

О. В. КОТЛЯР, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ БАГАТОІНСТРУМЕНТНОЇ ОБРОБКИ

У статті виконаний аналіз точності багатоінструментної обробки на токарних верстаках з використанням комбінованого різця, багаторізевого тримача та багатошпindelної головки для токарного верстата. Проведено аналітичне дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної системи та виявлено їх вплив на точність обробки.

Ключові слова: багатоінструментна обробка, точність обробки, пружні деформації, комбінований різець, багаторізцевий тримач, багатошпindelна головка для токарного верстата.

Вступ. Висока вартість сучасних металорізальних верстатів, у тому числі і для токарної обробки, передбачає необхідність максимально ефективного використання верстатного часу в результаті об'єднання потенційних можливостей як самих верстатів, так і відповідного технологічного оснащення.

Підвищення продуктивності обробки - найбільш доцільний шлях скорочення технологічної собівартості і, отже, поліпшення інших економічних показників, наприклад, прибутку та інтенсивності маржинального прибутку, тобто величини маржинального прибутку, що припадає на одиницю часу виготовлення продукції. Одним з ефективних напрямків підвищення продуктивності верстата є застосування спеціального оснащення, що забезпечує багатоінструментну обробку [1].

Точність багаторізевої обробки з використанням комбінованого різця. Багатоінструментну обробку на токарно-гвинторізних і токарних верстатах з ЧПК можна здійснювати за допомогою комбінованого різця [2], який окрім базового стандартного різця оснащується однією або декількома різцевими вставками з ріжучими пластинами, що регулюються на необхідні розміри обробки у всіх напрямках.

Комбінований різець (рис. 1) складається з базового стандартного різця 1 і різцевої вставки 2, які виставлені за допомогою прокладок 4, 5, 6 і закріплені із застосуванням затискного кронштейна 3 та болтів 7, 8. Налаштування різця виконується поза верстатом.

Важливим завданням при визначенні доцільності впровадження багаторізевого оснащення на токарних верстатах з ЧПК є забезпечення прийнятної точності обробки з урахуванням підвищення сил різання і деякого зниження жорсткості технологічної системи через введення в конструкцію додаткових елементів.

На рис. 2 показана схема формування похибки обробки комбінованим різцем на токарному верстаті з ЧПК.

Похибка багаторізевої обробки комбінованим різцем залежить від величини пружних деформацій складових технологічної системи, що включає: передню і задню бабки, револьверний супорт, деталь та комбінований різець.

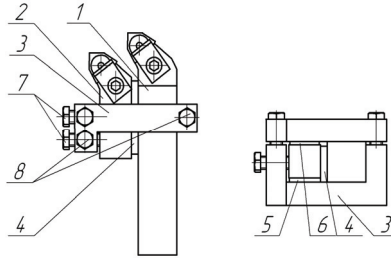


Рис. 1 - Комбінований різець

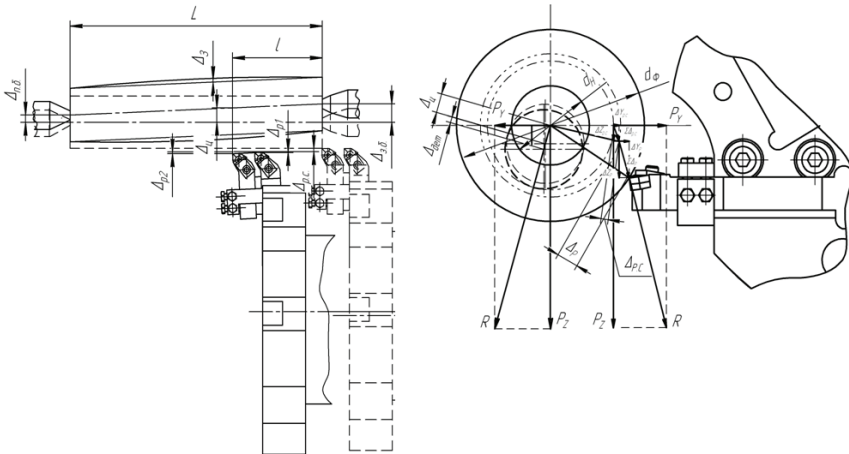


Рис. 2 - Схема формування похибки обробки комбінованим різцем

Пружні переміщення передньої і задньої бабки призводять до зміщення осі центрів верстата. Вплив переміщення осі центрів верстата на похибку обробки в будь-якому перетині деталі оцінюється зі співвідношення сторін подібних трикутників ABC і ADE (рис. 3) по формулі:

$$\Delta_{ц} = \frac{(L-l)(\Delta_{зб} - \Delta_{нб})}{L} + \Delta_{нб},$$

де L – довжина заготовки, мм;

l – довжина обробки, мм;

$\Delta_{нб}$, $\Delta_{зб}$ – пружні деформації передньої і задньої бабки відповідно, мм.

