

УДК 004:621.952.5

О.О. Жолобов, к.т.н, доц.

О.М. Будкевич, аспір.

Могилівський державний технічний університет, Білорусь

### ПРОГНОЗУВАННЯ ТОЧНОСТІ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ, ЯКІ ФОРМУЮТЬСЯ НА РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

*Розглянуто автоматизовану модель, виконану за допомогою ЕОМ мовою програмування в середовищі Delphi, для прогнозування якості поверхонь отворів деталей, одержуваних розточуванням на верстатах типу "обробний центр". Показано переваги даної методики, представлені результати її роботи.*

Інженерів і учених здавна цікавив вплив різних параметрів технологічної системи, умов обробки на точність і якість поверхонь деталей, які формуються. У зв'язку з цим проводилися експерименти і досліди з визначення і встановлення цих залежностей, створювалися емпіричні й теоретичні залежності. На основі цих науково-дослідних теоретичних і експериментальних робіт виникають передумови створення автоматизованої системи, що могла б прогнозувати точність механічної обробки, виходячи з вихідних даних, які задаються. Було підготовлено інформаційне забезпечення і створено математичну модель для прогнозування точності та якості поверхонь деталей, одержуваних при розточуванні на верстатах високої твердості типу "обробний центр".

Розроблена математична модель дозволяє виявити вплив деформації інструмента і шпиндельного вузла на похибки форми і точність отворів, одержуваних при розточуванні, а також простежити за ними. Модель враховує відхилення від круглості (овальність) і профілю повздожжнього перетину (конусність) поверхні попереднього отвору, зсув і перекис осей отвору та інструмента один відносно одного, а також такі фактори, як попередню шорсткість поверхні, деформацію борштанги і шпиндельного вузла. При цьому на першому етапі досліджень для спрощення розрахунків і з урахуванням досліджень шорсткості обробки отвору у моделі були зроблені деякі припущення:

- матеріал поверхні отвору має однорідну структуру і рівномірну твердість;
- відсутні віджимки заготовки, установлені на столі верстата;
- при розкладанні рівнодіючої сили різання на складові не розглядається сила  $P_x$  через несуттєвий вплив на точність заготовки в радіальному й осевому напрямках;
- жорсткість шпиндельного вузла має однакову величину в напрямку осей  $Y$  і  $Z$ ;
- не враховуються температурне нагрівання і знос інструмента.

Дана математична модель на основі вихідних даних про матеріал і властивості заготовки, про розміри і шорсткість її поверхні, а також на основі значення режимів різання, геометрії інструмента і похибки базування призначена розраховувати і видавати значення величини дійсного радіуса одержуваного отвору в кожній точці її поверхні з заданим кроком. При цьому визначальним фактором, що впливає на зміну радіуса обробки, буде величина деформації інструмента і шпиндельного вузла, що виликає від діючих сил різання, у свою чергу залежних від глибини різання  $T_{RE}$ . Таким чином, головним завданням математичної моделі є обчислення дійсної глибини різання  $T_{REZ}^A$ , що властива кожній точці поверхні заготовки, для наступного знаходження величини віджиму інструмента і, отже, дійсного радіуса  $R^A$  одержуваного отвору.

На величину дійсної глибини різання  $T_{REZ}^A$  впливають деформація борштанги і жорсткість шпиндельного вузла  $J_{Ш}$ , зсув  $\Delta_{CM}$  і кути перекоосу  $\psi_Z$ ,  $\psi_Y$  осі заготовки щодо осі інструмента, величина овальності  $\Delta_O$  і конусності  $\Delta_K$  поверхні отвору, попередня шорсткість  $R_{ZZ}$ . У загальному вигляді формулу для розрахунку дійсної глибини різання для будь-якої точки поверхні можна представити у вигляді:

$$T_{REZ}^A = R^A - R_Z^A - \Delta_{RZ}, \quad (1)$$

де  $R^A$ ,  $R_Z^A$  – відповідно дійсні радіуси деталі та заготовки, що розраховуються для даної точки поверхні отвору;

$\Delta_{RZ}$  – величина, на яку змінюється глибина різання внаслідок паявності попередньої шорсткості поверхні.

Величина дійсного радіуса деталі  $R^d$  змінюється внаслідок зміни положення вершини різця при деформації інструмента (борштанги)  $\Delta_B$  і шпиндельного вузла  $\Delta_{Ш}$  під дією сили різання  $P$ . Для зручності розрахунку цю силу різання  $P$  доцільно розкласти на складові  $P_Y$  і  $P_Z$ , що діють відповідно в напрямку осей  $Y$  і  $Z$ . Сила різання  $P_X$ , що діє в напрямку осі  $X$  (осі інструмента), не враховується внаслідок несуттєвого впливу на точність одержуваних отворів при їхній чистовій обробці.

