

г) при дослідженні впливу на сили затиску P кута розміщення вершин призм (φ) встановлено (див.рис.3), що для вертикально розміщеного захватного пристрою найкращим варіантом затиску буде коли вершина призми зміщена нижче горизонтальної вісі на кут $\varphi=4^\circ\div 6^\circ$. Для горизонтально розміщених захватних пристроїв як при вертикально, так і при горизонтально орієнтованій вісі деталі затискні елементи кожного з важелів навантажуються симетрично при зміщенні вершин призм відносно вертикальної вісі в протилежних напрямках, тому найкращий варіант буде коли кут зміщення вершин призм $\varphi=0$.

Список літератури: 1. Павленко И.И. Расчёт механических захватных устройств роботов./ Проблемы прочности, надёжности и долговечности деталей и конструкций. – Кировоград, 1983. – С.35-36. 2. Механика промышленных роботов. Учеб. Пособие для вузов: В 3-х кн./ Под ред. К.В.Фролова, Е.И.Воробьёва. Кн.2: Расчёт и проектирование механизмов / Е.И.Воробьёв, О.Д.Егоров, С.А.Попов.- М.: Высш.Шк.,1988 – 368с. 3. Павленко І.І., Охремчук М.О. Дослідження сил затиску для вертикально орієнтованих призматичних захватних пристроїв./ Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ, 2003. – С.108 – 113. 4. Детали и механизмы роботов.: Основы расчёта, конструирования и технологии производства: Учеб. Пособие / Под ред. Б.Б.Самотокина.-К.: Вища шк., 1990.- 343с.

Сдано в редакцию 13.03.08

КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ТЕОРЕТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ВІДРІЗАННІ ФРЕЗАМИ

ПАНЧУК В.Г. (НТУУ “КПІ”, М. КИЇВ, УКРАЇНА)

In the article is described the computer program of the calculation of the theoretical value of the cutting force during cutting of dummy by disk cut-off cutter. Are represented fundamental methodologies, algorithms and structures of data, which are realized in this program. The described program makes it possible to carry out the simulation of the work of cutter with the random construction of the cutting parts during cutting dummy of random profile. By the result of simulation there are files of the time dependences of the force components of cutting.

Вступ. теоретичне значення сили різання є важливим показником, який необхідно знати на стадії проектування будь-якого різального інструменту, в т. ч. і відрізних фрез. сила різання є комплексним показником, який дозволяє оцінити працездатність і якість конструкції різальної частини інструменту. Визначення її значення на етапі проектування забезпечить цілеспрямованість пошуку оптимальних конструкторських рішень і економію коштів та часу.

Виконані раніше експериментальні дослідження, результати яких приведені в роботах [1, 2], описують досить обмежений перелік конструкцій відрізних фрез у вузькому діапазоні зміни геометричних параметрів і режимів різання. Вони не дозволяють прогнозувати працездатність відрізних фрез довільної конструкції різальної частини.

Одержані теоретичні значення сили різання можуть бути використані для наступних розрахунків і досліджень динамічних і термодинамічних характеристик відрізних фрез.

Метою даної статті є розробка алгоритму обчислення теоретичного значення сили різання при відрізання дисковими фрезами і його реалізація у вигляді комп'ютерної програми. Робота виконана в процесі розробки загальної теорії конструювання відрізних фрез.

Основна частина. В основі алгоритму розрахунку сили різання лежить методика, що базується на прийнятих положеннях теорії різання, які систематизовані і адаптовані до практичного використання в роботах [3, 4].

Відповідно до цих положень на кожну елементарну ділянку різальної кромки довжиною Δb_j діють дві сили, які визначаються за формулами

$$\Delta P_z = C_{\text{пп}} a \Delta b + C_{\text{зп}} \Delta b = C_{\text{пп}} f_{\text{зр}} + C_{\text{зп}} l_{P_z};$$

$$\Delta R_{xy} = U_{\text{пп}} a \Delta b + U_{\text{зп}} \Delta b = U_{\text{пп}} f_{\text{зр}} + U_{\text{зп}} l_{R_{xy}},$$

де $C_{\text{пп}}$ і $U_{\text{пп}}$ — питомі сили на передній поверхні інструмента;

$C_{\text{зп}}$ і $U_{\text{зп}}$ — питомі сили на задній поверхні інструмента;

$f_{\text{зр}}$ — площа зрізуваного шару;

a — товщина зрізуваного шару;

l_{P_z} і $l_{R_{xy}}$ — проекції довжини робочої частини різальної кромки на площини,

перпендикулярні до відповідних складових сили різання.

