

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ОБРОБЛЕННЯ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

Проектування технологічних операцій оброблення різанням лезовими різальними інструментами передбачає послідовне вирішення типових завдань, які передбачають:

- визначення послідовності виконання технологічних переходів;
- визначення припусків для кожного технологічного переходу;
- визначення режимів різання для реалізації кожного технологічного переходу.

Найбільш поширеним та універсальним видом лезового оброблення є фрезерування. Оброблення фрезеруванням успішно використовується для оброблення поверхонь різноманітної геометричної форми від площин до поверхонь складної просторової форми, наприклад лопаток турбін. Вдосконалення технологічних процесів виготовлення інструментальних матеріалів та використання процесів нанесення зносостійких покриттів дає змогу створювати властивості різальної частини інструменту, які найбільш повно відповідають умовам процесу оброблення.

Аналіз технологічних процесів сучасного машинобудівного виробництва свідчить про значні зміни конструкцій фрезерних різальних інструментів, які орієнтовані на використання сучасних інструментальних матеріалів, переважно металокерамічних твердих сплавів, мінералокерамічних матеріалів та надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору для оброблення залізвмісних конструкційних матеріалів та надтвердих матеріалів на основі алмазів для оброблення алюмінієвих сплавів, різноманітних пластичних матеріалів, наприклад, вуглепластиків, бор пластиків та склопластиків. Вдосконалення систем управління верстатами з ЧПУ, що в сукупності зі змінами конструкцій фрез, дало змогу створити нові технологічні прийоми оброблення фрезеруванням, які раніше були невідомими. Їх практичне застосування забезпечує значне зростання продуктивності оброблення та підвищення характеристик якості оброблених поверхонь.

Тому при проектуванні операцій оброблення фрезеруванням важливою характеристикою оброблення, яка не розглядається при проектуванні операцій токарного оброблення, оброблення осьовими різальними інструментами, є визначення траєкторії переміщення різального інструменту, яка повинна забезпечувати сприятливі умови оброблення.

Визначення розмірів та траєкторії переміщення фрези в процесі оброблення потребує врахування фізичних особливостей процесу різання. Необхідно приймати до уваги, що для оброблення фрезеруванням при незмінних технологічних параметрах шару, що зрізується, а саме глибини різання (h) та подачі на зубець фрези (S_z) товщина шару, що зрізується є змінною величиною. Кут повороту фрези, який обмежує початок та завершення роботи зубця фрези називають кутом контакту ψ . Величина кута контакту залежить від глибини різання та діаметра фрези і визначається за співвідношенням:

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

Проміжне положення зубця фрези в цьому діапазоні кута контакту визначається миттєвим кутом η . Відповідно, товщина шару, що зрізується при фрезеруванні буде змінною і визначається за формулою:

$$a_\eta = S_z \cdot \text{Sinn}\eta \quad (2)$$

Переріз шару, що зрізується при фрезеруванні одним зубцем фрези при його миттєвому положенні визначається за формулою:

$$f = b \cdot a_\eta \quad (3)$$

Максимальна товщина шару, що зрізується відповідає положенню зубця фрези при його виході ($\eta = \psi$) з оброблюваного матеріалу:

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin \psi \quad (4)$$

В свою чергу, найбільша товщина шару, що зрізується визначається глибиною різання та діаметром фрези і розраховується за формулою:

$$a_{\max} = 2 \cdot S_z \cdot \sqrt{\frac{h}{D_\phi} - \left(\frac{h}{D_\phi}\right)^2} \quad (5)$$

З аналізу формули (5) є очевидним, що для забезпечення сприятливих умов оброблення необхідно обґрунтовано визначати діаметр фрези D_ϕ , оскільки його зростання буде зменшувати товщину шару, що зрізується і може створювати умови, коли процес різання буде перетворюватись в процес поверхневого пластичного деформування.

З урахуванням залежності (5), максимальна площа шару, що зрізується кожним зубцем фрези визначається за формулою:

$$f_{\max} = b \cdot a_{\max} = 2 \cdot b \cdot S_z \cdot \sqrt{\frac{h}{D_\phi} - \left(\frac{h}{D_\phi}\right)^2} \quad (6)$$

Необхідно приймати до уваги, що ширина шару, що зрізується в загальному виді буде залежати від геометричних параметрів різального інструменту та кута нахилу різальної кромки і визначається за формулою:

$$b = B / \sin \varphi \cdot \cos \lambda \quad (7)$$

де B - ширина фрезерування, м.