Величину деформації борштанги  $\Delta_{BY}$  і  $\Delta_{BZ}$  відповідно в напрямку осей  $Y$  і  $Z$  від дії сил різання  $P_Y$  і  $P_Z$  для кожної точки поверхні отвору можна визначити за формулами опору матеріалів для консольно-закріпленої балки:

$$\Delta_{BY} = \frac{P_Y \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot J}; \tag{2}$$

$$\Delta_{BZ} = \frac{P_Z \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot J}, \tag{3}$$

де  $\Delta_{BY}$ ,  $\Delta_{BZ}$  – відповідно величина деформації борштанги в напрямку осей  $Y$  і  $Z$ ;

$P_Y$ ,  $P_Z$  – складові сили різання, розраховані для дійсної глибини різання;

$L$  – величина вільноти борштанги;

$E$  – модуль пружності для матеріалу борштанги;

$J$  – момент інерції перетину борштанги,  $J = \pi \cdot D^4 / 64$ ;

$D$  – діаметр борштанги.

Схема, на якій показана деформація інструмента в напрямку осі  $Y$ , подана на рис. 1, у напрямку осі  $Z$  – на рис. 2.

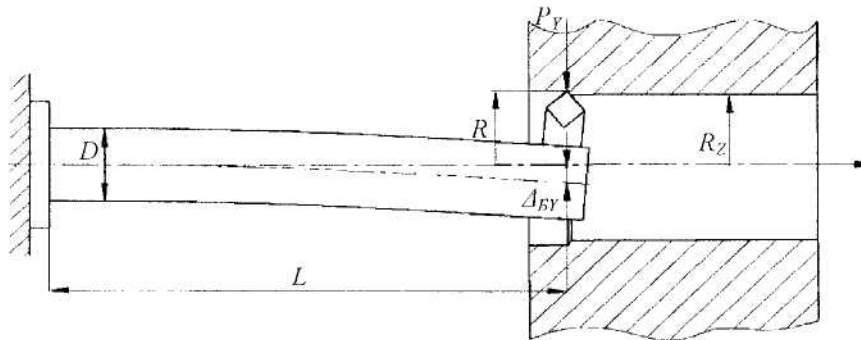


Рис. 1. Схема деформації інструмента під дією сили  $P_Y$

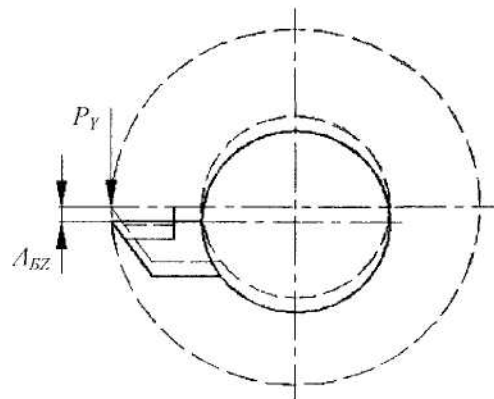


Рис. 2. Схема деформації інструмента під дією сили  $P_Z$

Деформація шпиндельного вузла  $\Delta_{Ш}$ , як і деформація інструмента  $\Delta_B$ , також змінюється під дією сили різання. Її величину можна визначити виходячи з величини дійсної жорсткості  $j_{Ш}$  шпиндельного вузла. Беручи до уваги, що жорсткість шпиндельного вузла однакова в напрямку осей  $Y$  і  $Z$ , одержимо формули для розрахунку деформації шпиндельного вузла в напрямку осей  $Y$  і  $Z$ :

$$\Delta_{ШY} = P_Y / j_{Ш}; \tag{4}$$

$$\Delta_{ШZ} = P_Z / j_{Ш}, \tag{5}$$

де  $j_{Ш}$  – твердість шпиндельного вузла.

Таким чином, величину дійсного радіуса деталі, що утвориться в результаті деформації інструмента і шпиндельного вузла, для кожної точки поверхні отвору відповідно до схеми, представленої на рис. 3, визначимо з виразу:

$$R^d = \sqrt{(R - \Delta_{BY} - \Delta_{ШY})^2 + (\Delta_{BZ} + \Delta_{ШZ})^2}, \tag{6}$$

де  $R$  – необхідний радіус отвору, що задається початковими умовами.

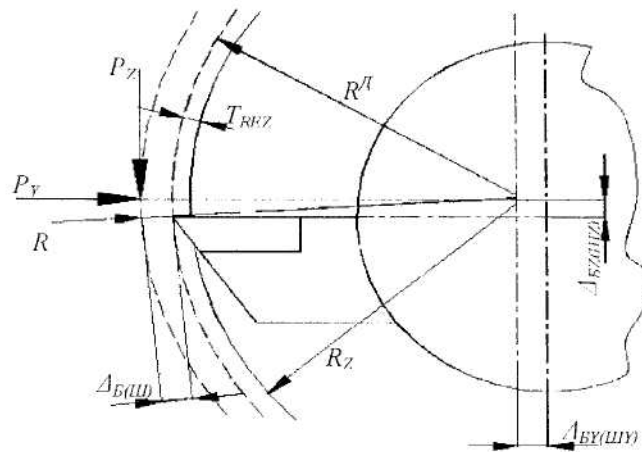


Рис. 3. Схема для визначення дійсного радіуса  $R^d$  одержуваного отвору

Дійсний радіус заготовки  $R_Z^d$ , обумовлений відстанню від осі інструмента до точки на поверхні попереднього отвору (рис. 4), залежить від величини овальності  $\Delta_O$  та конусності  $\Delta_K$  попереднього отвору, від величини зсуву  $\Delta_{CM}$  і перекосу  $\Delta_{ПЕР}$  осі отвору щодо осі інструмента. Для знаходження розрахункової формули попередньо визначимо значення і вплив його складових.