Для визначення технологічної складової сили різання для будь-якого заданого напрямку "К" з врахуванням умов невідного і косокутного різання визначаються кути $\psi_K^{(1)}$, $\psi_K^{(2)}$, $\psi_K^{(3)}$, які складають з заданим напрямом "К", відповідно, сили ΔP_z , ΔP_2 і ΔN_1 . Тоді розрахункова формула для сили, яка діє на елементарну ділянку різальної кромки Δb_j в заданому напрямі "К", має вигляд

$$\Delta P_{K_j} = \left((C_{\text{пп}} a + C_{\text{зп}}) \cos \psi_K^{(1)} + U_{\text{пп}} a \cos \psi_K^{(2)} + U_{\text{зп}} \cos \psi_K^{(3)} \right) \Delta b_j. \quad (1)$$

Для визначення миттєвого значення сили різання потрібно виконати підсумовування сил ΔP_{K_j} , які діють на всіх елементарних ділянках навантажених різальних кромок

$$\Delta P_{K_j} = \sum_{i=1}^m \sum_j \int_{n_{1j}}^{n_{2j}} dP_{K_{ij}} = \sum_{i=1}^m \sum_j \Delta P_{K_{ij}}, \quad (2)$$

де n_{1j} і n_{2j} — границі положення робочих довжин різальних кромок різальних елементів (зубців) інструмента;

m — кількість різальних елементів (зубців) інструмента, які одночасно знаходяться під стружкою.

Для розрахунку відповідних складових сили різання при фрезеруванні відрізною фрезою в формулі (1) приймаємо:

- для P_0 — $\psi_K^{(1)} = 0$, $\psi_K^{(2)} = 90^\circ$, $\psi_K^{(3)} = 90^\circ$;

- для P_r — $\psi_k^{(1)} = 90^\circ$, $\psi_k^{(2)} = 90^\circ - (\varphi_c - \nu_2)$, $\psi_k^{(3)} = 90^\circ - \varphi_c$;
- для P_a — $\psi_k^{(1)} = 90^\circ$, $\psi_k^{(2)} = \varphi_c - \nu_2$, $\psi_k^{(3)} = \varphi_c$;
- для P_x — $\psi_k^{(1)} = \psi$, $\cos \psi_k^{(2)} = \sin(\varphi_c - \nu_2) \sin \psi$, $\cos \psi_k^{(3)} = \sin \varphi_c \sin \psi$;
- для P_y — $\cos \psi_k^{(1)} = \sin \psi$, $\cos \psi_k^{(2)} = -\sin(\varphi_c - \nu_2) \cos \psi$, $\cos \psi_k^{(3)} = -\sin \varphi_c \cos \psi$,

де P_o — окружна сила; P_r — радіальна сила; P_x — сила подачі, яка навантажує механізм подачі верстата; P_y — сила, яка направлена перпендикулярно до стола верстата; P_a — бокова (аксіальна) сила, яка направлена вздовж осі обертання фрези.

Відповідно до формули (2) розрахунок миттєвого значення сили різання при відрізання полягає у визначенні елементарної сили, яка діє на елементарній ділянці різальної кромки зубця, з подальшим інтегруванням за шириною всіх зубців, які знаходяться під стружкою.

В цьому випадку алгоритм розрахунку буде складатися з наступних етапів:

- визначення зубців, які знаходяться в даний момент часу під стружкою;
- розрахунок елементарної сили різання, яка діє на кожній елементарній ділянці різальної кромки зубця;
- підсумовування всіх елементарних сил різання, які діють на зубець;
- підсумовування сил різання для всіх зубців, які знаходяться під стружкою.

