

В.Ю. Лоєв, к.т.н., проф.

О.М. Кравчук, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ТОРЦЕВЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ ШИРОКИХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

В статті проведено аналіз існуючих способів обробки широких плоских поверхонь нежорстких деталей торцевим лезовим інструментом. Сформульовано основні напрямки подальших розробок з цієї проблеми.

Вступ. Важко переоцінити значення великого класу нежорстких деталей широкої номенклатури, як правило, відповідального призначення, для виробництва нового покоління машин і механізмів.

Мала власна жорсткість або низька жорсткість по відношенню до жорсткості вузлів верстата, можливість виникнення за певних умов вібрацій, наявність в процесі обробки безлічі дестабілізуючих процес факторів – все це призводить до необхідності пошуку нових методів управління і технологічних способів забезпечення заданої точності і якості обробки. Накопичений досвід показує, що традиційні способи обробки недостатньо ефективні для виготовлення нежорстких деталей [13].

Серед найважливіших проблем, що висувуються на сучасному етапі розвитку виробництва, найбільш значними є підвищення продуктивності, якості і точності обробки поверхонь деталей. Особливо це стосується широких плоских поверхонь великих розмірів, при обробці яких виникають чималі труднощі.

В літературі не існує чіткого визначення широкої поверхні. Так автор роботи [3] під широкою плоскою поверхнею розуміє площину з розміром по ширині, що перевищує 300 мм. Оскільки найбільші зовнішні діаметри торцевих фрез зі стандартного ряду за ІСО 523-74 складають 500...630 мм, а взаємозв'язок діаметра торцевої фрези та ширини фрезерування виражається співвідношенням: $B = (0,7...0,8)D_{фр}$, то ширина фрезерування B в цьому випадку знаходиться в діапазоні 300...500 мм. Однак, таке визначення є досить умовним.

Автори роботи [2] дають ширше, але більш влучне визначення, згідно з яким широкою вважається така плоска поверхня, ширина якої перевищує діаметр торцевої фрези.

Викладення основного матеріалу. Удосконалення технології формоутворення площин заготовок, особливо тих, що мають значні розміри, являє собою актуальну задачу, оскільки плоскі поверхні займають друге місце за кількістю оброблюваних поверхонь після циліндричних.

Торцеве фрезерування є одним з найбільш ефективних способів обробки широких плоских поверхонь як за продуктивністю, так і за точністю і якістю обробленої поверхні.

Проблема обробки широких плоских поверхонь методом торцевого фрезерування досліджена дуже мало. Переважна більшість наукових публікацій закінчується висновками і рекомендаціями щодо однопрохідного методу фрезерування, що в більшості випадків є нездійсненним, оскільки однопрохідне торцеве фрезерування можливе лише за виконання умови $D_{фр} > B$ [2, 3].

В сучасних умовах такі поверхні обробляються за декілька проходів способом „маятникової” подачі, коли різання здійснюється у напрямку поздовжньої подачі, а установочне переміщення фрези (або стола з заготовкою) – в напрямку поперечної подачі, або фрезеруванням за контуром (рис. 1). При цьому практично неможливо забезпечити потрібну точність і форму плоскої поверхні. В разі застосування першого способу на стику сусідніх проходів можуть утворюватися східці через відхилення від перпендикулярності осі обертання шпинделя до поздовжнього переміщення стола з заготовкою [2]. Крім того, недоліком вказаних способів є також те, що один із напрямків робочого переміщення має більш сприятливі умови для фрезерування (зазор в передачі „гвинт-гайка” столу вибраний), а інший – менш сприятливі, тому можлива поява вібрацій при русі [3].

В місцях зміни напрямку руху фрези відносно заготовки (чи заготовки відносно фрези) відбувається короткочасна зупинка процесу обробки, яка сприяє зняттю навантаження між шпинделем і столом верстата, що в свою чергу призводить до появи слідів на вже обробленій поверхні, погіршуючи шорсткість і навіть точність обробки [2].