Овальність  $\Delta_O$  і конусність  $\Delta_K$  попереднього отвору безпосередньо впливають на попередній радіус заготовки  $R_Z$ , що відповідає відстані від осі отвору до точки, розташованої на її поверхні, при цьому величина конусності змінює його величину від  $R_Z$  до  $R_Z - \Delta_K$  в міру наближення положення розглянутої точки до закінчення отвору. Схеми для визначення овальності та конусності отворів наведені на рис. 4 і 5. З огляду на вищесказане можна записати формулу для розрахунку величини попереднього радіуса отвору заготовки  $R_Z$  для кожної точки його поверхні, вираженого через кут  $\varphi$  полярної системи координат:

$$R_Z = \sqrt{((R_Z - \Delta_K \cdot Lo/Lz) \cdot \cos(\varphi + \psi))^2 + ((R_Z - \Delta_O - \Delta_K \cdot Lo/Lz) \cdot \sin(\varphi + \psi))^2}, \tag{7}$$

де  $R_Z$  – радіус попереднього отвору;

$\Delta_K$  – величина конусності попереднього отвору;

$Lo$  – відстань від торця заготовки до ділянки, на якій ведеться розрахунок;

$Lz$  – довжина отвору;

$\varphi$  – полярна координата точки поверхні отвору;

$\psi$  – кут між осями еліпса отвору та осями координат  $Y$  і  $Z$ ;

$\Delta_O$  – величина овальності попереднього отвору.

Таким чином, величина радіуса попереднього отвору  $R_z$  для кожного поперечного перерізу отвору змінюється за законом еліпса і в міру наближення перетину до точки з довжиною  $L_0$ , рівній довжині заготовки  $L_z$ , змінюється на величину  $\Delta_k \cdot L_0/L_z$ .

Величина зсуву  $\Delta_{CM}$  і величина перекосу  $\Delta_{ПЕР}$ , що утворюються в результаті розбіжності осі отвору з віссю інструмента при установці заготовки на столі верстата, призводять то до збільшення, то до зменшення дійсного радіуса заготовки  $R_z^d$  з періодом проходження в  $2\pi$ . Для кожної конкретної точки поверхні зручно знайти сумарну величину похибки від одночасної дії цих величин. Як і у випадку деформації інструмента, дія цих параметрів розглядається у взаємоперпендикулярних осях  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  та визначається як сума безпосередньо зсуву осі в напрямку декартових осей  $Y$  і  $Z$  та зсуву внаслідок перекосу осі отвору в площинах  $YOX$  і  $ZOX$ . На рис. 6 і 7 представлені схеми знаходження величини зсуву заготовки в напрямку осей  $Y$  і  $Z$  і кута перекосу осі отвору в площинах  $YOX$  і  $ZOX$ .

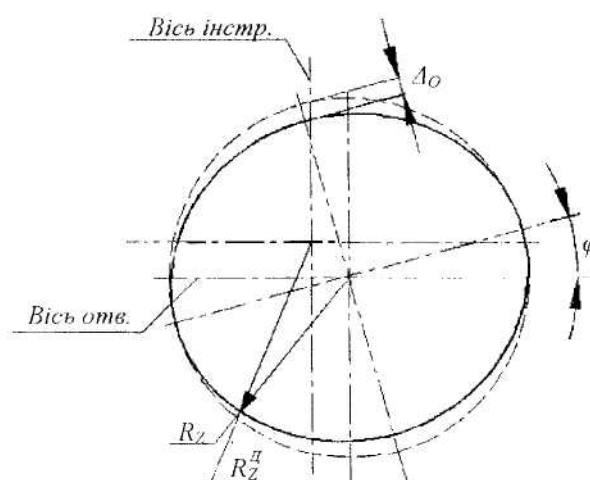


Рис. 4. Схема для визначення овальності попереднього отвору

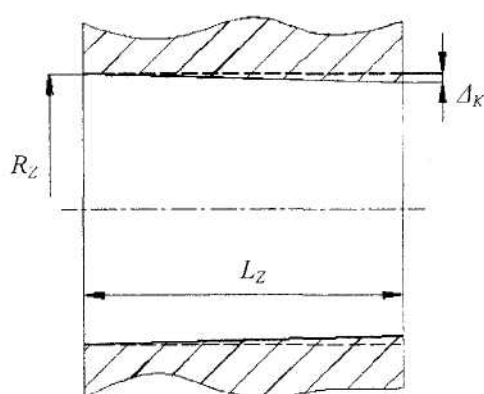


Рис. 5. Схема для визначення конусності попереднього отвору

Для спрощення розрахунків початок осі отвору сполучено з віссю інструмента (рис. 7), що також є найбільш несприятливою умовою. Тоді величину сумарного впливу зсуву і перекосу осі заготовки в напрямку осей координат  $Y$  і  $Z$  для точки поверхні, розташованої на довжині  $L_0$ , можна знайти з виразів:

$$\Delta_{CBY} = \Delta_{CMY} + \text{tg}(\gamma_Y) \cdot L_0 ; \tag{8}$$

$$\Delta_{CBZ} = \Delta_{CMZ} + \text{tg}(\gamma_Z) \cdot L_0 , \tag{9}$$

де  $\Delta_{C_{CMY}}, \Delta_{C_{CMZ}}$  – відповідно зсув осі заготовки в напрямку осі Y і Z;  
 $u_Y, u_Z$  – відповідно кут перекосу осі отвору в площині XOY і XOZ.

