

УДК 621.9.01

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ НАЛАДКИ ПРИ ОБРОБЦІ
КООРДИНОВАНИХ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ**

©Бурдейна В. М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Стаття присвячена проблемі оцінювання точності розташування отворів щодо бази і величиною позиційного відхилення осей отвори діаметром від 1 до 5 мм. Отримано ступеневі залежності для розрахунку очікуваної точності координованих розмірів при обробці отворів з напрямком ріжучого інструменту.

Ключові слова: *наладка, ріжучий інструмент, координовані отвори, поля розсіювання.*

Бурдейная В. М. «Оптимизация элементов наладки при обработке координированных отверстий малого диаметра».

Статья посвящена проблеме оценивания точности расположения отверстий относительно базы и величине позиционного отклонения осей отверстия диаметром от 1 до 5 мм. Получены степенные зависимости для расчета ожидаемой точности координированных размеров при обработке отверстий с направлением режущего инструмента.

Ключевые слова: *наладка, режущий инструмент, координированные отверстия, поля рассеивания.*

Burdeinaya V. “Optimization of the elements adjustment installation coordinated holes of small diameter”.

The article deals with the evaluation of accuracy the location of the holes on the base and the size of the positional deviation make holes with a diameter of 1 to 5 mm. Degree of dependence for the accuracy of the estimated size of the processing coordinated holes with the direction of the cutting tool.

Key words: *adjusting, cutting tools, coordinated holes, stray field.*

1. Вступ

Завдання більш повного використання металорізального обладнання, і в першу чергу багатоопераційних і агрегатних верстатів, передбачає не тільки посилення вимог до окремих елементів верстатів, але і застосування таких способів обробки, які б при гарантованому забезпеченні заданої точності були б економічно вигідні.

При обробці отворів мірним інструментом на агрегатних верстатах є тенденція до максимального скорочення наладок, що містять направляючі кондукторні плити при забезпеченні необхідної точності за рахунок безкондукторної обробки [1]. Крім того, практика показала, що в процесі розробки якої конструкції необхідно в обов'язковому порядку проводити розмірний аналіз всіх конструкторських рішень. У агрегатобудуванні це перш за все відноситься до розрахунку вихідних параметрів координованих розмірів отворів.

2. Постановка проблеми дослідження

Основна доля деталей, що обробляється на багатоопераційних станках та автоматичних лініях, приходиться на обробку отворів мірним інструментом. Дослідження в цьому напрямку проводились, але були присвячені точності діаметральних розмірів, а номінальні діаметри цих отворів перевищували 25 мм. Для визначення точності обробки координованих отворів на агрегатних верстатах середнього та малого габариту використовується різновид розрахунково-аналітичного методу, що дозволяє враховувати досяжну точність виготовлення деталей оснастки цих верстатів у виробничих умовах.

Тому постала необхідність провести комплекс досліджень по оцінюванню розташування отворів відносно бази та величини позиційного відхилення діаметрів малих отворів.

3. Обробка координованих отворів малих діаметрів

В експериментальних дослідженнях з використанням методики планування експерименту необхідно перевірити вплив геометричних, жорсткісних факторів на точність механічної обробки. За вихідний параметр прийнято поле розсіювання координованих розмірів, яке складається з поля розсіювання розміру від базової поверхні або осі (ω_B) і позиційного відхилення осей оброблюваних отворів (ω_O). У загальному вигляді точність на агрегатних верстатах при обробці отворів надамо у вигляді функціональної залежності:

$$\omega_{B;P;O;I} = f(l_u, d_u, HB) \quad (1)$$

де l_u – виліт інструменту (свердла, центрування, керна) за торець шпинделя, мм;

d_u , – діаметр інструменту, мм;

HB – твердість оброблюваного матеріалу, що визначає його фізико-механічні властивості, МПа.

В експериментах використовувалися заготовки зі сталі 45 (HB – 2000–2200 МПа), сірого чавуну СЧ15 (HB – 1000–1200 МПа), алюмінієвих сплавів типу АК5, АЛ9, АМГ (HB – 500–600 МПа).

Для планування експериментальних досліджень була використана функціональна залежність (1), яка представлена статистичною моделлю точності обробки.

