

---

УДК 621.9.019

В.М. Бурдейна

*Українська інженерно-педагогічна академія, Харків*

## **ТОЧНІСТЬ КООРДИНОВАНИХ РОЗМІРІВ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ З НАПРАВЛЕННЯМ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ**

*У статті проведений аналіз точності виготовлення основних деталей насадок, кондукторів, пристосувань і допоміжної оснастки у виробничих умовах. Виведені аналітичні залежності для розрахунку похибки координованих розмірів з урахуванням позиційного відхилення осей оброблюваних отворів в деталях. Виявлено основні групи факторів та встановлено їх вплив на точність обробки координованих розмірів. Розглянуто вплив похибки взаємної орієнтації елементів оснастки (шпинделів з інструментами і пристосування з оброблюваною деталлю) на точність обробки координованих отворів.*

**Ключові слова:** *точність, відхилення, координовані отвори, розмір, похибка, інструмент.*

### **Вступ**

Основною задачею машинобудівної промисловості на сучасному етапі розвитку економіки стає інтенсифікація виробництва, подальше підвищення

якості продукції за рахунок застосування нової технології і впровадження найбільш ефективних видів металорізального обладнання. Особливе значення у вирішенні поставлених завдань набуває верстатобудування в області створення металорізальних верс-

татів, які забезпечують високу концентрацію операцій, у тому числі агрегатних.

На сучасному етапі розвитку перед верстатобудуванням поставлено завдання створення гнучких автоматизованих виробництв, забезпечення більш високої точності обробки деталей і вирішення пов'язаних з ними проблеми прогнозування та управління точнісних характеристиками автоматизованого обладнання на стадії його проектування і виготовлення.

**Постановка проблеми.** Виробничі дослідження точності обробки деталей на агрегатних верстатах з пінольними силовими головками показали [1], що точність координованих розмірів між оброблюваними отворами з урахуванням позиційного відхилення їх осей забезпечується з великими труднощами. З іншого боку, встановлено, що, як правило, точність обробки деталей, що забезпечується спеціальним оснащенням, а саме, багатошпindelних насадками, кондукторами, пристосуваннями, не пов'язана з точнісних параметрів. У цьому зв'язку наголошується, що незважаючи на великий досвід, накопичений у результаті досліджень технологічних процесів автоматизованого виробництва, питання технологічного забезпечення якості їх роботи вивчені недостатньо. Відсутня також у проектувальників нормативно-технологічна документація, що встановлює взаємозв'язок між точнісних характеристиками оброблюваних на верстатах деталей і точнісних параметрів елементів оснащення верстатів, які забезпечують ці характеристики. Все це знижує ефективність обробки груп отворів з заданими координованими розмірами на автоматизованому обладнанні, в тому числі на агрегатних верстатах.

З підвищенням вимог до точності розташування координат і позиційних відхилень осей груп оброблюваних отворів у деталях виникає необхідність вже на стадії проектування агрегатних верстатів обґрунтовано застосовувати різні конструкції багатошпindelних насадок, кондукторів, пристосувань з певними точнісних параметрів. Перелічене обладнання агрегатних верстатів оригінально, і його конструктивні і точнісні характеристики пов'язані з характеристиками оброблюваних деталей

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Однак відомо, що найбільш достовірними методами визначення похибок обробки на металорізальних верстатах є розрахунково-аналітичний та аналітичний. Розрахунково-аналітичний метод досить докладно викладено у працях А.П. Соколовського [2], В.С. Корсакова [3], І.Г. Фрідлендера [4] та ін. Аналітичний метод, запропонований Б.М. Базровим [5], В.Т. Портманом [6] являє математичний опис процесу обробки з виведенням рівняння відносного руху ріжучих кромок інструменту та технологічних баз деталі, що містять як складових параметрів всі діючі фактори. В кресленнях деталей загально машинобудівного призначення все частіше задаються точнісні характеристики на координовані розміри з урахуванням позиційного відхилення

осей отворів. В роботі В.С. Корсакова та ін розглянуто це питання для багатоопераційних верстатів, а обробка деталей на автоматичних ліній і агрегатних верстатах в літературі відображення не знайшла. П.Ф. Дунаєв стверджує, що при одночасній обробці поверхонь на одному верстаті в загальному пристосуванні і однако-вим інструментом між точнісних характеристиками цих поверхонь існує кореляційний зв'язок. Тому в статі також висунута гіпотеза про наявність кореляційного зв'язку між точністю координованих розмірів і позиційним відхиленням осей отворів і проведено дослідження цього питання. Схема обробки координованих отворів з направленням або без направлення різального інструменту повинна вибиратися, виходячи з точнісних характеристик, заданих на кресленні оброблюваної на агрегатному верстаті деталі.