Опис процесу фрезерування відрізною фрезою в прийнятій узагальненій формі є достатньо складним і містить велику кількість перемінних факторів.

Перша складність полягає в тому, що в загальному випадку зуб має декілька різальних кромок [1], які мають різні кути заточення, тому дійсні геометричні параметри різальної частини $\gamma_c(z_K)$, $\alpha_c(z_K)$, $\varphi_c(z_K)$, $\lambda_c(z_K)$ є величинами перемінними за шириною фрезерування для кожного зуба. По-друге, в конструкціях з різнонаправленими зубцями реалізується генераторна схема знімання припуску, при якій завантажена тільки деяка частина різальної кромки зубця, ширина якої залежить від подачі на зубець і радіальної відстані вершини кожного зубця в групі від осі фрези. По-третє в конструкціях із нерівномірним кроком кутовий крок зубців ε є різний для різних зубців, в результаті чого фактична подача на зуб є також змінною величиною. Крім того кут контакту зубця з заготовкою і кількість одночасно працюючих зубців на всьому шляху відрізання також є змінними величинами і визначаються геометрією профіля заготовки і його розміщенням відносно напрямку подачі.

Перший етап формалізації задачі полягає в розробці узагальненої геометричної моделі різальної частини фрези, яка аналітично описує взаємозв'язки між геометричними параметрами відрізної фрези довільної конструкції в інструментальній, статичній і кінематичній системах координат. Теоретичний зміст геометричної моделі різальної частини відрізної фрези описаний в роботі [5].

Практична задача полягає у виборі способу зберігання всієї необхідної інформації, який буде наглядним для користувача і зручним для машинного використання. Цей спосіб повинен забезпечувати введення, редагування і відображення інформації.

В практиці програмування структур і алгоритмів розглядаються наступні основні структури організації даних: масиви, списки, дерева, множини і графи. Оскільки раніше ми визначили, що різальна частина фрези може складатися з декількох груп зубців, а група, в свою чергу, містить декілька зубців, різальна частина яких може мати декілька різальних кромок, то в даному випадку прослідковується ієрархічне

