

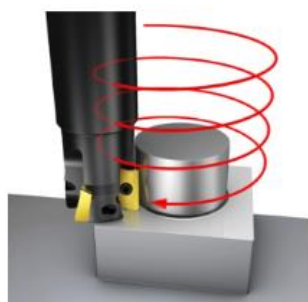
Джулій В.А., наук. кер. Біланенко В.Г., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, victor_bilanenko@ukr.net

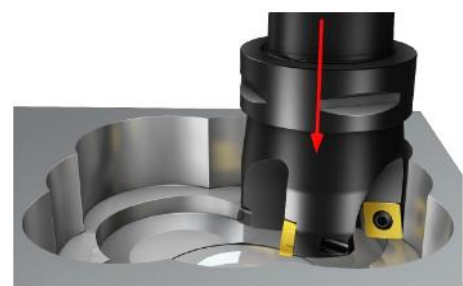
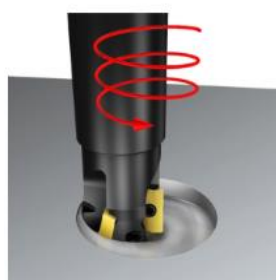
ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Аналіз сучасних технологічних процесів оброблення різанням корпусних деталей на верстатах з ЧПК свідчить, що частка загальної трудомісткості оброблення фрезеруванням становить біля 26%. Оброблення фрезеруванням є найбільш універсальним видом механічного оброблення лезовими різальними інструментами, оскільки практично не має обмежень за геометричними характеристиками оброблюваних поверхонь, забезпечує ефективне оброблення в широкому діапазоні зміни фізико-механічних характеристик оброблюваних матеріалів, а в поєднанні з технологічними можливостями сучасних верстатів з ЧПК забезпечує високу продуктивність оброблення та задані характеристики якості поверхонь.

За останні десятиліття спостерігаються значні зміни в інструментальних матеріалах, які використовуються для виготовлення різальної частини фрез, вдосконалюються традиційні конструкції та розробляються нові конструкції фрез. Їх використання на верстатах з ЧПК здійснюється за новими кінематичними схемами оброблення, які раніше не могли бути реалізовані на фрезерних верстатах традиційних конструкцій, наприклад оброблення зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь з круговою інтерполяцією, використання трохоїдального та плунжерного фрезерування, використання змінних траєкторій переміщення фрези, які забезпечують рівномірні умови процесу оброблення (рис.1.).



Оброблення зовнішніх та внутрішніх поверхонь з круговою інтерполяцією



Плунжерне фрезерування

Рис.1. Оброблення фрезеруванням за новими кінематичними схемами

Необхідно приймати до уваги, що фрези для високошвидкісного оброблення мають корпус підвищеної жорсткості та оснащуються змінними багатограними пластинами різної геометричної форми. В якості

інструментального матеріалу переважно використовуються металокерамічні тверді сплави, які забезпечують оброблення широкою гамою конструкційних матеріалів за різних умов оброблення: чорнового, чистового та завершального. Використання сучасних технологічних процесів нанесення покриттів створює умови управління характеристиками різальної частини фрез.

Важливим фізичним недоліком оброблення фрезеруванням є динамічні умови взаємодії різального інструмента з оброблюваною поверхнею, оскільки зубець фрези виконує роботу різання проміжок часу, який відповідає куту контакту ψ . Величина кута контакту залежить від глибини різання та діаметра фрези і визначається за співвідношенням:

$$\cos\psi = \frac{R_\phi - h}{R_{\phi p}} = 1 - \frac{2h}{D_{\phi p}} \quad \text{відповідно} \quad \psi = \arccos\left(1 - \frac{2h}{D_{\phi p}}\right) \quad (1)$$

Товщина зрізаного шару кожним зубцем є змінною величиною і змінюється від $a_{\min} = 0$ до $a_{\max} = S_z \cdot \sin\psi$. Миттєва товщина зрізаного шару, яка відповідає куту η визначається за формулою:

$$a_\eta = S_z \cdot \sin\eta \quad (2)$$

де S_z - подача на зубець, мм/зуб.

Найбільша товщина зрізаного шару кожним зубцем залежить від подачі на зубець, глибини різання та діаметра фрези і визначається за формулою:

$$a_{\max} = 2 \cdot S_z \cdot \sqrt{\left(\frac{h}{D_{\phi p}}\right) - \left(\frac{h}{D_{\phi p}}\right)^2} \quad (3)$$

Такі зміни умов оброблення фрезеруванням є джерелом виникнення циклічних термічних навантажень різальної частини фрез, які можуть обумовлювати втомне руйнування різальних кромek. Тому при обробленні фрезеруванням важливим є зменшення частини теплоти різання, яка надходить в різальний інструмент. Дослідження розподілу теплоти різання при обробленні лезовими різальними інструментами свідчить, що зростання швидкості різання забезпечує збільшення частки теплоти, яка надходить в стружку і зменшує її частку в різальному інструменті. Оброблення фрезеруванням з високими швидкостями різання називається високошвидкісним обробленням (*High Speed Machining, HSM*). Схема високошвидкісного фрезерування наведена на рис.2.

