

**ВЗАИМОСВЯЗЬ НАПРАВЛЕНИЯ СХОДА СТРУЖКИ С ШЕРОХОВАТОСТЬЮ
ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗВЁРТЫВАНИИ****Мирошниченко А. В.***(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

На основании анализа ранее проведённых исследований установлено, что одной из основных причин, вызывающих увеличение шероховатости поверхности отверстий, обработанных развёртками, является царапание её сходящей стружкой. Изменить направление движения стружки в сторону подачи при недостаточных размерах стружечных канавок можно за счёт отрицательного угла наклона главной режущей кромки ($-\lambda$). Это исключит повреждение обработанной поверхности сходящей стружкой.

По рекомендациям Родина П.Р. [1] для обеспечения движения стружки в направлении подачи, угол λ должен быть от -10° до -12° . Антонюк В.И. считает [2], что надёжным способом направления стружки вперёд является угол λ от -3° до -10° . Таким образом, для отвода стружки в направлении подачи развёртки угол наклона режущей кромки рекомендуется принимать от -3° до -12° . Данные значения угла λ рекомендуются на основе экспериментальных исследований. В литературе известны аналитические зависимости для определения среднего угла сбега стружки [3, 4, 5]. Однако они разработаны для обработки резцами, что не удовлетворяет условиям работы развёрток. Помимо этого в вышеперечисленных уравнениях не учитывается одновременное влияние на среднее направление схода стружки переднего угла γ_N , углов в плане (φ , φ_0 , φ_1). Аналитически проблема влияние угла наклона главной режущей кромки на угол сбега стружки и при развёртывании остаётся не исследованной.

Наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывают режимы резания. Так автор работы [6] утверждает, что при увеличении подачи (S_0), шероховатость обработанной поверхности увеличивается прямо пропорционально. В то же время при скоростях резания от 2 до 5 м/мин шероховатость поверхности минимальна, при увеличении скорости резания до 18 – 25 м/мин она резко увеличивается. При дальнейшем увеличении скорости резания, шероховатость начинает снижаться, что объясняется явлением наростообразования. Аналогичные результаты были получены и автором [7], который считает, что все изменения микронеровностей, происходящие при увеличении S связаны с процессом стружкообразования и застойными явлениями на передней поверхности зуба развёртки.

Целью данной работы является определение влияния угла наклона главной режущей кромки в диапазоне от -3° до -21° на направление движения стружки. А также экспериментальное определение влияния режимов резания и угла наклона главной режущей кромки на шероховатость обработанной поверхности.

Механизм образования и движения стружки при развёртывании (рис. 1) можно представить следующим образом. Деформирование металла происходит в плоскости наибольших деформаций, совпадающей с направлением действия равнодействующей силы трения на всех режущих кромках, участвующих в образовании стружки. Стружка из точки А при перемещении зуба развёртки на величину L_p сместится в точку А₁, положение которой зависит от величины переднего угла γ_N . Расстояние АА₁ обусловлено

коэффициентом усадки стружки. Линия A_1B , совпадающая с краем образующейся стружки и равная ей по длине, определяет величину угла сбега η_c .

Из рис. 1 определим угол ν , на величину которого отклоняется сила трения, действующая на режущей кромке, от перпендикуляра к ней. Угол наклона режущей кромки λ равен

$$\operatorname{tg} \lambda = BC / A_1C, \quad (1)$$

где: $A_1C = \frac{L_p \cdot \cos \lambda}{K_{LN}}$; $BC = X_1 = X + A_2C$;

$X = L_p \cdot (\sin \lambda - \cos \lambda \cdot \operatorname{tg} \nu)$; $A_2C = A_1C \cdot \sin \gamma_N \cdot \operatorname{tg} \nu$;

$K_{LN} = \frac{\sin \gamma_N + \cos \gamma_N}{\operatorname{tg}(\arccos 0,5 / \sqrt{2} - \pi/4 + \gamma_N)}$ [9]. – коэффициент нормального укорочения

стружки.