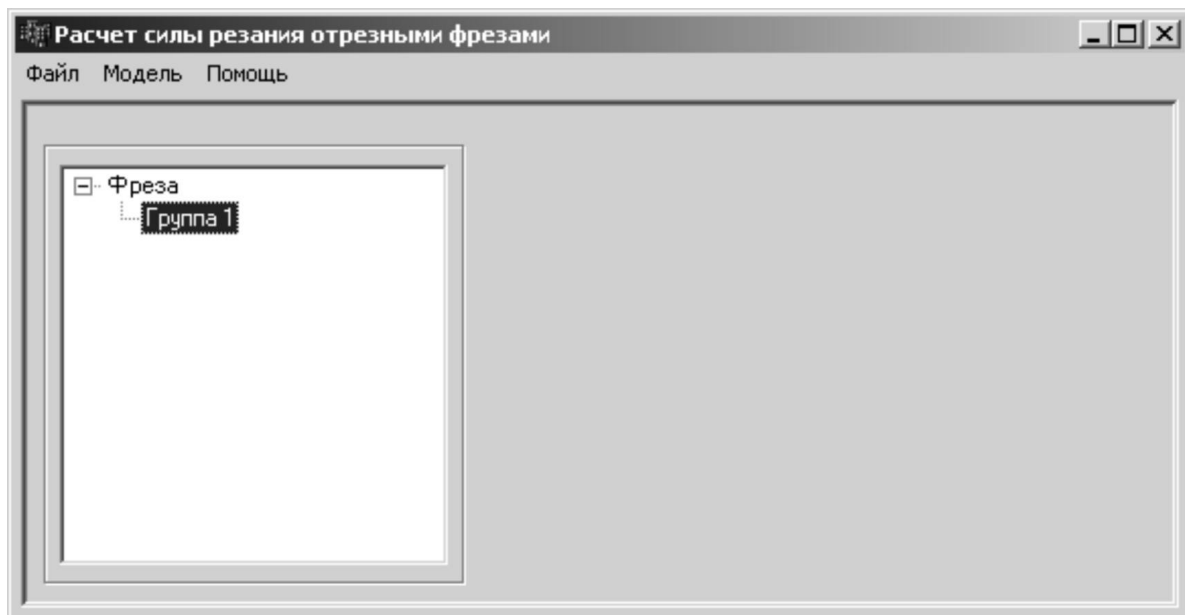


Рис. 2. Вікно редагування параметрів групи зубців

представлення будови різальної частини фрези, для якого найбільш прийнятним буде представлення фрези у вигляді дерева.

Для цього використовуємо стандартні класи `TTreeView`, `TTreeNode` і `TTreeNode` із бібліотеки Object Visual Library (OVL). Вузли дерева фрези розміщуються на чотирьох рівнях:

- нульовий рівень, або корінь дерева, містить інформацію, яка стосується фрези в цілому (рис. 1);
- перший рівень, рівень груп зубців, складається з вузлів, кожний з яких відповідає певній групі зубців (рис. 2). При цьому група відіграє роль контейнера для зубців і сама геометричної інформації не містить;
- другий рівень, рівень зубців, складається з вузлів, в яких міститься інформація про геометричні параметри, які стосуються зубця в цілому (рис. 3);

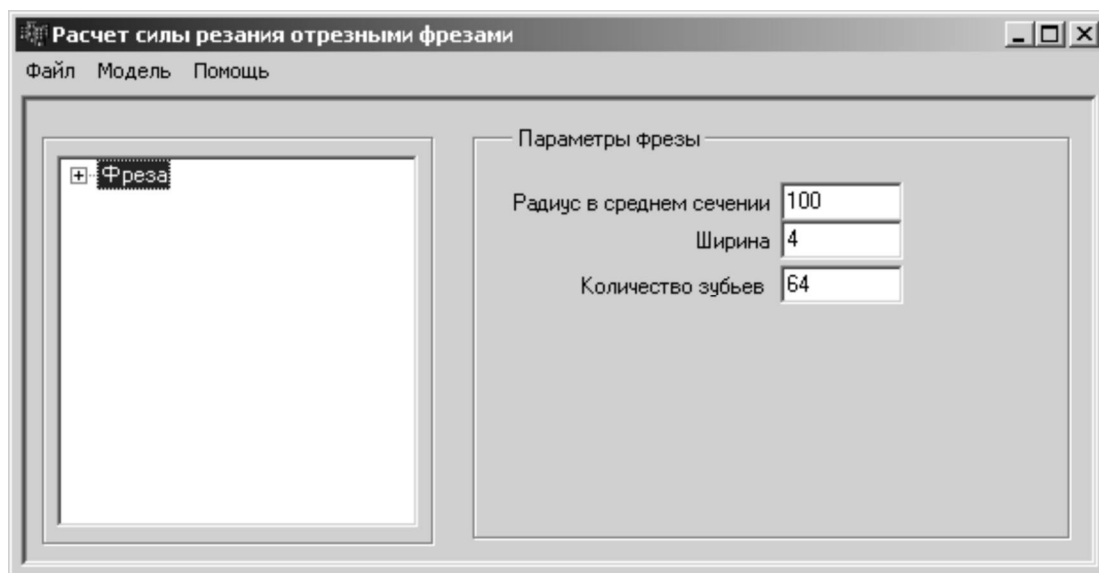


Рис.1. Вікно редагування параметрів фрези

- третій рівень, рівень кромок, складається з вузлів, кожний з яких містить геометричні параметри різальної кромки (рис. 4).

Отже в такій структурі зубець в межах встановленої ширини фрези розбивається на окремі частини, кожна з яких має свої геометричні параметри різальної кромки. Кількість кромок програмним шляхом не обмежується. В свою чергу, кожний зубець є членом групи зубців. Кількість зубців в групі програмно не обмежена.

