

*В. Л. Калюжний, А. С. Запорожченко, В. В. Піманов // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 2 (31). – С. 136–140. 7. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с.*

**Bibliography (transliterated):** 1. *Shofman L. A. Theory and calculations of processes of the cold stamping. – Moscow: Engineer, 1964. – 375 p.* 2. *Averkiev Y.A., Averkiev A. Y. Technology of the cold stamping. – Moscow: Engineer, 1989.* 3. *Kazakevich I. I. Calculation of processes of axisymmetrical deformation of axisymmetrical shells / of I. I. Kazakevich // Higher book: Machines and technology of treatment of metals of pressure. – Moscow: Mashgiz, 1960. – No 98 p. – P. 174–202.* 4. *Popov E. A. Bases of theory of the sheet stamping / of E. A. Popov. – Moscow: Engineer, 1977. – 278 p.* 5. *Kalyughniyi V. L. Determination of maximal effort of deformation and bulge of flange at drawing out with differentiated radial skid of flange / V. L. Kalyughniyi // Treatment of materials pressure: collection of scientific labour. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – No 1 (30). – P. 38–44.* 6. *Kalyughniyi V. L. Intensification of technologies of making of good is «Bulb 180x184» / V. L. Kalyughniyi, A. P. Zaporozhenko, V. V. Pimanov // Treatment of materials pressure: collection of scientific labour P. – Kramatorsk: DSMA., 2012. – No 2 (31). – P. 136–140.* 7. *Volmir A. P. Stability of the deformed systems / A. P. Volmir. – Moscow: Science, 1967. – 984 p.*

*Поступила (received) 25.10.2014*

УДК 621.923

**Т. М. БРИЖАН**, ГВУЗ ”ПГТУ”, Мариуполь;  
**С. А. ДИТИНЕНКО**, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков<sup>3</sup>

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ**

Аналитически определены параметры срезов при обработке отверстий развертками с наклонными зубьями и условия безвибрационной обработки. Доказана возможность существенного увеличения фактического переднего угла зуба развертки за счет увеличения его угла наклона, что способствует снижению силовой напряженности процесса резания, в особенности радиальной составляющей силы резания, которая при съеме неравномерного припуска определяет интенсивность колебаний в технологической системе, а соответственно точность обработки отверстия.

**Ключевые слова:** развертывание отверстия, безвибрационная обработка, интенсивность колебаний, технологическая система, обрабатываемый материал, толщина среза.

**Введение.** При съеме неравномерных припусков на операциях развертывания отверстий в технологической системе возникают интенсивные колебания, которые не позволяют обеспечить высокие показатели точности обработки отверстий. Как известно, одним из эффективных методов снижения интенсивности колебаний при обработке отверстия является расположение зубьев развертки под наклоном. В этом случае обеспечивается переход от ударного к более плавному характеру взаимодействия зубьев развертки с обрабатываемым материалом, что повышает точность обработки. Поэтому определение условий эффективного применения данного метода обработки является актуальной задачей технологии машиностроения.

**Анализ последних достижений и литературы.** В работах [1, 2] показаны закономерности формирования погрешностей обработки при развертывании отверстий. В работе [3] приведены результаты исследований колебательных процессов при развертывании отверстий. Однако при этом не раскрыты кинематические закономерности обработки отверстий развертками с наклонными зубьями, которые определяют условия возникновения и устранения колебаний, а также снижения погрешностей обработки и повышения точности обрабатываемых отверстий.

**Цель работы, постановка проблемы.** Целью работы является определение путей повышения точности обработки отверстий развертками с наклонными зубьями на основе аналитического описания параметров срезов.