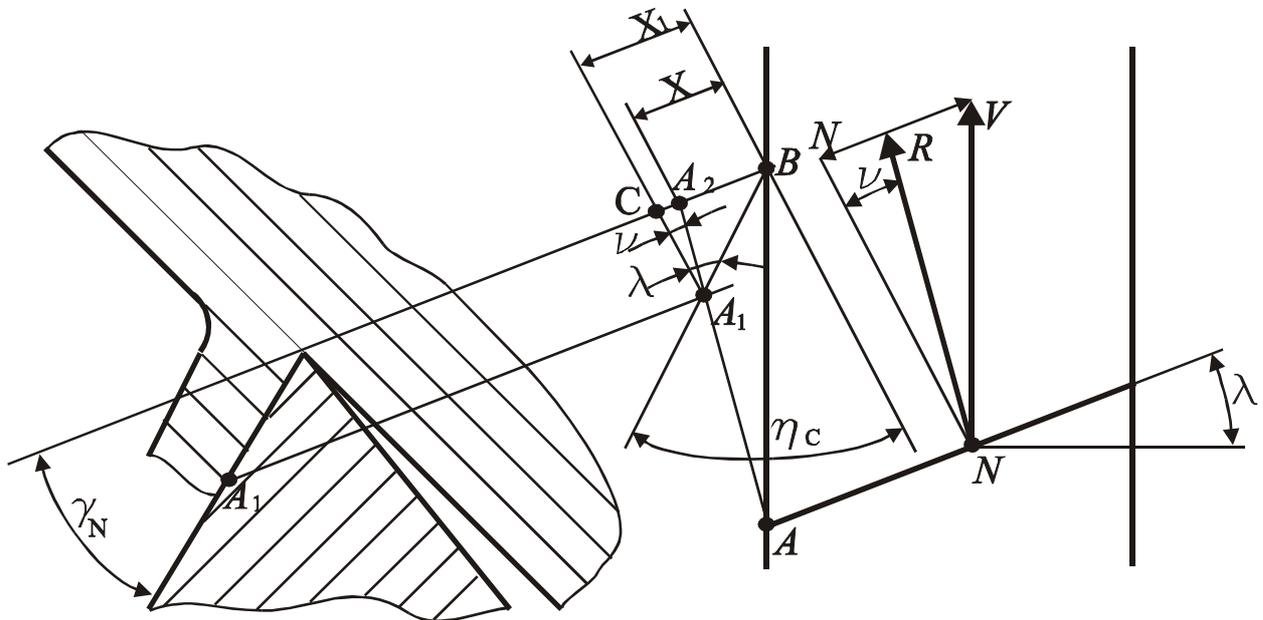


Рис. 1. Схема образования угла сбега стружки при развёртывании

После соответствующих преобразований выражения (1) получаем

$$\operatorname{tg} \nu = \operatorname{tg} \lambda \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_N - K_{LN}} \right). \quad (2)$$

Для определения угла сбега стружки в условиях резания развёрткой с углом наклона главной режущей кромки $\lambda \neq 0$ (рис. 2) воспользуемся методикой, предложенной в работе [8].

Угол сбега стружки при развёртывании, согласно рис.2. будет равен:

$$\eta_c = \psi_1 + \psi_2 + \nu, \quad (3)$$

где $tg\psi_1 = \frac{\sin(\varphi - \varphi_0 - \nu + \nu_0)}{b/b_0 + \cos(\varphi - \varphi_0 - \nu + \nu_0)}$ – угол между силой трения на главной ре-

жущей кромке и результирующей силой трения на главной и переходной режущих кромках;

$tg\psi_2 = \frac{\sin(\varphi + \varphi_1 - \nu - \psi_1)}{b'/b_1 + \cos(\varphi + \varphi_1 - \nu - \psi_1)}$ – угол между результирующей силой трения

на главной, вспомогательной и переходной режущих кромках и результирующей силой трения на главной и переходной режущих кромках.

