

# МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.9

**І.Луців, канд.техн.наук; І.Брошак**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## ПАКЕТ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ САД-КОНСТРУЮВАННЯ СВЕРДЛ АДАПТИВНОГО ТИПУ

*Подано алгоритми САД-конструювання свердл адаптивного типу з міжлезовим гідравлічним зв'язком. Така САПР охоплює технологічну і конструкторську фази. У системі запропоновано розрахунок напружено-деформованого стану інструменту та термодинамічний аналіз конструкції.*

### Умовні позначення

<b>F</b>	– критерій оптимізації;
<b>R<sub>i</sub></b>	– значення і-го критерію оптимізації;
<b>k<sub>mi</sub></b>	– масштабний коефіцієнт і-го критерію;
<b>S, n</b>	– подача та кількість обертів шпинделя;
<b>k<sub>MS</sub>, k<sub>Mn</sub></b>	– вагові коефіцієнти локальних критеріїв;
<b>N<sub>e</sub></b>	– ефективна потужність різання;
<b>N<sub>v</sub></b>	– потужність головного приводу верстата;
<b>D, L</b>	– діаметр та довжина отвору;
<b>Ra</b>	– шорсткість поверхні;
<b>E</b>	– похибка форми отвору;
<b>T</b>	– відхилення розміру отвору;
<b>f</b>	– уведення осі отвору;
<b>U<sub>v</sub>, U<sub>p</sub></b>	– показники ступеня при подачі у формулах швидкості і сили різання

Велика кількість факторів, які призводять до викривлення осі отвору, уводу інструменту, спонукають до пошуку ефективних способів свердління, що гарантують високу точність і якість обробки при невисоких затратах. Традиційно зменшення уводу інструменту при глибокому свердлінні досягають одночасним обертанням деталі та інструменту, що не завжди є можливим та вимагає використання спеціального верстата. Перспективним розв'язком цього завдання впровадження конструкцій свердл адаптивного типу, які забезпечували б самоналагоджувальне оброблення отворів. На кафедрі верстатно-інструментальних систем автоматизованого виробництва Тернопільського державного технічного університету розроблено інструмент для свердління глибоких отворів, який передбачає автоматичне вирівнювання осьових сил свердла при обробленні за рахунок використання кінематичного міжінструментального зв'язку у вигляді гідравлічного шарніру між ріжучими лезами [1] і забезпечує значне зменшення уведення інструменту.

Авторами розроблено пакет прикладних програм для автоматизованого конструювання адаптивних свердл для оброблення глибоких отворів. Створення такої інтегрованої САД/CAM системи з елементами оптимізації та імітації технічного інтелекту дозволяє розв'язати як задачу конструювання свердла, так і встановити структуру і параметри технологічної операції. Реалізація такої системи автоматизованого проектування здійснена через використання семантичних та прагматичних процедур у програмно-апаратних засобах систем SOLID WORK та COSMOS WORK.

Дана САПР створена як ієрархічна система, яка передбачає комплексний підхід до автоматизації на всіх стадіях проектування. Вона складається із інформаційно–узгоджених підсистем структурного, функціонально–логічного та елементного проектування (синтез принципової схеми технологічного процесу, розрахунок режимів різання, аналіз напружено–деформованого та термодинамічного стану інструменту, виконання складального креслення адаптивного свердла та його деталювання).

Враховуючи специфіку поставленої задачі, першочерговим є оптимальне технологічне проектування структури технологічної операції та розрахунок режимів оброблення глибоких отворів. Оптимальними режимами різання вважаються такі режими, які забезпечують найвищу продуктивність та найменшу собівартість обробки.

Оскільки найбільший вплив на стійкість інструменту має швидкість різання, дещо менший – подача і найменший – глибина різання [2], то в першу чергу слід перевірити, чи можливо забезпечити задану точність отвору та ефективну потужність різання без попереднього засвердлювання отвору; після цього – визначити максимально допустиму подачу, а потім за відомими емпіричними формулами – визначити швидкість різання.

Враховуючи багатокритеріальність функції мети при виборі оптимальних значень режимів різання адаптивними свердлами, скористаємось узагальненим аддитивним критерієм оптимальності  $f$  :

$$f = \sum_i k_{mi} \times R_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $R_i$  – значення  $i$ -го критерія оптимізації (в даному випадку  $n$  і  $S$ );  $k_{mi}$  – масштабний коефіцієнт  $i$ -го критерію, який можна визначити за формулою:

$$k_{mi} = \frac{2 \cdot R_i}{(R_{\max} - R_{\min})}. \quad (2)$$

Для лінеаризації критеріальної функції її доцільно прологарифмувати:

$$F = \ln(f) = \ln(S \cdot k_{MS}) + \ln(n \cdot k_{Mn}) \rightarrow \max, \quad (3)$$

де  $F$  – глобальний критерій оптимізації;  $S$ ,  $n$  – подача та кількість обертів шпинделя – локальні критерії оптимізації;  $k_{MS}$ ,  $k_{Mn}$  – вагові коефіцієнти локальних критеріїв.

