

## **ЕВОЛЮЦІЯ ФРЕЗИ**

Кінематика фрезерування полягає у обертанні фрези навколо своєї осі і руху подачі оброблюваної деталі або цього інструменту. Рух подачі, головним чином, є прямолінійним. За рівнем продуктивності фрезерування поступається тільки зовнішньому протягуванню. Із загального парку металообробного обладнання у машинобудуванні питома вага фрезерних верстатів сягає понад 20%. Фрези вирізняються великою різноманітністю типів, форм і призначення.

Щодо історії фрези. Цей металорізальний інструмент є відносно молодим: перші фрези виникли і були використані у машинобудуванні у 30-х роках XIX ст., тобто при завершенні промислової революції кінця XVIII – початку XIX ст.ст.

Попередником фрезерного верстату слід вважати універсальний токарно-гвинторізний верстат Генрі Модслі з механізованим рухомим супортом, що переміщувався у поздовжньому і поперечному напрямках. Супорт було створено у 1794 р., а завершено роботу над конструкцією токарного верстату у 1800 р. На зламі названих століть було винайдено вуглецеву інструментальну сталь із вмістом вуглецю 0,6–1,5%, кремнію 0,2–0,4% і марганцю 0,15–0,35%. Перші фрези були виготовлені саме із такої сталі, що забезпечувало процес різання на швидкостях 6–11 м/хв.

Найбільш досконалий на той час фрезерний верстат учня Г. Модслі Джеймса Несміта (1830 р.) був фактично спеціалізованим токарним верстатом зі зміненою кінематичною схемою. Водохолоджувана фреза вставлялася у патрон, а деталь кріпилася на оправці з пристроєм повороту на 60°.

Слід зазначити, що у першій половині XIX ст. зубчасте колесо завдяки дослідженням профілювання і, у першу чергу, за схемою евольвенти, механізованому поділу заготовки, а також створенню спеціалізованого зубофрезерного верстата з супортом Г. Модслі і використанням дискових та пальцевих модульних фрез, набуло практично сучасного вигляду. Фрезерні верстати стають основою вертикально-, горизонтально-фрезерних, верстатів для фрезерування зубчастих коліс, нарізання різьби фрезеруванням і т.п. У 1855 р. у США Брауном спроектовано перший фрезерний верстат для нарізання зубчастих коліс огинанням. У подальшому у цій державі було створено цілу гаму фрезерних верстатів "Лінкольн".

Електродвигун, як основа приводу, на початку 80-х років XIX ст. став замінювати парову машину, яка домінувала у машинобудуванні як привід металорізальних верстатів понад 100 років. У цей же час почалось удосконалення передачі енергії від двигуна до робочої машини. Ще у кінці століття можна було бачити у цеху центральний привідний вал і систему пасових передач від останнього до верстату у кожному механічному відділенні чи цеху у цілому.

Потім на промислових підприємствах було введено груповий електропривод, який передбачав розосередження енергії одного потужного електродвигуна на кілька менш потужних і розміщення останніх безпосередньо у цеху. При цьому кожна із груп верстатів мала свій привід і більш точне та гнучке управління. Однак, лише впровадження індивідуального електроприводу за схемою "один електродвигун – один верстат" спростило конструкцію останнього і дозволило повністю відмовитись від громіздких пасових передач.

Визначна роль у розвитку фрези і процесу фрезерування належить харківському вченому і викладачеві В.С. Кнаббе (9.02.1849–2.08.1914 рр.) У 1892 р. він видав фундаментальну монографію „Фреза и ея роль в современном машиностроении”, де узагальнив досвід кількох десятків передових європейських підприємств із нової на той час технології фрезерування, а також визначив напрямки розвитку цієї технології і власне фрези. Велика заслуга В.С. Кнаббе полягає в тому, що він уперше вивчив і узагальнив величезний матеріал щодо використання фрези у виробництві.

Ним показані початкові хибні тенденції у розвитку фрези як різального інструменту, які полягали у наданні їй максимально можливого за складністю профілю і великої кількості дрібних “ножовочних” зубців. Перше призводило до дорожнечі фрез та низької технологічності їх виготовлення, а друге – до зниження продуктивності фрезерування, оскільки процес потрібно було часто зупиняти для очистки міжзубового простору від запакованої стружки, а також до проблем з переточками затупленого інструменту. Вченим підкреслено, що успіх фрези (шарошки) у виробництві залежить від неодмінного застосування крупних зубців, які менше забуваються стружкою порівняно з дрібними; від винайдення способу заточувати затуплені фрези і від здешевлення виготовлення самих фрез. Важливим результатом досліджень В.С. Кнаббе є науково обгрунтоване визначення тієї області обробки матеріалів різанням, де застосування фрезерування є найбільш вигідним. З позицій загальних принципів обробки деталей, що вимагали копіювання, В.С. Кнаббе науково обгрунтував переваги фрезерування перед іншими технологічними операціями обробки металів. Ним зроблено висновок про доцільність закладання в проекти нових машинобудівних заводів саме фрезерних верстатів для зниження собівартості продукції. У Західній Європі книга стала відомою у 1893 р. завдяки авторському перекладу німецькою мовою і отримала схвальні відгуки авторитетних науковців та інженерів.

