

УДК 621.9.022.2

**И.А. Малышко, профессор, д-р. техн. наук,****А.В. Мирошниченко, канд. техн. наук***Донецкий национальный технический университет**ул. Артёма, 58, г. Донецк, Украина, 83001**lab\_os\_instr@mail.ru***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗУБЬЕВ РАЗВЕРТКИ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ**

*В статье рассмотрен вопрос влияния распределения зубьев осевого инструмента на качество обработанных отверстий. На основании проведенных исследований определены максимальные значения отклонения углового шага многозубых осевых инструментов.*

**Ключевые слова:** *огранка, кинематика, колебательное движение, развертка.*

Важным направлением в современном машиностроении является обеспечение требуемого качества обработки отверстий, составляющих в некоторых машинах и аппаратах до 70% обрабатываемых поверхностей. От точности обработки отверстий в значительной мере зависит работоспособность и надёжность всего механизма. С развитием нанотехнологий в таких отраслях, как изготовление деталей оптической техники, насосов, медицинской техники, устройств для биологических исследований, требования к допусковой погрешности поверхностей, в том числе отверстий, достигают 0,01–0,1 мкм (10–100 нм) и продолжают расти. Наличие погрешностей обработки оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства узла или машины в целом, а наличие таких погрешностей в машинах и аппаратах, связанных с опасностью человеческой жизнедеятельности, может оказаться фатальным для человека.

При обработке отверстий высокой точности развертками наиболее часто приходится сталкиваться с такими погрешностями: 1) огранка отверстий; 2) разбивание или усадка отверстий; 3) большая шероховатость обработанной поверхности.

Наличие указанных погрешностей обработки значительно увеличивает процент бракованных деталей. Учитывая, что развертывание в большинстве случаев является финишной операцией, стоимость брака значительно возрастает.

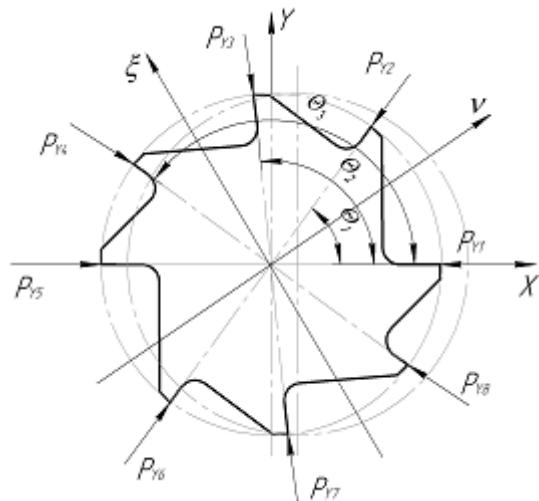


Рисунок 1 – Схема радиальных колебаний развертки

Однако, несмотря на большое количество факторов случайного характера, определяющих точность отверстий и шероховатость обработанной поверхности, значительное влияние оказывают такие систематические факторы, как режимы резания, конструктивные элементы и геометрические параметры разверток.

Как показали предварительные исследования [1] наибольшее влияние на величину погрешностей оказывает распределение зубьев развертки.

Огранка отверстий может быть образована только периодическими силами, действующими на зубья осевого инструмента. Периодичность сил может быть вызвана вынужденными колебаниями или неуравновешенной радиальной силой (рисунок 1). Нетрудно заметить, что неуравновешенная радиальная сила при образовании огранки должна изменяться по периодическому закону.

Огранка отверстий образуется как при жёстком закреплении инструмента, так и при

плавающем, когда радиальная жёсткость инструмента близка к нулю, при объяснении механизма образования огранки и определении путей её устранения необходимо исходить из кинематики движения инструмента в колебательном процессе. Колебаниями, порождающими огранку отверстий, могут быть только те колебания, которые изменяют сумму проекций сил резания на координатные оси  $V$  и  $\xi$  (рисунок 1).

Изменение величины огранки отверстий происходит за счет резания следа, оставленного предыдущим зубом, вспомогательной режущей кромкой последующих зубьев развертки. Поэтому целесообразным является определение толщины среза, приходящейся на вспомогательную режущую кромку каждого зуба (рисунок 2).

