

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗУСТРІЧНОГО Й ПОПУТНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ СФЕРИЧНИМИ КІНЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

*Представлено результати експериментальних досліджень зустрічного й попутного фрезерування алюмінієвих сплавів сферичними кінцевими фрезами на верстатах з ЧПУ. Дослідження показали, що при обробці просторово-складних поверхонь зустрічне фрезерування забезпечує більш низьку шорсткість, ніж попутне.*

**Вступ.** Як правило, траєкторії обробки просторово-складних поверхонь сферичними кінцевими фрезами на верстатах з ЧПУ будуються у вигляді спіралей, розташованих у площинах, паралельних площині, перпендикулярної осі фрези (X0Y), або у вигляді траєкторій, які утворюються в результаті перетинання поверхні деталі площинами, паралельними площині, що проходить через вісь фрези (X0Z, Y0Z). При спіралеподібних траєкторіях обробка може здійснюватися як попутним, так і зустрічним фрезеруванням.

При використанні другого типу траєкторій схема фрезерування не буде постійною навіть на окремій ділянці траєкторії. При зміні кута нахилу оброблюваної поверхні, або при обробці криволінійних ділянок профілю деталі може відбуватися зміна схеми фрезерування. Це призводить до неоднакової шорсткості на різних ділянках контуру.

Існуючі рекомендації щодо переваги попутного фрезерування [1] належать до фрезерування циліндричними фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах. Це пов'язано з наявністю зазорів у механізмах подач верстатів. Рекомендацій, яка схема фрезерування краща при фрезеруванні сферичними кінцевими фрезами, в літературі немає. Якщо при чорновому знятті припуску це не настільки важливо, то при чистовій обробці це може мати істотне значення з погляду досягнення мінімальної шорсткості обробленої поверхні.

Шорсткість обробленої поверхні, у першу чергу, буде залежати від рівня вібрацій, що виникають при зустрічному або попутному фрезеруванні. Тому порівняння рівня вібрацій і шорсткості обробленої поверхні при різних схемах фрезерування сферичними кінцевими фрезами, дозволить розробити рекомендації з побудови оптимальних траєкторій чистової обробки для забезпечення постійної шорсткості обробленої поверхні.

**Мета роботи.** Дослідження вібрацій і шорсткості поверхні при різних схемах фрезерування просторово-складних поверхонь сферичними кінцевими фрезами на верстатах з ЧПУ. На підставі результатів досліджень, розробити рекомендації для побудови оптимальних траєкторій обробки залежно від схеми фрезерування, що забезпечує мінімальну шорсткість.

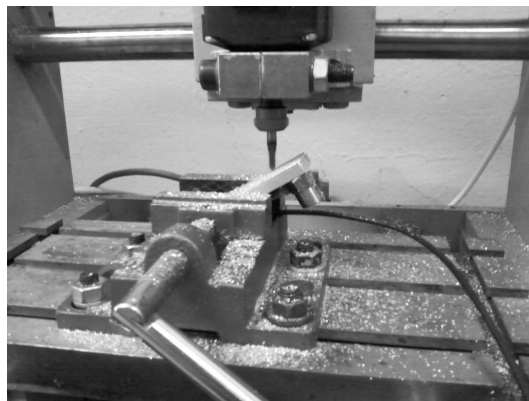


Рис. 1. Обробка зразка під кутом 30°

**Викладення основного матеріалу та результати експериментальних досліджень.** Дослідження проводилися на гравірувально-фрезерному верстаті з ЧПУ. Оброблялися заготовки з алюмінієвого сплаву Д16Т на чистових режимах різання: частота обертання шпинделя – 10000 хв.<sup>-1</sup>, глибина різання – 0,5 мм,

поздовжня подача фрези – 200 мм/хв., поперечна (відстань між проходами) – 0,3 мм/хід. Обробка велася сферичною кінцевою фрезою діаметром 6 мм зі швидкорізальної сталі.

Оброблювані зразки розташовувалися під кутами 30 і 60° до площини (X0Y) стола верстата (рис. 1). Обробка велася до гори та до низу зустрічним і попутним фрезеруванням. Вібратиї записувалися за допомогою п'єзоакселерометра ДН-4 у напрямку, перпендикулярному до оброблюваної площини, через аналогоцифровий перетворювач на комп'ютер. Запис і обробка сигналів виконувалась за допомогою програми LGraph відповідно до методики, викладеної в роботі [2]. На рисунках 2 і 3 представлено записані вібросигнали при роботі одного зуба фрези.

