

УДК 539.3

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

Карпусь В.Є., Іванов В.О., Котляр О.В. (НТУ "ХПИ", м. Харків, Україна)

The article describes the tooling for CNC machine-tools. The deflection mode analysis of proposed constructions of fixture and auxiliary tool are considered. The research of base modules for multidiameter shafts are implemented. The investigation of technological system of lathing by combined cutting tool is performed. The results of researches are confirmed the high effectiveness of proposed tooling for CNC machine-tools.

Вступ

Точність обробки на верстатах з ЧПК суттєво залежить від точнісних характеристик технологічної оснастки, а саме верстатних пристроїв (ВП) та допоміжного інструмента. Визначення похибок елементів технологічної оснастки доцільно виконувати шляхом дослідження їх напружено-деформованого стану методом скінченних елементів [1–3].

1. Дослідження базуючих призм для встановлення валів

Для підвищення ефективності використання верстатів з ЧПК у багатоменклатурному виробництві запропонована система універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв (УЗПП) [4]. Встановлення заготовок, скомпонованих із елементів системи УЗПП забезпечується шляхом використання функціональних модулів з автоматизованим переналагодженням установочних та затискних елементів, що сприяє скороченню підготовчо-заключної складової норми часу. Як приклад, нами запропонована компоновка УЗПП на основі базуючої призми [5] для встановлення ступінчастих валів на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах.

Відомо, що ВП суттєво впливають на точність обробки заготовок. Сучасні програмні продукти дозволяють на етапі проектування ВП визначати характеристики точності як окремих елементів, так і компоновки в цілому за методом скінченних елементів. Для прикладу далі розглянуто моделювання процесу фрезерування лиски на валу циліндричною та кінцевою фрезою у запропонованій компоновці УЗПП на основі базуючої призми та у жорсткій опорній призмі. Схеми сил різання, які виникають при обробці лиски цими фрезами, наведено на рис. 1.

До заготовки прикладають силу закріплення та силу різання, розраховану за нормативами [6]. Силу різання визначали для умов, коли глибина різання $t = 1$ мм, що відповідає напівчистовому фрезеруванню і $t = 4$ мм – чорновому фрезеруванню. На рис. 2 і 3 наведено скінченно-елементні моделі і діаграми пружних переміщень для випадку, коли фрезерується лиска на консолі вала циліндричною фрезою при закріпленні заготовки у базуючій та у жорсткій опорній призмі відповідно.

Як видно з наведених діаграм, при обробці виникають пружні переміщення, які відрізняються за величиною залежно від умов обробки, та впливають на точність отриманого розміру. Результати моделювання за методом скінченних елементів свідчать, що при глибині різання $t = 1$ мм деформації при обробці як циліндричною, так і кінцевою фрезою заготовок, встановлених на обох типах призм, однакові і знаходяться у діапазоні 0,002...0,006 мм залежно від місця обробки лиски на валу (табл.). При обробці заготовок циліндричною фрезою (глибина різання $t = 4$ мм) переміщення збільшуються, однак їх величина не перевищує 0,015 мм для жорсткої опорної призми і 0,024 мм для запропонованої базуючої призми.