У роботах М.М. Пичикяна для розточувальних В.В. Огороднікова і Ш. Нурієва для ремонтних позицій розглянуті деякі питання побудови оптимальних схем обробки на агрегатних верстатах. Однак у цих роботах також не представлені імовірнісні розрахунки очікуваної точності обробки координованих отворів і не наведено експериментальні перевірки отриманих результатів. Тому створення методики розрахунку точності обробки координованих отворів з урахуванням позиційного відхилення їх осей є актуальним.

**Метою роботи** є комплексне дослідження впливу різних елементів технологічної оснастки агрегатних верстатів (багатошпindelних насадок, кондукторів і пристосувань) на забезпечення регламентованої точності обробки координованих отворів з урахуванням позиційного відхилення їх осей при обробці з направленням ріжучого інструменту.

### **Точність координованих отворів в системах з направленням ріжучого інструменту**

Згідно зі статистичними даними [13] частка отворів  $\varnothing$  ( $1 \div 4$ ) мм, у яких  $l/d > 3$ , де  $l$  і  $d$  - відповідно довжина і діаметр отвору, становить (30-32)% у більшості галузей машинобудування. Конструкторів, які розробляють конструкції верстатних пристосувань і елементів налагодження, цікавить насамперед, досяжна точність розташування (міжосьові розміри та розміри від бази) таких отворів, а також позиційних відхилень осей отворів.

Відомо, що автоматизоване устаткування [7], до якого належать агрегатне верстаті, проектується для обробки однієї або декількох деталей. Від технічних вимог до оброблюваної деталі залежить комплектування верстата, тип технологічної оснастки, її точнісні параметри [7]. За основні характеристики деталей, оброблюваних на агрегатних багатошпindelних верстатах з насадками прийняті:

- номінальний разів заходів між оброблюваними отворами;
- діаметральні розміри отворів і передбачувана технологія їх обробки;

– матеріал оброблюваної деталі і його фізико-механічні властивості;

– допуски на розміри між координованими отворами.

В схемах обробки насадками з напрямком ріжучого інструменту додатково встановлюється кондукторна плита з кондукторними втулками, які направляють ріжучий інструмент. Знаходять застосування кілька видів кондукторів, які розрізняються:

– за типом кондукторної плити, яка може переміщатися з багатошпindelною насадкою по скалці або закріплюється нерухомо на пристосуванні;

– за способом фіксації рухомої кондукторної плити щодо пристосування: кондукторна плита сполучається з установочними пальцями пристосування; кондукторне втулки є установочними і центруючими по відношенню до постійних, які встановлені на плиті пристосування.

Встановлено, що оснащення з рухомими кондукторними плитами знаходить застосування при багатоперехідній обробці і її питома вага за способом фіксації кондукторної плити поділяється на співвідношення - рухомі - 64%, і комбіновані - 13%. Оснащення з постійними кондукторами застосовується лише за одноперехідній обробці і її питома вага складає 23%.

Класифікація багатошпindelних насадок за кількістю шпindelів [7] показала, що найбільшого поширення (сумарно до 88%) мають двох, трьох або чотирьохшпindelні насадки. В схемах обробки з багатошпindelних насадками та кондукторами переважає їх горизонтальна компоновка, питома вага якої складає близько 30%. Таким чином, типовий оснащення агрегатних верстатів є багатошпindelні насадки (з кількістю шпindelів від двох до чотирьох) без направлення ріжучого інструменту і з напрямком його кондукторами (рухомими або постійними), які розташовані в горизонтальній площині.

В результаті статистичного [8] аналізу проектів агрегатних верстатів встановлені також кількісні дані щодо основних характеристик деталей. Застосування номінальних розмірів між оброблюваними отворами підкоряється закону рідких подій. Межі зміни вживаності номінальних розмірів складають від 30 до 260 мм. Статистичний аналіз застосовності діаметральних розмірів показав, що питома вага деталей становить близько 70%, а по 7-11 квалітету - 30%. Межі зміни твердості матеріалу оброблюваних деталей охоплюють як алюмінієві сплави (HB=500 МПа), так і вуглецеві сталі (HB=2500 МПа). Сумарний розподіл полів допусків на межосевые розміри в деталях підкоряється закону рідкісних подій. Практичні поля їх розсіяння знаходяться в межах 0,08 - 1,2 мм.