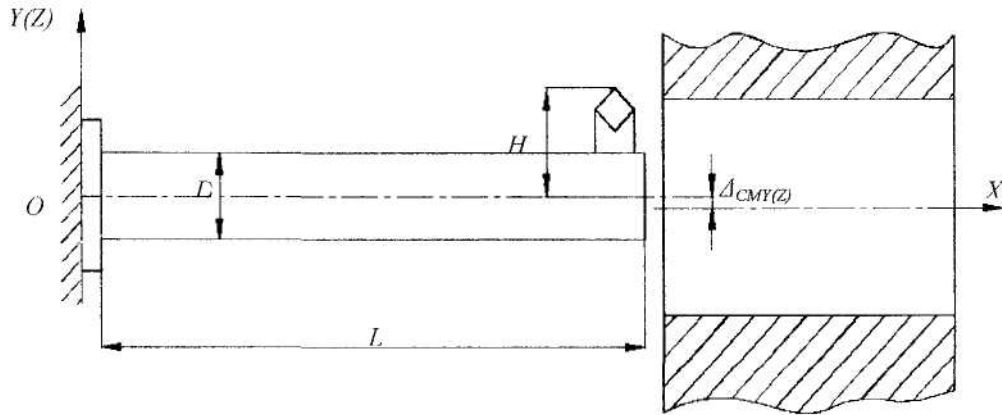


Рис. 6. Схема перебування зсуву осі заготовки в напрямку осі Y (Z)

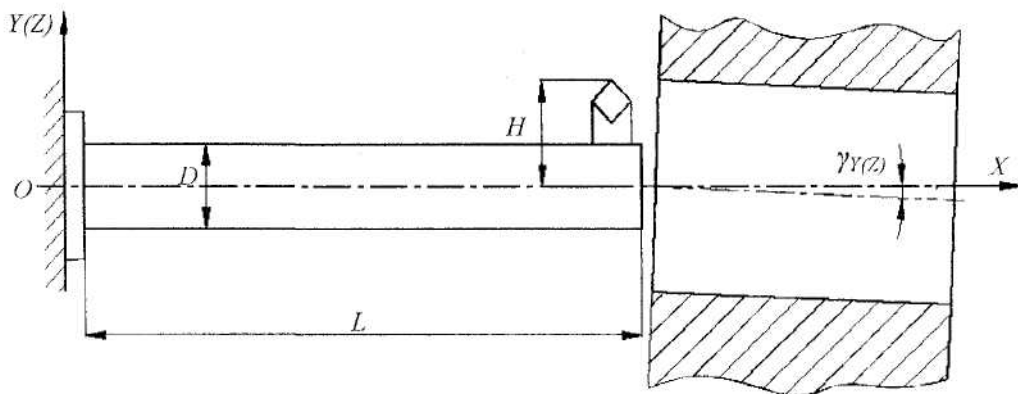


Рис. 7. Схема перебування зсуву осі заготовки в результаті перекосу осі в площині YOX (ZOX)

Отже, величину зміни дійсного радіуса заготовки внаслідок неспівпадання осей отвору та інструмента і наявності похибок форми (овальності і конусності), для кожної точки поверхні отвору визначимо з виразу:

$$R_z^d = \sqrt{R_z^2 + \Delta_{C_{BY}}^2 + \Delta_{C_{BZ}}^2 - 2 \cdot R_z \cdot (\Delta_{C_{BY}} \cdot \cos \varphi + \Delta_{C_{BZ}} \cdot \sin \varphi)}. \quad (10)$$

Для визначення зміни глибини різання, викликаної попередньою шорсткістю поверхні заготовки  $\Delta_{RZ}$ , введемо припущення, що висота нерівностей змінюється випадково відповідно до нормального закону розподілу. Тоді відповідно до правила "шести сигм" маємо:

$$\sigma_{RZ} = Rz / 6; \quad (11)$$

$$\Delta_{RZ} = \sigma_{RZ} \cdot RandF, \quad (12)$$

де  $\sigma_{RZ}$  – середньоквадратичне відхилення висоти нерівностей поверхні;

$Rz$  – значення шорсткості поверхні;

$Rand$  – випадкова функція, значення якої відповідають стандартизованому нормальному розподілу.