Кількість зубців, що одночасно здійснюють оброблення поверхні визначають за формулою:

$$k = \psi / \omega \quad (8)$$

де ψ - кут контакту зубця фрези з оброблюваною поверхнею, град; ω - центральний кут між зубцями фрези, який визначається за формулою: $\omega = 360/z$, де z - кількість зубців фрези.

Розрахункове значення кількості зубців, що одночасно видаляють шар, що зрізується необхідно округляти до найближчого більшого цілого числа.

Якщо $\cos \psi$ залежність (1) розкласти в ряд та прийняти до уваги тільки два перших члени, отримаємо:

$$\cos \psi = 1 - \frac{\psi^2}{2} = 1 - \frac{2 \cdot h}{D_\phi}, \quad \text{відповідно } \psi = 2 \cdot \sqrt{\frac{h}{D_\phi}} \quad (9)$$

А кількість зубців, які працюють одночасно визначається за співвідношенням:

$$k = \psi / \omega = 2 \cdot \sqrt{\frac{h}{D_\phi}} \cdot \frac{z}{2 \cdot \pi} = \frac{z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h}{D_\phi}} \quad (10)$$

Миттєві кути контакту, що одночасно видаляють шар, що зрізується будуть визначатись за співвідношеннями: для першого зубця $\eta_1 = \psi$; для другого зубця $\eta_2 = (\psi - \omega)$; для третього зубця $\eta_3 = (\psi - 2\omega)$ і т.д. У відповідності до цього, загальна площа шару, що зрізується всіма зубцями, які взаємодіють з поверхневим шаром для циліндричної фрези з прямим зубом буде визначатись за формулою:

$$f_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^{i=k} f_i = b \cdot S_z \cdot (\sin \eta_1 + \sin \eta_2 + \dots + \sin \eta_k) = b \cdot S_z \cdot \sum_{i=1}^{i=k} \sin \eta_i \quad (11)$$

При проектуванні технологічних операцій оброблення фрезеруванням необхідно приймати до уваги кінематичні та фізичні особливості процесу взаємодії різального інструменту та оброблюваної поверхні:

- за один оберт фрези кожен зубець здійснює роботу різання на малому проміжку часу;

- найбільш несприятливими умовами процесу різання при фрезеруванні є момент врізання та виходу зубця фрези, які характеризуються зміною сили різання та ударним навантаженням, що може бути причиною крихкого руйнування різальної частини зубця а також створювати несприятливі умови для роботи верстату;
- переріз шару, що зрізується при фрезеруванні є змінною величиною;
- за один оберт фрези в роботі знаходиться неоднакове (непостійне) число зубців, чим більше зубців знаходиться одночасно в роботі, тим стабільніше відбувається процес фрезерування, що обумовлює необхідність визначати конструкцію фрези з урахуванням умов оброблення;
- за певних конструкційних параметрів фрези (кількості зубців z) та частоти обертання шпинделя (швидкості різання V) можна створити умови рівномірного фрезерування, при якому площа поперечного перерізу шару, що зрізується за один оберт фрези залишається незмінною, що обумовлює рівномірне силове навантаження та відсутність вібрацій. Такі умови оброблення зменшують інтенсивність зношування різальної частини зубців та зменшення параметрів шорсткості обробленої поверхні.

В залежності від кінематичної схеми оброблення, а саме напрямку векторів головного руху різання та подачі прийнято визначати зустрічне та побіжне (попутне) фрезерування (рис.1). При проектуванні технологічних операцій оброблення фрезеруванням необхідно приймати до уваги найбільш важливі фізичні характеристики умов різання для кожної схеми фрезерування.



Рис. 1. Зустрічне *a)* і побіжне *б)* фрезерування

При обробленні площин великої площі та замкнутих протяжних контурів, де при незмінному напрямі вектору швидкості головного руху різання змінюється напрям вектору подачі можуть виникати умови зміни процесу фрезерування. При зустрічному фрезеруванні найбільш несприятливі умови оброблення визначають момент виходу зубця фрези з зони оброблення, оскільки це відбувається з максимальною товщиною шару, що зрізується та характеризується найбільшою силою різання, яка створює у різальному клині напруження вигину, що особливо небезпечно для металокерамічних твердих сплавів, які на сьогодні найчастіше використовуються в сучасних конструкціях фрез. Такі умови процесу різання можуть обумовлювати крихке руйнування зубця фрези, або підвищувати інтенсивність зношування різальної частини зубців. Зростання величини радіальної складової сили різання та її напрям дії проти сили закріплення, вимагає її врахування в розрахунках необхідної сили закріплення заготовки.