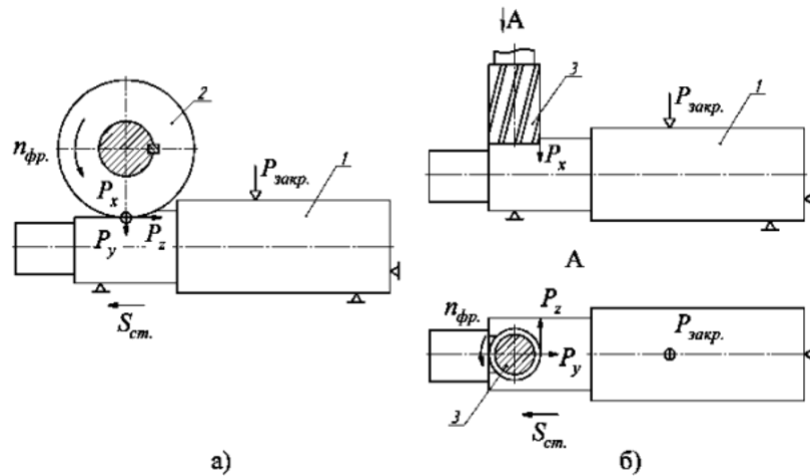
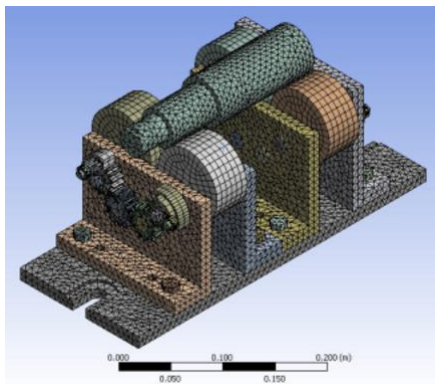
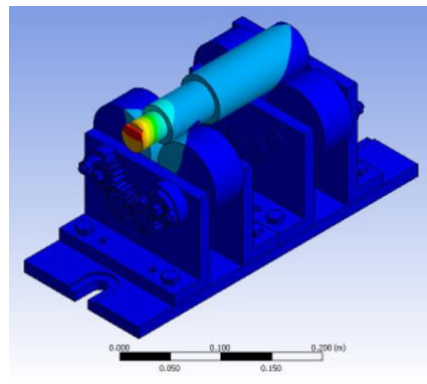


Рис. 1. Схеми сил різання при фрезеруванні циліндричною фрезою (а) і кінцевою фрезою (б): 1 – ступінчастий вал; 2 – циліндрична фреза; 3 – кінцева фреза; P_x – осьова складова сили різання; P_y – радіальна складова сили різання; P_z – дотична складова сили різання; $P_{закр.}$ – сила закріплення; $n_{фр.}$ – частота обертання фрези, $S_{ст.}$ – подача стола верстата

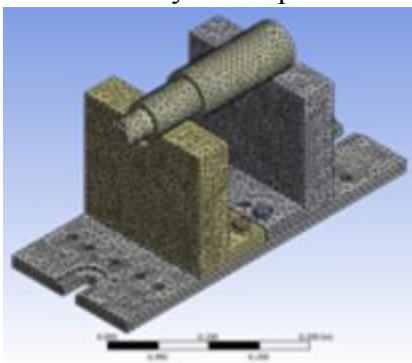


а)

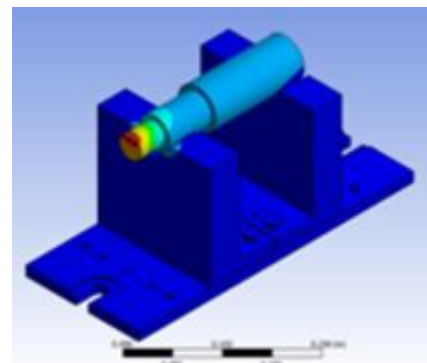


б)

Рис. 2. Скінченно-елементна модель (а) і діаграма пружних переміщень (б) запропонованої базуючої призми



а)



б)

Рис. 3. Скінченно-елементна модель (а) і діаграма пружних переміщень (б) жорсткої опорної призми

Таблиця 1. Пружні переміщення, які виникають при фрезеруванні лиски на валу, мм

Базуючий модуль	Місце обробки вала					
	на консолі		над опорою		між двома опорами	
	при глибині різання t , мм					
	1	4	1	4	1	4
Фрезерування циліндричною фрезою						
Запропонована базуюча призма	0,006	0,024	0,004	0,014	0,006	0,024
Жорстка опорна призма	0,006	0,016	0,004	0,008	0,006	0,015
Фрезерування кінцевою фрезою						
Запропонована базуюча призма	0,004	0,008	0,002	0,005	0,004	0,008
Жорстка опорна призма	0,004	0,007	0,002	0,005	0,004	0,007

Для діаметрів заготовок у діапазоні 18...30 мм допуск виконуваного розміру становить $T_d = 0,13$ мм, для діаметрів 30...50 – $T_d = 0,16$ мм, а для діаметрів 50...80 мм – $T_d = 0,19$ мм [7]. Похибки, отримані в результаті моделювання напружено-деформованого стану значно менші половин допусків, тому запропонована конструкція базуючої призми повністю задовольняє виробничим умовам.

