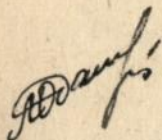


КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису



АДАМЕНКО. ЮРІЙ ІВАНОВИЧ

РОЗРОБКА КІНЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРОБКИ
ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність 05.03.01. - Процеси механічної та
фізико-технічної обробки,
верстати та інструменти

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Київ - 1994



Робота виконана в Київському політехнічному інституті

Науковий керівник - Лауреат Державної премії України,
кандидат технічних наук
Лупкін Б.В.

Науковий консультант - член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор
Родін П.Р.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
кандидат технічних наук

Каржик Г.Г.
Діденко С.Я.

Ведуча організація - Київський Державний авіаційний завод, м.Київ

Захист відбудеться "19" вересня 1994 року в 15.00 на
засіданні спеціалізованої ради КО68.14.15 при Київському
політехнічному інституті за адресою:

252056, м.Київ, проспект Перемоги, 37, КПІ, корпус 19,
вуд.340.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського
політехнічного інституту

Автореферат розісланий "8" листопада 1994 р.

Відгуки на автореферат дисертації у двох екземплярах,
завірені гербовою печаткою установи, просимо надсилати на адресу
Київського політехнічного інституту, вченому секретарю.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Вчений секретар спеціалізованої ради

к.т.н., доц.

Романенко В.В.

А Н О Т А Ц І Я.

Метою дисертаційної роботи є підвищення стійкості кінцевих фрез та зниження ворсистості зовнішніх шарів заготовки за рахунок створення нових конструкцій спеціальних інструментів для обробки листових полімерних композиційних матеріалів.

В роботі вирішені такі завдання.

- Досліджені форми передніх та задніх поверхонь леза фрези з прямолінійними та криволінійними зуб'ями, що чергуються між собою. Визначені рівняння криволінійної ріжучої кромки, статичні та кінематичні кути леза.

- Проведений аналіз завантаження ріжучої частини фрези, вирішені технологічні завдання щодо виготовлення та переточки інструменту.

- Визначені математичні моделі процесу фрезерування як функціональні залежності сил різання та ворсистості обробленої поверхні заготовки від геометричних параметрів ріжучої частини фрези і режимів різання.

- На основі одержаних моделей оптимізовані геометричні параметри зуб'їв фрези та визначені раціональні значення режимів різання.

• - Досліджений вплив елементів режимів різання на стійкість інструменту, величину ворсистості зовнішніх шарів заготовки та шершавість обробленої поверхні.

Автор захищає:

- Розроблені конструкції кінцевих фрез для обробки листових полімерних композиційних матеріалів.

- Методику та результати профілювання ріжучої частини фрези з прямолінійними та криволінійними зуб'ями, що чергуються між собою.

- Результати аналітичних досліджень по визначенню геометричних параметрів ріжучої частини фрези в інструментальній та кінематичній системах координат.

- Результати аналітичних досліджень щодо визначення завантаження ріжучої частини фрези.

- Результати експериментальних досліджень і математичні моделі сил різання та ворсистості зовнішніх шарів заготовки в залежності від величини геометричних параметрів леза і режимів обробки.

- Результати експериментальних досліджень стійкості фрези та ворсистості поверхні в залежності від елементів режимів різання.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність.

Об'єктивна потреба розвитку різних галузей промисловості в матеріалах, що мають комплекс високих експлуатаційних властивостей та високу міцність, зумовила створення нових високоміцних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Останнім часом в промисловості при виготовленні деталей літальних апаратів, сільськогосподарської техніки, товарів широкого вжитку знаходять застосування органопластики та гібридні ПКМ з органічними волокнами. Але більш широке впровадження цих матеріалів стримується в ряді випадків їх низькою оброблюваністю різанням, що характеризується низькою стійкістю інструменту та незадовільною якістю обробленої поверхні.

Фрезерування цих матеріалів кінцевими фрезами є широко розповсюдженою, складною і відповідальною операцією, що потребує створення спеціальних ріжучих інструментів, тому що стандартні фрези у більшості випадків виявляються непридатними. Це пояснюється тим, що в процесі обробки виникають розлохмічування, розшарування, сколи та інші дефекти на обробленій поверхні, для усунення яких в ряді випадків доводиться вводити додаткові операції для зачистки кромки заготовки за допомогою напильків чи механізованих ручних засобів.

Існуючі спеціальні інструменти для обробки ПКМ складні за конструкцією та нетехнологічні, що обмежує їх застосування в промисловості. Тому завдання створення ефективних, простих за конструкцією і технологічних інструментів, які перешкоджають розлохмічуванню та розшаруванню листових волокнистих композитів при фрезеруванні є актуальним.

Методи досліджень.

Теоретична частина досліджень виконана із застосуванням методів векторної алгебри, аналітичної та диференціальної геометрії, теорії формоутворення поверхонь різанням. Основний об'єм розрахунків проведений на ЕОМ типу IBM PC XT/AT.