Кінематична схема побіжного оброблення фрезерування висуває підвищені вимоги до жорсткості верстату та конструкції механізму подач (використання без щілинних механізмів), але має переваги за фізичними умовами процесу оброблення, оскільки товщина шару, що зрізується на виході зубця фрези дорівнює нулю, а відповідно обумовлює і мінімальну величину радіальної складової сили різання, яка за напрямом співпадає з напрямом дії сили закріплення заготовки та притискає різальну пластину до корпусу фрези. Тому при проектуванні операцій оброблення фрезеруванням необхідно проектувати умови побіжного фрезерування, особливо за умов видалення великих припусків, які обумовлюють дію великих складових сили різання.

Сучасні прийоми вдосконалення фізичних умов процесу оброблення фрезерування є застосування таких конструкцій інструментів та схем оброблення, які створюють переважно

осьові навантаження на різальний інструмент. Широке застосування для оброблення фрезеруванням контурів знаходить плунжерне фрезерування, яке за кінематичною схемою, але не за конструкцією різального інструменту наближене до оброблення осьовими різальними інструментами (рис.2).

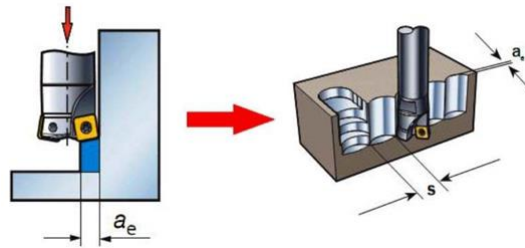


Рис. 2. Плунжерне фрезерування

Кінематична схема оброблення включає обертальний головний рух різання з незмінною траєкторією та подачею впродовж осі інструменту. Плунжерне фрезерування є ефективним методом оброблення вибірок та різноманітних замкнутих контурів (карманів). Найбільш ефективно його використовувати на верстатах з горизонтальним розташуванням шпинделя та використовувати в процесі оброблення МОР для видалення стружки. Для реалізації такого оброблення в суцільному матеріалі необхідно передбачати попередній технологічний перехід свердління отвору якомога більшого діаметра від $1,5 \cdot D_f$ для покращення відведення стружки.

За умов плунжерного фрезерування оброблення здійснюється не периферійною, а торцевою частиною інструмента, що обумовлює переважну дію осьової складової сили різання P_x та мінімальної радіальної складової сили різання P_y . Плунжерне фрезерування доцільно використовувати за умов недостатньої жорсткості верстату, для фрезерування важкооброблюваних матеріалів та титанових сплавів, для значних вильотів інструменту більше ніж $l = 4 \cdot \varnothing D_f$ та умов недостатньої потужності двигуна головного приводу верстату.

Після чорнового оброблення внутрішніх контурів найчастіше залишаються значні припуски в кутах контуру, подальше видалення яких вимагає зменшення розмірів різального інструменту, що ускладнює процес фрезерування, особливо з використанням контурної подачі, що може приводити до збільшення площі шару, що зрізується. Більш ефективним є оброблення кутів контуру з використанням схеми плунжерного фрезерування (рис.3).

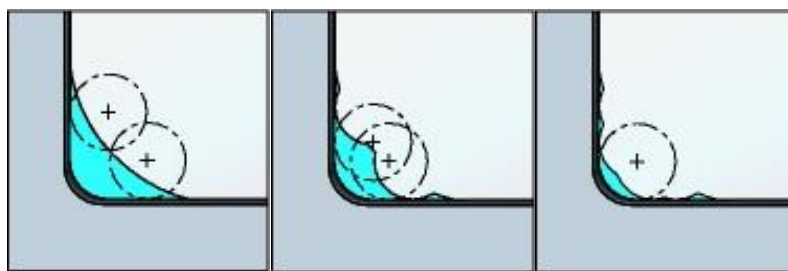


Рис. 3. Оброблення кутів плунжерним фрезеруванням

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.

1. При проектуванні технологічних операцій оброблення фрезеруванням необхідно приймати до уваги вплив конструктивних параметрів фрези (діаметра фрези D_f , кількості зубців z) на фізичні умови процесу різання.
2. Застосування схеми плунжерного фрезерування створює ефективні умови оброблення і забезпечує підвищення характеристик якості оброблення та виключає виникнення вібрацій.

Список використаних джерел

1. Плунжерное фрезерование. [Електронний ресурс]-Режим доступу до статті: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/plunge_milling