При розрахунку оптимального режиму різання до технологічної системи висувається ряд вимог щодо ефективного використання обладнання та інструменту, дотримання заданих норм точності та шорсткості. В розглядуваній задачі оптимізації такі вимоги формулюються у вигляді обмежень: 1) частота обертання шпинделя та подача з врахуванням максимально можливої швидкості різання за заданих умов (стійкості інструмента, фізико–хімічних властивостей оброблюваного матеріалу, тощо) не повинні перевищувати граничних значень:  $x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_1$ ; 2) ефективна потужність різання  $N_e$  не повинна перевищувати потужність головного приводу верстату  $N_B$ :  $x_1 + y_p \cdot x_2 \leq b_2$ ; 3) обмеження допустимої подачі для досягнення заданої шорсткості  $R_a$ , похибки форми отвору  $E$ , відхилення розміру  $T$  та уведення осі  $f$ :  $x_2 \leq \forall \{b_3, b_4, b_5, b_6\}$  [2]; 4) обмеження, що не допускає перевищення максимальної  $n_{\max}$  і зменшення нижче мінімальної  $n_{\min}$  частоти обертання шпинделя:  $b_7 \leq x_1 \leq b_8$ ; 5) розрахункова подача не повинна бути меншою від мінімальної  $S_{\min}$  і більшою від максимальної  $S_{\max}$ :  $b_9 \leq x_2 \leq b_{10}$ , де  $x_1 = \ln(n)$ ;  $x_2 = \ln(S)$ ;  $b_1 \dots b_{10}$  – логарифмічні коефіцієнти, визначені степеневими залежностями швидкості різання, подачі, шорсткості, похибки форми отвору, відхилення розміру, уведення осі;  $y_v$  та  $y_p$  – показники степені при подачі у формулах швидкості і сили різання.

Блок–схема алгоритму автоматизованого розрахунку структури та параметрів технологічного процесу оброблення глибоких отворів адаптивним інструментом подана на рис. 1.

Вихідними даними для проектування (блок 1) є геометрична характеристика отвору (діаметр  $D$  та довжина  $L$ ); регламентовані конструкторською документацією показники: шорсткість поверхні  $[Ra]$ ; похибки форми отвору  $[E]$ ; відхилення розміру  $[T]$  та уведення осі  $[f]$ ; характеристика оброблюваного матеріалу –  $HВ_{дет}$ ,  $\sigma_b$ ; технічні показники обладнання – потужність головного приводу  $N_b$ ; число обертання шпинделя  $n_{min} \div n_{max}$ ; діапазон подач  $S_{min} \div S_{max}$ . Процес розрахунку є ітераційним. Номер ітерації  $i$  присвоюється на початку проектування (блок 2) і переприсвоюється при умові невиконання обмежень математичної моделі (блоки 7 і 10). Оскільки перш за все слід намагатися обробити отвір за один технологічний перехід, то призначаємо глибину різання  $t = D/2$  (блок 3). Безпосереднє визначення режимів різання відбувається на основі математичної моделі параметричної оптимізації, описаної вище (блок 4). При цьому інформаційна підтримка (емпіричні коефіцієнти, рекомендовані значення технологічних параметрів, тощо) здійснюється базою даних (блок 5). Якщо розраховані параметри технологічної операції задовольняють всім обмеженням (позитивне вирішення умов 6 та 9), то результати проектування оформляються у вигляді комплексу технологічної документації (блок 14) і служать вихідною інформацією для подальшого проектування. При недотриманні умови достатньої потужності різання (блок 6), технологічна операція адаптивного свердління диференціюється, і при цьому глибина різання приймається рівною (блок 8):  $t = D/(2i)$ , де  $i$  – номер ітерації. У випадку невиконання умов по шорсткості поверхні  $[Ra]$ , похибці форми отвору  $[E]$ , відхиленню розміру  $[T]$  або уведенню осі  $[f]$ , технологічний процес оброблення отвору структурується (блок 11) на чорнові, чистові, фінішні та суперфінішні операції (при цьому кількість переходів  $k$  доцільно розраховувати виходячи з умови [3]:  $k = \text{FLOOR}(\lg(T_i/[T])/0.43)$ , де  $T_i$  – величина допуску, отримана внаслідок виконання  $i$ -ї ітерації розрахунку; FLOOR – стандартна процедура прийняття більшого цілого значення розрахункової величини). Додатковий припуск  $2\Delta$  на подальшу фінішну обробку визначається з бази даних (блок 5). Розрахунковий розмір адаптивного свердла при цьому корегується (блок 13). При цьому вихідним даним  $[Ra]$ ,  $[E]$ ,  $[T]$  та  $[f]$  умовно присвоюються значення розрахованих в блоці 4 величин  $R_{ai}$ ,  $E_i$ ,  $T_i$  та  $f_i$ , відповідно (блок 12).

