

Т.М. БРИЖАН, ГВУЗ "ПГТУ", Мариуполь;
С.А. ДИТИНЕНКО, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Аналитически определены параметры срезов при обработке отверстий развертками с наклонными зубьями и условия безвибрационной обработки, основанные на соблюдении определенных соотношений между углом наклона зубьев развертки, их длиной и количеством. 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 предопределяют 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;

ω – угол наклона зубьев развертки.

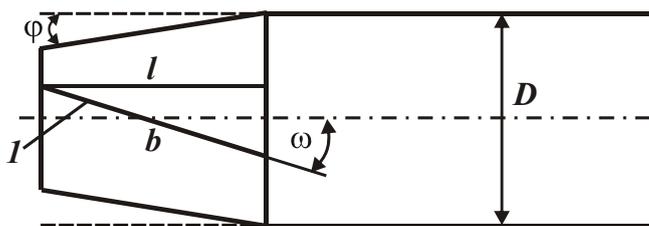


Рис. 1 – Расчетная схема параметров заборной части развертки: 1 – зуб развертки

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 ω 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 раз-

вертки 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 ω , 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 $\omega=72^\circ$.

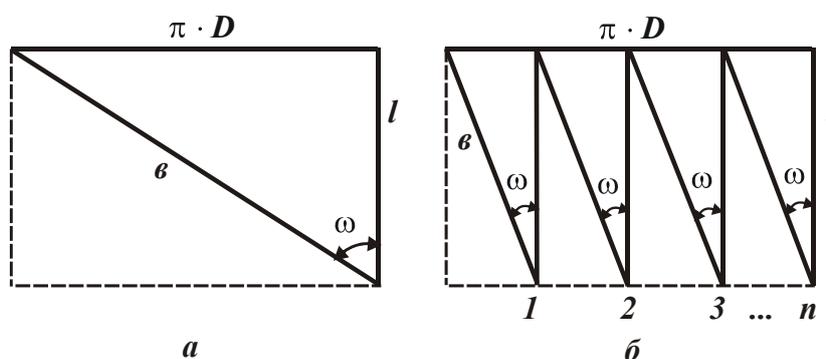


Рис. 2 – Схема рабочей поверхности развертки с одним (а) и с n (б) зубьями, расположенными под углом наклона ω

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 ω , обеспечивающие непрерывный контакт с обрабатываемым материалом в зависимости от количества зубьев развертки n .

Таблица 1. Расчетные значения угла наклона зубьев развертки ω

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

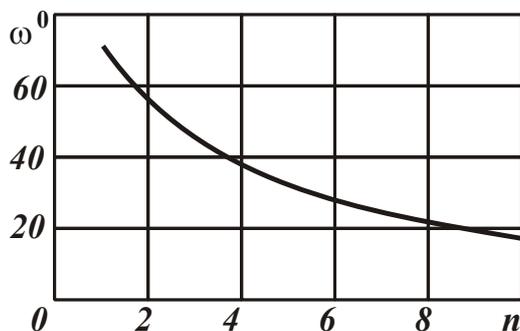


Рис. 3 – Зависимость угла наклона зубьев развертки ω от количества зубьев развертки n

С увеличением количества зубьев развертки n от 1 до 10 угол наклона зубьев развертки ω уменьшается от 72° до 18° . Реализация этих значений угла ω 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 ω приводит к увеличению переднего угла зуба γ . 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 ω_1 , который, по сути, определяет угол схода стружки и устанавливается зависимостью $\text{tg } \omega_1 = (0,2 \dots 0,4) \cdot \text{tg } \omega$ [1]. Углы $\angle OAB$ и $\angle OAC$ равны 90° .

Прямая ОА образует угол γ (равный исходному переднему углу зуба развертки) с прямой линией ОВ. Фактический (искомый) передний угол зуба развертки γ_1 образуется между прямыми ОА и ОС, т.е. $\cos \gamma_1 = \frac{OA}{OC}$.

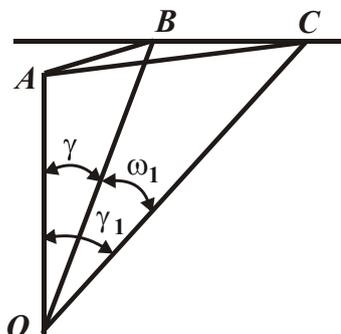


Рис. 4 – Расчетная схема фактического переднего угла зуба развертки γ_1

С учетом того, что угол $\angle ABC = 90^0$, 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 γ_1 связан с исходным передним углом зуба развертки γ и углом ω_1 тригонометрическими функциями. В табл. 2 приведены значения угла ω , рассчитанные по зависимости $\text{tg} \omega_1 = 0,4 \cdot \text{tg} \omega$.