Таким чином, у математичній моделі на основі вихідних даних про режими різання, геометрії та властивості матеріалу інструмента, а також на основі величини овальності  $\Delta_O$  і конусності

отвору  $\Delta_K$ , значень зсувів  $\Delta_{CMY}$  і  $\Delta_{CMZ}$ , кутів перекосу  $\psi_Z$  і  $\psi_Y$  розраховується сила різання  $P$  і віджиму інструмента для заданої глибини  $T_{REZ}$ . Після цього за формулою (1) визначається дійсна глибина різання  $T_{REZ}^D$ , що відповідає отриманій величині віджиму інструмента. Далі, підставляючи це значення дійсної глибини різання  $T_{REZ}^D$  в емпіричні формули розрахунку сил різання, визначаємо відповідну їй величину сили різання і величину віджиму інструмента. У свою чергу цей віджим призводить до чергової зміни дійсної глибини різання  $T_{REZ}^D$ , а отже, і до чергової зміни сили різання та віджиму інструмента. Такий цикл розрахунку, використовуваний у даній математичній моделі, дозволяє визначити величину дійсного радіуса заготовки для кожної точки її поверхні з огляду на його попередні значення.

Вид діалогового вікна для розрахунку впливу твердості інструмента на точність і якість одержуваних розмірів деталей при розточуванні представлений на рис. 8.

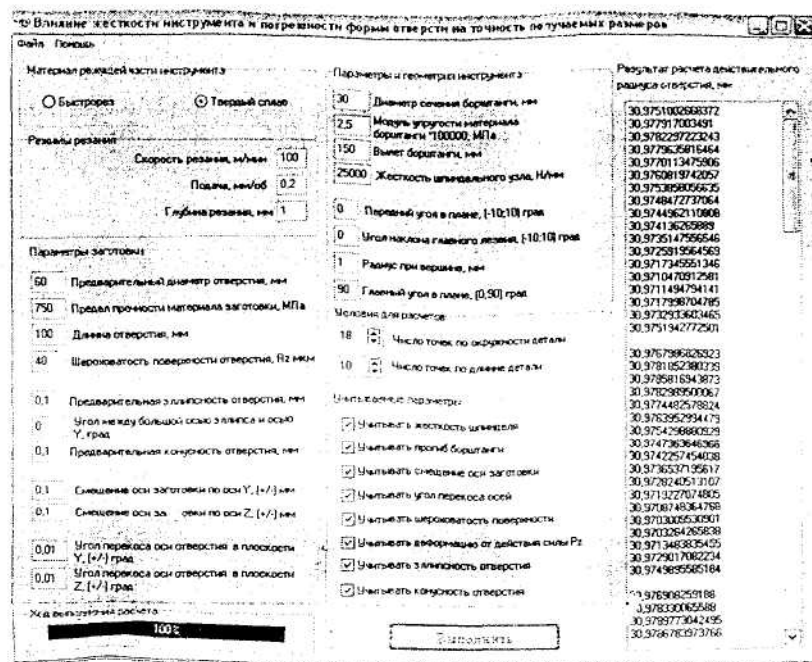


Рис. 8. Зовнішній вигляд діалогового вікна для розрахунку точності деталей при розточуванні

При запуску програма вимагає ввести вихідні дані про режими різання, розміри і властивості оброблюваного отвору, параметри геометрії та властивості матеріалу інструмента, жорсткість борштаниги і шпindelного вузла, а також дані про величину овальності та конусності попередньо сформованого отвору, зсув осі заготовки і кут перекосу в напрямку осей  $Y$  і  $Z$ . При необхідності виконання більш точних розрахунків передбачені два вікна для збільшення кроку по колу і довжині деталі. Для з'ясування впливу кожного з факторів є панель, де можна виключити вплив кожного з розглянутих факторів. Після введення вихідних даних машина робить розрахунок, у результаті якого видає величину дійсного радіуса деталі в кожній точці поверхні деталі з заданим кроком. На основі отриманих даних можна побудувати графіки круглості та профілю повздовжнього перетину поверхні деталі, визначити величину максимального віджиму інструмента, виявити вплив неточності базування і попередньої шорсткості поверхні.

Нижче наведений приклад результату прогнозування точності отвору, одержуваного при розточуванні на верстаті "обробний центр" для таких вихідних даних: швидкість різання  $V = 100$  м/хв; подача  $S = 0,2$  мм/об; глибина різання  $t = 1$  мм; діаметр попереднього отвору  $D_Z = 60$  мм; довжина отвору  $L_Z = 100$  мм; межа міцності матеріалу заготовки  $\sigma_B = 750$  МПа;

шорсткість поверхні отвору  $R_{zz} = 40$  мкм; овальність отвору  $\Delta_O = 0,07$  мм; конусність отвору  $\Delta_K = 0,07$  мм; матеріал пластини різця – твердий сплав; діаметр борштанги  $D = 30$  мм; виліт борштанги  $L = 150$  мм; модуль пружності матеріалу борштанги  $E = 2,5$  МПа; передній кут різця  $\gamma = 0^\circ$ ; головний кут у плані  $\phi_1 = 90^\circ$ ; кут нахилу леза  $\lambda = 0^\circ$ ; радіус при вершині різця  $r = 1$  мм; жорсткість інструмента – 25000 Н/мм; зсув заготовки по осі Y,  $\Delta_{CMY} = 0,1$  мм; зсув заготовки по осі Z,  $\Delta_{CMZ} = 0,1$  мм; кут перекосу осі заготовки в площині XOY,  $\gamma_Y = 0,01^\circ$ ; кут перекосу осі заготовки в площині XOZ,  $\gamma_Z = 0,01^\circ$ .