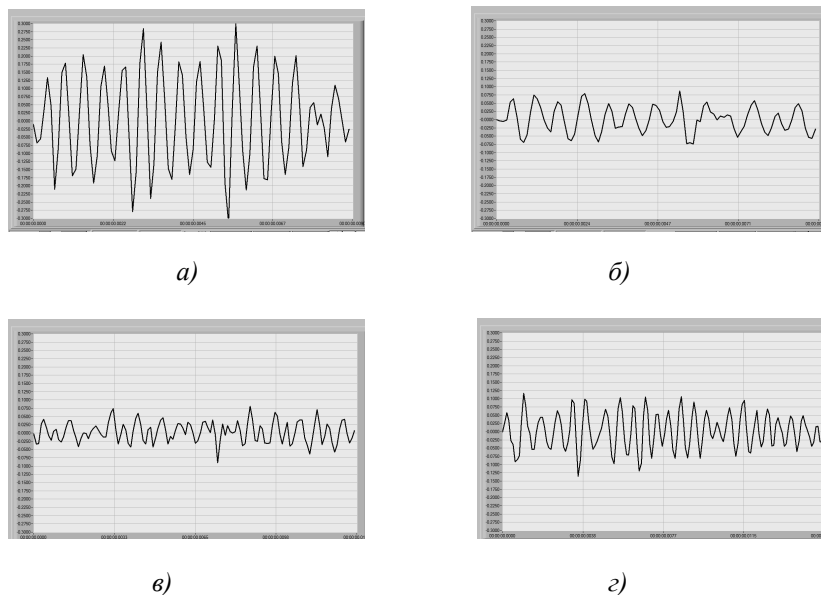


Рис. 2. Вібратиї при роботі одного зуба при обробці пластин, розташованих під кутом 30°: а – зустрічне фрезерування при переміщенні фрези до гори; б – попутне фрезерування при переміщенні фрези до гори; в – зустрічне фрезерування при переміщенні фрези до низу; г – попутне фрезерування при переміщенні фрези до низу

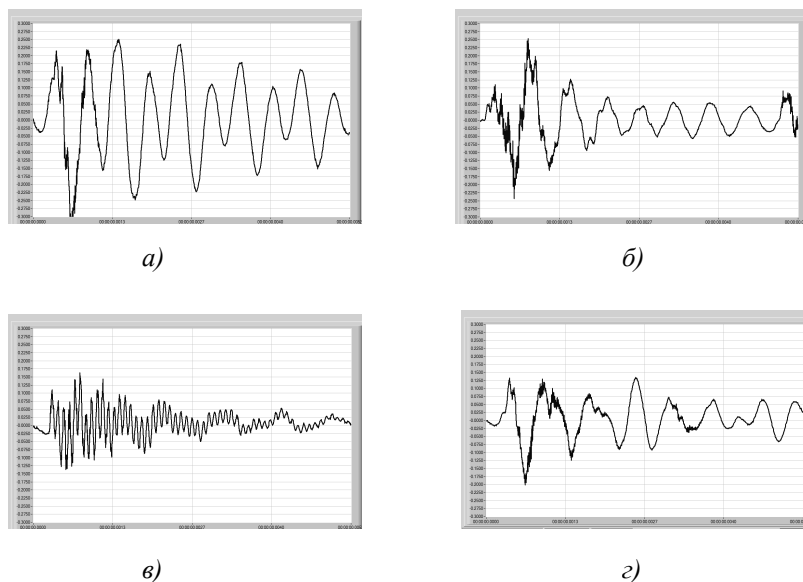


Рис. 3. Вібратиї при роботі одного зуба при обробці пластин, розташованих під кутом 60°: а – зустрічне фрезерування при переміщенні фрези до гори; б – попутне фрезерування при переміщенні фрези до гори; в – зустрічне фрезерування при переміщенні фрези до низу; г – попутне фрезерування при переміщенні фрези до низу

Вимір шорсткості поверхні оброблених зразків проводився на приладі «Профілометр 296». Результати вимірів наведено в таблиці 1.