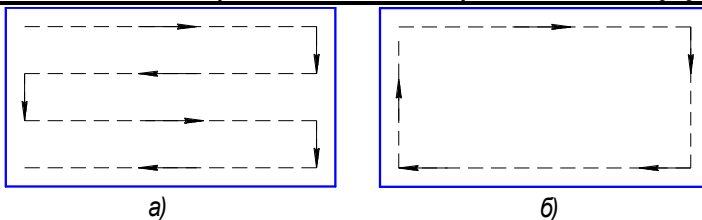


Рис. 1. Траєкторії відносного руху інструмента і заготовки:
а) при „маятниковій” подачі; б) при фрезеруванні за контуром

Різноманітність конструкцій нежорстких деталей, що визначають методи обробки плоских поверхонь, не дають можливість застосовувати якийсь один універсальний метод торцевого фрезерування, тому автори роботи [1] розглядають низку способів і їх комбінації з метою забезпечення високопродуктивної і якісної обробки плоских поверхонь деталей торцевим фрезеруванням:

- вибір оптимальної траєкторії руху заготовки відносно інструмента;
- конструктивне виконання різального інструменту;
- управління пружними деформаціями;
- зміна режимів різання в процесі обробки;
- адаптивне управління опорними і затискними елементами пристосування;

Як зазначалось вище, на сьогодні існує невелика кількість розробок в напрямку торцевого фрезерування широких плоских поверхонь нежорстких деталей. Розглянемо основні існуючі способи отримання плоскої поверхні при фрезеруванні окремо за наведеними вище категоріями.

Вибір оптимальної траєкторії руху заготовки відносно інструмента.

Підвищення точності фрезерування забезпечують вибором оптимальної траєкторії відносного переміщення заготовки та фрези. На відміну від фрезерування за контуром або способом маятникової подачі, для верстатів з ЧПУ запропоновані більш складні траєкторії відносного переміщення фрези та оброблюваної заготовки (рис. 2).

Зокрема, автор роботи [4] пропонує спосіб обробки площин із використанням установочних площин та торцевої фрези, яка здійснює переміщення за траєкторією, що являє собою ламану лінію, відрізки якої розташовані під гострим кутом один до одного та до установочних площин (рис. 2, а).

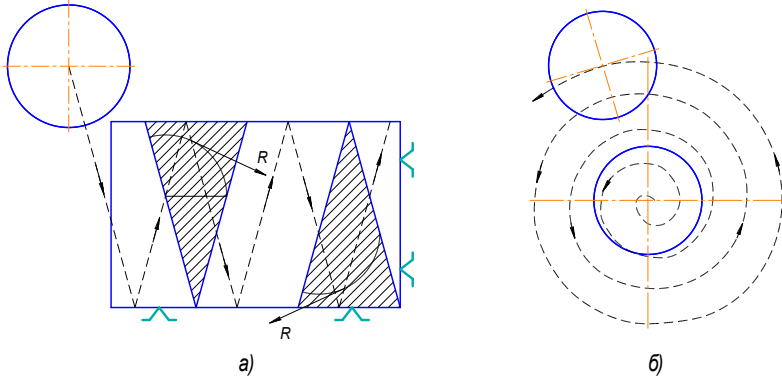


Рис. 2. Способи обробки площин при переміщенні фрези:
а) по ламаній траєкторії; б) по спіралі Архімеда

При обробці за вказаним способом забезпечується неперервність обробки зі складовою сили різання R , спрямованою на установочні бази.

Іншу траєкторію переміщення інструменту та заготовки запропоновано в роботі [5]. Згідно з ним фрезу обертають та переміщують відносно деталі по траєкторії, що являє собою спіраль Архімеда, з кроком, рівним ширині припуску, що знімається (рис. 2, б). Це дозволяє дещо підвищити продуктивність та якість обробки.

Суттєвим недоліком запропонованого способу є необхідність початкового осьового врізання торцевої фрези на величину припуску, що видаляється [3].

Крім того, вказані траєкторії переміщення деталей (рис. 2) досить складні для практичної реалізації.

Автор способу обробки поверхонь нежорстких деталей [10] пропонує проводити обробку поверхонь попарно по ділянках, причому в кожній парі першу ділянку обробляють на одному боці деталі, а іншу – на протилежному, напроти першої (рис. 4).

