

УДК 621.914

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.Ю. Лоєв, к.т.н., проф.

ЧИСТОВЕ ТОРЦЕВЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ ШИРОКИХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ. АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ ПОХИБОК І ПОПЕРЕДНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

В статті наведено результати дослідження методів обробки плоских поверхонь деталей машин і механізмів торцевими фрезами, діаметр яких менший ширини оброблюваної поверхні ($B/D > 1$). Визначено основні джерела виникнення похибок оброблюваної поверхні, починаючи від процесу врізання торцевого інструменту, його виходу, впливу зміни положення вузлів верстата на його динамічні характеристики. Надані попередні рекомендації щодо підтвердження якості обробки.

Вступ. Переважна більшість наукових публікацій, присвячених проблемі обробки широких плоских поверхонь деталей машин і механізмів методом торцевого фрезерування, закінчується висновками і рекомендаціями щодо однопрохідного методу фрезерування [1, 2]. В роботі [1] наведено приклад вирішення проблеми обробки широкої поверхні корпусу ножа на Роменському заводі поліграфічних машин (розміри оброблюваної плоскої поверхні 324×1148 мм). Констатовано, що в результаті декількох проходів утворюється межа-смуга між сусідніми проходами, нерівномірний (місцевий) нагрів деталі при тепловиділенні у процесі різання викликає її жолоблення вже після попереднього старіння. Щоб усунути можливий брак, були вимушені збільшувати припуск під шліфування, що, в свою чергу, призводило до зниження продуктивності і підвищення витрат.

Як зазначають автори, вихід було знайдено за рахунок проектування торцевої фрези, діаметр якої перевищував ширину оброблюваної поверхні. Це, в свою чергу, викликає необхідність виготовлення торцевого інструменту значних діаметрів, і як наслідок – великої ваги. Так, при діаметрі торцевої фрези $D_{фр} = 250$ мм її вага складає 22...25 кг, при $D_{фр} = 315$ мм – 30...40 кг, при $D_{фр} = 630$ мм – 65...100 кг.

Значні діаметри торцевих фрез призводять до зменшення їх жорсткості через пружну деформацію корпусу під дією складової сили різання P_y . Збільшення товщини корпусу фрези значно підвищує її масу, що, в свою чергу, викликає необхідність використання для обробки більш потужного обладнання.

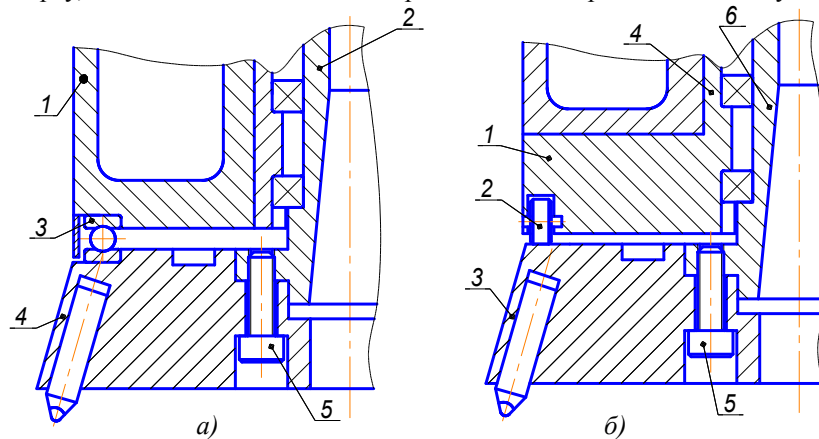


Рис. 1

- а) 1 – корпус;
2 – шпиндель;
3 – підшипник упорний;
4 – торцева фреза;
5 – гвинт кріплення фрези

- б) 1 – корпус;
2 – ролики-підшипники;
3 – торцева фреза;
4 – шпиндель;
5 – гвинт кріплення фрези
6 – шпиндель.

Надані в роботі [2] рекомендації щодо збільшення поверхні осевого базування фрези за рахунок застосування агрегатних фрезерних головок з базуванням торця корпусу на упорному підшипнику кочення великого діаметра, або за периферійними поверхнями радіальних підшипників кочення (рис. 1) не завжди можуть бути використані на машинобудівних підприємствах.

По-перше. Великі діаметри упорних підшипників суттєво знижують можливість застосування необхідних швидкостей різання (обмежена допустима кількість обертів). Так, для підшипник № 8164 особливо легкої серії розмірами $\varnothing 320 \times \varnothing 400 \times 63$ максимальна кількість обертів допускається не більше 400 об./хв., що неприйнятно для інструменту з надтвердих матеріалів.

