF ANGLE

Miroshnichenko A.V.

In the paper the question of determination of influence of geometrical parameters of reamers on the process of cutting and on direction of chip run off is examined. The results obtained allow to set the most optimum combination of geometrical parameters of reamers for control of direction of chip motion.

*Рецензент: д.т.н., доц. Гусев В.В.*