2. Дослідження технологічної системи токарної обробки комбінованим різцем

Багаторізева обробка є ефективним методом підвищення продуктивності металорізальних верстатів, який успішно реалізується на токарно-багаторізових та токарно-гідрокопіювальних напівавтоматах за допомогою багаторізових супортів, на яких може встановлюватися кілька різців, число яких обмежується жорсткістю технологічної системи та потужністю верстата.

Багаторізева обробка здійснюється також на токарно-револьверних автоматах і напівавтоматах та токарних багатопиндельних напівавтоматах за допомогою спеціальних конструкцій ріжучого та допоміжного інструмента.

Токарні верстати з ЧПК отримали велике розповсюдження у різних галузях промисловості завдяки широким технологічним можливостям, високій гнучкості та повній автоматизації робочого циклу. Одним з напрямків підвищення продуктивності та розширення технологічних можливостей токарних верстатів з ЧПК, що оснащені револьверними інструментальними головками, є впровадження багаторізової обробки.

Здійснення багаторізової обробки на токарних верстатах з ЧПК можливе за допомогою спеціальних конструкцій комбінованого різця [8]. Комбінований різець представляє собою допоміжний інструмент, що призначений для встановлення та закріплення в одній позиції револьверної головки кількох різців. Різці попередньо налагоджуються на необхідні розміри обробки поза верстатом.

Ефективність багаторізової обробки визначається покращенням значень кількісних показників технологічного процесу (трудомісткість і собівартість обробки та ін.) за умови збереження або поліпшенні якісних (шорсткість та точність оброблюваних поверхонь). Забезпечення необхідної точності поверхонь деталей є важливою задачею при багаторізовій обробці на токарних верстатах з ЧПК. При її здійсненні жорсткість технологічної системи зменшується за рахунок включення додаткових елементів, що сприяють збільшенню пружних деформацій. Виконання багаторізової обробки за допомогою комбінованого різця здійснюється при досить

великому консольному вильоті корпуса різцевої вставки відносно корпуса revolverної головки, що сприяє додатковому зміщенню ріжучої кромки.

Технологічна система багаторізевої обробки на токарному верстаті з використанням комбінованого різця включає до себе: передню і задню бабки, revolverний супорт, деталь та комбінований різець. Відповідно на похибку обробки впливають пружні деформації цих складових технологічної системи.

Схема формування похибки обробки на токарному верстаті з ЧПК при використанні комбінованого різця показана на рис. 4.

Пружні переміщення передньої та задньої бабки призводять до зміщення лінії центрів верстата. Вплив переміщення центрів верстата на похибку обробки у будь-якому перерізі деталі знаходиться з відношення сторін подібних трикутників ABC та ADE (рис. 5) за наступною залежністю

$$\Delta_{Ц} = \frac{(L-l)(\Delta_{зб} - \Delta_{пб})}{L} + \Delta_{пб},$$

де L – довжина заготовки, мм; l – відстань від правого торця заготовки до перерізу, що розглядається, мм; $\Delta_{зб}$ – пружні деформації задньої бабки, мм; $\Delta_{пб}$ – пружні деформації передньої бабки, мм.