Експериментальні дослідження проводилися на широкоуніверсальному фрезерному верстаті мод. 5Б75Ф1 з використанням сучасної апаратури. Як інструмент використовувалися розроблені дослідні зразки кінцевих фрез. Обробка експериментальних даних проводилась на основі методів математичної статистики та теорії планування експериментів.

Наукова новизна роботи.

Була розвинута теорія профілювання ріжучих інструментів, зокрема, кінцевих фрез, ріжуча кромка яких являє собою просторову криву. Проведений аналіз впливу різноманітних сполучень форми передньої та задньої поверхонь та інших конструктивних параметрів на форму ріжучої кромки, геометричні параметри та завантаження ріжучої частини. Одержані математичні моделі процесу кінцевого фрезерування листових полімерних композиційних матеріалів.

Практична корисність роботи полягає в розробці спеціальних конструкцій кінцевих фрез для обробки листових ПКМ, що дозволяє підвищити стійкість інструменту та якість обробленої поверхні (зниження ворсистості зовнішніх шарів заготовки).

Розроблена інженерна методика та програми для розрахунків конструктивних та геометричних параметрів фрез для заданих умов обробки. Видані рекомендації щодо вибору раціональних значень геометричних параметрів ріжучої частини і режимів обробки.

Реалізація результатів роботи.

Дослідно-промислова перевірка результатів досліджень проводилась в Українському НДІАТ та на Чернігівському оптико-механічному заводі. Розроблені конструкції кінцевих фрез прийняті до використання в серійному виробництві. Очікуваний економічний ефект складає 570,0 тис. крб. в рік у цінах 1993 року.

Апробація роботи.

Основні положення дисертаційної роботи були представлені, доповідались та обговорювались на всесоюзних науково-технічних конференціях "Технологія виробництва деталей із композиційних матеріалів", Київ, 1991 р. та "Нові високоефективні конструкції ріжучого інструменту і оснастки для механічної обробки деталей", Санкт-Петербург, 1992 р., республіканській науково-технічній конференції "Конструювання та виробництво виробів із полімерних і металевих композиційних матеріалів", Євпаторія, 1993 р., та на міжнародному науково-технічному семінарі "Інтерпартнер-93" - "Високі технології в машинобудуванні - досягнення нового рівня", Харків, 1993 р. Робота доповідалась та була схвалена на розширеному засіданні кафедри інструментального виробництва Київського політехнічного інституту.

Публікації.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 5 робіт, в тому числі 1 авторське свідоцтво СРСР, крім того одержано 3 позитивних рішення на винаходи.

Структура та об'єм роботи.

Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків. Робота викладена на 132 сторінках машинописного тексту, вміщує 69 рисунків, 5 таблиць та список літератури з 104 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

Основними вимогами, що пред'являються до кінцевих фрез при обробці полімерних композитів, є технологічність конструкції, висока стійкість інструменту та висока якість обробленої поверхні деталі.

В роботі вирішувалось завдання як удосконалення існуючих конструкцій інструментів, так і створення гами нових конструкцій фрез. Розробка нових конструкцій кінцевих фрез для обробки листових ПКМ базувалась на ідеї розподілу припуску між зуб'ями інструменту. Фрези, ріжуча частина яких являє собою сукупність ріжучих кромки, пристосовувались до умов обробки в середній частині листової заготовки та на її краях. Основними напрямками розробки фрез було створення за рахунок спеціальної різальної частини умов для "брючого різання", для вільного різання, для надійного стружководу. Крім того, з метою уникнення розлохмічування і сколів, на зовнішніх поверхнях заготовки осьова складова сили різання направлялась всередину оброблюваного матеріалу.

В результаті було розроблено чотири нових конструкції спеціальних фрез для обробки листових ПКМ (а.с.СРСР N 1833769, позитивні рішення по заявках N 5012077/08, N 5012788/08 та N 5018204/08).

За базову конструкцію для досліджень вибрана фреза, що складається з приєднувальної частини та корпусу, на якому виконані зуб'я 1 з прямолінійними ріжучими кромками та зуб'я 2 з криволінійними ріжучими кромками, причому зуб'я 1 і 2 чергуються між собою (рис.1а, 1б). Передня поверхня зуба 2 виконана у вигляді звігнутої циліндричної поверхні з твірною 1, розташованою в площині А-А і нахиленої під кутом δ в базовій точці А ріжучої кромки (рис.1в). При цьому форма передньої поверхні в площині Б-Б, перпендикулярній твірній може бути різноманітною, наприклад, круглою (рис.1г), зкругленою (рис.1д), фасовною (рис.1е).