Аналіз креслярських допусків (за абсолютним значенням) в деталях на розміри між отворами за типами оснастки з напрямком ріжучого інструменту дозволив встановити, що розподілу підкоряються закону рідких подій. Статистичними дослідженнями встанов-

лено, що застосування схем обробки з технологічною оснасткою без направлення ріжучого інструменту становить 25%, з направленням кондукторними плитами - 70%, а іншої оснащенням (свердильними мостами, механізмами зворотного ходу) - близько 5% від загального числа проєктованих верстатів.

Отвори можуть оброблятися без направлення ріжучого інструменту (свердлами короткої та середньої серії довжин) і з напрямком ріжучого інструменту по кондукторним втулкам середньої та довгої серії довжин. У другому випадку вирішальними факторами, що впливають на точність розташування осей отворів, є:

-  $l_x$  – виліт інструмента за торець кондукторної втулки;

-  $l_{BT}$  – довжина направляючої частини кондукторної втулки;

-  $S$  – зазор між отвором кондукторної втулки і ріжучим інструментом.

Крім того, одним з основних факторів, що визначають точність координованих розмірів, є твердість оброблюваного матеріалу заготовок.

Функція відгуку, що описує зміни полів розсіяння розмірів від бази і позиційних відхилень осей отворів може бути представлена в такому вигляді:

$$\omega_{B;O} = f(d_H, HB, l_{BT}, l_x) \quad (1)$$

де  $\omega_{B;O}$  - поле розсіювання від розміру бази (індекс В) або позиційного відхилення (індекс О);  $d_H$  – діаметр ріжучого інструмента

Планування і проведення повного факторного експерименту типу  $2^4$  дозволило отримати точності обробки координованих отворів. Статистичні характеристики розподілів показали, що розсіювання розмірів від бази підпорядковується нормальному закону

При використанні систем з напрямком ріжучого інструменту на операційних станціях з силовими головками отримані емпіричні залежності.

При обробці на операційних станках з силовими столами застосовуються також насадка, кондуктор, пристосування, що і на операційній станції з силовою головою. Змінний параметр, від якого залежить точність - це жорсткість технологічної системи. З роботи [9] приймаємо осьову жорсткість силових головок, рівну  $j_T = 800$  Н/мм, а твердість силових столів  $j_{CT} = 1300$  Н/мм

Використовуючи методи імітаційного моделювання, представимо поля розсіювання розмірів  $\omega'_B$  і відхилення  $\omega'_O$  в загальному вигляді:

$$\omega'_{B;O} = f(T_{S1}; l_{BT}; l_x; HB; d_H; j) \quad (2)$$

Якщо врахувати вплив точності взаємної орієнтації коефіцієнтами, які вибирають з роботи [9] для технологічних систем з напрямком різального інструменту при свердлінні отворів координованих

$$K_{T1} = 0,8308 T_{C1}^{0,096} \quad (3)$$

$$K_{T0} = 0,856 T_{C0}^{0,133} \quad (4)$$

тоді функціональна залежність (2) перетвориться до вигляду:

$$\omega_{B;0}'' = f(T_{S1}; l_{BT}; l_x; j; T_{C1,0}; d_{II}; HB), \quad (5)$$

Виконавши математичну обробку результатів експериментів за методикою, яка представлена вище, отримуємо залежності в реальних змінних:

$$\lg \omega_B'' = 3,5972 - 0,023 \lg d_{II} + 0,357 \lg HB - 0,185 \times \\ \times \lg l_{BT} + 0,206 \lg l_x + 0,202 \lg T_{S1} - 0,683 \lg j, \quad (6)$$

$$\lg \omega_0'' = 5,8839 - 0,0415 \lg d_{II} + 0,153 \lg HB - 0,117 \times \\ \times \lg l_{BT} + 0,066 \lg l_x + 0,198 \lg T_{S1} - 1,05 \lg j, \quad (7)$$

Потенціуючи залежності (6) і (7) і ввівши коефіцієнти, що враховують похибки взаємної орієнтації, отримуємо узагальнені залежності полів розсіювання:

– розмірів від бази:

$$\omega_B'' = 1100 \frac{T_{S1}^{0,2} T_{C1}^{0,096} l_x^{0,21} HB^{0,36}}{l_{BT}^{0,19} j^{0,18} d_{II}^{0,03}}; \quad (8)$$

– позиційне відхилення осей отворів:

$$\omega_0'' = 655220 \frac{T_{S1}^{0,2} T_{C0}^{0,13} l_x^{0,07} HB^{0,15}}{l_{BT}^{0,12} j^{4,05} d_{II}^{0,04}}. \quad (9)$$

Проте математичні моделі, отримані при обробці планів експериментів, дозволяють включати додаткові фактори, які можна ввести, використовуючи додаткову інформацію шляхом ранжирування питомої ваги основних факторів. У рівняннях (8) і (9) величини полів допусків на взаємну орієнтацію  $T_{C1} = 80$  мкм, а  $T_{C0} = 80$  мкм /100 мм призводять також до збільшення полів розсіювання розмірів в 1,25 рази, а позиційних відхилень - в 1,4 рази.