Конструювання різальної фрези довільної конфігурації відбувається шляхом створення додаткових вузлів дерева фрези і присвоєння їх параметрам відповідних значень. Кожному новому вузлу система автоматично присвоює оригінальне ім'я. Вершини з однаковим іменем мають однакові геометричні параметри, але в процесі редагування можуть мати різну конфігурацію потомків. При цьому контроль за відповідністю конструкції фрези покладено на користувача. Для редагування конфігурації дерева фрези передбачено ряд команд, які викликаються з контекстного меню при натисканні правої кнопки миші на відповідному вузлі (рис. 5):

- “Добавить” — створює нового вузла-потомка і добавляє його на останнє місце в

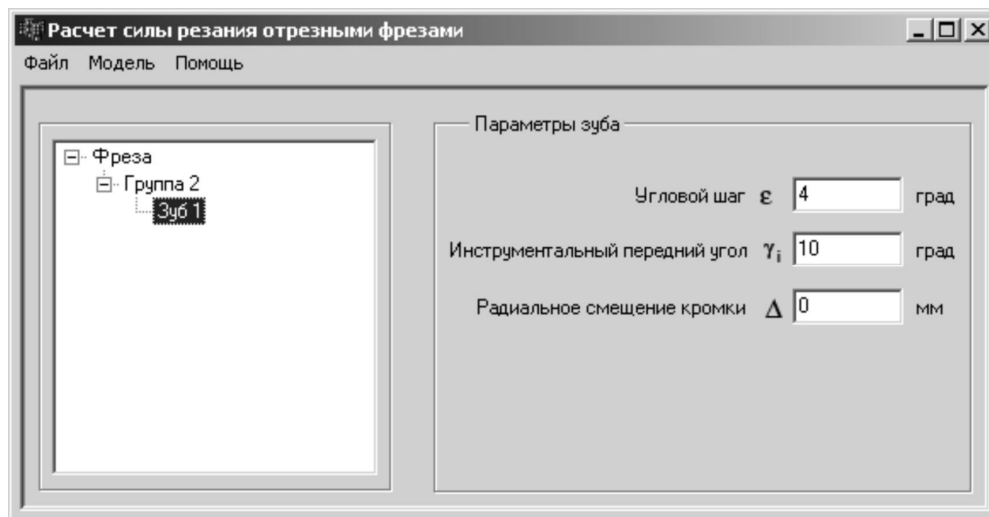


Рис. 3. Вікно редагування параметрів зубця

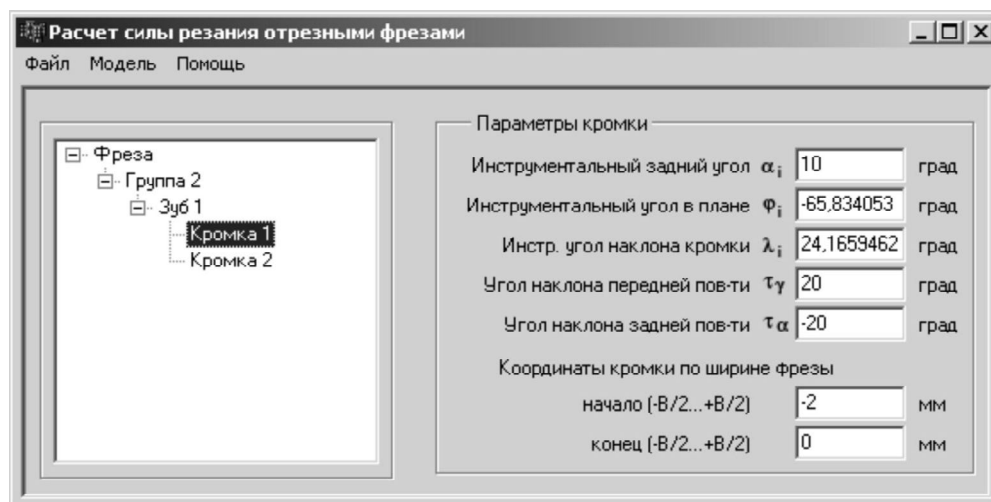


Рис. 4. Вікно редагування параметрів різальної кромки

- списку потомків;
- “Вставить” — створює нового вузла-брата і вставляє його перед виділеним вузлом;
- “Копировать” — копіює виділений вузол разом з усіма потомками в буфер обміну;
- “Заменить” — виконує заміну виділеного вузла на вузол, який знаходиться в буфері обміну, включаючи всі параметри і структуру;
- “Размножить” — створює задану кількість копій виділеного вузла.