Таблица 2. Расчетные значения угла ω (в градусах)

ω_1^0	0	10	20	30	40	50
ω^0	0	24	42	55	64	72

Из табл. 2 и рис. 5 следует, что угол γ_1 существенно увеличивается с увеличением угла ω_1 и соответственно угла ω . Исходный передний угол зуба развертки γ в значительно меньшей степени влияет на угол γ_1 по сравнению с углом ω_1 , в особенности при $\omega_1 > 30^0$. Поэтому при $\omega_1 > 30^0$ с достаточной для практики точностью расчет фактического переднего угла зуба развертки γ_1 можно производить по упрощенной зависимости $\gamma_1 \approx \omega_1$.

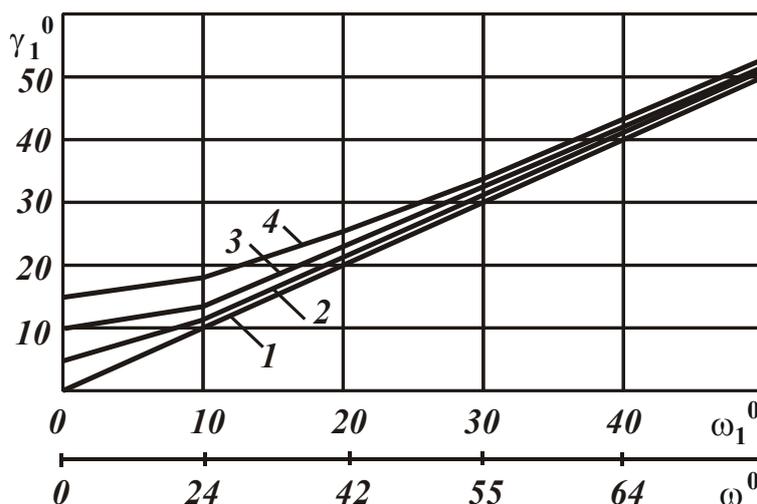


Рис. 5. Зависимость угла γ_1 от угла ω_1 (угла ω): 1 — $\gamma = 0^0$; 2 — $\gamma = 5^0$; 3 — $\gamma = 10^0$; 4 — $\gamma = 15^0$

В этом случае фактический передний угол зуба развертки γ_1 приблизительно равен углу ω_1 . Так, увеличивая угол ω_1 до значений $\omega_1 \geq 45^\circ$, можно в несколько раз увеличить фактический передний угол зуба развертки γ_1 и тем самым снизить силовую напряженность процесса резания, в особенности радиальную составляющую силы резания, которая в условиях съема неравномерного припуска определяет величины упругих перемещений, возникающих в технологической системе, и интенсивность колебаний, а соответственно точность обработки отверстия.

Выводы. В работе аналитически определены параметры срезов при обработке отверстий развертками с наклонными зубьями и условия безударной обработки, основанные на соблюдении определенных соотношений между углом наклона зубьев развертки, их длиной и количеством. 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 в условиях съема неравномерного припуска определяет величины упругих перемещений в системе и интенсивность колебаний, а соответственно точность обработки отверстия.

Список литературы: 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 2. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с. 3. Пуховский Е.С. Безвибрационное многолезвийное резание / Е.С. Пуховский, Г.Э. Таурит, М.И. Лешенко. – К.: Техніка, 1982. – 117 с. 4. Брижан Т.М. Повышение качества обработки глубоких отверстий при развертывании / Т.М. Брижан // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф., г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2014. – С. 20-23. 5. Брижан Т.М. Повышение точности обработки глубоких отверстий / Т.М. Брижан // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4-ой Междунар. научн.-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. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 343 s. 2. Granovskiy G.I. Rezanie metalov: uchebnik / G.I. Granovskiy, V.G. Granovskiy. – M.: Vysshaya shkola, 1985. – 304 s. 3. Pukhovskiy E.S. Bezvibratsionnoe mnogolezviynoe rezanie / E.S. Pukhovskiy, G.E. Taurit, M.I. Leshenko. – K.: Tekhnika, 1982. – 117 s. 4. Brizhan T.M. Povyshenie kachestva obrabotki glubokikh otverstiy pri razvertyvaniy / T.M. Brizhan // Novye i netraditsionnye tekhnologii v resurso- i energosberezhennii: materialy nauchn.-tekhn. konf., g. Odessa. – Kiev: ATM Ukrainy, 2014. – S. 20-23. 5. Brizhan T.M. Povyshenie tochnosti obrabotki glubokikh otverstiy / T.M. Brizhan // Sovremennyye 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. – S. 159-166.