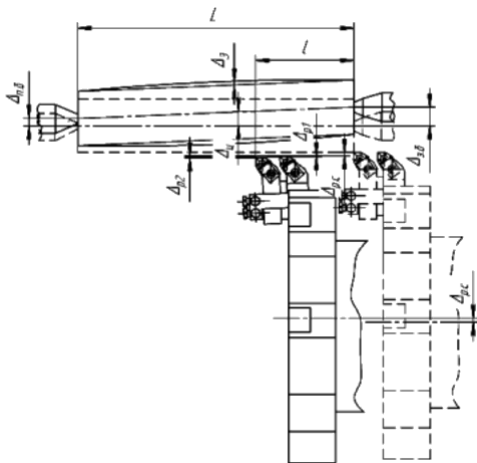


Рис. 4. Схема формування похибки обробки при використанні комбінованого різця

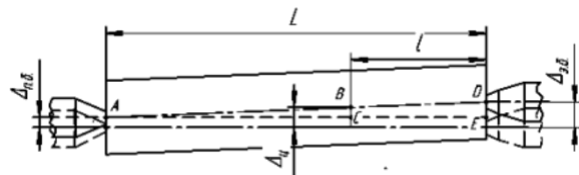


Рис. 5. Схема формування похибки обробки від пружних переміщень передньої та задньої бабки

Пружні переміщення лінії центрів верстата $\Delta_{Ц}$ та заготовки $\Delta_з$ відбуваються у напрямку дії рівнодіючої R радіальної P_Y та колової P_Z складових сили різання, що діє на деталь (рис. 6) та впливає на похибку обробки, призводячи до збільшення номінального діаметру оброблюваної поверхні d_H до фактичного значення d_{Φ} .

Пружні переміщення revolverного супорта Δ_{PC} і комбінованого різця Δ_p також відбуваються у напрямку дії рівнодіючої радіальної та колової складових сили різання, що діє на ріжучий інструмент, однак, їх переміщення справляють не прямий вплив на збільшення похибки обробки (рис. 7).

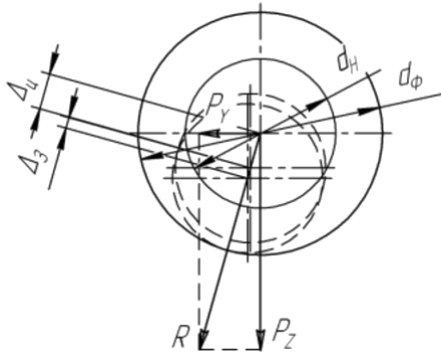


Рис. 6. Схема впливу пружних деформацій передньої і задньої бабки на похибку обробки

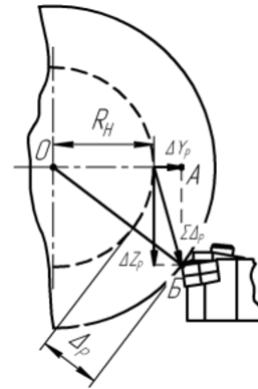


Рис. 7. Схема впливу пружних деформацій комбінованого різця на похибку обробки

Вплив пружних деформацій комбінованого різця Δ_P на похибку обробки розраховується з прямокутного трикутника OAB 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; ΔY_P – пружні переміщення комбінованого різця вздовж осі Y, мм; ΔZ_P – пружні переміщення комбінованого різця вздовж осі Z, мм.

Схема впливу пружних переміщень револьверного супорта на похибку обробки та залежність для їх знаходження мають таких самий вигляд, як і для комбінованого різця, тільки враховують пружні переміщення револьверного супорта вздовж осі Y і Z.

Щоб встановити можливості забезпечення необхідної точності обробки були проведені аналітичні дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної системи. Дослідження проводилися методом скінченних елементів для різних значень поздовжнього L_P та поперечного L_B вильотів різця і різцевої вставки, а також діаметрів d і довжин L заготовки. При цьому до кожного елементу технологічної системи прикладалися навантаження у напрямках дії складових сили різання. На різець та різцеву вставку комбінованого різця прикладалися навантаження, що відповідають значенню складових сили різання. Револьверний супорт відповідно сприймає навантаження, що відповідають дії сил різання, створених різцем та різцевою вставкою. Оброблювана заготовка сприймає навантаження від дії сил різання різця та різцевої вставки, які прикладалися у січеннях, що відповідали довжині обробки. До центрів передньої та задньої бабок прикладалися значення реакцій від дії сил з урахуванням довжини заготовки та обробки і повздовжнього вильоту різця та різцевої вставки.