Для знаходження лінійної моделі використовувалися плани I-го порядку. Найбільш поширеним планом цієї групи є повний факторний експеримент (ПФЕ), в якому кожен рівень одного фактора комбінується з усіма рівнями інших факторів. Отже, число рівнянь варіювання прийнято мінімально можливим ($r = 2$), тобто плани типу 2^k , де k – число досліджуваних факторів.

При дослідженні матриці планування ПФЕ обрані кодовані значення кожного фактора, що дозволяє здійснити лінійне перетворення координат факторного простору і вибрати масштаби по нових осях в одиницях інтервалів варіювання досліджуваних факторів.

При дослідженні піддалися наступні фактори: кут керніння (α) і твердість оброблюваного матеріалу (HB). Досліджувався вплив зусилля керніння (P), кут керніння (α) і твердість матеріалу (HB) на діаметр ($d_{отп}$) відбитку и його глибину ($l_{отп}$).

Дослідження показали, що зусилля удару P надають менш істотний вплив як на величину $d_{отп}$, так і на величину $l_{отп}$ і становить відповідно від 22 до 14 %. Кут керна прямо

пропорційно збільшує $d_{отп}$ і його питома вага не перевищує 32 %, а вплив кута α на глибину обернено пропорційно і дуже суттєво – до 58 %. Твердість матеріалу більш істотно впливає на $d_{отп}$ (46 %), ніж на його глибину (28 %). Сумарний вплив керованих факторів P і α на $d_{отп}$ становить до 56 %, а на – 72 %.

Дані результати вказують на те, що глибина збільшується більш швидко із збільшенням зусилля кернення (P) і зменшенням кута керна (α). Мінімальні кути, рекомендовані для м'яких матеріалів: для алюмінієвих сплавів і сірого чавуну $\alpha_{min} = 60$, а для сталі $\alpha_{min} = 70-75$. Однак технологічно більш важливо забезпечувати діаметр відбитка для подальшого переходу при свердлінні отворів

4. Системи з направленням ріжучого інструменту при обробці отворів малого діаметру

Функціональна залежність зміни полів розсіювання розмірів від бази і позиційні відхилення осей отворів при проведенні експериментального дослідження можуть бути представлені у вигляді:

$$\omega_{в,о} = f(d_{II}, HB, l_{em}, l_x), \quad (2)$$

де $\omega_{в,о}$ – поле розсіювання розміру від бази або позиційного відхилення, мкм;

d_{II} – діаметр інструмента;

l_{em} – довжина направляючої частини кондукторної втулки, мм;

l_x – вильот інструменту за торець кондукторної втулки, мм.

Планування та проведення повного факторного експерименту типу 2^4 дозволяє отримати математичну модель точності обробки координованих отворів (4).

Кожна точка плану експерименту являє собою один досвід і визначається практичним полем розсіювання $\omega_{в}$ або $\omega_{о}$. Гіпотеза про однорідність дисперсій полів розсіювання в кожній точці плану експерименту перевірялася за критерієм Кохрена і показала їх однорідність [2, 3].

За результатами експериментів оцінювалися коефіцієнти рівняння регресії і знаходилися шукані математичні моделі полів розсіювання розмірів і відхилень. Межі зміни варійованих факторів при свердлінні координованих отворів зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Область зміни незалежних факторів при свердлінні отворів силовою голівкою з насадкою при напрямку різального інструменту

Рівень варіювання	Незалежні фактор та їх логарифми							
	Довжина кондукторної втулки		Вильот інструменту		Твердість матеріалу, що оброблюється		Діаметр інструменту	
	$l_{BT},$ мм	$lg l_{BT}$	$l_x,$ мм	$lg l_x$	HB, МПа	$lg HB$	$d_{и},$ мм	$lg d_{и}$
Верхній (+1)	18	1,2553	3,5	0,5441	1930	3,2856	3,0	0,4771
Нульовий (0)	12,5	1,0969	2,5	0,3979	1240	3,0934	2,0	0,301
Нижній (-1)	7	0,8451	1,5	0,1761	550	2,7404	1,0	0
Інтервал варіювання	-	0,2051	-	0,184	-	0,2726	-	0,2386

Збільшення діаметра $d_{\text{и}}$ і довжини напрямної втулки l_{BT} зменшує величину полів розсіювання розмірів від бази (В) і позиційних відхилень (О), а збільшення вильоту інструменту і підвищення фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу збільшують $\omega_{\text{в}}$ і $\omega_{\text{о}}$.