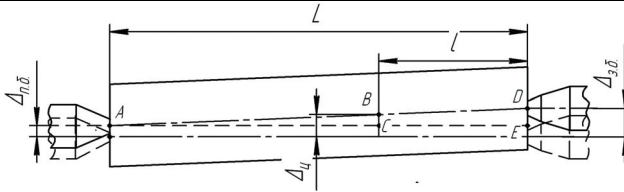


Рис. 3 - Схема формування похибки обробки від впливу пружних деформацій передньої і задньої бабки

Пружні переміщення осі центрів верстата $\Delta_{Ц}$ та заготовки Δ_3 здійснюються в напрямку дії рівнодіючої R радіальної P_y і тангенціальної P_z складової сили різання, під дією яких відбувається збільшення діаметру оброблюваної поверхні від номінального d_H до фактичного значення d_ϕ (рис. 4, а).

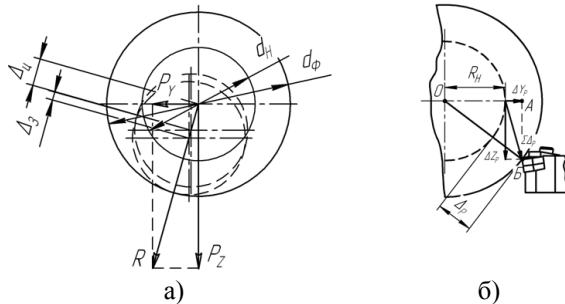


Рис. 4 – Схеми впливу пружних деформацій на похибку обробки
а – передньої і задньої бабки; б – комбінованого різця.

Вплив пружних деформацій комбінованого різця Δ_p на похибку обробки оцінюється із прямокутного трикутника OAB (рис. 4,б) по наступній залежності:

$$\Delta_p = \sqrt{(R_H + \Delta Y_p)^2 + \Delta Z_p^2} - R_H,$$

де R_H – радіус оброблюваної заготовки, мм;

ΔZ_p , ΔY_p – пружні деформації комбінованого різця уздовж осі Z і Y відповідно, мм.

Схема впливу пружних деформацій револьверного супорта на похибку обробки і залежність для її визначення мають такий же вигляд, що й для комбінованого різця.

Аналітичні дослідження точності обробки виконувалися шляхом моделювання напружено-деформованого стану елементів технологічної системи для різних значень поздовжнього і поперечного вильотів різця та різцевої вставки, а також діаметрів d і довжин L заготовки. До кожного елемента системи прикладалися сили, що відповідають значенням складових

сил різання при глибинах різання 1 і 4 мм. Для порівняння моделювалася також однорізева обробка стандартним різцем заготовок тих же параметрів.

Отримані результати показали, що найбільший вплив на похибку обробки здійснюють пружні переміщення задньої бабки. Похибка обробки в наслідок пружних деформацій комбінованого різця залежить від поздовжнього та поперечного вильотів різця і не перевищує 20% від загальної похибки, викликаної деформаціями всіх елементів технологічної системи. Вплив пружних переміщень передньої бабки, револьверного супорта і заготовки не перевищують 10%.

У порівнянні з однорізевою обробкою похибка діаметральних розмірів деталі при обробці комбінованим різцем збільшилася в середньому в 2,1 рази. При глибині різання $t = 1$ мм значення похибки обробки перебувають у межах полів допусків після чистового точіння. При $t = 4$ мм похибки дещо перевищують допуски на чорнову обробку. Підвищити точність обробки можна шляхом введення корекції в координати вихідного положення різця відповідно до результатів дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної системи. Пружні переміщення передньої та задньої бабки, комбінованого різця, револьверного супорта та деталі вздовж осі Y компенсуються шляхом введення корекції у координати початкового положення різця по осі Y з пульта керування системи ЧПК. Зменшення похибок обробки вздовж осі Z досягається за допомогою компенсаційних підкладок, товщини яких відповідають величинам пружних переміщень по осі Z . Введення корекцій у координати початкового положення різця по осі Y дозволяє підвищити точність обробки на 6%, а корекція положення різця по осі Z забезпечує сумарне підвищення точності на 35%.