На рис. 8 показані приклади скінченно-елементних моделей та пружних переміщень складових технологічної системи.

Результати аналітичних досліджень (рис. 9, 10) показали, що найбільш суттєвий вплив на похибку обробки справляють пружні переміщення задньої бабки. Вплив пружних переміщень заготовки на точність обробки суттєвий лише при зменшенні її жорсткості ($d = 32$ мм; $L = 320$ мм).

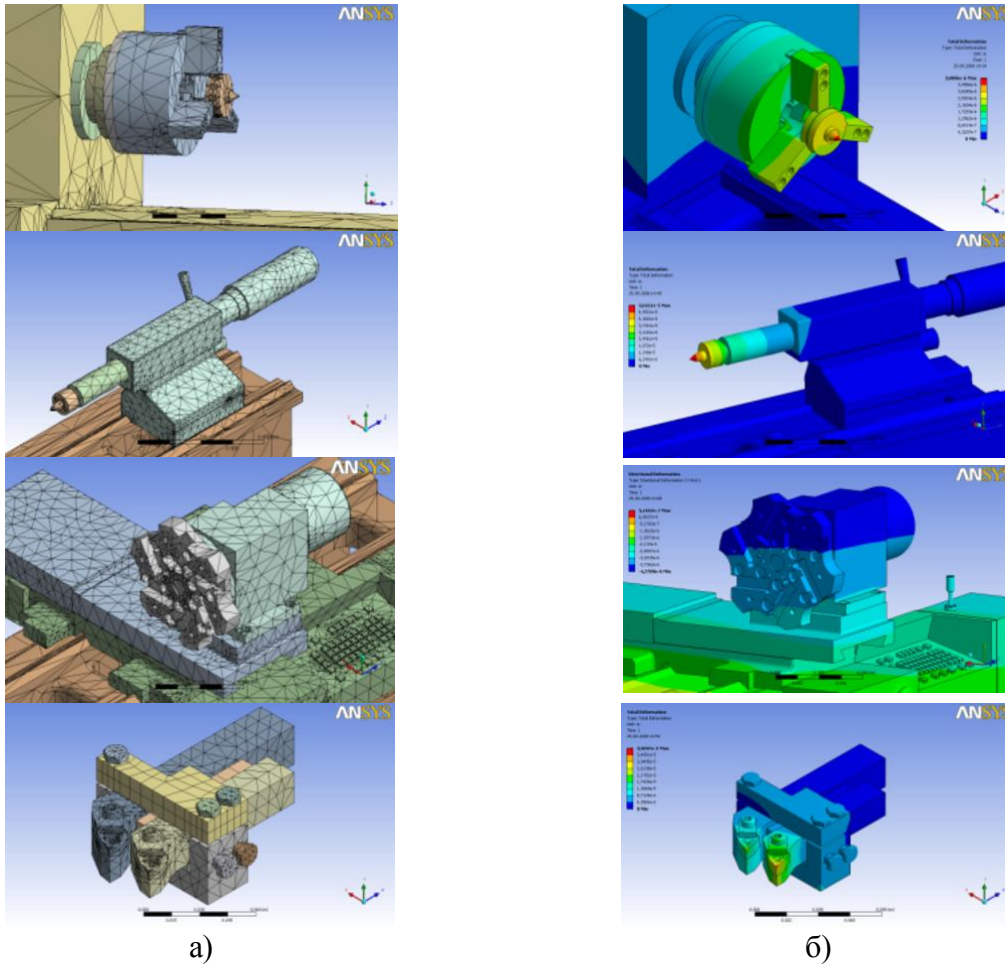


Рис. 8. Скінченно-елементні моделі (а) та пружні переміщення (б) складових технологічної системи

Похибки обробки внаслідок пружних переміщень комбінованого різця (див. рис. 4) істотно залежать від поздовжнього та поперечного вильоту різців мають суттєвий вплив на загальну величину похибки при збільшенні жорсткості заготовки ($d = 64 \text{ мм}$; $L = 220 \text{ мм}$). Вплив пружних переміщень передньої бабки та револьверного супорта незначний і не перевищує 10% від загальної похибки Δ , викликаної деформацією всіх елементів технологічної системи.