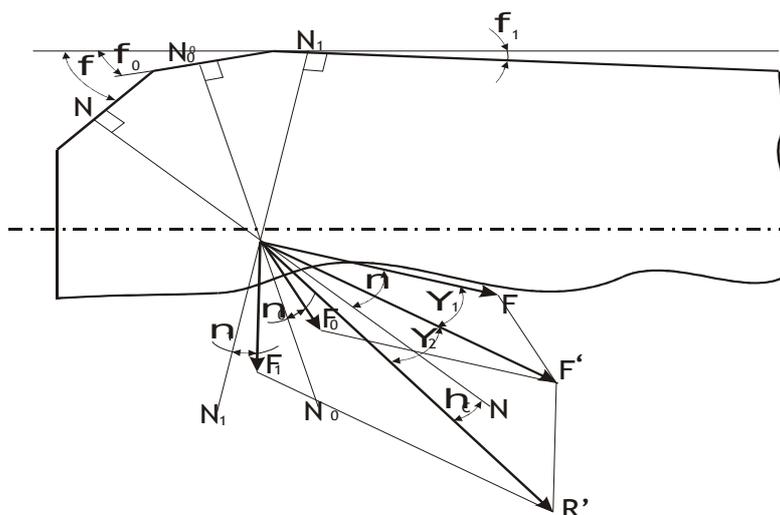


Рис. 2. Расчётная схема для определения угла сбега стружки

После преобразования выражения (2) с учётом зависимости (3) было получено следующее выражение:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_c = \psi_1 + \psi_2 + \arctg \left[tg\lambda \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_N - K_{LN}} \right) \right] \\ \psi_1 = \arctg \left[\frac{\sin \left(\varphi - \varphi_0 - \arctg \left[tg\lambda \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_N - K_{LN}} \right) \right] + \arctg \left[tg\lambda_0 \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_{N0} - K_{LN}} \right) \right] \right)}{b/b_0 + \cos \left(\varphi - \varphi_0 - \arctg \left[tg\lambda \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_N - K_{LN}} \right) \right] + \arctg \left[tg\lambda_0 \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_{N0} - K_{LN}} \right) \right] \right)} \right]; \quad (4) \\ \psi_2 = \arctg \left[\frac{\sin \left(\varphi + \varphi_1 - \arctg \left[tg\lambda \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_N - K_{LN}} \right) \right] - \psi_1 \right)}{b'/b_1 - \cos \left(\varphi + \varphi_1 - \arctg \left[tg\lambda \cdot \left(\frac{1 - K_{LN}}{\sin \gamma_N - K_{LN}} \right) \right] - \psi_1 \right)} \right] \end{array} \right.$$

где $b = \frac{t - b_0 \cdot \sin \varphi_0}{\sin \varphi}$ – рабочая длина главной режущей кромки;

$b_1 = \frac{s_z \cdot \sin \varphi_0}{\sin(\varphi_1 + \varphi_0)}$ – рабочая длина вспомогательной режущей кромки;

$b_0 = 0,2\text{мм}$ – рабочая длина переходной режущей кромки.

На основании выражения (4) проанализируем влияние угла наклона главной режущей кромки и величины подачи на зуб инструмента (s_z) на величину угла сбега стружки с учётом того, что главный угол в плане $\varphi = 15^\circ$, угол в плане переходной режущей кромки $\varphi_0 = 7,5^\circ$, передний угол $\gamma_N = 10^\circ$, подача $s_z = 0,125\text{мм/зуб}; 0,25\text{мм/зуб}$, глубина резания $t = 0,25\text{мм}$. График зависимости угла сбега стружки представлен на рис.3.