По-друге. Суттєво збільшений момент інерції шпиндельної групи (шпиндель, підшипники шпинделя, фреза, шестерні або шків приводу тощо), неможливість уникнення дисбалансу сприяють зниженню працездатності верстата і збільшенню енерговитрат.

По-третє. Збільшення діаметра фрези можливе до певних меж через ряд конструктивних обмежень, серед яких відстань осі шпинделя до корпусних деталей, потужності приводів головного руху, виготовлення та налагодження інструменту тощо. Наприклад для обробки рам фільтрпресів на ВАТ «Прогрес», які мають зовнішні розміри площин, що підлягають обробці, 800×1000 мм або 1200×1500 мм та інші. Такі ж розміри мають плоскі поверхні станин і основ верстатобудівних підприємств: ВАТ «Беверс», ВАТ «Верстатоуніверсалмаш», Київський завод «Веркон» та велика кількість інших машинобудівних підприємств. В той же час ці поверхні вимагають високих параметрів з площинності й шорсткості. Виготовлення торцевих фрез діаметром, що перевищує 1000 мм, а також придбання відповідних верстатів є нереальним і економічно недоцільним.

Актуальність проблеми. 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. При цьому майже 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 із заготовкою.

В роботі [3] визначені максимальні значення глибини западини, що утворюється через відхилення від перпендикулярності осі шпинделя до поздовжнього переміщення стола:

– при симетричному розташуванні торцевої фрези відносно ширини оброблюваної поверхні:

$$\Delta_{y\phi} = \left(r_{in} - \sqrt{r_{in}^2 - \frac{B_{max}^2}{4}} \right) \sin \alpha_{ин},$$

де r_{in} – радіус розташування формоутворюючих елементів фрези відносно осі її обертання;

B_{max} – максимальна ширина оброблюваної поверхні;

$\alpha_{ин}$ – кут між віссю шпинделя і траєкторією поздовжнього руху стола із заготовкою.

– при несиметричному положенні фрези відносно оброблюваної поверхні:

$$\Delta_{y\phi.e} = r_{in} \cdot \sin \alpha_{ин} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{B_{max} - 2e}{r_{in}} \right)^2} \right),$$

де e – ексцентриситет (зміщення) осі фрези відносно ширини оброблюваної поверхні.

Відхилення від перпендикулярності осі шпинделя відносно поперечного переміщення фрези або стола із заготовкою відносно фрези викликає похибку номінальної плоскої поверхні у вигляді різновисотності країв утворюваної западини при поздовжньому робочому ході стола або фрези і при установочному поперечному їх переміщенні.

В разі поперечного робочого ходу фрези або стола із заготовкою картина утворення похибки площинності оброблюваної поверхні змінюється на протилежну.

При фрезеруванні за контуром діаметр фрези вибирається за відомим співвідношенням: $B/D_{фр.} \approx 0,8$, де B – найбільша ширина оброблюваної поверхні за контуром деталі (рис. 2)

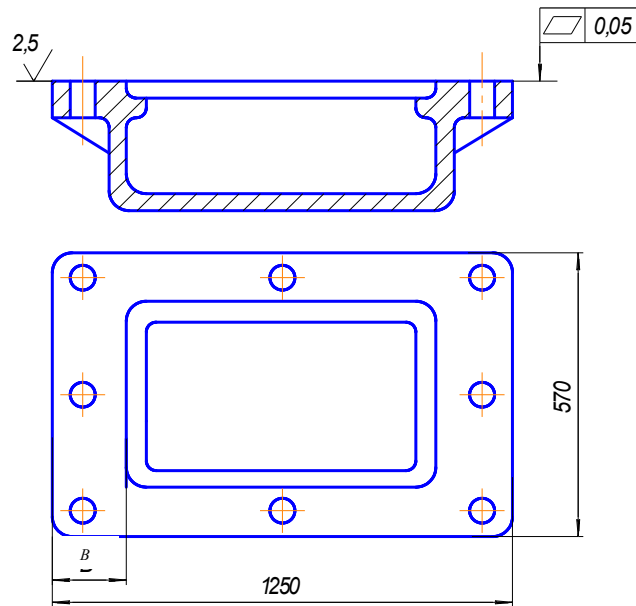
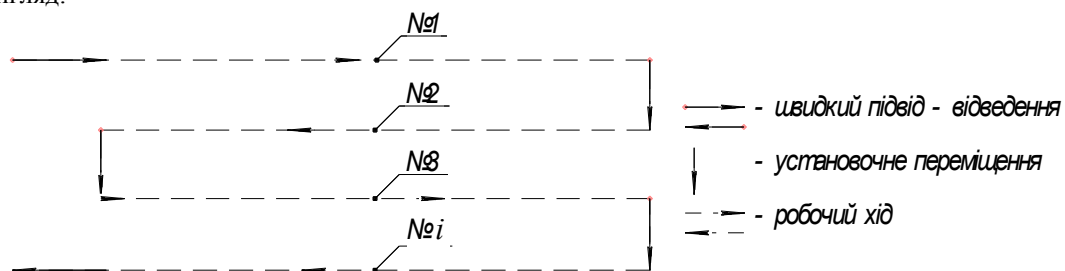