$$\lg \omega_{\text{в}} = 1,9431 - 0,0018 \lg d_{\text{и}} + 0,337 \lg \text{HB} - 0,187 \lg l_{\text{BT}} + 0,196 \lg l_{\text{х}}; \quad (3)$$

$$\lg \omega_{\text{о}} = 3,066 - 0,04137 \lg d_{\text{и}} + 0,1531 \lg \text{HB} - 0,1165 \lg l_{\text{BT}} + 0,12 \lg l_{\text{х}}. \quad (4)$$

Потенціуючи рівняння (3) і (4), отримуємо залежності для розрахунку полів розсіювання при обробці з напрямком ріжучого інструменту:

$$\omega_{\text{в}} = 19,6 \frac{l_{\text{х}}^{0,2} \text{HB}^{0,34}}{d_{\text{и}}^{0,02} \cdot l_{\text{BT}}^{0,19}} \quad (5)$$

$$\omega_{\text{о}} = 19,6 \frac{l_{\text{х}}^{0,12} \text{HB}^{0,15}}{d_{\text{и}}^{0,04} \cdot l_{\text{BT}}^{0,12}} \cdot 10^3 \quad (6)$$

Рівняння (5) і (6) рекомендуються для розрахунку полів розсіювання при використанні кондукторних втулок, у яких діапазон довжин направляючої частини знаходиться в межах від 5 мм до 20 мм, вильоти інструменту за торець втулки змінюються в межах від 1 мм до 5 мм, межі зміни діаметрів – $0,5 \text{ мм} \leq d_{\text{и}} \leq 3,5 \text{ мм}$, і твердість оброблюваного матеріалу $500 \text{ МПа} \leq \text{HB} \leq 2500 \text{ МПа}$.

5. Системи з направленням ріжучого інструменту на верстатах середнього габариту

У агрегатних верстатах середнього габариту [7] конструктивно-технологічні характеристики силових головок і технологічного оснащення практично однозначні з характеристиками верстатів малого габариту моделі ХММ і ХМА. Тому, прийнявши зазор у сполученні між ріжучим інструментом і кондукторною втулкою для малих агрегатних верстатів $T_{S1_{\text{min}}} = 10 \text{ мкм}$, $T_{S1_{\text{max}}} = 40 \text{ мкм}$, $\Delta T_{S1} / 2 = 25 \text{ мкм}$, а його питомий вплив для $\omega_{\text{в}} = 24 \%$ і $\omega_{\text{о}} = 40 \%$, виконаємо розрахунки емпіричних залежностей, які враховують вплив зазначеного зазору.

Поля розсіювання при збільшенні зазору S_l і вильоту інструменту $l_{\text{х}}$ збільшуються, а застосування подовжених кондукторних втулок зменшує їх величину. Питома вага впливу факторів на точність обробки координованих отворів представлений в таблиці 2. Сумарний вплив керованих факторів істотно (l_{BT} , $l_{\text{х}}$ і T_{S1}) (див. табл. 2), і становить відповідно 57% і 64%, що дає значний резерв регулювання точності обробки координованих отворів для малих агрегатних верстатів.

Таблиця 2 – Питома вага впливу факторів на величину полів розсіювання $\omega_{\text{о}}$ і $\omega_{\text{в}}$ при свердлінні з напрямком ріжучого інструменту

Точнісні характеристики	Питома вага факторів, %				
	керованих			некерованих	
	геометричні		точнісні	Задані в кресленні	
	l_{BT}	$l_{\text{х}}$	T_{S1}	HB	$d_{\text{и}}$
Розмір від бази до вісі отвору, що обробляється	16	16	25	39	4
Позиційне відхилення вісі отвору	16	8	40	29	7

Наведемо залежності позиційних відхилень для агрегатних верстатів у логарифмічному вигляді:

$$\omega_b = 1,53409 - 0,025 \lg d_{И} + 0,357 \lg HB - 0,185 \lg l_{BT} + 0,206 \lg l_x + 0,202 \lg T_{S1} \quad (7)$$

$$\omega_o = 2,7109 - 0,0415 \lg d_{И} + 0,153 \lg HB - 0,117 \lg l_{BT} + 0,066 \lg l_x + 0,198 \lg T_{S1} \quad (8)$$