Толщина среза, снимаемого калибрующим участком последующего зуба 2 со следа, оставленного предыдущим зубом (см. рисунок 1), определяется из выражения [2]:

$$a_e = A \cdot \cos \left[ \frac{\pi}{2} + \pi n - \frac{Z}{2} \cdot \Delta \Theta \right] - A \cdot \cos \left[ \frac{\pi}{2} + \pi n - \frac{Z}{2} \cdot \Delta \Theta \right], \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний осевого инструмента;  $Z$  – число зубьев инструмента;  $\Delta \Theta$  – разность угловых шагов зубьев инструмента;  $n$  – коэффициент, характеризующий функцию, при  $n=1$  функция имеет минимум, а при  $n=2$  – максимум.

В промышленности наиболее часто встречаются развертки с числом зубьев 6 – 10.

Целью настоящей работы является проведение анализа влияния разности угловых шагов зубьев развертки на изменение толщины среза.

Экспериментальные исследования показали, что радиус округления вспомогательной режущей кромки после обработки 9 – 10 отверстий составляет 0,008 – 0,016 мм. Величина усадки отверстий определяется упругим последствием обработанной поверхности  $H_y$ . Поэтому можно предположить, что резание вспомогательной режущей кромкой будет происходить при  $a_e \geq H_y$ .

Величина упругого последствия зависит от длины контакта задней поверхности инструмента с обработанной поверхностью. Определив проекцию длины контакта задней поверхности инструмента на плоскость резания, можно определить величину упругого последствия обработанной поверхности. Величину упругого последствия можно определить геометрически из рисунка 3.

Проекция длины контакта задней поверхности на плоскость резания состоит из двух участков (см. рисунок 3):

$$l = l_1 + l_2, \quad (2)$$

где  $l_1 = \sqrt{r^2 + (r - H_y)^2}$ ;  $l_2 = \frac{H_y}{\text{tg} \alpha_{Ncc}}$ .

После подстановки значений  $l_1$  и  $l_2$  в уравнение (2) получим полное квадратное уравнение:

$$H_y^2 \left( \frac{1}{\text{tg}^2 \alpha_{Ncc}} - 1 \right) + H_y \left( 2r - \frac{2l}{\text{tg}^2 \alpha_{Ncc}} \right) + (r^2 - 2r^2) = 0. \quad (3)$$

Решению уравнения (3) соответствуют два корня:

$$H_{y1} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; H_{y2} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где  $a = \left( \frac{1}{\text{tg}^2 \alpha_{Ncc}} - 1 \right)$ ;  $b = \left( 2r - \frac{2l}{\text{tg}^2 \alpha_{Ncc}} \right)$ ;  $c = (r^2 - 2r^2)$ ;  $r$  – радиус округления режущей кромки;

$l$  – проекция длины контакта задней поверхности на плоскость резания;  $\alpha_{Ncc}$  – статический задний угол.

Реальное значение корня может быть только больше нуля, так как величина упругого последствия обработанной поверхности  $H_y \geq 0$ . Потому реальному значению корня удовлетворяет  $H_{y1}$ .

Проекция длины контакта задней поверхности на плоскость резания зависит от радиуса округления режущей кромки (см. рисунок 3). На основании экспериментальных исследований установлено, что длина контакта задней поверхности зуба развертки зависит от радиуса округления режущей кромки и толщины среза, и определяется зависимостью:

$$y = b_0 + b_1 a + b_2 a^2, \quad (4)$$

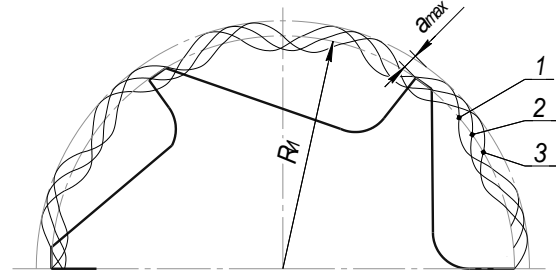


Рисунок 2 – Схема образования огранки при обработке 6-зубой разверткой

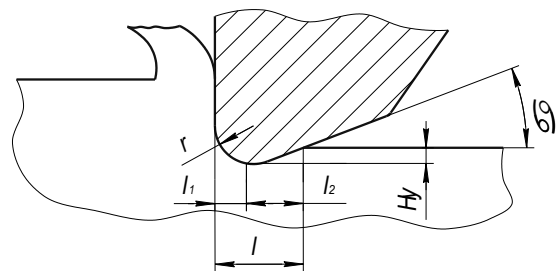


Рисунок 3 – Схема определения проекции длины контакта задней поверхности зуба развертки

где  $b_0, b_1, b_2$  – постоянные коэффициенты;  $a$  – толщина среза.

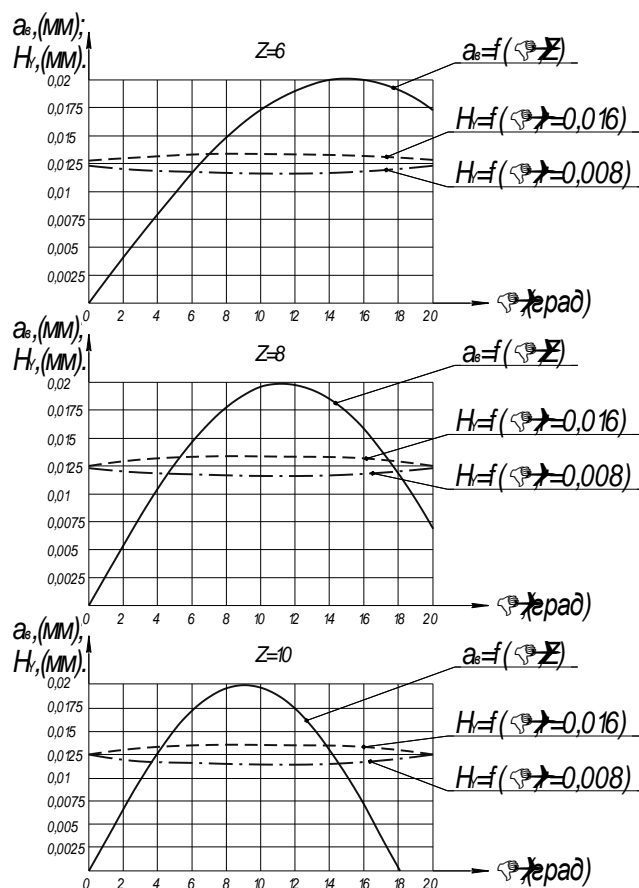


Рисунок 4 – Графики зависимости приращения толщины среза и величины упругого последствия в зависимости от изменения разности угловых шагов зубьев развёртки и её числа зубьев

Уравнение (4) при  $r=0,008$  мм и при  $r=0,016$  мм соответственно, принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} l_{0,008} &= 0,0781 - 0,381a + 4,945a^2; \\ l_{0,016} &= 0,0749 + 0,082a + 2,41a^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Используя выражения (1), (2), (5), определим величину упругого последствия соответствующую толщине среза, при различных значениях отклонения углового шага развёртки. Результаты расчетов показали, что величина упругого последствия, при различных значениях угловых шагов, фактически всегда остается неизменной, (рисунок 4). В то время как радиус округления режущей кромки оказывает влияние на величину  $H_Y$ .

На рисунке 4 представлены графики зависимости приращения толщины среза в зависимости от изменения разности угловых шагов зубьев инструмента и его числа зубьев  $a_e = f(\Delta\Theta, Z)$ . Для точного определения значений угловых шагов соответствующих максимальной толщине среза, аппроксимируем зависимость (1) уравнением параболы по методу наименьших квадратов:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a_{e_i} = a \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^2 + b \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i + nc, \\ \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i \cdot a_{e_i} = a \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^3 + b \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^2 + c \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i, \\ \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^2 \cdot a_{e_i} = a \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^4 + b \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^3 + c \sum_{i=1}^n \Delta\Theta_i^2, \end{cases} \quad (5)$$

где  $a, b, c$  – коэффициенты в уравнении параболы;  $n = 23$  – количество точек аппроксимации.