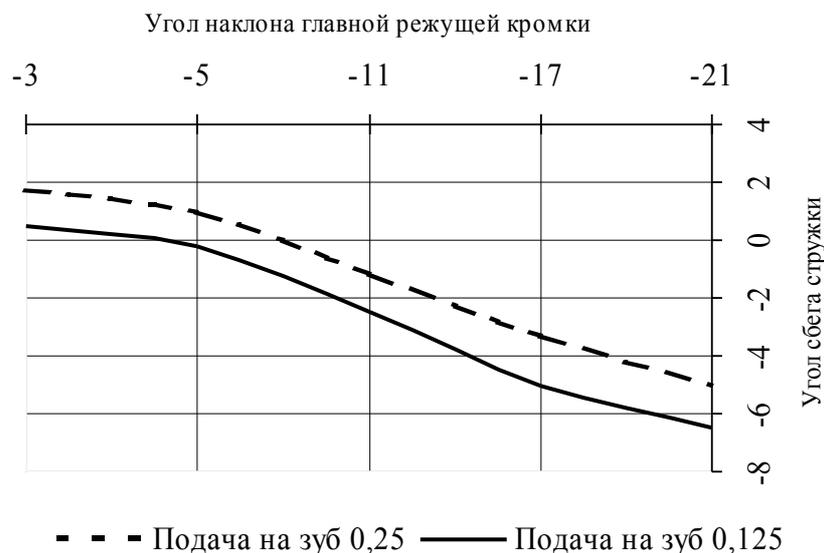


Рис. 3. График зависимости угла сбега стружки от угла наклона главной режущей кромки λ и подачи s_z

Как видно из графика, устойчивый процесс движения стружки в направлении подачи развёртки начинается при значении угла наклона главной режущей кромки, превышающем -7° при подаче $s_z = 0,25$, с уменьшением подачи значение угла λ увеличивается до -5° .

Таким образом, диапазон изменения угла наклона главной режущей кромки λ при экспериментальных исследованиях целесообразно ограничить значениями от -7° до -21° . Нижнее значение угла λ обусловлено тем, что при меньших значениях заточка передней поверхности развёртки становится невозможной из-за повреждения шлифовальным кругом соседнего зуба.

За модель, описывающую зависимость угла сбегания стружки от величины угла наклона главной режущей кромки, скорости резания и величины подачи, принимаем уравнение первой степени с учётом взаимного влияния факторов

$$\eta_c = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (5)$$

где b_0, b_1, b_2, b_{12} – коэффициенты регрессии;

$$x_1 = \frac{\lambda - \lambda_{осн}}{\Delta \lambda} \text{ – кодированное значение угла } \lambda;$$

$$x_2 = \frac{S_z - S_{zосн}}{\Delta S_z} \text{ – кодированное значение подачи;}$$

Значения постоянных коэффициентов для уравнения $\eta_c = f(s_z, \lambda)$ определяются по следующей зависимости

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot y_u}{n}, \quad (6)$$

где y_u – средний отклик;

$n = 5$ – количество параллельных опытов.

На основании выражения 6 имеем: $b_0 = -3,25$; $b_1 = -2,75$; $b_2 = 0,75$; $b_{12} = 0,25$.

Проверка однородности дисперсии угла сбегания стружки при одинаковом числе повторных опытов во всех точках плана производится по критерию Кохрена: $[G = 0,433] < [G(0,05;4;8) = 0,6287]$. Гипотеза однородности дисперсии принимается, так как табличное значение G превышает расчётное.

Оценка значимости коэффициентов производили с помощью критерия Стьюдента

$$|\Delta b_i| > \Delta b_i = t(0,05; f_y) \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует: $\Delta b_i = 2,12 \cdot \frac{\sqrt{0,505}}{\sqrt{4}} = 0,75$. Так как $0,25 < 0,75$, коэффициент b_{12} является незначимым.

Тогда уравнение регрессии для угла сбегания стружки примет вид

$$\eta_c = -3,25 - 2,75 \cdot x_1 + 0,75 \cdot x_2. \quad (8)$$

Проверка адекватности линейной модели выполнялась по критерию Фишера.

Модель является адекватной, так как выполняется условие:

$$F_p = \frac{0,421}{0,505} = 0,833 < 3,48_{(0,05;4;12)}.$$

Доверительный интервал при ограниченных объемах испытаний определяется зависимостью вида

$$\Delta x = \pm \frac{t_{(0,05;f_y)} \cdot s}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

где $t_{(0,05;f_y)}$ – критерий Стьюдента;

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{0,505} \text{ – среднее квадратическое отклонение;}$$

n – количество параллельных экспериментов.