Розроблений авторами пакет прикладних програм “ADDRILL” є програмною реалізацією автоматизованого проектування конструкторських та прийняття технологічних рішень. Програми створені в середовищі Visual Basic (версія 6.0 (SP3) для 32 бітних розробок Windows) як незалежний Windows-додаток і скомпільовані зі застосуванням програмного пакету Wise Install Maker (версія 8.0).

Система побудована таким чином, що кожен наступний етап базується на результатах попередніх розрахунків та на вихідних даних, внесених користувачем системи, але при цьому здійснюється незалежний синтез конструкторських рішень та аналіз напружено-деформованого стану інструменту.

Ввід вхідних даних провадиться в інтерактивному режимі користувачем системи, виходячи зі заданих умов оброблення та геометричних характеристик отвору. Причому інтерфейс діалогового вікна вводу вхідних даних достатньо зручний, оскільки передбачає інформування про помилки оператора при введенні хибних значень параметрів або про відсутність інформації про хоча б один з них. Обов'язковими є надання інформації про: діаметр оброблюваного отвору ( $D=50 \div 85$  мм); довжину оброблення ( $L \leq 10D$ ); вид оброблення (свердління або розсвердлювання,

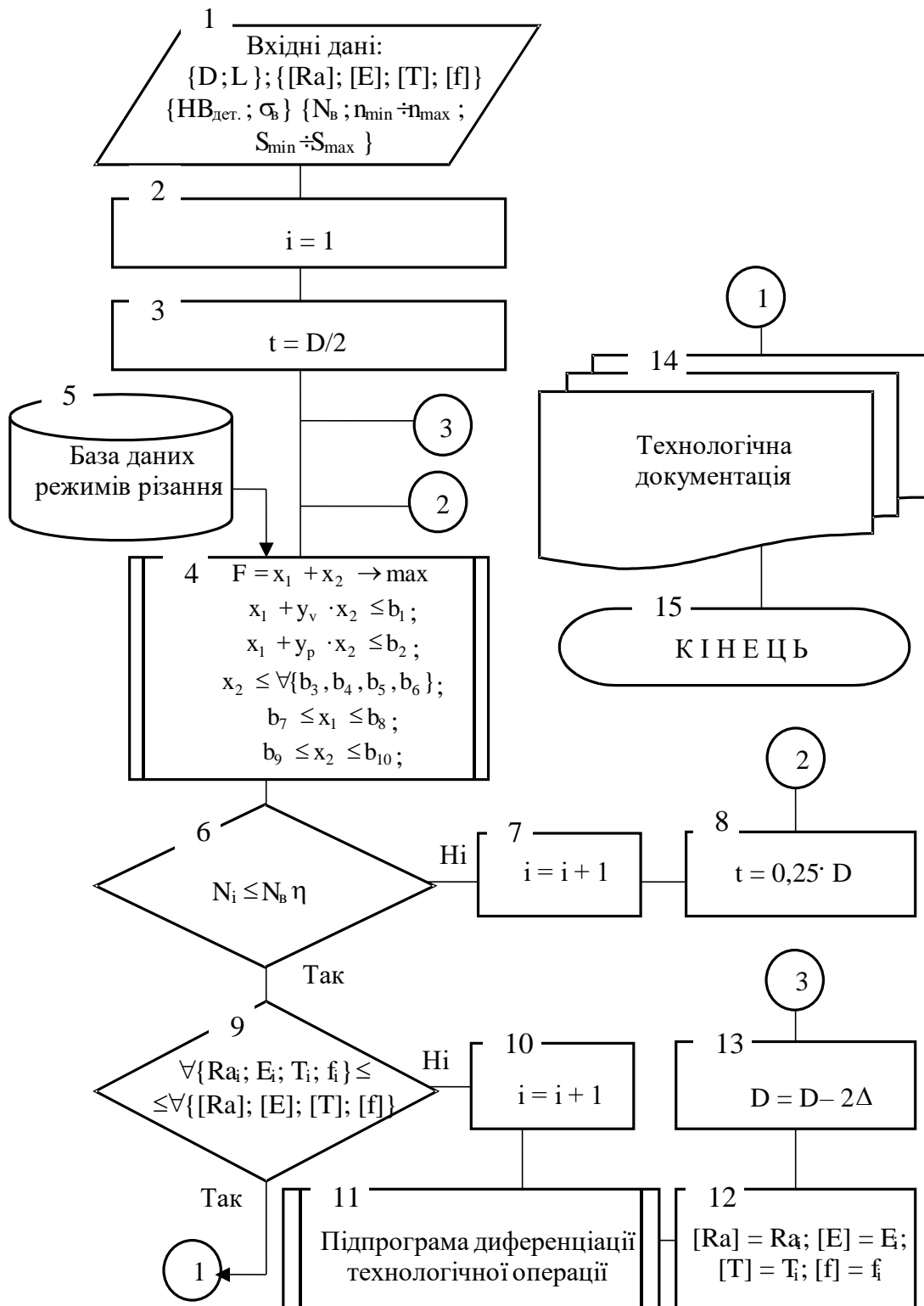


Рис.1. Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми проектування технологічної операції оброблення отвору

у випадку вибору останнього задається діаметр існуючого отвору  $d$ , мм); матеріал деталі (у якості типових матеріалів для оброблення пропонується вибір – конструкційної вуглецевої та легованої сталі ( $\sigma_b \leq 600$  Мпа); жароміцної та корозійностійкої сталі ( $550 \leq \sigma_b \leq 850$  Мпа); сірого чавуну (HB $\approx$ 190); ковкого чавуну (HB $\approx$ 150); допуск розміру ( $T$ , мм); шорсткість поверхні ( $R_a$ , мм); допустиме уведення осі отвору ( $f$ , мм); похибка форми отвору ( $E$ , мм). Користувач системи може здійснювати корекцію бази даних системи, але тільки після введення коду адміністративного доступу (що має, як правило, тільки розробник) до системи управління базою даних (СУБД). Ця вимога захищає САПР від несанкціонованого доступу в програмну область, а відтак – від подальшого некоректного функціонування окремих програмних модулів системи.

Наступним кроком автоматизованого проектування є вибір напрямку діяльності конструктора – конструювання інструмента; встановлення технологічних характеристик оброблення; розрахунок напружено-деформованого стану свердла; визначення деформацій елементів конструкції чи термічного стану інструменту під дією критичних навантажень. Діалогове вікно цього етапу (вікно “Меню”) подається на рис.2.