**Материалы исследования.** Экспериментально установлено, что создание наклонных зубьев развертки принципиально изменяет характер процесса съема материала, позволяет перераспределить значения составляющих силы резания в пользу снижения радиальной  $P_y$  составляющей силы резания, определяющей погрешности обработки отверстия [4, 5]. Как известно, выполнение условия  $P_y \rightarrow 0$  приводит к повышению точности обработки отверстия. Эффект обработки в данном случае достигается за счет того, что создание наклонных зубьев развертки позволяет увеличить рабочую длину зуба, т.е. увеличить ширину среза  $b$  и соответственно уменьшить толщину среза  $a$ . Ширина среза  $b$  определяется зависимостью (рис. 1):

$$b = \frac{l}{\cos \omega}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина заборной части развертки, м;

$\omega$  – угол наклона зубьев развертки.

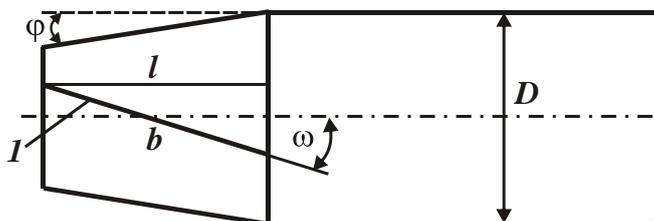


Рис. 1 – Расчетная схема параметров заборной части развертки: 1 – зуб развертки

Соответственно толщина среза  $a$  определяется из условия постоянства площади поперечного сечения среза одним зубом развертки  $F = a \cdot b = S_z \cdot t$ , где  $S_z$  – подача на зуб развертки, м/зуб;  $t$  – глубина резания, м. Тогда

$$a = \frac{S_z \cdot t}{l} \cdot \cos \omega. \quad (2)$$

Из приведенных зависимостей (1) и (2) вытекает, что с увеличением угла наклона зубьев развертки  $\omega$  ширина среза  $b$  увеличивается, а толщина среза  $a$ , наоборот, уменьшается. Очевидно, это приведет к снижению износа зубьев развертки и повышению ее стойкости. При обработке осевым инструментом с одним режущим зубом условие  $P_y \rightarrow 0$  не выполняется. Однако, располагая режущий зуб развертки под наклоном, можно обеспечить его непрерывный контакт с обрабатываемым материалом и реализовать условие  $P_y \rightarrow 0$ . В этом случае будет осуществляться плавный безударный характер контакта зуба развертки с обрабатываемым материалом, что важно при съеме неравномерного припуска с целью выполнения условия  $P_y \rightarrow 0$  и повышения точности обработки отверстия.

Исходя из рис. 2, при обработке отверстия разверткой с одним зубом, условие  $P_y = 0$  будет выполняться при угле  $\omega$ , определяемом зависимостью:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi \cdot D}{l}, \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр развертки, мм.

Для исходных данных:  $D=20$  мм;  $l=20$  мм угол  $\omega=72^\circ$ .

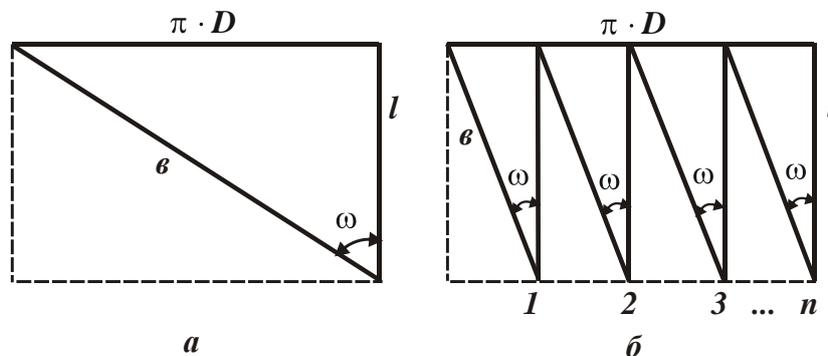


Рис. 2 – Схема рабочей поверхности развертки: а – с одним и с б –  $n$  зубьями, расположенными под углом наклона  $\omega$

Рассматривая развертку с  $n$  зубьями, зависимость (3) примет вид:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi \cdot D}{n \cdot l}. \quad (4)$$

**Результаты исследований.** В табл. 1 и на рис. 3 приведены расчетные значения угла наклона зубьев развертки  $\omega$ , обеспечивающие непрерывный

контакт с обрабатываемым материалом в зависимости от количества зубьев развертки  $n$ .

