

В. Є. КАРПУСЬ, д-р техн. наук, проф.;
М. С. ІВАНОВА, аспірантка;
О. В. ЧУКАРІН, магістр, НТУ «ХПІ», м. Харків

ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДВОСТУПІНЧАСТИМ СВЕРДЛОМ

В статті розглянуто питання обробки отворів комбінованими осьовими інструментами. Запропоновано призначати подачу при свердлінні двоступінчастими свердлами на верстатах з ЧПК з урахуванням середньозваженого діаметра. Проаналізовано вплив величини подачі на точність діаметра оброблюваного отвору.

The article reports about hole making processes with combined axial tools. Assignment of drill feed for step-drill on CNC machine tool subject to weight average diameter is proposed. Influence of feed value on accuracy of hole diameter is analyzed.

Обробка отворів комбінованими осьовими інструментами (КОІ) дозволяє підвищити продуктивність технологічного процесу порівняно з послідовною обробкою стандартними осьовими інструментами, як правило, за рахунок зменшення часу на заміну та налагодження інструмента пропорційно збільшенню числа ступенів КОІ. Але зі збільшенням числа ступенів КОІ ускладнюється процес його виготовлення та експлуатація. Разом з тим дослідження [1] показали, що при цьому зменшується його вартість порівняно з вартістю стандартних інструментів, необхідних для виконання тієї ж самої технологічної операції.

Для КОІ подачу прийнято призначати за найменшим діаметром (діаметром першого ступеня), а швидкість різання – за найбільшим [2]. При такому підході до вибору режимів різання для КОІ всі ступені інструмента, крім першого, працюють за заниженими режимами, тобто має місце недовикористання потенціальних можливостей цих ступенів. Враховуючи те, що КОІ – інструмент спеціальний, такий підхід до вибору режимів різання зменшує економічну ефективність від його використання і обмежує застосування цих інструментів.

Тому доцільно вивчити можливість призначення режимів різання для КОІ з урахуванням співвідношення діаметрів та довжин ступенів інструмента, які визначають його жорсткість.

Середньозважений діаметр d_{c3} , як характеристика жорсткості, визначається за формулою:

$$d_{c3} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^m L_i},$$

де d_i , L_i – діаметр та довжина i -того ступеня КОІ відповідно, мм;

m – число ступенів КОІ.

Виконаємо вибір подачі для двоступінчастих сверدل діаметрами ступенів $d_1/d_2 = 5/10$ мм, $d_1/d_2 = 10/20$ мм та $d_1/d_2 = 15/30$ мм, виготовлених зі швидкорізальної сталі Р6М5, при свердлінні заготовки зі сталі 45.

Розбиття отвору ΔD при свердлінні виникає внаслідок биття різальних кромок інструмента після установки інструментальних блоків у шпindel верстата, а також внаслідок пружних переміщень осі ΔP_y інструмента під дією неврівноваженої складової радіальної сили різання ΔP_y .

Величина биття різальних кромок інструмента після установки інструментального блоку у шпindel верстата залежить від биття конусів шпинделя та інструментального тримача, а також биття різальних кромок інструмента відносно осі його хвостовика, і не повинна перевищувати допустиме значення (56 мкм для свердл діаметром від 6 до 18 мм) [3].

Неврівноважену складову радіальної сили різання ΔP_y знаходимо за формулою [4]:

$$\Delta P_y = \frac{0,5 \cdot P_o}{1,03 \cdot \frac{K_{y1}}{K_{y2}} + 1} \cdot (0,6249 - 0,5947 \cdot \frac{K_{y1}}{K_{y2}}),$$

де P_o – осьова сила різання, Н;

K_{y1} , K_{y2} – коефіцієнти, що враховують вплив передніх кутів різальних кромок свердла на осьову силу.

Під дією ΔP_y відбуваються пружні переміщення ΔP осі КОІ, які визначаємо за наступною формулою [5]:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_y \cdot L_1^3}{3EJ_1} + \frac{\Delta P_y \cdot L_2 \cdot [(L_1 + L_2)^2 + L_1^2 + L_1 \cdot (L_1 + L_2)]}{3EJ_2}$$

де L_1 і L_2 – довжина першого та другого ступенів двоступінчастого свердла відповідно, м;

J_1 і J_2 – моменти інерції першого та другого ступенів двоступінчастого свердла відповідно, м⁴.