Задня поверхня цього ж зуба виконана у вигляді звігнутої циліндричної поверхні з твірною 2, розташованою в площині А-А і нахиленою під кутом α в точці А ріжучої кромки. Форма задньої поверхні також може бути різноманітною, наприклад, круглою (рис.1е),

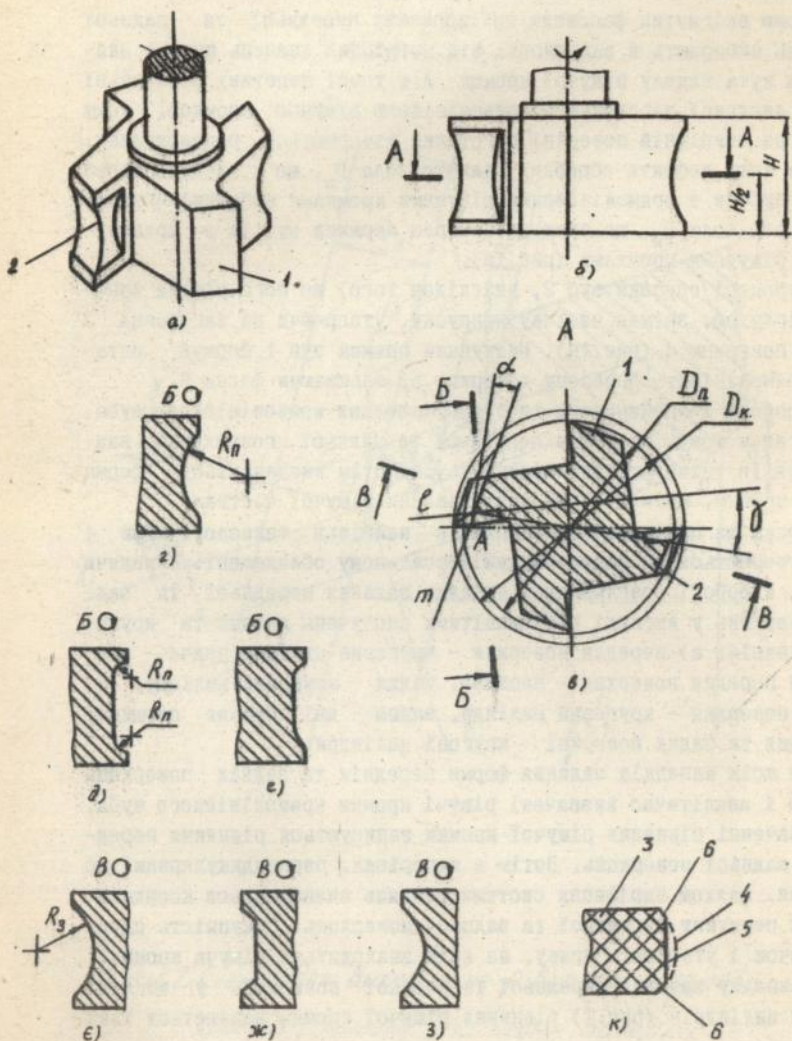


Рис. 1. Фреза

трапецієдальною (рис.1ж), параболічною (рис.1з) та ін.

Форми увігнутих фасонних циліндричних передньої та задньої поверхонь вибирають в залежності від потрібних значень кута в плані ψ та кута нахилу ріжучої кромки λ в точці перетину зовнішньої площини листової заготовки з криволінійною ріжучою кромкою, тому що саме на зовнішній поверхні заготовки утворюються розшарування, сколи та інші дефекти обробки. Діаметр кола D_n , що проходить через вершини зуб'їв з прямолінійними ріжучими кромками вибраний меншим, ніж діаметр кола D_k , що проходить через вершини зуб'їв з криволінійними ріжучими кромками (рис.1в).

В процесі обробки зуб 2, внаслідок того, що його ріжуча кромка є увігнутою, звімає частину припуску, утворюючи на заготовці 3 випуклу поверхню 4 (рис.1к). Наступний прямий зуб 1 формує остаточною прямолінійною оброблену поверхню 5, залишаючи фаски 6.

В роботі запропонована ідея профілювання криволінійного зуба, що полягає в тому, що форма передньої та задньої поверхонь визначається із технологічних міркувань, а потім визначається форма ріжучої кромки, кути леза та завантаження ріжучої частини.

Плоскі та циліндричні поверхні є найбільш технологічними і легко утворюються на існуючому універсальному обладнанні. Виходячи з цього, в роботі розглядалися випадки задання передньої та задньої поверхонь у вигляді різноманітних сполучень площин та кругових циліндрів: а) передня поверхня - круговий циліндр, задня - площина; б) передня поверхня - площина, задня - круговий циліндр; в) передня поверхня - круговий циліндр, задня - дві похилих площини; г) передня та задня поверхні - кругові циліндри.

Для всіх випадків задання форми передніх та задніх поверхонь графічно і аналітично визначені ріжучі кромки криволінійного зуба. При визначенні рівняння ріжучої кромки записуються рівняння передньої та задньої поверхонь. Потім в перерізах, перпендикулярних до осі фрези, шляхом вирішення системи рівнянь визначаються координати точок перетину передньої та задньої поверхонь. Сукупність одержаних точок і утворюють криву, на якій знаходиться ріжуча кромка.