Потенціюючи виразу (7) та (8), отримаємо залежності для розрахунку полів розсіювання:

$$\omega_b = 34,2 \frac{T_{S1}^{0,202} l_x^{0,206} HB^{0,357}}{l_{BT}^{0,185} d_{И}^{0,025}} \quad (9)$$

$$\omega_o = 34,2 \frac{T_{S1}^{0,298} l_x^{0,066} HB^{0,153}}{l_{BT}^{-0,117} d_{И}^{0,041}} \quad (10)$$

Порівнюючи показники ступенів математичних моделей у формулах (5) і (6), при змінюваних факторах l_x , HB, l_{BT} і $d_{И}$ з показниками ступенів в імітаційних моделях (9) і (10) встановлюємо, що вони практично не відрізняються. Таким чином, введення додаткового фактора – зазору T_{S1} не змінило сутності процесу освіти похибок на малих агрегатних верстатах. Дослідженнями встановлено, що зміна діаметрів не веде до істотного збільшення полів розсіювання.

Висновки

Можна зробити висновок, що найменші поля розсіювання отримані при поєднанні керованих факторів при мінімальному ($T_{S1_{min}}$) і максимальній довжині направляючої частини втулки ($l_{BT_{max}}$), а в порівнянні з несприятливим поєднанням, а саме і вдається зменшити поля розсіювання розмірів від бази в 1,6 рази, а відхилень – в 2,6 рази. Використовуючи мінімальні вильоти l_x між торцем кондукторної втулки і поверхнею оброблюваної деталі можна підвищити точність при сприятливому поєднанні керованих факторів ($T_{S1_{min}}$, $l_{BT_{max}}$, $l_{x_{min}}$) порівняно з несприятливим їх поєднанням ($T_{S1_{max}}$, $l_{BT_{min}}$, $l_{x_{max}}$) від 1,85 рази для ω_b і до 2,7 раз для ω_o . А поєднання факторів, що визначають зазор у сполученні інструмент - отвір втулки при $T_{S1_{min}}$ і $l_{BT_{max}}$ зменшує поле розсіювання в просвердлених отворах також в 1,6 рази для ω_b і 2,6 рази для параметра ω_o в порівнянні з використанням втулок з $T_{S1_{max}}$ і $l_{BT_{min}}$. Порівнюючи поля розсіювання, отримані при обробці м'яких матеріалів (Ал 9) з вуглецевими сталями (сталь 45) встановлюємо, що їх прирощення становить до 65 % по ω_b і 23 % по ω_o . У всіх випадках прирощення полів розсіювання в залежності від вильоту інструменту за торець втулки більш істотно (на 14 %) при утворенні розміру від бази, ніж при утворенні позиційного відхилення. При проектуванні технологічних систем з насадками і кондукторами на верстатах типу ХММ найбільш доцільно для підвищення точності обробки вибирати мінімальні зазори в межах (10-15) мкм, високі кондукторні втулки ($l_{BT} = 18$ мм) і малі вильоти ($l_x = 1-2$ мм).

Список використаних джерел:

1. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / И. С. Солонин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 215 с.
2. Душинский В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении / В. В. Душинский, Е. С. Пуховский, С. Г. Радченко ; под общ. ред. Г. Э. Таурит. – К. : Техніка, 1977. – 176 с.
3. Odom P. R. Nomographs for computer simulation / P. R. Odom, R. E. Shannon // Industrial Engineering. – 1973. – Vol. 5, N 11. – P. 603–614.
4. Шиндовский Э. Статистические методы управления качеством / Э. Шиндовский, О. Шорц. – М. : МИФ, 1976. – 599 с.
5. Портман В.Т. Универсальный метод расчета точности механических устройств / В. Т. Портман // Вестник машиностроения. – 1981. – № 7. – С. 12–17.
6. Агрегатные станки средних и малых размеров / Ю. В. Тимофеев, В. Д. Хицан, М. С. Васерман, В. В. Громов ; под общ. ред. Ю. В. Тимофеева. – М. : Машиностроение, 1985. – 248 с.
7. Исследование факторов, определяющих точность обработки деталей на агрегатных станках ХПО : (отчет о НИР) / Укр. заоч. политехн ин-т ; Э. А. Пашенко, В. А. Чепела, Н. В. Латышев. – Харьков, 1983. – 90 с. – Инв. номер 02840041668.

Стаття надійшла до редакції 29 квітня 2014 р.