Класи `TTreeView`, `TTreeNode` і `TTreeNode` призначені виключно для створення структури даних у вигляді дерева і організації роботи з елементами цієї структури. Для розміщення корисної інформації, що стосується геометрії фрези, необхідно в пам'яті створювати спеціальні об'єкти (“фреза”, “зуб”, “кромка”), де ця інформація буде зберігатися. Об'єкт класу `TTreeNode`, відповідно до свого рівня в дереві фрези, містить тільки покажчик на відповідний спеціальний об'єкт. Оскільки фреза, як багатозубий інструмент складається з великої кількості однакових, за своїми параметрами, конструктивних елементів (груп, зубців, кромок), то декілька вузлів дерева можуть посилатися на один і той же об'єкт в програмі.

Для зберігання геометричної інформації про конструкцію фрези використовуються класи `TFresa`, `TToothList`, `TEdgeList`.

В програмі створюється тільки один об'єкт класу `TFresa`, в якому зберігається інформація, що стосується фрези в цілому: середній радіус фрези R , ширина фрези B , кількість зубців z .

Об'єкт класу `TToothList` являє собою елемент зв'язаного лінійного списку, в якому зберігається інформація про геометрію окремого зубця: кутовий крок ε , радіальне зміщення Δ , інструментальний передній кут γ_i . А також — покажчик на попередній елемент списку, покажчик на наступний елемент списку та індексний номер.

Об'єкт класу `TEdgeList` має аналогічну структуру і являє собою елемент зв'язаного лінійного списку, в якому зберігається інформація про геометрію окремої різальної кромки: інструментальний задній кут α_i , інструментальний кут в плані ϕ_i , інструментальний кут нахилу різальної кромки λ_i , кут нахилу передньої поверхні τ_γ , кут нахилу задньої поверхні τ_α , початкова координата різальної кромки за шириною фрези z_B і кінцева координата різальної кромки за шириною фрези z_A ($z_B < z_A$). А також — покажчик на попередній елемент списку, покажчик на наступний елемент списку та індексний номер.

Кількість геометричних параметрів є надлишковою. Для однозначного визначення положення різальної кромки в просторі достатньо при відомих значеннях γ_i і α_i ввести значення ϕ_i і λ_i , тоді τ_γ і τ_α розраховуються автоматично, або ввести

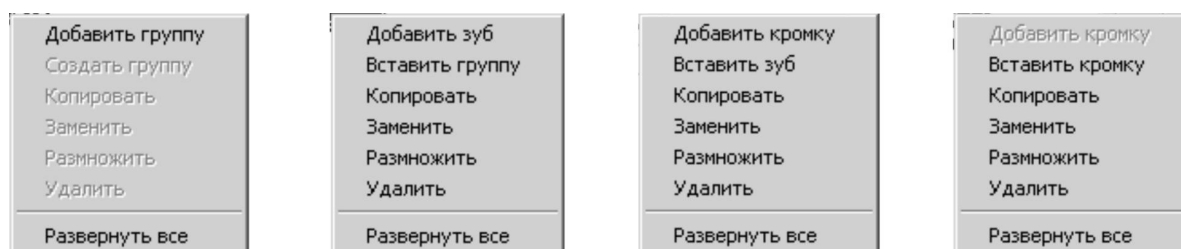


Рис. 5. Контекстні меню для формування дерева різальної частини фрези

значення τ_γ і τ_α , тоді за розрахунком визначаються φ_i і λ_i .

При виборі деякого вузла дерева активізується відповідне вікно (рис. 1–4), в якому розміщені поля для вводу, виводу і редагування інформації, що відповідає даному вузлу.