Таблица 1. Расчетные значения угла наклона зубьев развертки  $\omega$

$n$	1	2	4	6	8	10
$\omega$ , град.	72	58	38	28	22	18

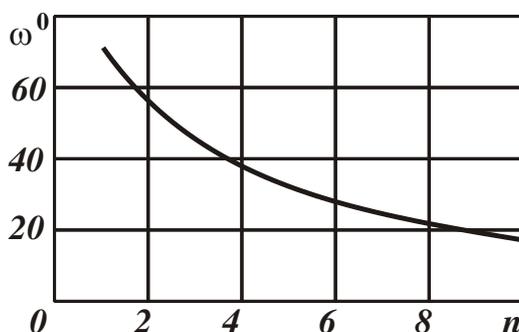
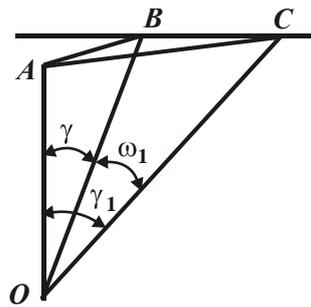


Рис. 3 – Зависимость угла наклона зубьев развертки  $\omega$  от количества зубьев развертки  $n$

С увеличением количества зубьев развертки  $n$  от 1 до 10 угол наклона зубьев развертки  $\omega$  уменьшается от  $72^{\circ}$  до  $18^{\circ}$ . Реализация этих значений угла  $\omega$  позволит осуществлять плавный переход поочередной работы зубьев. При превышении этих значений плавность работы зубьев улучшится, что будет способствовать повышению устойчивости процесса развертывания и точности обработки отверстия.

Следует учитывать также тот факт, что расположение зубьев развертки под углом наклона  $\omega$  приводит к увеличению переднего угла зуба  $\gamma$ . Для его определения необходимо рассмотреть расчетную схему (рис. 4), в которой передняя поверхность зуба (плоскость ОВС) пересекаются двумя плоскостями: ОАВ и ОАС. Угол между ними равен  $\omega_1$ , который, по сути, определяет угол схода стружки и устанавливается зависимостью  $tg \omega_1 = (0,2...0,4) \cdot tg \omega$  [1]. Углы  $\angle OAB$  и  $\angle OAC$  равны  $90^{\circ}$ .

Прямая ОА образует угол  $\gamma$  (равный исходному переднему углу зуба развертки) с прямой линией ОВ. Фактический (искомый) передний угол зуба развертки  $\gamma_1$  образуется между прямыми ОА и ОС, т.е.  $\cos \gamma_1 = \frac{OA}{OC}$ .

Рис. 4 – Расчетная схема фактического переднего угла зуба развертки  $\gamma_1$ 

С учетом того, что угол  $\angle ABC = 90^\circ$ , имеем:  $OC = \frac{OB}{\cos\omega_1}$ ;  $OB = \frac{OA}{\cos\gamma}$ . Тогда

после несложных преобразований получено

$$\cos\gamma_1 = \cos\gamma \cdot \cos\omega_1. \quad (5)$$

Новый (фактический) передний угол зуба развертки  $\gamma_1$  связан с исходным передним углом зуба развертки  $\gamma$  и углом  $\omega_1$  тригонометрическими функциями. В табл. 2 приведены значения угла  $\omega$ , рассчитанные по зависимости  $\text{tg}\omega_1 = 0,4 \cdot \text{tg}\omega$ .