Аналізуючи отримані дані, слід зазначити, що при переміщенні фрези до гори амплітуда вібратиї більша при зустрічному фрезеруванні. При переміщенні фрези до низу амплітуда вібратиї на незначну

величину більша при попутному. Незважаючи на це, шорсткість поверхні менша при зустрічному фрезеруванні практично у всіх випадках обробки, крім фрезерування до низу пластин, розташованих під кутом  $60^\circ$ .

Таблиця 1

| Кут і напрямок при фрезеруванні | Схема фрезерування | Середнє значення шорсткості, Ra, мкм | Максимальна амплітуда вібрацій, В | Частота основної гармоніки, Гц |
|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 30° до гори                     | зустрічне          | 1,15                                 | 0,614                             | 1960,18                        |
|                                 | попутне            | 1,75                                 | 0,1613                            | 1436,78                        |
| 30° до низу                     | зустрічне          | 1,72                                 | 0,1713                            | 1825,73                        |
|                                 | попутне            | 2,12                                 | 0,3525                            | 1551,72                        |
| 60° до гори                     | зустрічне          | 0,98                                 | 0,5947                            | 2309,24                        |
|                                 | попутне            | 1,77                                 | 0,4963                            | 6124,85                        |
| 60° до низу                     | зустрічне          | 1,32                                 | 0,3119                            | 10293,07                       |
|                                 | попутне            | 1,15                                 | 0,3397                            | 4640,55                        |

У випадку фрезерування до низу під кутом  $60^\circ$  частота основної гармоніки вібрацій при зустрічному фрезеруванні значно більша, ніж при попутному. Можливо, це й вплинуло на незначне погіршення шорсткості.

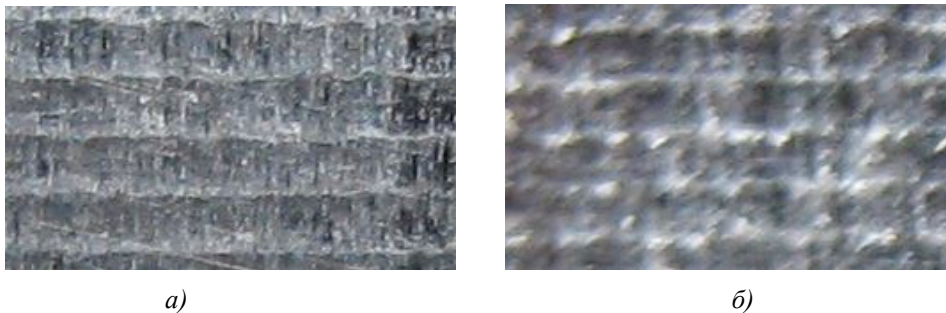


Рис. 4. Фотографії оброблених поверхонь пластин при фрезеруванні під кутом  $30^\circ$  при переміщенні фрези до гори; а – зустрічне фрезерування; б – попутне фрезерування

Слід зазначити, що вимір шорсткості поверхні на деталях з алюмінієвих сплавів за допомогою профілометра, не дає достовірних результатів. Це пов'язано з тим, що у зв'язку з малою твердістю матеріалу, голка приладу пошкоджує вимірювану поверхню. Однак навіть візуальний контроль оброблених поверхонь підтверджує більш низьку шорсткість при зустрічному фрезеруванні (рис. 4).

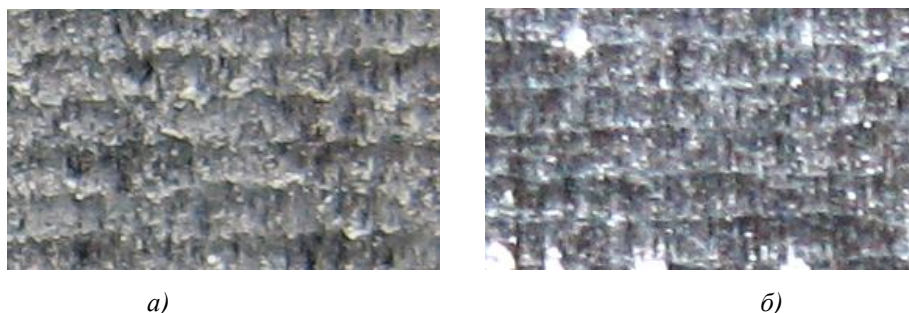


Рис. 5. Фотографії оброблених поверхонь при фрезеруванні під кутом  $60^\circ$  при переміщенні фрези до низу у випадку зустрічного (а) і попутного (б) фрезерування