Для зберігання інформації про геометричну модель фрези необхідно в пункті “Файл” головного меню вибрати команди “Сохранить” або “Сохранить как...”. Створення нової моделі виконується за командою “Новый”, а для завантаження вже існуючої моделі з файлу використовується команда “Открыть...”.

Визначення площі зрізу виконується за методикою [6]. При цьому враховується, що для фрез з різнонаправленим зубом кутовий крок між сусідніми зубцями за шириною фрези змінюється, що зумовлює зміну подачі на зуб вздовж різальної кромки.

Для проведення розрахунків ширина фрези розбивається на непарну кількість інтервалів. Кількість інтервалів залежить від конфігурації різальної частини фрези і бажаної точності обчислень. На першому етапі розрахунку для всіх зубців визначаються радіус, кутове положення і статичні геометричні параметри різальної кромки в середніх точках кожного інтервалу. Одержана інформація зберігається в пам'яті. На другому етапі для заданих режимів різання обчислюється подача на зуб в кожній точці різальної кромки зубців.

Для програмної реалізації створено класи `CToothGeom` і `CStaticGeom`. Клас `CStaticGeom` включає в себе наступні дані:

- значення статичного переднього кута γ_c ;
- значення статичного заднього кута α_c ;
- значення статичного кута в плані α_c ;
- значення статичного кута нахилу різальної кромки φ_c ;
- значення кутового зміщення досліджуваної точки δ_K ;
- показчик на об'єкт класу `TToothList`, в якому міститься інформація про інструментальні параметри зубця;
- показчик на об'єкт класу `TEdgeList`, в якому міститься інформація про інструментальні параметри різальної кромки;
- функції-члени для розрахунку вказаних вище статичних параметрів за координатою z_K .

Клас `CToothGeom` містить в собі:

- значення кількості зубців фрези;
- значення кількості інтервалів інтегрування за шириною фрези;
- значення ширини одного інтервалу;
- показчик на двомірний масив об'єктів класу `CStaticGeom`;
- показчик на масив об'єктів типу `CToothArr`;
- функцію-члена для розрахунку координат точок різальних кромки зубців.

Тип `CToothArr` являє собою структуру, яка призначена для побудови зв'язаного списку і містить в собі наступні дані:

- показчик на тип `CPoint`;
- показчик на попередній об'єкт типу `CToothArr` в списку;
- показчик на наступний об'єкт типу `CToothArr` в списку.

Тип **CPoint** призначений для зберігання інформації про полярні координати окремої точки різальної кромки:

- радіус точки відносно осі фрези;
- абсолютне кутове положення точки по колу фрези;
- резервне поле для значення подачі на зуб в даній точці.

Розрахунки виконуються за наступним алгоритмом:

- визначення кількості зубців і контроль сумарного кутового кроку в середньому січенні фрези. Якщо сумарний крок не рівний 360° , розрахунок припиняється;
- виділення пам'яті для зберігання координат і статичних параметрів у всіх розрахункових точках різальної частини фрези;
- в циклі для всіх зубців фрези виконати:
 - починаючи з середнього січення фрези, на інтервалі $-0,5B \leq z_K \leq 0$ і на інтервалі $0 \leq z_K \leq +0,5B$ з кроком ΔB ;
 - визначити за деревом фрези інструментальні параметри різальної кромки в розрахунковій точці;
 - розрахувати і записати в масив статичні геометричні параметри зубця в розрахунковій точці;
 - визначити радіус і абсолютне кутове положення розрахункової точки різальної кромки. Значення записати в масив.

Одержані результати використовуються в наступному програмному модулі для визначення подачі на зуб в розрахункових точках різальних кромок за методикою [6]. Для розрахунків задається частота обертання фрези і хвилинна подача заготовки.

Ще одним важливим параметром процесу фрезерування є кут контакту інструмента при фрезеруванні. Цей параметр визначає хід процесу механічної обробки, його динаміку і сумарне зусилля різання. Знати його значення необхідно для того, щоб визначити кількість зубців, які на даний момент часу знімають стружку в процесі різання.