Таблица 2. Расчетные значения угла  $\omega$  (в градусах)

$\omega_1^\circ$	0	10	20	30	40	50
$\omega^\circ$	0	24	42	55	64	72

Из табл. 2 и рис. 5 следует, что угол  $\gamma_1$  существенно увеличивается с увеличением угла  $\omega_1$  и соответственно угла  $\omega$ . Исходный передний угол зуба развертки  $\gamma$  в значительно меньшей степени влияет на угол  $\gamma_1$  по сравнению с углом  $\omega_1$ , в особенности при  $\omega_1 > 30^\circ$ . Поэтому при  $\omega_1 > 30^\circ$  с достаточной для практики точностью расчет фактического переднего угла зуба развертки  $\gamma_1$  можно производить по упрощенной зависимости  $\gamma_1 \approx \omega_1$ .

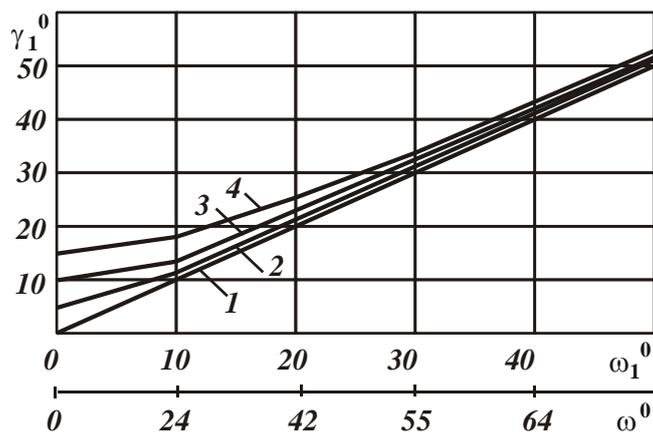


Рис. 5. Залежність кута  $\gamma_1$  від кута  $\omega_1$  (кута  $\omega$ ): 1 –  $\gamma = 0^\circ$ ; 2 –  $\gamma = 5^\circ$ ; 3 –  $\gamma = 10^\circ$ ; 4 –  $\gamma = 15^\circ$

В цьому випадку фактичний передній кут зуба розвертки  $\gamma_1$  приблизно дорівнює куту  $\omega_1$ . Так, збільшуючи кут  $\omega_1$  до значень  $\omega_1 \geq 45^\circ$ , можна в декілька разів збільшити фактичний передній кут зуба розвертки  $\gamma_1$  і тим самим знизити силову напруженість процесу різання, в особливості радіальну складову сили різання, яка в умовах зняття нерівномірного припуску визначає величини еластичних переміщень, що виникають в технологічній системі, і інтенсивність коливань, а відповідно точність обробки отвору.

**Висновки.** В роботі аналітично визначені параметри срезів при обробці отворів розвертками з нахилними зубцями і умови безударної обробки, ґрунтовані на дотриманні визначених співвідношень між кутом нахилу зубців розвертки, їх довжиною і кількістю. Доведено можливість суттєвого збільшення фактичного переднього кута зуба розвертки за рахунок збільшення його кута нахилу, що сприяє зменшенню силової напруженості процесу різання, в особливості радіальної складової сили різання, яка в умовах зняття нерівномірного припуску визначає величини еластичних переміщень в системі і інтенсивність коливань, а відповідно точність обробки отвору.

**Список літератури:** 1. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів / В.Ф. Бобров. – М.: Машинобудування, 1975. – 343 с. 2. Грановський Г.І. Різання металів: навчальник / Г.І. Грановський, В.Г. Грановський. – М.: Вища школа, 1985. – 304 с. 3. Пуховський Е.С. Безвібраційне багатозв'язне різання / Е.С. Пуховський, Г.Э. Таурит, М.І. Лещенко. – К.: Техніка, 1982. – 117 с. 4. Брижан Т.М. Підвищення якості обробки глибоких отворів при розвертванні / Т.М. Брижан // Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергосбереженні: матеріали науко-техн. конф., Одеса. – Київ: АТМ України, 2014. – С. 20–23. 5. Брижан Т.М. Підвищення точності обробки глибоких отворів / Т.М. Брижан // Сучасні інновації в науці та техніці: збірник наукових праць 4-ої Міжнарод. науко-практ. конф. В 4-х т. Том 1. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 159–166.