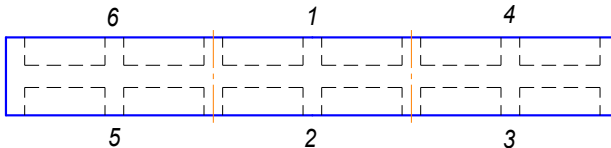


Рис. 4. Одночасна обробка поверхонь нежорстких деталей з двох боків

Прогин, що виникає в результаті обробки однієї з ділянок пари 1 і 2, 3 і 4 або 5 і 6 послідовно компенсується іншою ділянкою даної пари, в результаті чого загальний прогин деталі в процесі обробки не перевищує допустимий.

Конструктивне виконання різального інструмента.

Для торцевого фрезерування широких плоских поверхонь використовуються також різноманітні конструкції фрезерних головок.

В роботі [3] наведено декілька прикладів існуючих конструкцій фрезерних головок для обробки широких плоских поверхонь (рис. 5).

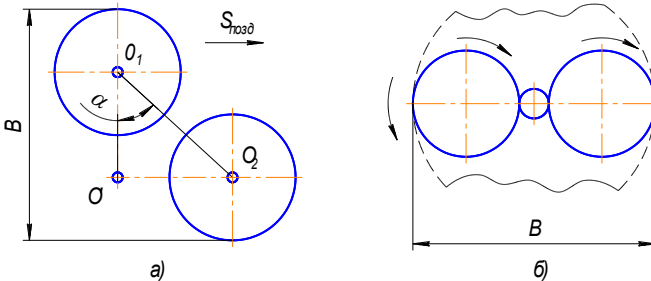


Рис. 5. Способи фрезерування неперервної плоскої поверхні

Так фрезерна головка (рис. 5, а) забезпечує неперервність фрезерування по ширині B шляхом кутового повороту двох фрез в напрямку поздовжньої подачі $S_{позд}$. При такому конструктивному виконанні, однак, неминуче збільшення часу обробки через збільшення довжини робочого переміщення на величину $|O_1O_2| = |O_1O_2| \cdot \sin \alpha$ [3].

Регульовану ширину обробки можна отримати за допомогою фрезерної головки (рис. 5, б), коли формування площини відбувається при планетарному русі фрез, встановлених на підвісці з інструментальними шпинделями, кінематично зв'язаними з приводним валом.

Фрезерна головка [6] забезпечує суцільну обробку поверхонь з великою протяжністю за один прохід. Вона містить декілька торцевих фрез, жорстко орієнтованих та зв'язаних одна з одною. Відстань між різальними елементами кожної фрези більша, ніж відстань між осями, на яких закріплені фрези, що забезпечує перетин траєкторій різальних елементів сусідніх фрез (рис. 6).

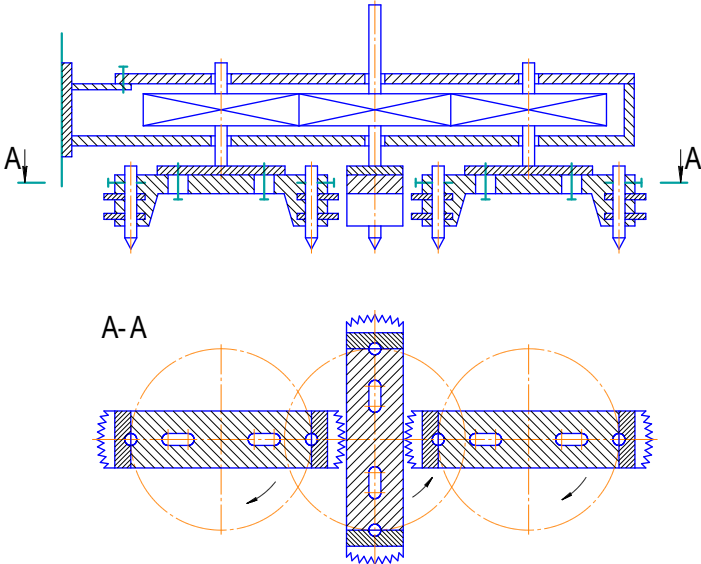


Рис. 6. Фрезерна головка з перекриттям траєкторій фрез для однопрохідної обробки широких поверхонь

Автор роботи [3] пропонує декілька конструкцій різального інструменту для обробки широких плоских поверхонь, в яких діаметр інструменту перевищує ширину обробленої поверхні. В їх основі лежить схема встановлення інструменту, згідно з якою фреза спирається безпосередньо на підшипник на діаметрі фрезерування (рис. 7, б).