Таблиця 1

## Величина дійсного радіуса отвору

Номери точок по колу	Номери точок по довжині деталі									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30,95014	30,95475	30,95512	30,9552	30,9555	30,95569	30,9557	30,95604	30,95601	30,95624
2	30,95692	30,95747	30,95791	30,95858	30,95905	30,95939	30,96007	30,9605	30,96109	30,96177
3	30,95752	30,95837	30,9593	30,95998	30,96078	30,96137	30,96222	30,96296	30,96375	30,96451
4	30,95738	30,95818	30,95908	30,95999	30,96061	30,96151	30,96252	30,96336	30,96407	30,96494
5	30,95592	30,95693	30,95749	30,95837	30,95917	30,96	30,96091	30,9618	30,96244	30,96355
6	30,95437	30,95513	30,95559	30,95639	30,9571	30,95763	30,95819	30,959	30,95954	30,96009
7	30,95299	30,95321	30,95351	30,95388	30,95437	30,95462	30,95506	30,95524	30,9557	30,95586
8	30,95164	30,95156	30,95163	30,95146	30,95157	30,95145	30,95157	30,95144	30,95128	30,95127
9	30,95052	30,95012	30,94958	30,94937	30,94894	30,94829	30,94784	30,94745	30,94721	30,94676
10	30,94943	30,94862	30,94782	30,94695	30,94617	30,94532	30,94434	30,94371	30,9429	30,942
11	30,94806	30,94684	30,9456	30,94469	30,94336	30,94233	30,94099	30,94003	30,93886	30,93772
12	30,9464	30,94522	30,94382	30,94234	30,94084	30,93965	30,93808	30,93684	30,93558	30,93398
13	30,9451	30,94354	30,94216	30,94066	30,9392	30,93756	30,93613	30,93481	30,93321	30,93187
14	30,94418	30,94286	30,9415	30,94011	30,93847	30,93699	30,93573	30,93423	30,93289	30,93127
15	30,94469	30,94321	30,9421	30,94083	30,93963	30,93814	30,93693	30,93577	30,93457	30,93321
16	30,94598	30,94525	30,94417	30,94313	30,9421	30,94112	30,94029	30,93932	30,93833	30,93749
17	30,94867	30,94804	30,94741	30,94674	30,94621	30,94576	30,94499	30,94457	30,94391	30,94326
18	30,95199	30,95174	30,9515	30,95131	30,95105	30,95092	30,95059	30,95047	30,95012	30,94997

У табл. 1 наведений масив значень дійсного радіуса отвору, що розрахований для точок, які лежать по колу і по довжині поверхні отвору з кроком, рівним по колу 18 і 10 – по довжині деталі. На рис. 9 і 10 показаний графік залежності дійсного радіуса одержуваного отвору, побудований за значеннями даної таблиці в графічному редакторі Microsoft Excel. При цьому на рис. 9 показаний графік, побудований за значеннями дійсного радіуса, розрахованого для точок поверхні, розташованих по довжині отвору вздовж її осі (кількість точок відповідає кількості точок, що задаються в початкових умовах у діалоговому вікні "умови для розрахунку – кількості точок по довжині деталі"). З цього графіка можна визначити максимальну величину відхилення профілю повздовжнього перетину (зокрема – конусоподібність) як найбільшу різницю між найбільшим і найменшим радіусами отвору, розраховану для кожного ряду окремо.

Для виявлення величини відхилення форми (зокрема величини відхилення від круглості) побудований графік представлений на рис. 10. На ньому показана ця ж залежність дійсного радіуса, але вже для точок, розташованих у поперечному перерізі даного отвору, при цьому кількість поперечних перерізів відповідає кількості точок по довжині отвору. Для підвищення точності розрахунків дискретність кроку, як по довжині, так і по колу, може бути збільшена в діалоговому вікні програми при введенні вихідних даних.

На основі даних табл. 1 можна виконати також візуалізацію обробленої поверхні шляхом побудови її тривимірного зображення. На рис. 11 показаний результат моделювання похибки обробленої поверхні в масштабі 1:1000 з використанням тривимірної мережі у поперечному перерізі вала і виді ізометричної проекції, виконаної в середовищі AutoCad.