Из выражения (9) имеем доверительный интервал $\Delta x = \pm 2,25^\circ$. Так как максимальное расхождение между экспериментально определенным углом сбега стружки и средним значением этого угла равно 1° , а величина доверительного интервала равна $2,25^\circ$, то пятикратное повторение опыта является достаточным.

Об адекватности математической модели зависимости угла сбега стружки от угла наклона главной режущей кромки, можно судить по совпадению теоретических данных с экспериментальными.

Сравнительные характеристики результатов эксперимента и значений, полученных в результате аналитических расчётов, согласно выражения (4), для угла наклона главной режущей кромки изменяющемся от -7° до -21° представлены в виде графиков на рисунках 4 и 5. Для экспериментальных значений, полученных в результате расчёта по формуле (8), на графиках представлены доверительные интервалы.

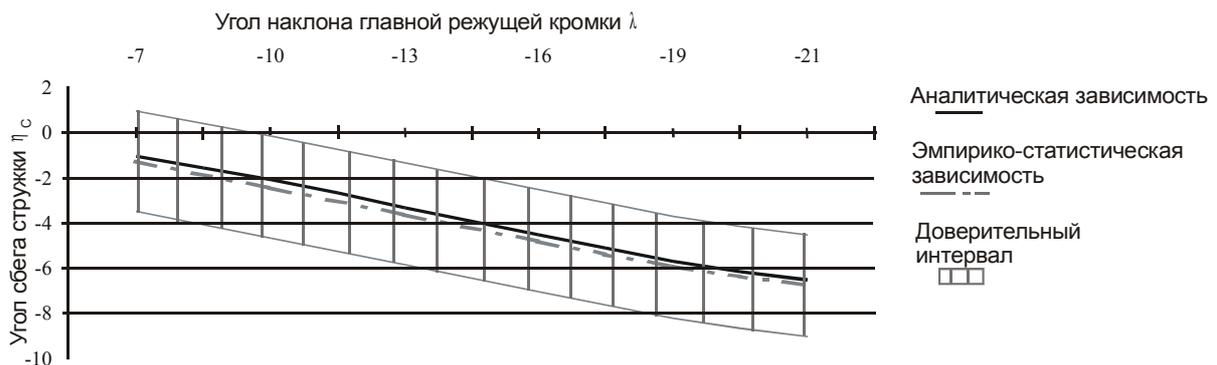


Рис. 4. Экспериментальная и аналитическая зависимости угла сбега стружки от угла наклона главной режущей кромки при подаче $s_z = 0,125 \text{ мм/зуб}$

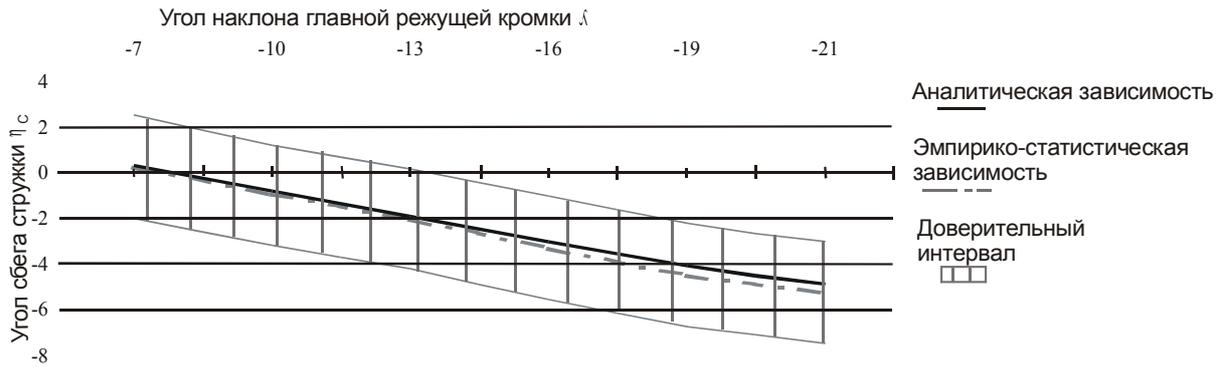


Рис. 5. Экспериментальная и аналитическая зависимости угла сбега стружки от угла наклона главной режущей кромки при подаче $s_z = 0,25 \text{ мм/зуб}$