Рис. 2. Форма типової плоскої поверхні деталі, що підлягає обробці торцевим фрезеруванням

Трасекторія відносного руху інструмента і заготовки в разі обробки за схемою «маятникової подачі» має вигляд:



При цьому необхідно забезпечити перекриття кожного після першого проходів фрези (частковий повторний прохід по обробленій поверхні).

Трасекторія відносного руху інструмента за другим (контурним) способом обробки широкої плоскої поверхні має вигляд:



В місцях зміни напрямку руху фрези відносно заготовки (чи заготовки відносно фрези) відбувається короткочасова 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. Крім того, як показує досвід обробки таким способом, ніколи не можливо повернутися до місця початку обробки без утворення певних розмірів сходинки, яка, як ми покажемо нижче, залежить від параметрів жорсткості системи і коливальних процесів у ній.

До попередньо визначених проблем обробки широких поверхонь деталей слід додати ще й проблему зношування формуючих елементів торцевого інструменту, що пов'язано не тільки зі значними площинами обробки, але і з забезпеченням сприятливих умов при врізанні та виході інструменту.

Викладення основного матеріалу. З попередніх досліджень, виконаних різними фахівцями в області фрезерування, відомо, що при врізанні й виході торцевої фрези з оброблюваної поверхні, неможливо забезпечити високу якість на цих ділянках, порівняно з поверхнею, де зберігається

незмінною дуга контакту фрези із заготовкою на всій довжині проходу. Також доведено [6], що сколи різальної кромки інструмента і її викришування залежать від кутів виходу зубців фрези з різання.

Як правило торцеве фрезерування (так само й фрезерування канавок, чи карманів кінцевими фрезами) проводять із врізанням у напрямку, перпендикулярному до бокової кромки заготовки.

При врізанні в момент виходу зуба фрези з контакту із заготовкою товщина зрізу завжди не дорівнює нулю, що утворює напруження розтягу, особливо небезпечні для твердих сплавів й певною мірою для НТМ. Такі несприятливі умови супроводжують процес врізання до моменту, коли центр фрези (кінцевої або торцевої при $B \geq D_{фр.}$) не буде збігатись з кромкою заготовки. Уникнути цього явища можливо за рахунок зміни траєкторії руху фрези відносно оброблюваної заготовки.

З умовою забезпечення мінімальної товщини стружки при виході леза з оброблюваної поверхні ця траєкторія буде коловою, як зазначено на рис. 3.

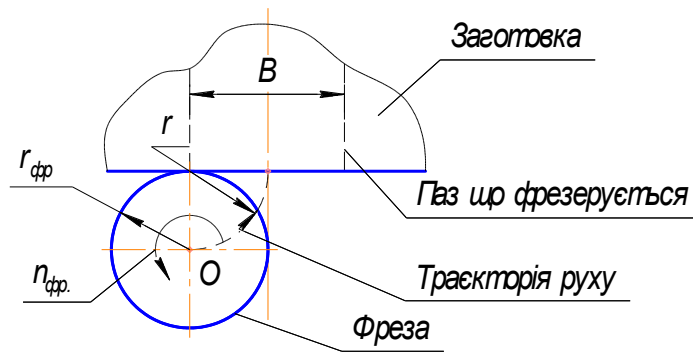


Рис. 3. Траєкторія руху кінцевої фрези при врізанні:
 $B = 2 r_{фр.}$; $r_{фр.} = r$; $n_{фр.}$ – оберти фрези

В разі торцевого фрезерування площини при $B < D_{фр.}$ врізання слід проводити за схемою (рис. 4).