Таким чином, при глибині різання до 4 мм комбінований різець забезпечує точність, що знаходиться в межах поля допуску на чорнову та напівчистову токарну обробку. Різниця між значеннями похибки обробки, отриманими за допомогою методу скінчених елементів і експериментально не перевищує 16%.

Точність багаторізевої обробка з використанням багаторізевого тримача. Більш широкі технологічні можливості характеризують багаторізеви тримачі для двох і більше різців, що встановлюються в гніздах багатопозиційної револьверної інструментальної головки токарних верстатів з ЧПК [3].

Вплив пружних деформацій елементів технологічної системи на похибку обробки визначається за вище розглянутою методикою.

Виконані експериментальні дослідження показали, що величина похибки обробки, отримана в цьому випадку, відрізняється від результатів моделювання на 13%.

Корекція положення різців багаторізевого тримача з трирізцевим налагодженням, виконана вздовж осі Y , дозволяє зменшити похибку обробки на 11%, а корекція положення різців вздовж осі Z забезпечує загальне підвищення точності на 47%.

Похибки обробки отворів при використанні багатошпindelної головки для токарного верстата. Крім комбінованих різців і багаторізцевих тримачів багатоінструментна обробка на токарних верстатах може здійснюватися із застосуванням багатошпindelної головки [4], що дозволяє одночасно обробляти декілька позацентричних отворів у деталях типу фланця і диска (рис. 5). Вона складається з вала-шестірні 1, що встановлюється в піноль задньої бабки токарно-гвинторізного верстата або в паз револьверної головки токарно-револьверного верстата, а також основного корпусу 2, який у процесі обробки отримує обертання від шпindelа верстата за рахунок пересувних скалок 9. При обертанні основного корпусу шестірні проміжних валів 3, перекочуючись по зубцях нерухомого вала-шестірні 1, починають обертатися, забезпечуючи незалежне обертання проміжних валів 4 і шпindelів 5 з різальними інструментами. Фіксація незалежних шпindelних корпусів 6 у необхідному положенні здійснюється розтисканням розрізних вставок 7 у кільцевих пазах основного корпусу 2 за допомогою болтів 8.

Під час обробки рухливі скалки переміщуючись по напрямних кочення 10 передають обертовий момент різальним інструментам. Зазори в рухливих скалках регулюються за допомогою затискних клинів 11. Поздовжнє регулювання рухливих скалок з урахуванням довжини робочого і холостого ходів різальних інструментів здійснюється переміщенням гайок 12 і 13. Після завершення обробки рухливі скалки переміщуються у вихідне положення пружинами 14. Беззазорне прилягання скалок до затискних кулачків патрона забезпечується ексцентрикними втулками 15.

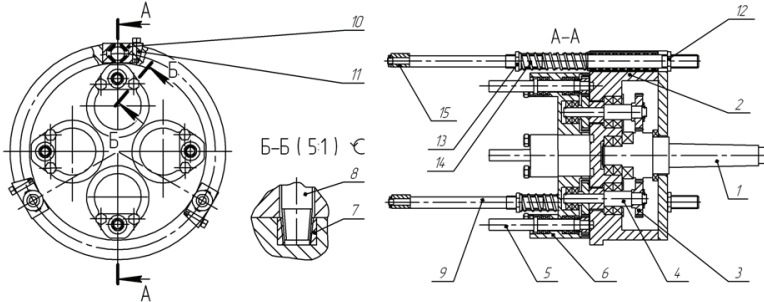


Рис. 5 - Багатошпindelна головка для токарного верстата

Використання багатошпindelної головки для токарного верстата при обробці отворів у деталях типу диска і фланця дозволяє виключити свердлильну операцію та зменшити кількість металорізальних верстатів, необхідних для обробки деталі, а скорочення витрат допоміжного часу на установку і закріплення заготовки дозволяє підвищити продуктивність обробки.