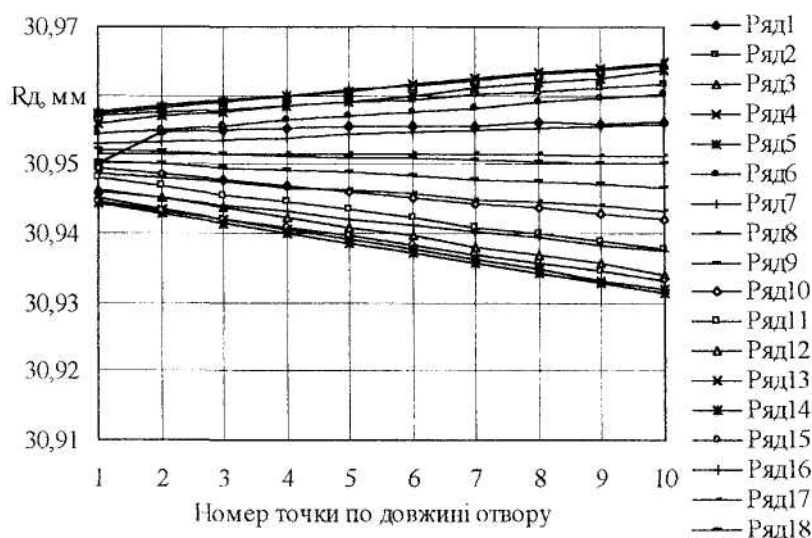


Рис. 9. Графік профілю повздовжнього перетину отвору

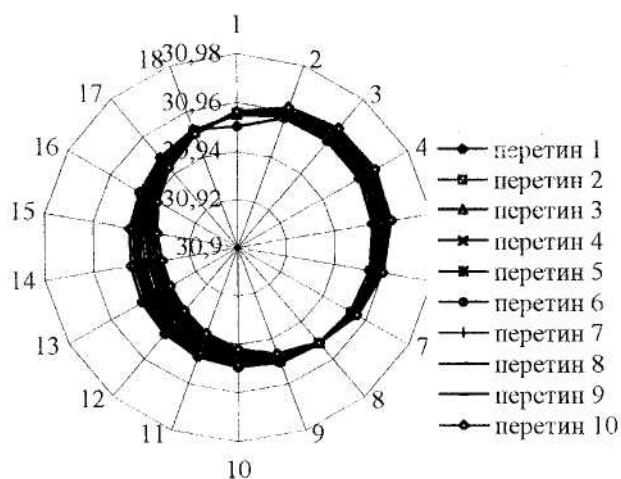


Рис. 10. Графік круглості поперечного перерізу отвору

Як видно з отриманих графіків, отвір має похибки як у повздовжньому, так і в поперечному перерізах. Отриманий отвір успадкував усі похибки, що були у попередньому отворі: конусоподібність, овальність, зсув осі отвору відносно початку координат. Це обумовлено тим, що задані в початкових умовах похибки форми даного отвору, а також похибки його розташування, що можуть виникнути при базуванні заготовки на столі верстата, впливають на глибину різання, що, в свою чергу, призводить до пропорційної зміни величини деформації інструмента.

Деякі результати роботи даної математичної моделі, отримані при прогнозуванні величини дійсного радіуса отвору при розточуванні, наведені на рис. 12–14. На рис. 12, 13 подані комплексні графіки залежності деформації борштанги і шпindelного вузла від глибини різання, подачі та межі міцності матеріалу заготовки для вищеописаних вихідних даних.

На рис. 14 показаний графік залежності овальності одержуваного отвору від величини попередньої овальності отвору. Таким чином, як у випадку з визначенням величини деформації, так і при визначенні інших параметрів, за тих самих вихідних даних можна користатися відповідними коефіцієнтами кореляції, обумовленими з відповідних графіків-залежностей, одержуваних за допомогою даної математичної моделі.



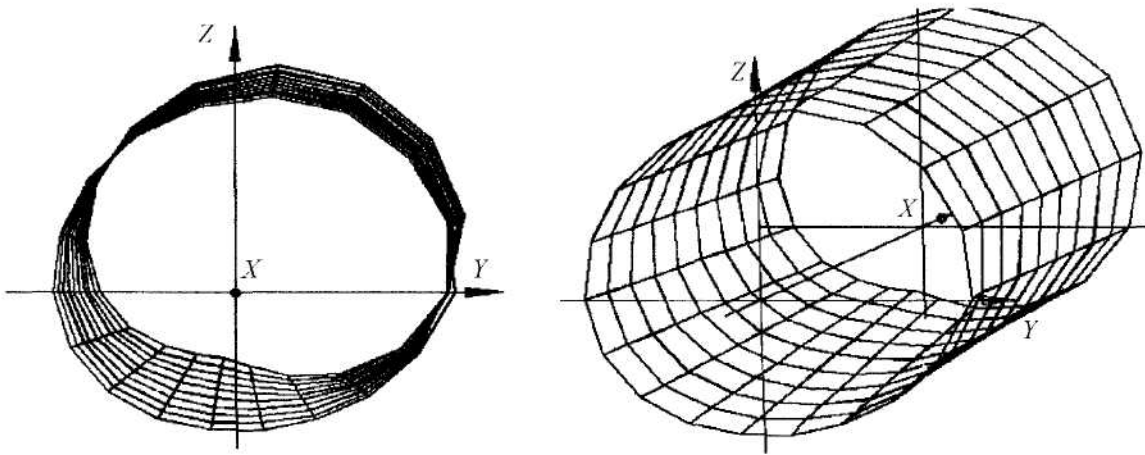


Рис. 11. Похибка поверхні одержуваного отвору (подано у вигляді тривимірної мережі)