Рис. 9. Вплив пружних переміщень елементів технологічної системи на похибку обробки комбінованим різцем: $d = 64 \text{ мм}$; $L_B = 45 \text{ мм}$; $L_P = 30 \text{ мм}$; а – $L = 500 \text{ мм}$; б – $L = 220 \text{ мм}$

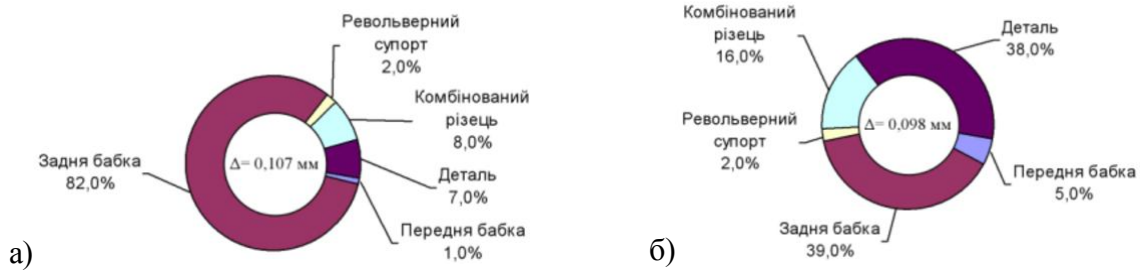


Рис. 10. Вплив пружних переміщень елементів технологічної системи на похибку обробки комбінованим різцем: $d = 32$ мм; $L_B = 45$ мм; $L_P = 30$ мм; а – $L = 220$ мм; б – $L = 320$ мм

Висновки: 1. Похибки, пов'язані з установленням валів у запропонованій базуючій призмі значно менші, ніж допуски на фрезерування відповідних поверхонь. 2. Похибки багаторізевої обробки з використанням запропонованого комбінованого різця знаходяться в межах поля допуску на чорнову та напівчистову токарну обробку.

Список літератури: 1. Сабоннадьер Ж. -К. Метод конечных элементов и САПР / Ж. -К. Сабоннадьер, Ж. -Л. Кулон. – Перев. с французского. – М. : Мир, 1989. – 190 с. 2. Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. – М. : Машиностроение, 2004. – 510 с. 3. Басов К. А. Графический интерфейс комплекса ANSYS / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2006. – 248 с. 4. Карпусь В. Е. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // Вестник машиностроения. – М. : Машиностроение, 2008. – № 11. – С. 46–50. 5. Пат. на корисну модель № 31416 Україна, МПК (2006) B23B 39/00. Базуюча призма, що автоматично регулюється / Карпусь В. Є., Иванов В. О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № u 2007 12864; заявл. 20.11.2007; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7. 6. Гузеев В. И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ : справочник / Под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с. 7. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3-х т. – 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. – Т. 1. – М. : Машиностроение, 2001. – 920 с. 8. Пат. на корисну модель № 24137 Україна, МПК (2006) B23B 27/16. Комбінований різець / Карпусь В. Є., Котляр О. В.; заявник і власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № u 2006 13462; заявл. 19.12.06; опуб. 25.06.07, Бюл. № 9.

Надійшла до редколегії 17.03.2009 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

Карпусь В.Є., Иванов В.О., Котляр О.В.

В статье приведенные исследования упругих перемещений деталей в универсально-сборных переналаживаемых приспособлениях на основе предложенной базирующей призмы и погрешностей многолезвовой обработки с использованием предложенного комбинированного резца.

напружено-деформований стан, технологічна оснастка, комбінований різець, базуюча призма