Необхідною умовою застосування багатошпindelної головки для токарного верстата є забезпечення припустимої точності обробки, що при свердлінні регламентується величиною розбивки та відведення осі отворів.

У загальному випадку при обробці на свердла діють осьова сила P_o , обертовий момент $M_{кр}$ і неврівноважена радіальна сила P , що є результатом дії нерухливої P_H і обертової P_B радіальних складових [5]. Нерухлива складова викликає відведення свердла і виникає при відхиленні від перпендикулярності поверхні заготовки відносно осі свердла, неправильному центруванні свердла при його врізанні та відхиленні від симетричності заточення кутів при вершині і задніх кутів, що призводить до появи кута нахилу поперечної різальної кромки. Обертаюча складова викликає розбивку отвору і є результатом відхилення від симетричності заточення різальних кромок свердла.

Величина відведення свердла наприкінці обробки (рис. 6, а), при відсутності різнооброблюваності матеріалу деталі на довжині оброблюваного отвору L визначається по формулі:

$$\Delta_0 = Y_0 + tg\beta_0 \cdot L = Y_0 + \frac{Y_0}{l_0} \cdot L = Y_0 + \frac{2 \cdot Y_0}{d_{CB} \cdot tg\varphi} \cdot L,$$

де L – довжина оброблюваного отвору, мм;

β_0 – початковий кут нахилу кінця консолі свердла;

Y_0 – початковий зсув вершини свердла, мм;

l_0 – довжина різальної частини свердла, мм;

d_{CB} – діаметр свердла, мм;

φ – головний кут у плані.

При використанні багатшпіндельної головки для токарного верстата крім розглянутих факторів на величину відведення свердла будуть здійснювати вплив пружні деформації рухливих скалок, викликані впливом сумарного обертового моменту, які призведуть до збільшення кута нахилу кінця консолі свердла і початкового зсуву їх вершин (рис. 6, б).

Таким чином, величину відведення свердла наприкінці обробки при використанні багатшпіндельної головки для токарного верстата пропонується визначати по формулі:

$$\Delta = \Delta_O + \Delta_M = Y_0 + tg\beta_0 \cdot L + Y_M + tg\beta_M \cdot L = Y_0 + \frac{2 \cdot Y_0}{d_{CB} \cdot tg\varphi} \cdot L + Y_M + \frac{2 \cdot Y_M}{d_{CB} \cdot tg\varphi} \cdot L,$$

де Δ_O – відведення свердла, викликане дією нерухливої складової неврівноваженої радіальної сили, мм;

Δ_M – відведення свердла, викликане пружною деформацією рухливих скалок багатшпіндельної головки, мм;

β_M – кут нахилу кінця консолі свердла від деформації рухливих скалок багатшпіндельної головки;

Y_M – початковий зсув вершини свердла, викликаний пружною деформацією рухливих скалок багатшпіндельної головки, мм.

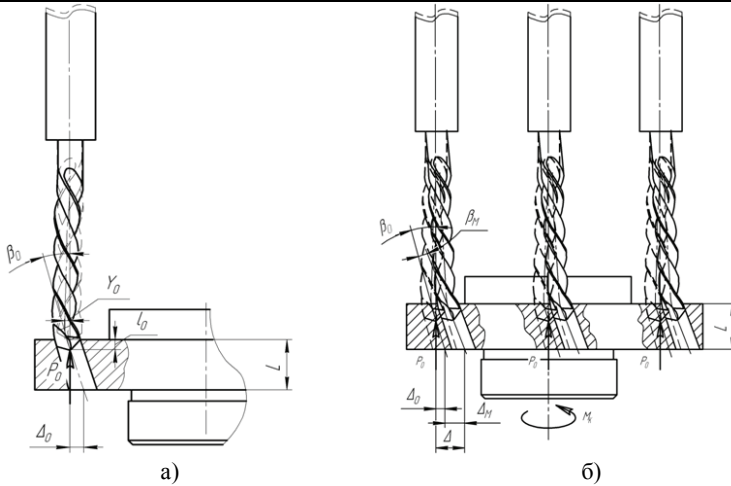


Рис. 6 – Схеми формування величини відведення сверд: а – при одноінструментній обробці; б – при обробці багатшпindelною головкою для токарного верстата