В процесі роботи над програмою були реалізовані алгоритми для двох методів визначення кута контакту фрези із заготовкою — чисельного [7] і аналітичного [8]. Для простих профілів заготовки чисельний метод є більш простим в реалізації, але не дозволяє реально моделювати профілі, переріз яких містить отвори або складається із декількох окремих замкнутих геометричних фігур. Аналітичний метод, описаний в роботі [8], є універсальний і дозволяє моделювати обробку профілів довільної конфігурації.

Стратегія визначення завантаження фрези полягає в тому, що на кожній ітерації перевіряється попадання кожної точки різальних кромок зубців всередину замкнутих контурів, які складають переріз профілю заготовки, процес відрізання якої моделюється. Для розрахунку задаються наступні вхідні дані:

- форма профілю, основні геометричні розміри, координати базової точки і кут повороту відносно базової точки;
- параметри розрахунку — точність обчислень, обмеження робочого ходу фрези, період дискретизації часу;
- режими різання;
- механічні характеристики оброблюваного матеріалу.

Результати обчислень записуються на диск у вигляді часових реалізацій для кожної складової сили різання окремо.

Програма написана для використання в середовищі Windows XP і має інтуїтивний віконний інтерфейс.

Висновок. Розроблена комп'ютерна програма, яка моделює процес відрізання дисковою фрезою з довільною конструкцією різальної частини заготовки довільного профілю і дозволяє визначити часові залежності складових сили різання як для фрези в цілому, так і для окремого зуба в будь-якій його точці зокрема. Дана програма є основою для створення в майбутньому САПР відрізних фрез.

Список літератури: 1. Семенов А.В. Разработка дисковых пил с неравномерным шагом: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. — К., 1998. — 194 с. 2. Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. — К., 1998. — 198 с. 3. Розенберг Ю.А., Лахман С.И. Силы резания и методы их определения: В 2 ч. — Курган: КМИ, 1995. — Ч.1: Общие положения. — 128 с. 4. Розенберг Ю.А., Тахман С.И. Силы резания и методы их определения: В 2 ч. — Курган: КМИ, 1995. — Ч.2: Расчет сил при различных видах обработки. — 104 с. 5. Равська Н.С., Панчук В.Г. Узагальнена теорія визначення геометричних параметрів різальної частини відрізних фрез. // Вестник национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Машиностроение. — К.: НТУУ “КПИ”. — 2007. — № 50. — С. 34–39. 6. Панчук В.Г., Рублюк О.В. Розрахунок площі зрізу для відрізних фрез довільної конструкції. // Вісник Хмельницького національного університету. — Хмельницький, ХНУ. — 2007. Т. 1, № 6. — С. 7–10. 7. Галицька Н.О., Панчук В.Г., Рублюк О.В. Чисельний метод визначення кута контакту відрізної фрези. // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. праць. — Донецьк: ДонНТУ. — 2008. — № 35. — С. 27–31. 8. Панчук В.Г., Рублюк О.В. Метод визначення профілю заготовки при моделюванні процесу відрізання фрезами. // Вестник национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Машиностроение. — К.: НТУУ “КПИ”. — 2008. — № 53. — С. 67–75.

Сдано в редакцию 14.05.08

МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз (*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина*)

A design technique technological operations of lathe treatment, oriented to the use of CAM-system for machine-tools with CNC, is offered. The module of optimization of sharpening process, intended for building in CAM-system and capable in the automatic mode to expect the optimum laws of cutting process control, is presented.

Актуальность. В современном машиностроительном производстве для технологической подготовки токарных операций на станках с ЧПУ все шире используются САМ-системы (Computer Aided Manufacturing). В соответствии с типовой структурой управления станком с ЧПУ с помощью САМ-системы в ней решаются следующие задачи:

- ✓ геометрические задачи проектирования формообразующих траекторий движений инструмента и заготовки;
- ✓ проектирование элементов технологической операции;
- ✓ проверка геометрических расчетов и визуализация процесса обработки;