**Bibliography (transliterated):** 1. Bobrov V.F. Osnovy teorii rezaniya metallov V.F. Bobrov. – Moscow: Mashinostroenie, 1975. – 343 P. 2. Granovskiy G.I. Rezanie metalov: uchebnyk G.I. Granovskiy,

*B.G. Granovskiy.* – Moscow: Vysshaya shkola, 1985. – 304 P. **3.** Pukhovskiy E. P. Bezvibratsionnoe mnogolezviynoe rezanie E. P. Pukhovskiy, G.E. Taurit, M.I. Leshenko. – Kiev: Tekhnika, 1982. – 117 P. **4.** Brizhan T.M. Povyshenie kachestva obrabotki glubokikh otverstiy pri razvertyvanii T.M. Brizhan Novye i netraditsionnye tekhnologii v resurso- i energosberezenii: materialy nauchn.-tekhn. konf., Odessa–Kiev: ATM Ukrainy, 2014. – P. 20–23. **5.** Brizhan T.M. Povyshenie tochnosti obrabotki glubokikh otverstiy T.M. Brizhan Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike: sbornik nauchnykh trudov 4-oy Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. V 4-kh t. Tom 1. – Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t, 2014. – P. 159–166.

*Поступила (received) 23.10.2014 р.*

УДК 621.73

**В. О. ЄВСТРАТОВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

## **ФОРМУВАННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО ЯЩИКА ЯК ПЕРЕДУМОВА ПОШУКУ НОВИХ ВИДІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ МЕТАЛІВ ТИСКОМ**

Запропоновано новий підхід до класифікації обладнання для оброблення металів тиском. Особливість підходу – створення морфологічного ящика (таблиці) з 11-ма осями. У таблиці наведено 8 конструкторських класифікаційних ознак та 3 технологічні. Таблиця містить усі уявні варіанти конструкцій обладнання та їхнього технологічного застосування, які охоплені класифікаційними ознаками, що прийняті для класифікації. Запропоновано нові терміни та дані їхні тлумачення: заготованка, покованка, штампованка, корба. Така детальна класифікація може стати основою для генерування нових конструкцій обладнання з використанням сучасних ІТ- технологій.

**Ключові слова:** морфологічний ящик, класифікаційна ознака, заготованка, покованка, штампованка, корба, колінчастий вал, ексцентрикний вал, кривошипний вал, кратність дії.

**Вступ.** Відомо багато підходів до класифікації обладнання для оброблення металів тиском (ОМТ). Але кожен з них має певні недоліки. Найсуттєвіший з них – намагання розробити класифікацію лише існуючих видів обладнання, не визначивши їхні основні спільні класифікаційні ознаки, не створивши передумов для генерування нових видів ковальсько-штампувального обладнання (КШО).

**Аналіз сучасного стану проблеми.** У роботі [1] обладнання поділено лише на три групи: 1) молоти; 2) гідравлічні преси; 3) кривошипні та ротаційні машини. У роботі [2] усе КШО поділено на чотири групи: 1) молоти; 2) кривошипні преси; 3) гідравлічні преси; 4) ротаційні машини. У роботі [3] тільки частину КШО – обладнання для гарячого штампування – поділено на п'ять груп: 1) штампувальні молоти; 2) гвинтові прес-молоти; 3) кривошипні машини; 4) гідравлічні преси; 5) нові ковальсько-пресові машини. У роботі [4] зазначено: «За роки науково-технічної революції створено нові машини. Це веде до безперервного збагачення та удосконалення класифікації, яка має охоплювати усі нові типи машин та ставати основою вивчення та