У ще одній своїй книзі "Современные машиностроительные заводы и применяемые ими новые способы холодной обработки металлов" автор детально досліджує історію створення швидкорізальної сталі, починаючи з винайдення у 1861 р. самогартівної сталі Р. Мушета, яка першою з інструментальних сталей була легована вольфрамом, кількість якого доходила до 5,5%. Досліди з вольфрамвміщуючою сталлю, що були проведені у 1900 р. у США у заводських умовах, показали переваги сталі Тейлора-Уайта над сталлю Мушета по стійкості інструменту в 11–30 разів. У праці В.С. Кнаббе розкрито суть патенту Тейлора, яка полягає в особливості способу нагрівання і гартування, що призвело до перевороту у справі термообробки сталевих інструментів. Компетентне дослідження історії створення швидкорізальної сталі, яке було викладено В.С. Кнаббе вперше, супроводжувалось також глибоким аналізом причин, які перешкождали широкому впровадженню цієї сталі у виробництво. Швидкорізальна сталь, як відомо, і на сьогодні є основним матеріалом для виготовлення фрез.

*Матеріали для фрез.* Як відзначалось вище, такими матеріалами були спочатку інструментальні евтектоїдні та заевтектоїдні сталі, які на початку ХХ ст. замінили сталь Тейлора-Уайта (сучасне маркування Р18). Потім її замінила сталь Р6М5 (з метою зменшення частки дефіцитного вольфраму). Сталь Р6М5 має наступні механічні властивості: твердість 63–64 HRC; границя міцності на згинання 2900–3400 МПа, ударна в'язкість 2,7–4,8 Дж/м<sup>2</sup> і теплостійкість 600–620 °С. Найбільше застосування серед кобальтових та ванадієвих швидкорізальних сталей для фрез мають марки: Р6М5К5 і Р6М5Ф3, які відносять до сталей підвищеної тепло- і зносостійкості. Проте, поряд з високою зносостійкістю, ванадієві сталі мають погану шліфуємість через наявність в них карбідів ванадію (VC), твердість яких не поступається твердості зерен електрокорунду (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Введення кобальту до складу сталі Р6М5К5 суттєво підвищує твердість до (66–68 HRC) і теплостійкість до (640–650 °С). Крім того, підвищується теплопровідність сталі, оскільки кобальт приводить до такого ефекту. Це дає можливість використовувати сталь Р6М5К5 для фрезерування важкооброблюваних жароміцних і неіржавіючих сталей і сплавів, а також конструкційних сталей підвищеної міцності. У цих випадках період стійкості фрез у 3–5 разів вищий, ніж при використанні сталей марок Р18 та Р6М5. Проте, слід відзначити, що виробництво сталі Р6М5 від усього обсягу випуску швидкорізальних сталей в Україні сягає 80%.

Крім того, робоча частина фрез у ряді випадків виконується твердосплавною або із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ). Твердосплавні фрези дозволяють підвищити швидкості різання у 2–4 рази, проте значно нижча межа міцності на згин обмежує використання твердих сплавів у конструкції фрез. Титановольфрамкові тверді сплави застосовуються у різальній частині цього інструменту. Сплав марки Т5К10 має червоностійкість 850–900 °С, межу міцності на згин до 1700 МПа і твердість 87–92 HRA. Це дає можливість застосовувати такий сплав, а також інші споріднені тверді сплави марок Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10 для ножів торцевих фрез.

Фрези, що оснащені ПНТМ, бувають торцевими, кінцевими, дисковими та черв'ячними. Торцеві фрези, як найбільш розповсюджені вид цього інструменту, випускають з механічним кріпленням вставок, круглих та багатограних різальних пластин; насадні і хвостові; однозубі та багатозубі; однорядні, ступінчасті і багаторядні; фрези для обробки відкритих, напівзакритих і закритих поверхонь. Найбільш розповсюдженими в теперішній час є торцеві збірні регульовані фрези з пластинами із ПНТМ або вставками з цього матеріалу. Промисловістю випускаються регульовані торцеві насадні (однорядні та ступінчасті) фрези діаметром 100–800 мм і нерегульовані ступінчасті фрези діаметром 100–400 мм з механічним кріпленням різальних елементів. Для обробки пазів в деталях із важкооброблюваних матеріалів застосовують дискові фрези і пили, які оснащені ПНТМ. При цьому монолітні або двохшарові різальні елементи кріпляться методом паяння з наступним заточуванням. Випускають також дискові фрези з механічним кріпленням змінних вставок із ПНТМ для обробки пазів у деталях із загартованих сталей. Черв'ячні зуборізні фрези, які оснащені різальними елементами із ПНТМ, працюють за двома схемами – кромковою та профільною. За типом різальних елементів черв'ячні фрези поділяють на фрези з механічним кріпленням змінних вставок або паяним. Конструктивно черв'ячні фрези можуть складатися з одної або двох напівфрез. Як правило, різальна частина фрези виготовляється із ПНТМ на основі нітриду бору.

Сучасні фрези найчастіше випускають зі зносостійкими покриттями. Найбільш надійним моношаровим покриттям є плівкове покриття золотистого кольору із нітриду титану (TiN). Товщина цього покриття знаходиться у межах 2–10 мкм, тобто є співрозмірною із шорсткістю основи (твердого сплаву чи швидкорізальної сталі). Твердість покриття сягає 21–36 ГПа, тобто це покриття є надзвичайно зносостійким. При переточуванні фрез, що завжди здійснюють по передній поверхні, покриття залишається неушкодженим і захищає найбільш уразливу задню поверхню зуба. Серед методів фізичного осадження покриттів (PVD), за допомогою яких отримують покриття із нітриду титану, найбільше розповсюдження набув метод КІВ (конденсації речовини з плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням). Межа міцності TiN на згин 240 МПа, а температура плавлення 2950 °С.