Автор пропонує збільшити діаметр базової поверхні фрези до діаметра розташування різальних елементів, для того щоб складова сили різання P_y безпосередньо замикалась на корпус верстата. В порівнянні зі схемою (рис. 7, а) жорсткість даної системи вища, оскільки за рахунок збільшення діаметра спирання торця тут практично відсутні пружні вигини корпусу фрези і шпинделя, а контактні деформації нижчі [3].

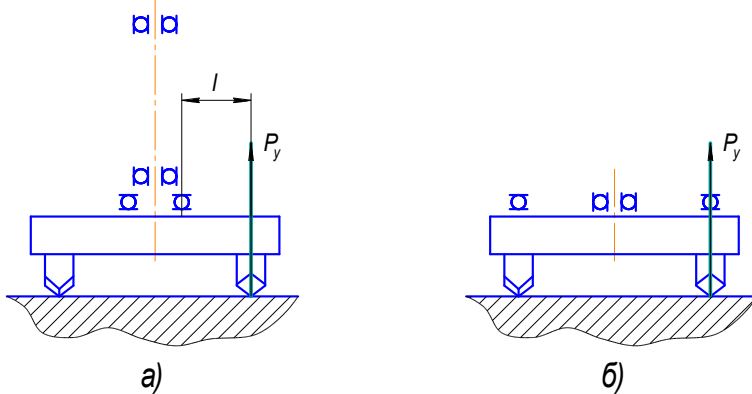


Рис. 7. Схема встановлення фрези: а – існуюча, б – запропонована автором роботи [3]

Однак проектування торцевої фрези, діаметр якої перевищує ширину оброблюваної поверхні, викликає необхідність виготовлення торцевого інструменту значних діаметрів, і як наслідок, великої ваги, що в свою чергу викликає необхідність використання для обробки надпотужного обладнання, а великі діаметри упорних підшипників суттєво знижують можливість застосування необхідних швидкостей різання.

У напрямку удосконалення процесу формоутворення плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом вченими ЖДТУ розроблено нове інструментальне забезпечення обробки деталей зі сталі і чавуну з застосуванням надтвердого матеріалу.

Зокрема, конструкція торцевої фрези [11] дозволяє компенсувати дію сили різання P , і мінімізувати похибки обробки, які вона спричиняє. Принцип обробки запропонованим інструментом можна визначити як спосіб зустрічного видалення припуску (рис. 8).

Інструмент містить внутрішню та зовнішню обойми з різальними елементами, які синхронно обертаються у протилежних напрямках. За рахунок однакової кутової швидкості та однакової кількості внутрішніх та зовнішніх різальних елементів, сила P , яка діє на оброблювану поверхню, є практично однаковою з обох боків оброблюваної деталі, розрахункова реакція від дії сил різання наближається до нуля.

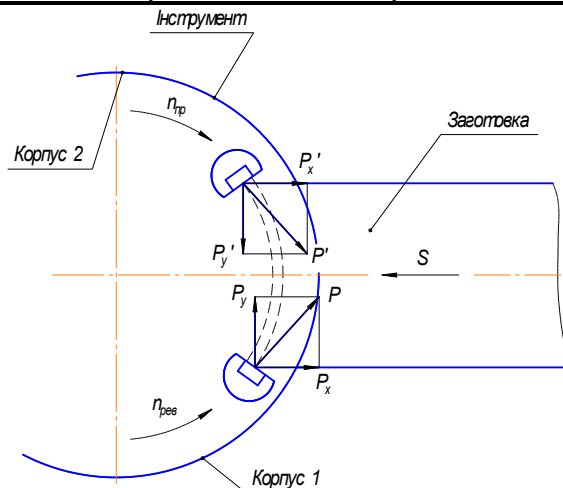


Рис. 8. Схема компенсації сил різання

Розроблена вченими ЖДТУ конструкція інструменту (рис. 9) з двома обертальними головними рухами формоутворюючих елементів і одним рухом подачі, завдяки чому вона має значно більшу швидкість та продуктивність обробки порівняно з традиційними інструментами.

В корпусі інструмента змонтовано шість шпинделів, в кожному з яких закріплена п'ятизуба кінцева фреза. При обертанні корпусу інструмента, жорстко закріпленого на шпинделі верстата, обертання передається на кожен з шпинделів через планетарну зубчасту передачу.