У випадку задання передньої та задньої поверхонь у вигляді кругових циліндрів (рис.2) рівняння ріжучої кромки запишеться так:

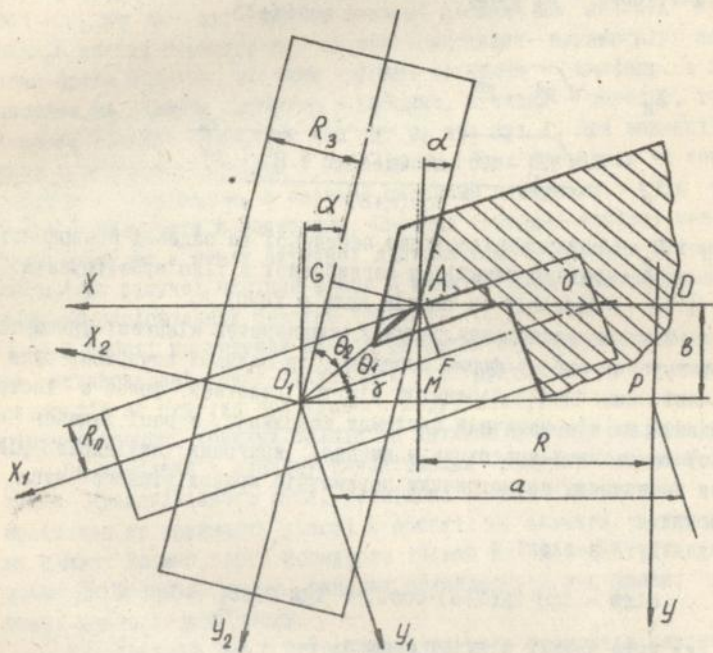


Рис.2. Схема для визначення рівняння ріжучої кромки (передня та задня поверхні-кругові циліндри)

$$\begin{cases} Z = Z_2 \\ X = X_2 \cdot \cos\alpha + Y_2 \cdot \sin\alpha + R + \frac{R_3 \cdot \cos\delta + R_n \cdot \cos\delta \cdot \sin(\alpha + \delta)}{\cos(\alpha + \delta)} - R_n \cdot \sin\delta \\ Y = Y_2 \cdot \cos\alpha - X_2 \cdot \sin\alpha + \frac{(R_3 + R_n \cdot \sin(\alpha + \delta)) \cdot \sin\delta}{\cos(\alpha + \delta)} + R_n \cdot \cos\delta \end{cases} \quad (1)$$

де $X_2 = -\sqrt{R_3^2 - Z^2}$

$$Y_2 = \frac{-\sqrt{R_3^2 - Z^2} \cdot \sin(\alpha + \delta) - \sqrt{R_n^2 - Z^2}}{\cos(\alpha + \delta)}$$

R_n і R_3 - радіуси відповідно передньої та задньої поверхонь;
 R - радіус найбільш заглибленої в тіло зуба точки А;
 δ і α - передній та задній кути в точці А.

З метою визначення ріжучих можливостей кінцевої фрези та обґрунтування вибору форми передньої та задньої поверхонь були визначені геометричні параметри ріжучої частини фрези в інструментальній та кінематичній системах координат. У разі задання передньої та задньої поверхонь у вигляді кругових циліндрів рівняння для визначення геометричних параметрів криволінійного зуба мають вигляд:

- для кута в плані ψ -

$$\operatorname{ctg}\psi = \operatorname{tg}\eta \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \delta) \cdot \cos\delta_1 + \operatorname{tg}\mu \cdot \cos\delta_1 - \operatorname{tg}\eta \cdot \sin\delta_1 \quad (2)$$

- для кута нахилу ріжучої кромки λ -

$$\sin\lambda = \frac{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin\delta_1 \cdot \operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\mu \cdot \sin\delta_1 + \cos(\alpha + \delta) \cdot \operatorname{tg}\eta \cdot \cos\delta_1}{\sqrt{(\sin(\alpha + \delta) \cdot \operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\mu)^2 + \cos^2(\alpha + \delta) \cdot \operatorname{tg}^2\eta + \cos^2(\alpha + \delta)}} \quad (3)$$

де δ_1 , α_1 - передній та задній кути в заданій точці;

η - кут між нормаллю до передньої поверхні та робочою площиною;

μ - кут між нормаллю до задньої поверхні та робочою площиною.

- для нормального кута загострення β_N -

$$\beta_N = \operatorname{arctg}\left[\frac{\operatorname{tg}\theta_1}{\sin\psi}\right] + \operatorname{arctg}\left[\frac{\operatorname{tg}\theta_2}{\sin\psi}\right] \quad (4)$$

$$\text{де } \theta_1 = \arctg \left[\frac{R_n \cdot \cos(\alpha + \delta)}{R_s + R_n \cdot (\sin(\alpha + \delta))} \right]; \quad \theta_2 = 90^\circ - (\alpha + \delta + \theta_1) \quad (5)$$