За модель, описывающую зависимость шероховатости поверхности от величины угла наклона главной режущей кромки, скорости резания и величины подачи, принимаем уравнение первой степени с учётом взаимного влияния факторов:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (10)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ – коэффициенты регрессии;

$$x_1 = \frac{V - V_{\text{осн}}}{\Delta V} \text{ – кодированное значение скорости резания;}$$

$$x_2 = \frac{S_z - S_{z\text{осн}}}{\Delta S_z} \text{ – кодированное значение подачи;}$$

$$x_3 = \frac{\lambda - \lambda_{\text{осн}}}{\Delta \lambda} \text{ – кодированное значение угла } \lambda \text{ .}$$

На основании выражения (6) имеем: $b_0 = 1,1$; $b_1 = 0,43$; $b_2 = 0,34$; $b_3 = 0,1$; $b_{12} = 0,1$; $b_{13} = 0,13$; $b_{23} = 0,003$.

Проверка однородности дисперсии шероховатости поверхности при одинаковом числе повторных опытов во всех точках плана производится по критерию Кохрена: $[G = 0,322] \leq [G_{(0,05;4;8)} = 0,462]$. Гипотеза однородности дисперсии принимается, так как табличное значение G превышает расчётное.

Оценка значимости коэффициентов производится с помощью критерия Стьюдента. Из выражения (7) следует: $\Delta b_i = 2,04 \cdot \frac{\sqrt{0,78}}{\sqrt{8}} = 0,06$. Так как $0,003 < 0,06$, коэффициент b_{23} является незначимым.

Тогда уравнение регрессии для шероховатости поверхности примет вид:

$$R_a = 1,1 + 0,43 \cdot x_1 + 0,34 \cdot x_2 + 0,1 \cdot x_3 + 0,1 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,13 \cdot x_1 \cdot x_3 \text{ .} \quad (11)$$

Проверка адекватности линейной модели выполнялась по критерию Фишера. Модель является адекватной, так как выполняется условие:

$$F_p = \frac{0,024}{0,023} = 1,04 < 2,68(0,05;4;32).$$

Из графика (рис. 6) видно, что с уменьшением угла наклона главной режущей кромки при скорости резания 2 м/мин шероховатость обработанной поверхности снижается. При $V = 5\text{ м/мин}$ шероховатость обработанной поверхности с уменьшением угла λ увеличивается.