Швидкість різання становить:

$$v_p = \frac{\pi \cdot n_{шп} \cdot (D_p + d_{ф.і.} + d_{ф.і.} \cdot i_m)}{1000},$$

де $n_{шп}$ – кількість обертів шпинделя верстата в хвилину; D_p – діаметр розташування формоутворюючих інструментів; $d_{ф.і.}$ – діаметр формоутворюючих інструментів; i_m – передаточне відношення значення приводу шпинделів формоутворюючих інструментів.

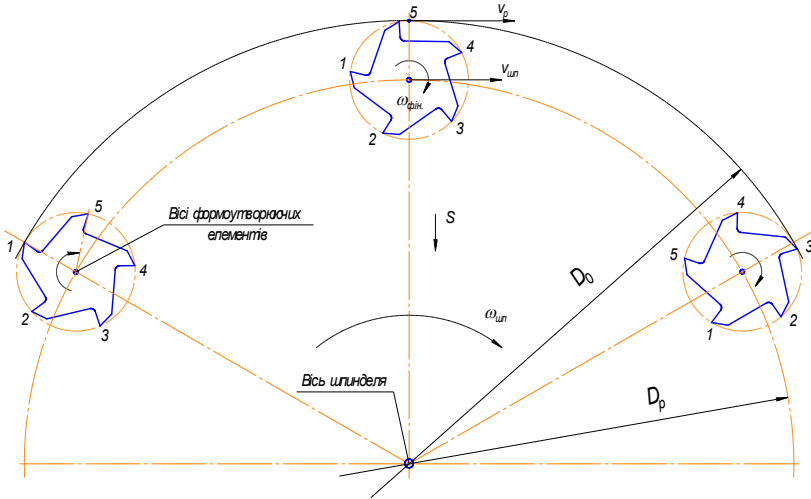


Рис. 9. Схема торцевого інструмента з двома обертальними головними рухами

Вказаний спосіб обробки плоских поверхонь і інструмент для його здійснення дозволить забезпечити рівномірність процесу за рахунок збільшеної кількості лез в роботі.

Управління пружними деформаціями.

Ряд способів обробки плоских поверхонь нежорстких деталей заснований на управлінні пружними деформаціями.

Один з запропонованих способів механічної обробки нежорстких деталей [7] полягає в тому, що перед зняттям припуску на оброблюваній поверхні виконують поперечні канавки, глибину яких обирають рівною величині припуску, що знімається, а відстань між ними – меншою або рівною ширині оброблюваної деталі (рис. 10, а). Обробку ведуть по ділянках. Автор стверджує, що в результаті обробки після розкріплення деталь деформується і набуває форми, зображеної на рис. 10, в, а жолоблення f_1 значно менше величини жолоблення f , що утворюється при обробці відомими способами (рис. 10, б). Оскільки жолоблення виникає у межах довжини кожної з ділянок заготовки, а не на всій її довжині, оскільки величина жолоблення пропорційна квадрату довжини оброблюваної ділянки заготовки.

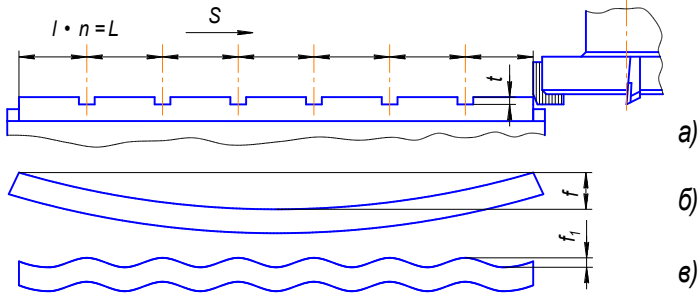


Рис. 10. Спосіб обробки нежорстких плоских деталей:
 а – схема реалізації способу; б – схема жолоблення деталі при обробці відомими способами; в – схема жолоблення деталі при обробці запропонованим способом

Однак в дійсності штучно виконані канавки ослаблюють заготовку, що повинно призвести до ще більшого жолоблення, а не до його зменшення.

В роботі [9] описується спосіб односторонньої обробки нежорстких деталей у два переходи, на останньому з яких заготовку остаточно обробляють в деформованому стані.