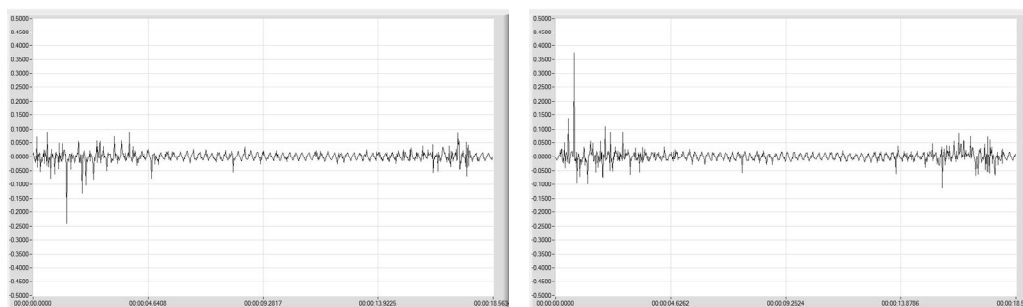
При фрезеруванні під кутом  $60^\circ$  і переміщенні фрези до низу шорсткість поверхні візуально практично не відрізняється при попутному й зустрічному фрезеруванні (рис. 5, а, б).

Таким чином, експериментальні дослідження показали, що при зустрічному фрезеруванні шорсткість обробленої поверхні краща, ніж при попутному. Хоча амплітуда вібрацій у деяких випадках більша, ніж при попутному.

Можливо, тут проявляється явище запізнювання зміни сили різання при зміні товщини знімного шару, що відповідає гіпотезі М.І. Ташлицького [3, 4]. При фрезеруванні пластин під кутом  $30^\circ$  один зуб

фрези зрізує стружку за 0,009 с, а при фрезеруванні пластин під кутом  $60^\circ$  – за 0,005 с. При таких малих проміжках часу і зустрічному фрезеруванні, коли товщина знімного шару змінюється від мінімуму до максимуму, це призводить до більш рівномірних пружних деформацій технологічної системи в точці контакту зуба фрези з обробленою поверхнею. У цьому випадку, сила різання може досягати свого максимуму, коли в різання вступає вже другий зуб.

При попутному фрезеруванні товщина знімного шару змінюється від максимуму до мінімуму. У цьому випадку, запізнювання сили різання призводить до максимальних деформацій технологічної системи, коли перший зуб фрези ще перебуває в зоні різання. У результаті в точці контакту зуба фрези з обробленою поверхнею нерівномірність пружних деформацій буде вища, ніж при зустрічному фрезеруванні, що й призводить до погіршення шорсткості обробленої поверхні.



а)

б)

Рис. 6. Запис вібросигналів при обробці циліндричної ввігнутої поверхні:

а – початок обробки зустрічним фрезеруванням;

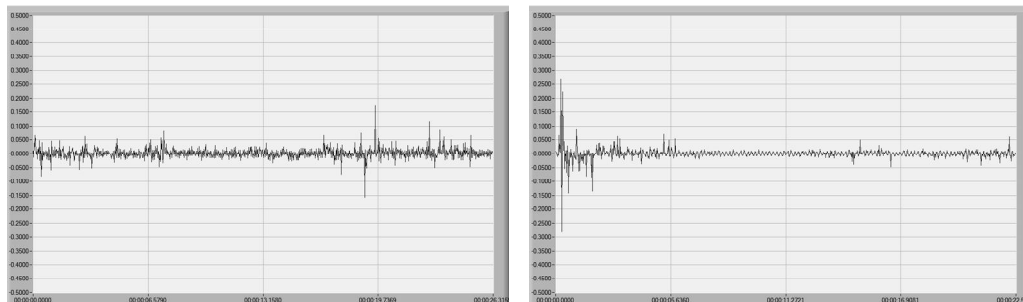
б – початок обробки попутним фрезеруванням

Найбільш складно визначити шорсткість при обробці криволінійних поверхонь. У цьому випадку відбувається зміна не тільки виду фрезерування, але й зміна положення точки контакту сферичної частини фрези з обробленою поверхнею. Це призводить до зміни швидкості різання при формуванні обробленої поверхні.