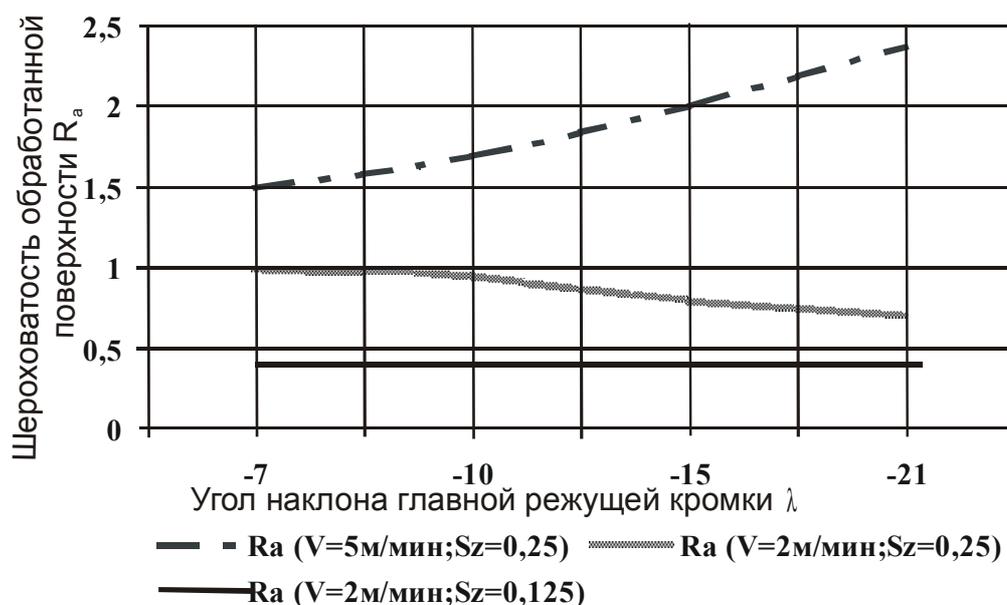


Рис. 6. Влияние угла наклона главной режущей кромки λ и подачи s_z на шероховатость обработанной поверхности

Таким образом, согласно проведённым исследованиям установлено следующее:

1. Устойчивое движение стружки в направлении подачи может быть достигнуто при углах наклона главной режущей кромки меньше -7° . Что согласуется с данными Родина П.Р [1].
2. При увеличении подачи s_z шероховатость обработанной поверхности увеличивается, а стружка может начать движение в обратном направлении, при более высоких значениях угла λ .
3. С увеличением скорости резания от 2 м/мин до 5 м/мин шероховатость значительно увеличивается, причём, с уменьшением угла наклона главной режущей кромки, величина шероховатости увеличивается намного быстрее.

Список литературы: 1. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – К.: Вища школа, 1986. – 455 с. 2. Антонюк В.И. Влияние угла в плане на процесс развёртывания. Труды Новочеркасского политехнического института, 1968. – Вып. 184. С. 38 – 41. 3. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металла. – М.: Машгиз, 1962. – 149 с. 4. Филоненко С.Н. Резание металлов. – К.: Вища школа, 1969. – 260 с. 5. Денисенко В.И. Угол сбегания стружки и его связь с условиями пластической деформации. Резание и инструмент. Харьков: Вища школа, 1978. – Вып.

19. – С. 26-29. 6. Гостева Л.М. Чистота поверхности при обработке малоуглеродистых сталей твердосплавными развёртками. Труды Новочеркасского политехнического института, 1970. – Вып. 211. – С. 104 – 107. 7. Антонюк В.И. Динамика развёртывания малоуглеродистых сталей. Труды Новочеркасского политехнического института, 1968. – Вып. 184. С. 33 – 37. 8. Малышко И.А., Мирошниченко А.В. Определение угла схода стружки при зенкеровании. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2002. – Вып. 19. – С. 124-128. 9. Виноградов А.А. Расчёт усадки стружки и длины контакта её с резцом. Сверхтвёрдые материалы, 1990. №2. – С. 58-63.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК НАПРЯМКУ РУХУ СТРУЖКИ З ШОРСТКІСТЮ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ РОЗВЕРТУВАННІ

Мірошниченко О.В.

В статті запропоновані залежності для визначення впливу куту нахилу головної різальної кромки на кут збігу стружки при розвертанні. Досліджений вплив цього кута і режимів різання на шорсткість обробленої поверхні. Отримані результати використовуються при призначенні режимів різання та оптимальних геометричних параметрів розвертки при обробленні наскрізних отворів.

ВЗАИМОСВЯЗЬ НАПРАВЛЕНИЯ СХОДА СТРУЖКИ С ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗВЁРТЫВАНИИ

Мирошниченко А.В.

В статье предложены зависимости для определения влияния угла наклона главной режущей кромки на угол сбега стружки при развёртывании. Исследовано влияние данного угла и режимов резания на шероховатость обработанной поверхности. Полученные результаты используются при назначении режимов резания и оптимальных геометрических параметров развёртки при обработке сквозных отверстий.

INTERRELATION OF CHIP INCLINATION DIRECTION WITH ROUGHNESS OF MACHINED SURFACE AT REAMING

Miroshnichenko A.V.

In the paper the dependencies for determination of influence of angle of major cutting edge inclination on the chip run-off angle are offered for reaming. Influence of this angle and cutting conditions on roughness of machined surface is investigated. The results obtained are used for specification of cutting conditions and optimal geometrical parameters of reamer at open-end holes machining.