Після видалення припуску на другому переході та розкріплення заготовки відбувається взаємокомпенсація двох прогинів, рівних за величиною і протилежних за напрямком. Заготовку перед другим переходом деформують при закріпленні її в двох опорах, підводячи інструмент до центру заготовки з вертикальною подачею, створюючи прогин f_3 (рис. 11).

Однак наведені вище способи [7] та [9] не є стабільними, відрізняються високою трудомісткістю та низькою економічною ефективністю.

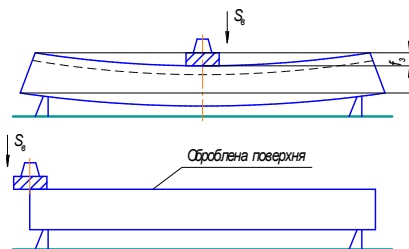


Рис. 11. Спосіб обробки із взаємокомпенсацією прогинів

Зміна режимів різання в процесі обробки.

В способі обробки плоских поверхонь нежорстких заготовок [8] фрезерування площини ведуть по ділянках, причому кожен подальшу ділянку оброблюють з режимами, що забезпечують формування значення рівнодіючої залишкових напружень протилежної за значенням до рівнодіючої на попередній ділянці (рис. 12). Почергові опуклості та увігнутості ділянок деталі не виходять за межі сумарного значення похибки форми. Оскільки не для всіх матеріалів та умов обробки зміною режимів різання можливо досягти різного знаку рівнодіючої залишкових напружень, в процесі обробки деформовані при різанні шари металу на несуміжних ділянках піддають термічному впливу.

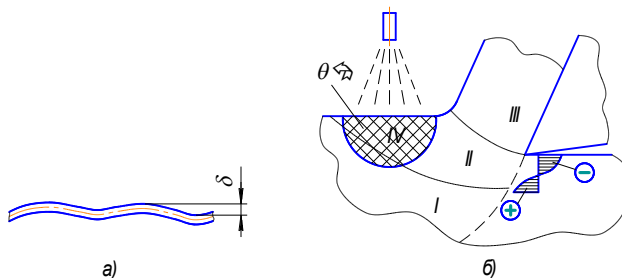


Рис. 12. Спосіб обробки плоских нежорстких заготовок:
 а – схема деформації деталі; б – схема утворення залишкових напружень

Запропонований спосіб є занадто трудомістким, його надзвичайно складно реалізувати на практиці.

В роботі [12] викладено основи управління кінематикою процесів різання на верстатах з ЧПУ. Розроблені теоретичні основи управління полягають в тому, що параметр, який використовується в якості управляючого впливу (подача та/або швидкість різання), змінюється приростами у функції шляху, а рівень сигналу управління між приростами залишається постійним і визначається частотою управляючих імпульсів.

Для підвищення ефективності використання токарних верстатів з ЧПУ автором розроблені інваріантні математичні моделі і алгоритми наступних законів зміни управляючого впливу.

1. *Лінійна зміна хвилинної подачі у функції шляху* здійснюється приростами величиною ΔS по мірі обробки ділянки траєкторії довжиною Δl . Управляючий пристрій при цьому реалізує залежність:

$$S_K = S_H \pm l \cdot \frac{\Delta S}{\Delta l},$$

де S_H та S_K – відповідно початкова та кінцева швидкості подачі; l – довжина обробки, на якій подача змінюється від S_H до S_K .

Для розрахунку поточного значення подачі на оберт S_O при лінійному збільшенні хвилинної подачі отримана наступна залежність:

$$S_O = \frac{S_H \cdot \Delta S}{\Delta l} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \tau_0}} \right) \cdot e^{\frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \tau_s},$$

де τ_0 – час одного обертуну шпинделя верстата; τ_s – поточний час обробки зі змінною подачею.