Дослідження напружено-деформованого стану багатшпindelної головки для токарного верстата (рис. 7) дозволили встановити, що найбільший вплив на відведення сверд здійснює їх довжина. Наприклад, при свердлінні 4-х кріпильних отворів діаметром 10 мм у деталі типу фланець довжиною 5 мм відведення сверд становить 0,09 мм, а при довжині 20, 30 і 40 мм відведення сверд має значення 0,28, 0,39 і 0,51 мм відповідно. Зі збільшенням діаметру обробки відведення сверд також збільшується. При свердлінні отвору довжиною 10 мм і діаметром 5 мм відведення становить 0,09 мм, а при обробці отворів довжиною 10 мм діаметром 10 і 20 мм 0,13 і 0,16 мм відповідно.

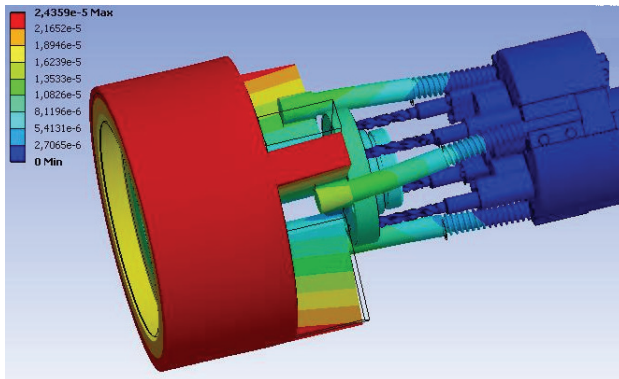


Рис. 7 – Напружено-деформований стан багатшпindelної головки для токарного верстата

Зменшити величину відведення осей отворів і їх розбивку при свердлінні дозволить використання пересувного кондуктора, який може бути встановлений на рухливих скалки головки.

Висновки: 1. Запропоновані комбінований різець, багаторіздевий тримач та багатощиндельна головка для токарного верстата розширюють технологічні можливості токарних верстатів і дозволяють підвищити продуктивність обробки.

2. Точність багатощиндельної обробки з використанням комбінованого різця та багаторіздевого тримача частіше всього знаходиться у межах поля допуску після чорнової або напівчистої обробки в залежності від глибини різання, а відведення осей свердл при обробці багатощиндельною головкою для токарного верстата знаходиться в межах поля допуску на міжцентрову відстань для кріпильних отворів.

Список літератури: 1. Многорезцовая обработка на токарных станках с ЧПУ / В. Е. Карпуть, А. В. Котляр // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение. 2007. № 12. С. 59–62. 2. Пат. на корисну модель №24137 Україна, МПК(2006) В23В 27/16. Комбінований різець / Карпуть В.Є., Котляр О.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т "ХПІ". – № u 2006 13462; заявл. 19.12.06; опуб. 25.06.07, Бюл. №9. 3. Пат. на корисну модель №36305: МПК(2006) В23В 29/00. Багатощиндельна головка для токарного верстата / Карпуть В.Є., Котляр О.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т "ХПІ". – № u 2008 04761; заявл. 14.04.08; опуб. 27.10.08, Бюл. №20. 4. Пат. на корисну модель № 24139 Україна, МПК(2006), В23В 29/24. Багаторіздевий тримач / Карпуть В.Є., Котляр О.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т "ХПІ". – № u 2006 13481; заявл. 19.12.06; опуб. 25.06.07, Бюл. №9. 5. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.

Надійшла до редколегії 29.10. 2012

УДК 621.9

Дослідження точності багатощиндельної обробки / О. В. Котляр // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.11-18. – Бібліогр.: 5 назв.

В статтю виконаний аналіз точності багатощиндельної обробки на токарних станках з використанням комбінованого різця, багатощиндельної державки і багатощиндельної головки для токарного станка. Проведено аналітичне дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної системи і визначено їх вплив на точність обробки.

Ключевые слова: багатощиндельна обробка, точність обробки, упругі деформації, комбінований різець, багатощиндельна державка, багатощиндельна головка для токарного станка.

The article accuracy multiple tooling processing on lathes with use of the combined cutter, gang-tool and multiple heads for the lathe are analyzed. The analytical research of the intense-deformed condition elements technological system and their influence on accuracy processing are proposed.

Key words: multiple tooling processing, accuracy processing, the elastic deformations, combined cutter, gang-tool, multiple head for the lathe.