Допустиму величину пружних переміщень $[\Delta P]$ осі визначимо як половину різниці між допуском на оброблюваний отвір та допустимим биттям різальних кромок інструмента після установки інструментального блоку у шпindel верстата.

В табл. 1 наведені вихідні дані та результати розрахунків неврівноваженої радіальної сили різання ΔP_y , яка діє на перший ступінь та величини пружних переміщень ΔP осі двоступінчастого свердла. У розрахунках використовувалися величини подачі КОІ, які призначалися по діаметру першого ступеня S_{d1} , по діаметру другого ступеня S_{d2} та по середньозваженому діаметру $S_{дсз}$.

Розрахунки показали (див. рисунок), що при співвідношенні діаметрів $d_2/d_1 = 2$ та довжин $L_2/L_1 \geq 1$ ступенів величина пружних переміщень осі ΔP двоступінчастих свердл значно менша за допустиму. Це пояснюється більшою жорсткістю такого КОІ порівняно зі стандартним осьовим

інструментом і, враховуючи те, що при цих геометричних характеристиках КОІ величина d_{c3} наближається до d_2 , можна призначати величину подачі по d_2 . При співвідношенні $L_2/L_1 \leq 1$ спостерігається різке збільшення величини Δ_r внаслідок наближення величини жорсткості КОІ до жорсткості стандартного осевого інструмента діаметром d_1 , в такому випадку подачу слід обирати по середньозваженому діаметру d_{c3} .

Таблиця 1

№ КОІ	Параметри КОІ, мм					Подача, мм/об			Неврівноважена радіальна сила ΔP_v , Н			Зміщення осі Δ_r , мкм			
	d_1	d_2	L_1	L_2	d_{c3}	S_{d1}	S_{d2}	S_{dc3}	S_{d1}	S_{d2}	S_{dc3}	S_{d1}	S_{d2}	S_{dc3}	
1	5	10	5	45	9,5	0,07	0,18	0,18	2,74	5,30	5,30	1,41	2,74	2,74	
2			10	40	9							1,56	3,02	3,02	
3			15	35	8,5							1,96	3,79	3,18	
4			20	30	8							2,73	5,29	4,44	
5			25	25	7,5							4,00	7,76	6,51	
6			30	20	7							5,90	11,44	9,60	
7			35	15	6,5							8,56	16,58	13,91	
8			40	10	6							12,09	23,42	12,09	
9			45	5	5,5							16,63	33,20	16,63	
10	10	20	10	90	19	0,13	0,3	0,29	8,45	15,2	15,2	2,18	3,91	3,91	
11			20	80	18							2,41	4,32	4,32	
12			30	70	17							3,12	5,42	5,42	
13			40	60	16							4,21	7,56	7,38	
14			50	50	15							6,14	11,09	10,83	
15			60	40	14							9,11	16,36	15,97	
16			70	30	13							13,20	23,71	23,15	
17			80	20	12							18,65	33,48	19,64	
18			90	10	11							25,64	46,05	27,01	
19	15	30	15	135	28,5	0,2	0,35	0,32	17,13	25,34	25,34	2,95	4,36	4,36	
20			30	120	27							3,25	4,81	4,81	
21			45	105	25,5							4,08	6,04	6,04	
22			60	90	24							5,69	8,42	8,42	
23			75	75	22,5							8,35	12,4	11,6	
24			90	60	21							12,30	18,2	17,1	
25			105	45	19,5							22,75	17,8	26,4	23,7
26			120	30	18							34,7	51,3	25,2	
27			135	15	16,5							34,7	51,3	34,7	

Швидкість різання при свердлінні двоступінчастими свердлами з урахуванням середньозваженого діаметра визначимо за формулою [6]:

$$v = \frac{C_v \cdot d_2^q}{T^m \cdot S_{дн3}^y} \cdot K_v,$$

де C_v – постійний коефіцієнт;

T – стійкість інструмента, хв;
 $S_{dcз}$ – подача КОІ, призначена по середньозваженому діаметру, мм/об;
 q, m, y – показники степеня діаметра, стійкості та подачі відповідно;
 K_v – узагальнений поправочний коефіцієнт на швидкість різання.