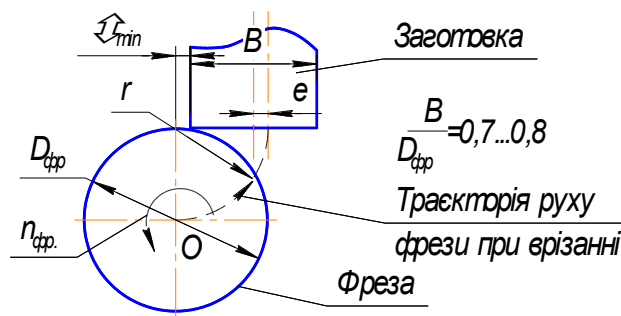


Рис. 4. Траєкторія руху торцевої фрези при врізанні:

$$\frac{D_{фр.}}{2} = r = \frac{B}{2} + e + \Delta_{\min}; \Delta_{\min} = 5 \dots 10 \text{ мм}; e = \frac{D_{фр.}}{2} - \frac{B}{2} - \Delta_{\min} = \frac{D_{фр.} - B}{2} \quad (5 \dots 10)$$

У деяких джерелах надаються рекомендації і наводяться результати випробувань, коли врізання кінцевою фрезою $\varnothing 25$ мм здійснюють під кутом до бокової кромки заготовки [4]. Порівняння виконують при «лобовому» врізанні, врізанні з траєкторією руху фрези по колу радіусом $D_{фр.}/2$ і під кутом 45° (рис. 5).

Слід зразу ж зробити застереження, що під кутом 45° , як і при будь якому іншому куті, врізатись на півдіаметра фрези неможливо для фрезерування паза шириною, яка дорівнює діаметру фрези.

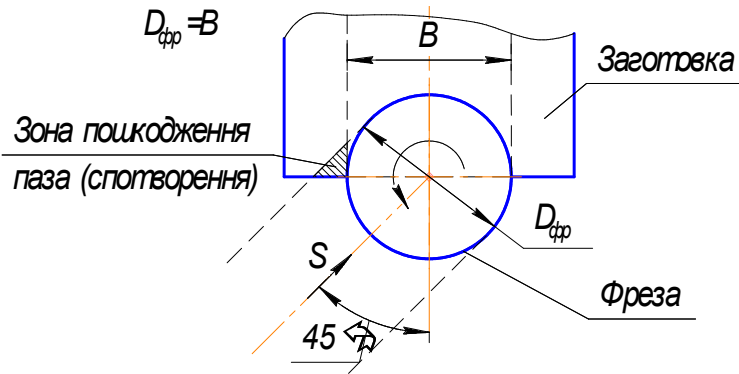


Рис. 5. Схема руху фрези при врізанні під кутом 45°

Врізання під кутом 45° без спотворення паза можливе лише на глибину $\sim 0,59 r_{фр}$. Це підтверджує некоректність порівняння, а також необхідність обережного ставлення до публікацій стосовно використання результатів у дослідженнях.

Що стосується торцевого фрезерування інструментом, оснащеним НТМ, то автори глави II роботи [5] – протилежної думки. Згідно з проведеними ними дослідженнями найбільшою мірою стійкість інструменту залежить від товщини зрізу на вході леза в оброблюваний матеріал (врізання). Як для обробки чавунів, так і для обробки загартованих сталей, незалежно від подачі стійкість максимальна при товщині зрізу при вході, яка дорівнює 0,03–0,04 мм. Це явище автори пояснюють такими факторами: зменшення товщини зрізу на вході до 0,03–0,04 мм призводить до зниження напруження в зубі в період врізання і як наслідок – до зменшення викришування різальної кромки, що, в свою чергу, визначає підвищення стійкості інструмента; подальше зменшення товщини зрізу до значень, співрозмірних з радіусом округлення різальної кромки, призводить до збільшення сил на задній поверхні, у зв’язку з чим стійкість інструмента знижується.

В роботі [5] також наведено формули визначення товщини зрізу на вході й на виході (рис. 6). $a_{вх} = a_{max} \cdot \sin \theta_{вх}$ $a_{вих} = a_{max} \cdot \sin \theta_{вих}$.

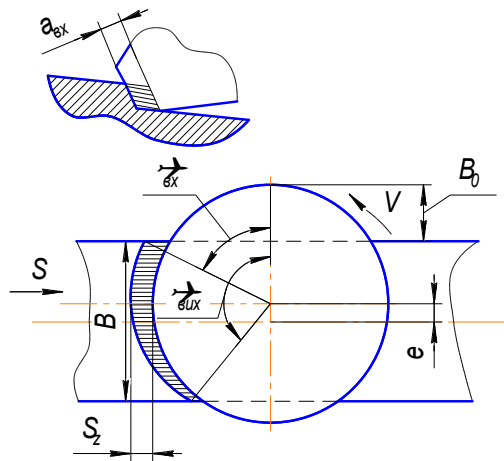


Рис. 6. Схема розташування фрези відносно оброблюваної поверхні

Крім того даються залежності кутів входу і виходу зуба фрези:

$$\theta_{вх} = \arccos\left(1 - \frac{2B_0}{D}\right)$$

$$\theta_{вих} = \arccos\left(\frac{2(B_0 - D)}{D} - 1\right).$$

Формула визначення $\theta_{вих}$ не є коректною, тому що не враховує ширини оброблюваної поверхні.