2. *Зміна подачі у функції шляху з корекцією управляючої інформації* здійснюється за наступним алгоритмом. Хвилинна подача змінюється приростами величиною ΔS по мірі обробки ділянок Δl_τ змінної довжини між приростами. Причому параметр Δl_τ коректується на величину Δl_n після кожного приросту подачі. Кількість n_s приростів подачі при її зміні від початкового значення S_H до кінцевого S_K можна визначити за співвідношенням:

$$n_s = \frac{(S_K - S_H)}{\Delta S}.$$

Тоді довжина переміщення l , на якій виконується n_s приростів, визначається із співвідношення:

$$l = \Delta l (n_s - 1) + \frac{\Delta l_n}{2} \cdot (n_s^2 - 1) - \Delta l_n (n_s - 1),$$

а поточне значення подачі на оберт:

$$S_O = S_H \cdot \tau_0 \cdot \left(\frac{\Delta l_n \cdot S_H}{\Delta l^2} \cdot \tau_s - \frac{\Delta l_n \cdot S_H}{2\Delta l^2} \cdot \tau_0 + 1 \right).$$

3. *Модульована зміна подачі* полягає в її періодичному збільшенні від S_{\min} до S_{\max} з подальшим зниженням до початкового значення. Подача між її піковими значеннями змінюється приростами ΔS на величину Δl по мірі обробки ділянок між цими приростами. Пристрій ЧПУ для цього реалізує залежності:

$$S_{\max} = S_{\min} + n_s \cdot \Delta S;$$

$$S_{\min} = S_{\max} - n_s \cdot \Delta S,$$

де n_s – кількість приростів швидкості подачі при її зміні від S_{\min} до S_{\max} .

Довжина шляху розгону (гальмування) при цьому визначається:

$$l_1 = n_s \cdot \Delta l.$$

4. *Переривання подачі* здійснюється за алгоритмом, згідно з яким управляючий пристрій періодично через певну кількість імпульсів n_B , що поступають на привід подач, видає імпульси n_A , які на привід подач не поступають (відпрацьовуються фіктивно). Після переміщення виконавчого органу верстата на величину $L_B = n_B \cdot Z_0$ пристрій ЧПУ періодично подає сигнал на фіктивне переміщення $L_A = n_A \cdot Z_0$, де Z_0 – величина переміщення виконавчого органу верстата при відпрацюванні одного імпульсу, що видається пристроєм ЧПУ на привід подач.

5. *Лінійна зміна частоти обертання шпинделя $n_{ш}$ і хвилинної подачі S в функції шляху* здійснюється приростами $\Delta n_{ш}$ і ΔS відповідно по мірі обробки ділянок Δl між їх приростами. Управляючий пристрій реалізує наступні залежності:

$$n_{шк} = n_{шн} \pm \frac{l \cdot \Delta n_{ш}}{\Delta l};$$

$$S_K = S_H \pm \frac{l \cdot \Delta S}{\Delta l},$$

де $n_{шн}$ і $n_{шк}$ – початкова і кінцева частоти обертання шпинделя.

Поточне значення подачі на оберт визначається за залежністю:

$$S_0 = \frac{\left(e^{\frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \tau_s} \cdot S_H + \Delta S \right) \cdot \Delta S}{n_{шн} \cdot \Delta S + \left(e^{\frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \tau_s} \cdot S_H + \Delta S - S_H \right) \cdot \Delta n_{ш}},$$

а поточне значення швидкості різання в функції часу при цьому визначається за залежністю:

$$v = \frac{\pi \cdot D}{1000} \cdot \left[n_{шн} + \left(e^{\frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \tau_s} \cdot S_H + \Delta S - S_H \right) \cdot \frac{\Delta n_{ш}}{\Delta S} \right].$$

6. *Задача підтримання постійної швидкості різання і подачі* в умовах безступеневого регулювання частоти обертання шпинделя вирішується шляхом побудови алгоритму, в якому використовується поточна інформація про зміну діаметральних розмірів оброблюваної заготовки.

При збільшенні діаметра обробки оціночна функція визначається з виразу:

$$F(j, j) = -i \cdot \Delta D \cdot n_{ш_0} + j \cdot \Delta n_{ш} \cdot D_i,$$

де i – поточне значення кількості приростів діаметра обробки; ΔD – приріст діаметра обробки; n_{ω_0} – вихідне значення частоти обертання шпинделя; j – поточне значення кількості приростів частоти обертання шпинделя; Δn_{ω} – приріст частоти обертання; D_i – поточне значення діаметра обробки.