У випадку, коли передня чи задня поверхня - площини, наведені вище рівняння перетворюються під знаком значення кута відповідно $\eta = 0$, чи $\mu = 0$. Якщо ж задня поверхня - похила площина, то кут $\mu = 90^\circ - \epsilon$, де ϵ - кут нахилу задньої площини до робочої площини. Аналіз впливу геометричних та конструктивних параметрів на кути леза фрези показав, що якщо передня поверхня - циліндр, а задня - площина чи передня поверхня - площина, а задня - циліндр, то незалежними можливо назначати або кут ψ , або кут λ . При заданні передньої і задньої поверхонь у вигляді кругових циліндрів чи передньої поверхні - циліндром, а задньої похилими площинами, кути ψ і λ можливо назначати незалежними. Причому останній варіант має перевагу, тому що в межах активної ділянки ріжучої кромки геометричні параметри ріжучої частини фрези в меншій мірі відхиляються від заданих раціональних значень (рис.3).

У роботі проведений аналіз завантаження ріжучої частини фрези. Встановлений вплив сукупності конструктивних та технологічних елементів на перетин зрізуваного шару, визначені швидкості точок ріжучих кромки, товщини зрізів та активна довжина ріжучих кромки.

Як випливає з аналізу завантаження ріжучої частини фрези, точки криволінійного зуба, розміщені в середній частині профілю практично не приймають участі в роботі. Це значить, що криволінійну ріжучу кромку варто формувати тільки на ділянці ІІ активної довжини. В протилежному випадку ослаблюється зуб фрези, погіршуються умови тепловідводу.

Встановлено, що з метою раціонального розподілу навантаження, а значить і підвищення стійкості фрези, доцільно, щоб криволінійна ріжуча кромка знімала фаски на краях заготовки у вигляді тонких стружок, а середню трапецевидну частину зрізувала б прямолінійна кромка. Це виконується за умови, коли $E < \Delta$ та $2S_z + E < \Delta$, де E - величина перевищення радіуса крайньої профілюючої точки криволінійного зуба по відношенню до радіуса обертання точок прямолінійного зуба, S_z - величина подачі, Δ - увігнутість криволінійної ріжучої кромки.

Товщина зрізу прямолінійного зуба більша товщини зрізу криволінійного зуба, тому інтенсивність зносу цих зубів різна і у прямолінійного зуба вона вища. Таке співвідношення варто вважати сприятливим, тому що дефекти обробки утворюються головним чином на

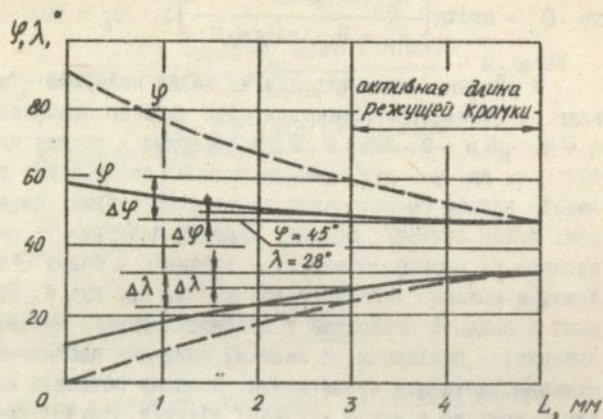


Рис.3. Графіки зміни кута в плані і кута нахилу ріжучої кромки вздовж осі фрези:
 — передня поверхня - циліндр,
 задня - похилі площини;
 - - - передня і задня поверхні - циліндри.

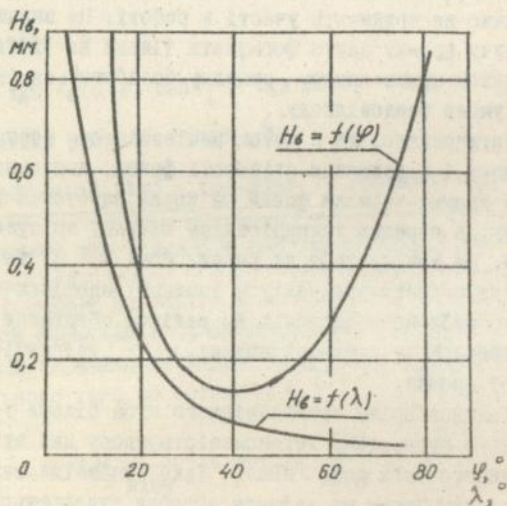


Рис.4. Графіки залежності довжини незрізаних волокон від кута в плані та кута нахилу ріжучої кромки.

зовнішніх поверхнях заготовки, тобто на ділянках, де працює криво-лінійний зуб.

У роботі вирішений ряд технологічних завдань. Зокрема, визначені величини врізання шліфувального круга по передній та задній поверхнях при виготовленні фрези, встановлена гранична товщина зуба за умови відсутності інтерференції, досліджений вплив переточок по задній поверхні на зміну геометрії ріжучої частини. На основі одержаних аналітичних залежностей для ПЕОМ типу IBM PC XT/AT розроблені програми для проектування фрези для заданих умов обробки. Відомими вважались - товщина оброблюваної листової заготовки, величина фаски на деталі, значення кутів лева α , δ , ψ , λ і діаметр фрези, а також глибина різання та подача.