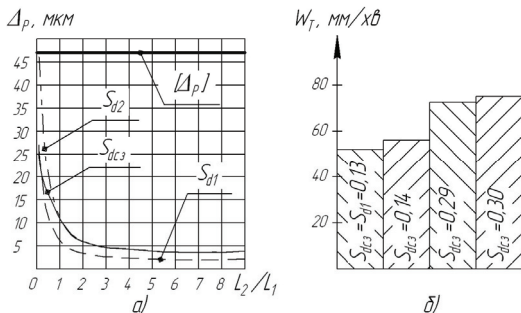


Рисунок – Вплив величини подачі двоступінчастого свердла з діаметрами ступенів $d_1/d_2 = 10/20$ мм на: а – пружні переміщення Δp осі; б – технологічну інтенсивність формоутворення

Для оцінювання технологічної продуктивності запропонованого способу призначення режимів різання розрахуємо технологічну інтенсивність формоутворення W_T (табл. 2):

$$W_T = n \cdot S,$$

де S, n – подача та частота обертання інструмента відповідно.

Таблиця 2

Параметри КОІ d_1/d_2 , мм	Подача S , мм/об	Швидкість різання v , об/хв	Технологічна інтенсивність формоутворення W_T , мм/хв
5/10	0,07	31,71	70
	0,14	19,79	88,2
	0,18	15,71	90
10/20	0,13	25,13	52
	0,14	25,13	56
	0,29	15,71	72,5
	0,30	15,71	75
15/30	0,20	23,56	50
	0,30	18,85	60
	0,32	18,85	64
	0,35	18,85	70

Призначаючи подачу по величині середньозваженого діаметру $d_{cз}$ потрібно враховувати наступні технічні обмеження [4]:

а) за міцністю інструмента:
$$\tau_c \leq \frac{\sigma_a}{K_{зм}}$$

де τ_c – сумарне напруження, яке дорівнює сумі нормального напруження від осьової сили P_o та дотичного напруження від крутного моменту $M_{кр}$, Па;

$K_{зм}$ – коефіцієнт запасу міцності, ($K_{зм} \approx 1,5 - 2$);

σ_8 – границя міцності при розтягуванні, Па.

Сумарне напруження знаходимо за формулою:

$$\tau_c = \frac{1,73 \cdot M_{кр}}{W},$$

де W – момент опору першого ступеня КОІ, м³:

$$W = 0,02 \cdot d^3,$$

де d – діаметр першого ступеня КОІ, м.

Для двоступінчастого свердла з діаметром ступенів $d_1/d_2 = 10/20$ мм умова міцності робочої частини виконується: $1020 \text{ МПа} \leq 1390 \text{ МПа}$.

б) за жорсткістю інструмента: $P_o \leq [P_o]$,

де $[P_o]$ – допустима осьова сила, яка визначається за формулою:

$$[P_o] = \frac{K_y \cdot E \cdot J}{L^2},$$

де K_y – коефіцієнт усталеності, ($K_y \approx 2,46$);

E – модуль пружності свердла, Па;

L – довжина вильоту свердла, м;

J – момент інерції першого ступеня КОІ, м⁴.

Для двоступінчастого свердла з діаметром ступенів $d_1/d_2 = 10/20$ мм умова жорсткості КОІ також виконується: $3498 \text{ Н} \leq 20147 \text{ Н}$.

Таким чином, призначення режимів різання двоступінчастими свердлами по величині середньозваженого діаметра дозволяє підвищити технологічну інтенсивність формоутворення із збереженням точності діаметра обробки.

Список літератури: 1. *Мальшко И.А.* Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации) / И. А. Мальшко. - Донецк: ПКТИ, 1996. - 135 с. 2. *Жарликов Н. В.* Комбинированные режущие инструменты / Н. В. Жарликов. – Свердловск: Машгиз, Урало-Сибирское отд., 1961. - 78 с. 3. *Кравченко Л. С.* Размерный анализ при проектировании, изготовлении и сборке : учеб. пособие [для студ. машиностроит. специальн.] / Л. С. Кравченко. – Харьков : НТУ«ХПИ», 2009. – 356 с. 4. *Горанский Г. К.* Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ / Горанский Г. К., Владимирова Е. В., Ламбин Л. Н. – М.: Машиностроение, 1970. – 224 с. 5. *Карпусь В. Е.* Определение величины смещения оси осевых инструментов под действием неуравновешенной радиальной силы / В.Е.Карпусь, М.С. Иванова // Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту: матеріали міжнар. наук.-техн. конфер. студентів, аспірантів та молодих вчених, Севастополь, 11 - 15 травня 2010 р. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – С. 126-128. 6. *Справочник технолога-машиностроителя.* В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд. – М.: Машиностроение-1, 2001 г. – 942 с.

Надійшла до редколегії 27.09.10