Підвищення жорсткості технологічних систем і використання силових столів зменшує поля розсіювання приблизно в 1,3-1,4 рази за обома параметрами.

## Висновок

Обробка деталей з використанням типової технологічної оснастки з напрямком ріжучого інстру-

менту показує таке:

– найбільш високі точнісні характеристики оброблених деталей забезпечує застосування комбінованих кондукторів  $\bar{X} = 0,02$  мм,  $S = 0,037$  мм;

– оснащення з постійними кондукторними плитами при одноперехідній обробці отворів забезпечує більш високі точнісні характеристики оброблених деталей ( $\bar{X} = 0,002$  мм,  $S = 0,066$  мм), ніж з напрямком руху кондукторами.

## Список літератури

1. Исследование факторов, определяющих точность обработки деталей на агрегатных станках ХПО. Отчет о НИР / Э.А. Пащенко, В.А. Чепела, Н.В. Латышев. – УЗПИ. – Инв. № 02840041668. – X., 1983. – 90 с.
2. Соколовский, А. П. Научные основы технологии машиностроения. [Текст] / А. П. Соколовский. – М.: Машигиз, 1955. – 515 с.
3. Корсаков, В.С. Точность механической обработки. [Текст] / В.С. Корсаков. – М.: Машигиз, 1961. – 379 с.
4. Фридендер, И.Г. Расчеты точности машин при проектировании. [Текст] / И.Г. Фридендер – Киев-Донецк: Вища школа, 1980. – 184 с.
5. Базров, Б.М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. [Текст] / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
6. Портман В.Т. Универсальный метод расчета точности механических устройств. [Текст] / В.Т. Портман // Вестник машиностроения. – 1981. – № 7. – С. 12-17.
7. Душинский В.В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении [Текст] / В.В. Душинский, Е.С. Пуховский, С.Е. Радченко. – К.: Техника, 1977. – 176 с.
8. Шиндовский Э. Статистические методы управления качеством / Э. Шиндовский, О. Щюрс. – М.: МИФ, 1976. – 599 с.
9. Исследование точности обработки деталей на агрегатных станках с применением различных технологических схем Отчет о НИР / Э.А. Пащенко, В.А. Чепела, Н.В. Латышев. – УЗПИ // Инв. № В 979436 – X., 1980. – 132 с.

Надійшла до редколегії 3.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. Р.М. Трищ, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## ТОЧНОСТЬ КООРДИНИРОВАННЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ С НАПРАВЛЕНИЕМ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В.М. Бурдейная

В статье проведен анализ точности изготовления основных деталей насадок, кондукторов, приспособлений и вспомогательной оснастки в производственных условиях. Выведены аналитические зависимости для расчета погрешности координированных размеров с учетом позиционного отклонения осей обрабатываемых отверстий в деталях. Выявлены основные группы факторов и установлено их влияние на точность обработки координированных размеров. Рассмотрено влияние погрешности взаимной ориентации элементов оснастки (шпинделей с инструментами и приспособления с обрабатываемой деталью) на точность обработки координированных отверстий.

**Ключевые слова:** точность, отклонения, координированные отверстия, размер, погрешность, инструмент.

## ACCURACY COORDINATED DIMENSIONS WHILE PROCESSING HOLES WITH THE DIRECTION OF THE CUTTING TOOL

V.M. Burdeina

In the article the analysis of accuracy of manufacturing of the main components of nozzles, jigs, fixtures and auxiliary equipment in production conditions. Deduced analytical dependences for calculation of error coordinated sizes taking into account the position deviation axis machined holes in parts. The main groups of factors and established their influence on the accuracy of processing coordinated sizes. The influence of error mutual orientation of elements of the equipment (spindles with tools and devices with the work piece) for precision machining coordinated holes.

**Keywords:** accuracy, deviations, coordinated hole, the size, the error the tool.