Визначались конструктивні параметри фрези - радіуси передньої R_n та задньої R_z циліндричних поверхонь або кут нахилу площин задньої поверхні ϵ , величини врізання шліфувального круга в заготовку по передній та задній поверхнях при виготовленні фрези (h_n та h_z), діаметр зуб'їв з прямолінійними ріжучими кромками, а також товщини зрізу в заданих точках вздовж осі фрези.

Метою силових випробувань було одержання математичних моделей процесу кінцевого фрезерування ПКМ, як функціональних залежностей сил різання та ворсистості обробленої поверхні від дев'яти змінних, і на їх основі визначення раціональних режимів обробки та геометричних параметрів ріжучої частини. За метод математичного моделювання процесу різання був прийнятий метод групового обліку аргументів (МГОА). Експериментальні дослідження дослідних зразків фрез, ріжуча частина яких виконана з швидкоріжучої сталі Р6М5, здійснювались на верстаті мод. 5Б75Ф1.

Вхідними змінними факторами при моделюванні були вибрані - діаметр фрез D , задній кут α , передній кут δ , кут в плані ψ в точці перетину криволінійної ріжучої кромки з зовнішньою поверхнею заготовки, величина фаски, що утворюється на заготовці f , а також швидкість різання V , подача на зуб S_z та глибина різання t . При моделюванні роботи зуба з прямолінійною ріжучою кромкою кут в плані ψ та кут нахилу ріжучої кромки λ виключалися з числа вхідних параметрів, тому що в усіх випадках $\psi = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$.

Межі варювання режимів різання та геометричних параметрів ріжучої частини інструментів вибиралися на основі аналізу відомої інформації в галузі обробки полімерних композиційних матеріалів. Вибрані межі зміни досліджуваних змінних наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Меші зміни факторів	з м і н н і (фактори)								
	R, мм	$\alpha, ^\circ$	$\delta, ^\circ$	$\psi, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	f, мм	V, м/хв.	Sz, мм/зуб	t, мм
верхня	22	40	30	70	фік-	1,0	60	0,8	5,0
нижня	8	5	-5	10	сов.	0,2	10	0,01	0,5

Змінні фактори змінювалися на п'яти рівнях, статистичний план експериментів включав 46 дослідів.

Попередніми дослідими було встановлено, що при кінцевому фрезеруванні органопластика, з точки зору підвищення якості поверхні, обробку доцільно вести проти напрямку подачі. Тому в результаті обробки експериментальних даних були одержані моделі процесу різання для прямолінійного та криволінійного зуб'їв фрези при зустрічному фрезеруванні органопластика поперек армуючих волокон. За вихідні функції прийняті результуючі сили різання $F_{пр.}$ та $F_{кр.}$, що діють на зуб'я фрези, а також довжина незрізаних волокон зовнішніх шарів заготовки H_B .

Для результуючої сили $F_{пр.}$, що діє на прямолінійний зуб синтезована математична модель має вигляд:

$$F_{пр.} = \exp(6,201 - 1,048 \cdot 10^{-3} \delta \ln \alpha + 7,265 \cdot 10^{-5} \alpha^2) * \quad (7)$$

$$S(3,028 \cdot 10^{-2} f^2 v s / \ln S + 8,3 \cdot 10^{-7} \alpha^2 f^3 v) \cdot t(2,475 \cdot 10^{-2} t \ln R / \ln t)$$

$$* \frac{v \sqrt{(0,02 \cdot f - 5,6 \cdot 10^{-7} \delta v - 3,2 \cdot 10^{-7} \alpha + 3,5 \cdot 10^{-6} \delta f \ln S + 1,7 \cdot 10^{-6} \alpha^2 f^3) / \ln v}}{}$$

Точність моделі (похибка апроксимації) на всій послідовності даних дорівнює: $\delta = 21\%$.

Для результуючої сили $F_{кр.}$, що діє на криволінійний зуб ($\delta = 18,5\%$):

$$F_{кр.} = \exp(5,372 + 0,199 f \ln \alpha - 5,847 \cdot 10^{-2} \psi \ln \alpha \cdot \ln \delta - 5,847 \cdot 10^{-6} R \psi \ln \alpha \cdot \ln \psi - 3,349 \cdot 10^{-7} R \psi \ln \alpha \cdot \ln \psi) *$$

$$S^2,7 \cdot 10^{-4} S^2 \psi \ln \alpha \cdot \ln \delta / \ln S - 4,1 \cdot 10^{-4} t f \cdot t(1,455 \cdot 10^{-2} \lambda S f t)$$

$$* \frac{v \ln \alpha \cdot \ln \delta (5,423 \cdot 10^{-4} - 1,24 \cdot 10^{-6} \alpha \ln \alpha)}{}$$

Для величини ворсистості обрлевої поверхні N_b ($\delta = 24\%$):

$$N_b = -2,121 + 2,154 \cdot 10^{-2} \psi f - 2,25 \cdot 10^{-3} \delta \ln \alpha * \\ S^{3,6} \cdot 10^{-4} \delta f t - 1,1 \cdot 10^{-7} \alpha \lambda V^2 S^3 t^2 \ln R \cdot t (1 \cdot 10^{-6} \alpha \lambda V^2 S^3 \ln R \cdot \ln S) / \ln t \\ * \sqrt{V \ln S (1,078 \cdot 10^{-4} \lambda f + 1,26 \cdot 10^{-2} f S t \ln S) / \ln V} \quad (9)$$

Проведений аналіз структури моделей та перевірка її адекватності експериментальним даним дозволили вважати моделі придатними для дослідження ріжучих властивостей фрези та оптимізації її конструктивних елементів та умов експлуатації.