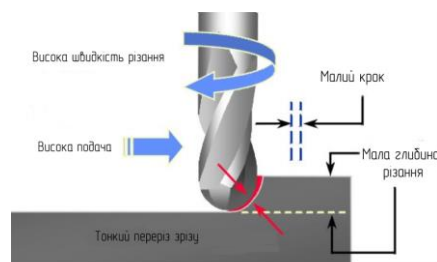


Рис.2. Загальна схема високошвидкісного фрезерування

Ця стратегія оброблення фрезеруванням передбачає переважне застосування збірних фрез вдосконалених конструкцій, які оснащені змінними

багатогранними пластинами і характеризується використанням малої радіальної глибини (a_e), високої швидкості різання та швидкості подачі, що забезпечує високі показники питомого видалення матеріалу та малі величини параметрів шорсткості обробленої поверхні. Оброблення супроводжується малою часткою теплоти, яка надходить в інструмент, що забезпечує зниження контактних температур і підвищення стійкості фрези. При застосуванні традиційних кінематичних схем фрезерування частка теплоти, яка надходить у стружку складає біля (75-80)% а при високошвидкісному обробленні біля 95%. Додатково спостерігається зменшення складових сили різання, що при незмінних характеристиках жорсткості верстату зменшує похибку оброблення. Ефект зменшення сили різання при значному зростанні швидкості різання вперше було досліджено К. Соломоном [1].

Швидкість різання при високошвидкісному фрезеруванні торцевими фрезами можна визначати за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D_{fp}^{0,2} \cdot K_u \cdot K_{Tv} \cdot K_{mv} \cdot K_{sv}}{T^{0,8} \cdot h^{0,06} \cdot S_z^{yv} \cdot b^{0,2}}, \text{ (м/хв.)} \quad (4)$$

де C_v - коефіцієнт пропорціональності; D_{fp} - діаметр фрези, мм; K_u - коефіцієнт, який визначає марку металокерамічного твердого сплаву; K_{Tv} - коефіцієнт, який визначає вибір періоду стійкості фрези; K_{mv} - коефіцієнт, який визначає групу оброблюваності конструкційного матеріалу; K_{sv} - коефіцієнт, який визначає фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу, (границю міцності для пластичних матеріалів та найбільшу твердість для крихких матеріалів); T - період стійкості фрези, хв.; h - глибина різання, мм; S_z - подача на зубець фрези, мм/зуб.; b - ширина фрезерування, мм.

Рекомендовані значення швидкості різання для оброблення різних груп конструкційних матеріалів наведені в табл.1 [2].

Таблиця 1. Рекомендовані значення швидкості різання для оброблення різних груп конструкційних матеріалів

Характеристика групи оброблюваних матеріалів	Рекомендовані швидкості різання
Вуглецеві та слабо леговані конструкційні сталі	до 300м/хв.
Нержавіючі сталі та сплави	до 250м/хв.
Інструментальні сталі	до 125м/хв.
Жароміцні сталі та сплави	до 80м/хв.
Титанові сплави	до 90м/хв.
Чавуни	до 260м/хв.
Алюмінієві сплави	до 600м/хв.

Найбільший позитивний ефект використання високошвидкісного оброблення досягається при використанні плунжерної схеми оброблення [3], оскільки робота різання виконується торцевими різальними кромками, що зменшує радіальну складову сили різання P_y , яка найбільше впливає на

формування похибки оброблення. Така схема фрезеруванням є ефективною для оброблення важкооброблюваних матеріалів при великому вильоті різального інструменту, оскільки спостерігається переважно зростання осьової складової сили різання, яка створює напруження стискання, а не вигину, що і забезпечує високу точність оброблення.

Основний ефект високошвидкісного оброблення досягається не стільки в зменшенні основного часу оброблення за рахунок інтенсифікації режимів різання, а в підвищенні характеристик якості оброблення і можливості ефективного використання сучасних верстатів з ЧПК. Разом з тим, ефективна реалізація такого оброблення висуває більш жорсткі вимоги до обґрунтованого вибору конструкції металорізального верстату, характеристик системи ЧПК, інструментального матеріалу, конструкції різального інструменту та інструментального пристрою, який повинен забезпечувати балансування інструменту, вибір схеми оброблення та складових режиму різання [4].

Так для забезпечення високої точності форми оброблюваної поверхні на етапах завершального оброблення необхідно використовувати такі складові режиму різання, які обумовлюють зменшення кількості теплоти, яка надходить до заготовки. Вибором складових режимів різання необхідно обмежувати кількість теплоти, яка надходить і в різальний інструмент. За традиційних умов оброблення фрезеруванням при збільшенні швидкості різання і зменшенні товщини стружки спостерігається зростання температури оброблюваної заготовки, стружки та контактних поверхонь інструменту. Але якщо підвищити швидкість подач в 5-10 разів, що використовується при високошвидкісному фрезеруванні, то температура різального інструменту зростає несуттєво. Причина цього полягає в тому, що швидкість подачі перевищує швидкість теплопровідності оброблюваного конструкційного матеріалу.

Аналіз основних особливостей високошвидкісного фрезерування свідчить про ефективність його застосування для оброблення широкої гами конструкційних матеріалів, наявність інструментальних матеріалів та конструкцій різальних інструментів, технологічних рекомендацій для його ефективного застосування при проектуванні технологічних операцій оброблення фрезеруванням на сучасних верстатах з ЧПК.

Список використаних джерел:

1. Smith G. Cutting tool technology / Graham T. Smith. – London: Springer, 2008.–600с.– (Springer-Verlag). – (Industrial Handbook).
2. Ashley S. High-speed Machining Goes Mainstream / S. Ashley. // Mechanical Engineering.– 1995.–С.56–61.
3. Плуножерное фрезерование [Електронний ресурс]–Режим доступу до ресурсу: http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/plunge_milling/.
4. Баталин А. С. Основные эффекты высокоскоростной обработки / А. С. Баталин, В. М. Мануйленко. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Технології в машинобудуванні. – 2008. – №23. – С. 12–15.