Для вивчення цього питання були проведені експериментальні дослідження обробки зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь із записом вібрацій уздовж усього шляху різання. Умови обробки були такі ж, як і при фрезеруванні похилих площин. Відрізнялася тільки поздовжня подача. Вона становила 100 мм/хв.

Аналіз вібросигналів при обробці внутрішньої циліндричної поверхні (рис. 4) показує, що під час початку обробки за схемою зустрічного фрезерування (рис. 4, а), амплітуда вібрацій менша, ніж при попутному (рис. 4, б). При проходженні фрезою щонайнижчої точки ввігнутої поверхні схема фрезерування змінюється. У цьому випадку, амплітуда вібрацій на підйомі фрези при попутному фрезеруванні менша, ніж при зустрічному. Однак, як ми вже зазначали вище (рис. 2, а, б і рис. 3, а, б), більша амплітуда вібрацій при зустрічному фрезеруванні не означає погіршення шорсткості, порівняно з попутним.

Аналогічна картина спостерігається й на початку обробки зовнішньої циліндричної поверхні (рис. 5, а, б). Але при зміні схеми фрезерування, і обробці другої половини циліндричної поверхні амплітуда вібрацій при попутному фрезеруванні більша, ніж при зустрічному.



а)

б)

Рис. 7. Запис вібросигналів при обробці зовнішньої циліндричної поверхні:

*а – початок обробки зустрічним фрезеруванням;  
б – початок обробки попутним фрезеруванням*

**Висновки.** Експериментальні дослідження фрезерування алюмінієвих сплавів сферичними кінцевими фрезами показали, що зустрічне фрезерування забезпечує більш низьку шорсткість обробленої поверхні, ніж попутне. При побудові траєкторій чистової обробки просторово-складних поверхонь сферичними кінцевими фрезами на верстатах з ЧПУ варто прагнути до забезпечення зустрічної схеми фрезерування.

**Список використаної літератури:**

1. *Филоненко С.Н.* Резание металлов / *С.Н. Филоненко.* – М. : Машгиз, 1963. – 211 с.
2. *Юмашев В.С.* Дослідження вібрацій при фрезеруванні просторово-складних поверхонь кінцевими сферичними фрезами на фрезерних верстатах з ЧПУ / *В.С. Юмашев* // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – № 10. – С. 365–373.
3. *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов / *В.Ф. Бобров.* – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
4. Исследование методом конечных элементов динамики изменения силы резания при врезании / *В.А. Залогова, Д.В. Криворучко и др.* // Вісник СумДУ / Технічні науки. –2008. – № 3. – С. 13–24.

**ЮМАШЕВ** Володимир Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- верстати з ЧПУ;
- робототехніка.

**СТЕПЧИН** Олег Анатолійович – інженер кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія різання;
- верстати з ЧПУ.

Стаття надійшла до редакції 02.08.2012

**Юмашев В.Є., Степчин О.А.** Порівняльний аналіз зустрічного й попутного фрезерування сферичними кінцевими фрезами на верстатах з ЧПУ.

**Юмашев В.Є., Степчин О.А.** Сравнительный анализ встречного и попутного фрезерования сферическими концевыми фрезами на станках с ЧПУ.

**Yumashev V.E. Stepchin O.A.** The comparative analysis of up and down ball-end milling process on CNC machine

УДК 621.914

**Сравнительный анализ встречного и попутного фрезерования сферическими концевыми фрезами на станках с ЧПУ / В.Е. Юмашев, О.А. Степчин**

Представлены результаты экспериментальных исследований встречного и попутного фрезерования алюминиевых сплавов сферическими концевыми фрезами на станках с ЧПУ. Исследования показали, что при обработке пространственно-сложных поверхностей встречное фрезерование обеспечивает более низкую шероховатость поверхности, чем попутное.

УДК 621.914

**The comparative analysis of up and down ball-end milling process on CNC machine / V.E. Yumashev, O.A. Stepchin**

Results of the experimental researches of up and down milling of aluminum alloys by ball-end milling process on CNC machine are presented. Researches have shown that up milling provides lower surface roughness, than down milling at the free form surfaces machining.