Аналіз залежностей (7 та 8) показує, що найбільший вплив на результуючу силу різання $F_{пр.}$ і $F_{кр.}$ в досліджуваному діапазоні зміни вхідних параметрів спричиняють подача на зуб, глибина різання, задній кут і величина перевищення діаметра криволінійних зуб'їв по відношенню до діаметра прямолінійних зуб'їв, що характеризується величиною фаски обрлевої поверхні деталі. В меншій мірі на силу різання впливають швидкість різання, передній кут, радіус фрези, кут в плані та кут нахилу ріжучої кромки.

Величина чис. різаних волокон N_b оброблюваного матеріалу, згідно з моделлю (9), визначається головним чином режимами обробки - подачею та глибиною різання, а також кутом в плані ψ , кутом нахилу ріжучої кромки λ та заднім кутом α . Зменшення кута в плані ψ ($\psi < 90^\circ$) призводить до того, що рівнодійна від сил різання направлена всередину заготовки. Такий напрямок рівнодійної перешкоджає розшаруванню зовнішніх шарів матеріалу, позитивно впливає на якість обробки. В усьому діапазоні зміни параметрів не вдалось одержати якісну поверхню при $\psi = 90^\circ$. По мірі зменшення ψ якість обробки поліпшується і, починаючи з $\psi = 50^\circ$, довжина незрізаних волокон матеріалу не перевищувала 0,2 мм (рис.4). Однак зниження кута в плані до значення $\psi = 20^\circ$ викликає значне збільшення нормального кута загострення і зменшення головних переднього та заднього кутів, внаслідок чого різання стає неможливим.

Кут нахилу ріжучої кромки λ відіграє важливу роль при обробці волокнистих полімерних композитів, що характеризуються низькою жорсткістю волокон та високою їх міцністю. Так при обробці органічного пластику із збільшенням λ від 0° до 50° довжина незрізаних волокон зменшилась від 1 мм до 0,2 мм. Наявність великого кута нахилу ріжучої кромки створює умови для брижучого різання, яке дає найкращі результати щодо якості обрлевої поверхні волокнистих ПКМ.

На основі аналізу впливу елементів процесу різання встановле-

ві раціональні межі зміни параметрів - ($\alpha=20^\circ$, $\delta=5-7^\circ$, $\psi=45^\circ$, $\lambda=30-50^\circ$, $f=0,5$ мм, $V=50-60$ м/хв, $S_z=0,1-0,2$ мм/зуб, $t_s \leq 1$ мм).

Стійкісні випробування спеціальних кінцевих фрез запропонованої конструкції продемонстрували підвищення стійкості інструменту в 2-5 разів при збільшенні продуктивності обробки в 1,1-1,4 рази.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

1. Розроблені конструкції кінцевих фрез показали, що найбільш прийнятними з точки зору якості обробки є інструменти, які забезпечують умови для брижогого різання, для надійного стружковилучення та вільного різання, при цьому осьо́ва складова сили різання на торцевих поверхнях заготовки повинна бути направлена всередину оброблюваного матеріалу.

2. Найкращі результати за якістю обробки забезпечує фреза, що має зуб'я з криволінійними та прямолінійними ріжучими кромками, що чергуються між собою. При профілюванні застосована система, яка полягає у виборі форми передньої та задньої поверхонь за технологічними ознаками у вигляді площин та кругових циліндрів.

3. Визначені геометричні параметри фрези в кожній точці криволінійної ріжучої кромки в інструментальній та кінематичній системах координат. Встановлений взаємозв'язок між геометричними та конструктивними параметрами фрези. Передню поверхню доцільно задавати у вигляді циліндра, а задню - у вигляді двох похилих площин, тому що в цьому випадку геометричні параметри леза суттєво не відхиляють від заданих значень в межах активної ділянки ріжучої кромки.

4. Досліджене завантаження ріжучої частини фрези. Одержані формули для розрахунку товщин зрізів та активної довжини ріжучих кромок. Проведений аналіз зміни цих величин в залежності від режимів обробки та конструктивних параметрів фрези.