В результате расчёта, были определены значения  $\Delta\Theta_{opt}$  для развёрток с числом зубьев: 6, 8 и 10. Инструмент с такими отклонениями углового шага обеспечит наименьшую величину огранки обработанного отверстия. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Таблиця 1 – Значення оптимальних відхилень кутового кроку розв'язок

Число зубів розв'язки, $Z$	6	8	10
Оптимальне відхилення кутового кроку, $\Delta\Theta_{opt}$	15,07°	11,23°	9,17°

На основі даних, представлених на рисунку 4, можна зробити наступні висновки:

– існує критичне значення відхилень кутового кроку  $\Delta\Theta_K$  зубів розв'язки, при якому товщина срезу буде рівна величині пружного наслідку;

– при значеннях відхилень кутового кроку зубів розв'язки більше критичних товщина срезу буде перевищувати величину пружного наслідку  $a_s > H_Y$ . В даному випадку буде відбуватися різання сліду, залишеного попереднім зубом, величина огранки буде зменшуватися, а точність обробленого отвору – збільшуватися;

– при значеннях відхилень кутового кроку  $\Delta\Theta < \Delta\Theta_K$  товщина срезу буде менше величини пружного наслідку, і відповідно буде зменшуватися шорхуватість поверхні, так як замість різання буде відбуватися вирівнювання обробленої поверхні;

– функція товщини срезу від відхилень кутового кроку зубів розв'язки має вигляд параболі з явним екстремумом. Точка екстремуму відповідає значенню відхилення кутового кроку розв'язки, що дозволяє отримати найменшу величину огранки.

– у розв'язках з розподілом зубів, відповідних ДСТУ ГОСТ 7722:2008,  $\Delta\Theta < \Delta\Theta_K$ . Отже, у стандартного інструменту замість різання відбувається вирівнювання обробленої поверхні. Таким чином, стандартний інструмент зменшує величину шорхуватості, але не здатний збільшити точність обробки отвору;

– розраховані значення оптимального відхилення кутового кроку для шестизубого інструменту повністю збігаються з рекомендаціями фірми „Viah” [3], а також результатами експериментальних досліджень [4].

Перспективним напрямком досліджень в даній області є визначення впливу радіальних і осевих коливань на точність обробки отвору збірними осевими інструментами.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Sakuma K. Study on deep-hole boring by BTA system solid boring tool behaviour of tool / K. Sakuma, K. Taguchi, A. Katsuki. // Japan society precision engineering. – 1980. – V. 14, № 3, – P. 143–148.

2. Малышко И. А. Исследование влияния конструктивных элементов разв'язок на точность обработки отвору: дис. кандидата технических наук: 05.03.01 / Малышко Иван Александрович. – Донецк, 1979. – 240 с.

3. Прогрессивный металлорежущий инструмент / [Еланова Т. О., Христанкова О. И.]. – М.: ВНИИТЭМР, 1992.

4. Холмогорцев Ю. П. Оптимизация процессов обработки отвору / Холмогорцев Ю. П. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.

*Поступила в редакцию 28.06.2010 г.*

#### **Малишко І.О., Мірошніченко О.В. Дослідження впливу розподілу зубів розв'язки на якість оброблення отворів**

У статті розглянуто питання впливу розподілу зубів осевого інструменту на якість оброблених отворів. На підставі проведених досліджень визначені максимальні значення відхилення кутового кроку багатозубих осевих інструментів.

**Ключові слова:** огранка, кінематика, коливальний рух, розв'язка.

#### **Malishko I.A., Miroshnichenko A.V. Research on the influence of the reamer teeth distribution on the quality of machined apertures**

The problem of the axial instrument teeth distribution on the quality of machined apertures is considered in the article. Based on the conducted research, maximum values of deviations of the angle step of the multi-teeth axial tools are determined.

**Keywords:** cutting, kinematics, fluctuating motion, reamer.