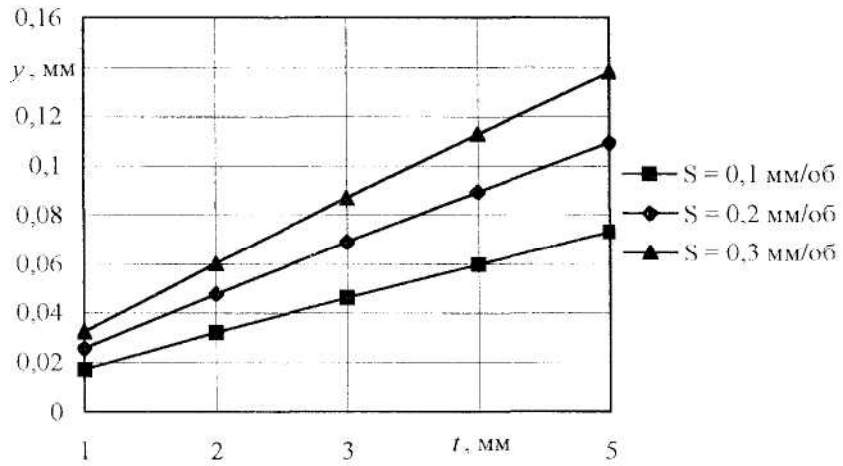


Рис. 12. Графік залежності сумарної деформації борштанги і шпіндельного вузла від зміни глибини різання і подачі

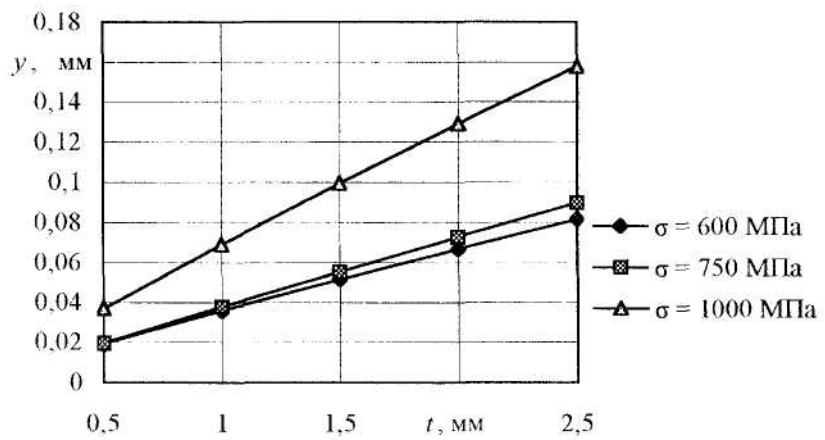


Рис. 13. Графік залежності сумарної деформації борштанги і шпіндельного вузла від зміни глибини різання і межі міцності матеріалу заготовки

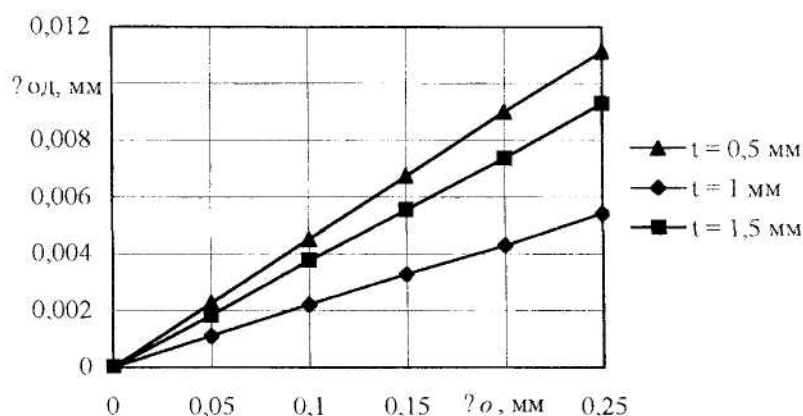


Рис. 14. Графік залежності овальності одержуваного отвору від овальності попереднього отвору

Таке моделювання процесів обробки деталей дозволяє ще на стадії проектування металорізального устаткування або інструмента одержати аналітичні залежності та розрахунки, за якими можна судити про точність форми, розмірів, взаємного розташування поверхонь деталей, які будуть у майбутньому обробленими на даному верстаті.

Така методика прогнозування точності поверхонь деталей при розточуванні відносно легко піддається автоматизації, крім цього вона дозволяє робити своє ускладнення шляхом включення в розгляд нових параметрів, зменшуючи при цьому кількість допущень і наближаючи модель до дійсних умов обробки. Використання такої моделі у виробництві дозволить істотно зменшити експериментальну частину досліджень, спрямовану на з'ясування точності майбутньої заготовки і виявлення факторів, які найбільше впливають на точність, а також зробити оптимізацію вибору геометрії інструмента і режимів різання з метою одержання деталей більш високого квалітета точності.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Рязанцев А.Н., Жолобов А.А. Компьютерное моделирование макрогеометрии поверхностей обработанных резанием // NOVE SMERY VO VYROBNYCH TECHNOLOGIACH: Zbornik referatov z medzinarodnej konferencie. – PRESOV, 15. – 16.6.2000. – С. 286–290.
2. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 464 с.

ЖОЛОБОВ Олександр Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з навчальної роботи Могилівського державного технічного університету, Білорусь.

Наукові інтереси:

– прогнозування поведінки технологічних систем на стадії їхнього проектування.

БУДКЕВИЧ Олексій Михайлович – аспірант Могилівського державного технічного університету, Білорусь.

Наукові інтереси:

– прогнозування поведінки технологічних систем на стадії їхнього проектування.

Подано 11.08.2003