5. Вирішене завдання проектування на ЕОМ фрези для заданих умов обробки. Відомими вважаються: товщина листової заготовки та фаска на деталі, діаметр фрези, кути леза α , δ , ψ , λ в точці перетину криволінійної ріжучої кромки з зовнішньою площиною заготовки, глибина різання та подача. Визначаються радіуси циліндричних передньої та задньої поверхонь, глибини їх врзання в тіло зуба при виготовленні, діаметр прямолінійних зуб'їв та товщини зрізів в кожній точці ріжучих кромок.

6. Встановлено, що при обробці волокнистих ПКМ, зокрема органічних пластиків, з точки зору зниження ворсистості обробленої поверхні

доцільно фрезерування здійснювати проти напрямку подачі.

7. З використанням методу групового обліку аргументів (МГОА) одержані математичні моделі процесу фрезерування органопластика кінцевими фрезами. Математичні моделі відображають функціональні залежності між режимами обробки, геометричними параметрами фрези та силами різання. На основі аналізу одержаних моделей дані рекомендації щодо вибору геометричних параметрів ріжучої частини фрези та режимів різання ($\alpha = 20-22^\circ$, $\delta = 5-7^\circ$, $\psi = 45^\circ$, $\lambda = 30-50^\circ$, $V = 50-60$ м/хв, t до 5 мм).

8. Синтезована математична модель, що зв'язує параметр якості обробки - довжину незрізаних волокон на зовнішній поверхні заготовки H_z з геометричними параметрами фрези та режимами різання. Встановлено, що для забезпечення високої якості обробки волокнистих полімерних композитів, переріз зрізу мусить бути більшим діаметра дугута армуючого волокна. Подачу, в залежності від оброблюваного матеріалу та потрібної якості, варто назначати в діапазоні $S_z = 0,1-0,2$ мм/зуб для чистових операцій та $S_z = 0,6-0,8$ мм/зуб для чорнових операцій.

9. Показано, що якість обробки залежить головним чином від кута між напрямком армування матеріалу та напрямком руху подачі, а також від ступеню зносу лека. Визначений технологічний критерій затуплення - погіршення якості обробленої поверхні органопластика, що відповідає зносу зуба по задній поверхні $h_3 = 0,12$ мм. Встановлений вплив режимів різання на стійкість фрези та якість обробки.

10. Застосування розробленої конструкції фрези із швидкоріжучої сталі Р6М5 за рахунок створення сприятливих умов різання на торцевих ділянках заготовки, раціональної схеми зрізання припуску, доцільних геометричних параметрів ріжучої частини та режимів різання дозволило добитися покращання якості обробки листових ПКМ. При цьому стійкість інструменту виросла в 2,2 - 5,0 разів при підвищенні продуктивності обробки в 1,3 - 1,5 рази у порівнянні зі стандартними швидкоріжучими фрезами.

11. Економічний ефект від впровадження розробок в Українському НДІАТ та на Чернігівському оптико-механічному заводі склав 570,0 тис.крб. в рік у цінах 1993 року.

Основні положення дисертації відображені у роботах:

1. Лупкин Б.В., Равская Н.С., Ковалева Л.И., Адаменко Ю.И. Исследование силовых характеристик при фрезеровании органопластиков. // Тез. докл. конф. Технология производства деталей из композиционных материалов. - Киев, 1991. - С.9-10.

2. Родин П.Р., Равская Н.С., Адаменко Ю.И. Фреза для обработки листовых пластмасс. // Тез. докл. науч.-техн. конф. Новые высокоэффективные конструкции режущего инструмента и оснастки для механической обработки деталей. - Санкт-Петербург, 1992. - С.53.

3. Лупкин Б.В., Родин П.Р., Равская Н.С., Адаменко Ю.И. Новые конструкции концевых фрез для обработки листовых пластмасс. // Тез. докл. конф. Конструирование и производство изделий из полимерных и металлических композиционных материалов. - Евпатория, 1993. - С.33

4. Родин П.Р., Равская Н.С., Лупкин Б.В., Адаменко Ю.И. Повышение качества обработки при фрезеровании листовых волокнистых пластмасс. // Тез. докл. международн. науч.-техн. семинара "Интер-партнер-93" Высокие технологии в машиностроении - достижения нового уровня. - Харьков, 1993. - С. 22.

5. А.с. СССР N 1833769, МКИ⁵ В29С 37/00. Фреза для обработки пластмасс/ Лупкин Б.В., Родин П.Р., Равская Н.С., Адаменко Ю.И.

6. Родин П.Р., Лупкин Б.В., Равская Н.С., Адаменко Ю.И. Фреза/ Положительное решение по заявке N 5012788/08, МКИ⁵ В23С 5/04, 5/10

7. Родин П.Р., Равская Н.С., Лупкин Б.В., Адаменко Ю.И. Фреза для обработки композиционных материалов / Положительное решение по заявке N 5012077/08, МКИ⁵ В23С 5/04, 5/10.

8. Родин П.Р., Равская Н.С., Лупкин Б.В., Адаменко Ю.И. Фреза/ Положительное решение по заявке N 5018204/08, МКИ⁵ В23С 5/04, 5/10

Лупкин

227837

AB 30.680