Після кожного приросту частоти обертання шпинделя змінюється поточне значення подачі:

$$S_{j+1} = S_j + S_0 \cdot \Delta n_{\omega}.$$

Коли діаметр обробки зменшується, оціночна функція має вигляд:

$$F(j, j) = i \cdot \Delta D \cdot n_{\omega_0} - j \cdot \Delta n_{\omega} \cdot D_i,$$

Описані математичні моделі та алгоритми управління подачею та швидкістю різання у функції шляху [12] можуть послужити базою для створення стратегій управління режимами різання в процесі торцевого фрезерування широких плоских поверхонь нежорстких деталей.

Висновки. Проблема обробки широких плоских поверхонь нежорстких деталей методом торцевого фрезерування досліджена дуже мало.

Більшість розглянутих існуючих способів обробки широких плоских поверхонь містять суттєві недоліки, є важкоздійсненними, економічно недоцільними або не враховують усіх факторів, що впливають на точність обробки.

Задля оптимізації процесу обробки площинних поверхонь необхідно розробити методологію визначення оптимальних режимів різання, параметрів інструменту і пристосувань, динамічної характеристики і умов функціонування технологічної системи, що гарантують задану точність і продуктивність обробки. Вказані цілі лежать в основі подальших пошуків підвищення якості і продуктивності торцевого фрезерування широких плоских поверхонь нежорстких деталей.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мельничук П.П., Лосєв В.Ю., Головатенко О.В. Техніко-технологічні підходи удосконалення процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь нежорстких деталей // Вісник ЖДТУ. – 2008. – Вип. III (46). – Том 1. – С. 16–25.
2. Мельничук П.П., Лосєв В.Ю. Чистове торцеве фрезерування широких плоских поверхонь. Аналіз утворення похибок і

- попередні рекомендації щодо їх мінімізації // Вісник ЖДТУ, 2008.
3. Кушниров П.В. Повышение эффективности торцевого фрезерования широких плоских поверхностей путем увеличения жесткости элементов технологической системы: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Сумы, 1996. – 208 с.
 4. А.с. 522916 СССР. Способ обработки плоскостей / М.А. Эстерзон, Я.Б. Горелик. – Оpubл. в Б.И., 1976, № 28. – 2 с.
 5. А.с. 1161278 СССР. Способ обработки плоскостей / В.Ф. Кузьмин, Л.Н. Кузьмина. – Оpubл. в Б.И., 1985, № 22. – 3 с.
 6. А.с. 1204332 СССР. Фрезерная головка / А.И. Мысковский, В.Е. Марголин, А.А. Мысковский. – Оpubл. в Б.И., 1971, № 2. – 4 с.
 7. А.с. 1785843А1 СССР. Способ механической обработки поверхностей нежестких деталей / Л.М. Натапов, М.Д. Медведев, А.И. Гдалевич. – Оpubл. в Б.И., 1993, № 1. – 3 с.
 8. Патент 2198769С2 РФ. Способ обработки плоских поверхностей нежестких заготовок / М.Г. Гольдшмидт. – 2003. – 5 с.
 9. А.с. 1757787А1 СССР. Способ односторонней механической обработки нежестких деталей /Л.П. Колот, Ю.Ф. Глазунов, В.А. Колот, А.В. Колот. – Оpubл. в Б.И., 1992, № 32. – 4 с.
 10. А.с. 1227373А1 СССР. Способ обработки поверхностей нежестких деталей / Б.И. Панов, Н.Н. Кочетов, З.А. Быховский. – Оpubл. в Б.И., 1986, № 16. – 2 с.
 11. Патент 83072 Укр. Торцева фреза / Головатенко О.В., Лоев В.Ю., Мельничук П.П. – 2008, № 11. – 3 с.
 12. Капительян И.А. Теоретические и технологические основы управления кинематикой процессов резания на металло-режущих станках и станочных комплексах с ЧПУ: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.02.08. – Минск, 2009. – 42 с.
 13. Тараненко В.А., Митрофанов В.Г., Косов М.Г. Технологические способы и средства повышения точности обработки нежестких деталей. – М.: ВНИИТЭМР 1987. – 64 с.

ЛОСВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- комплексні і комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин;
- конструювання металообробних верстатів і інструментів.

КРАВЧУК Олена Михайлівна – аспірант кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка плоских поверхонь нежорстких деталей.

Подано 25.09.2009