В разі прийняття рішення про початок конструкторського етапу проектування, відкривається діалогове вікно, на якому зображено загальний вигляд адаптивного свердла ежекторного типу у вигляді “рознесеної конструкції”, де всі елементи складального креслення виведені у осьовому напрямку (рис.3). Це дає змогу більш наглядно оцінити конструкцію свердла і вибрати для конструювання необхідний складальний елемент. Адаптивне свердло складається з таких елементів : корпус , різець зовнішній, різець внутрішній, кришка, пластина та штифт. Вибір конкретної деталі дозволяє отримати та вивести на друк конструктивне рішення, функціональні та приєднувальні розміри елемента конструкції. Причому послідовність увімкнення діалогових вікон може бути ієрархічною. Наприклад, конструкція корпусу свердла передбачає більш детальний розгляд одного з окремих його елементів – хвостовика. Тому він виводиться в окреме вікно, але розглядається у контексті з існуючою конструкцією корпусу.

Принцип побудови цієї частини CAD/CAM системи базується на аналізі типової конструкції і встановленні розмірних залежностей окремих деталей у відповідності зі заданими розмірами оброблюваного отвору, його точністю та шорсткістю. Такі залежності виведені за допомогою кореляційного аналізу конструкторських розмірних ланцюгів та занесені в базу даних системи. Окрім того, при призначенні розмірів передбачається дотримання нормативів Державного стандарту до розмірів зовнішньої прямокутної різі хвостовиків та типових розмірів твердосплавних пластин на зовнішньому та внутрішньому різцях адаптивного свердла. Розміри центрального отвору для виведення стружки та зазор між корпусом та виступаючою частиною зовнішнього різця приймаються згідно рекомендацій ТУ 2-035-857-81 – “Свердла , оснащені пластинками з твердого сплаву з ежекторним відведенням стружки”.

Дволезове свердло адаптивного типу, що працює за методом поділу ширини зрізу, призначається для швидкісного свердління глибоких отворів в діапазоні 50–85 мм. Вибір технологічних параметрів операції глибокого свердління здійснюється згідно з описаною вище математичною моделлю оптимізації на основі запропонованого алгоритму.

З метою встановлення працездатності конструкції в САД-системі запропоновано аналіз напружено-деформованого стану інструменту на поверхні свердла та аналіз найбільш навантажених елементів конструкції. Враховуючи інтенсивні навантаження на інструмент, що виникають в процесі роботи, системою виконується термодинамічний розрахунок даної конструкції свердла зі заданими вихідними параметрами як на поверхні свердла, так і всередині (розглядаються

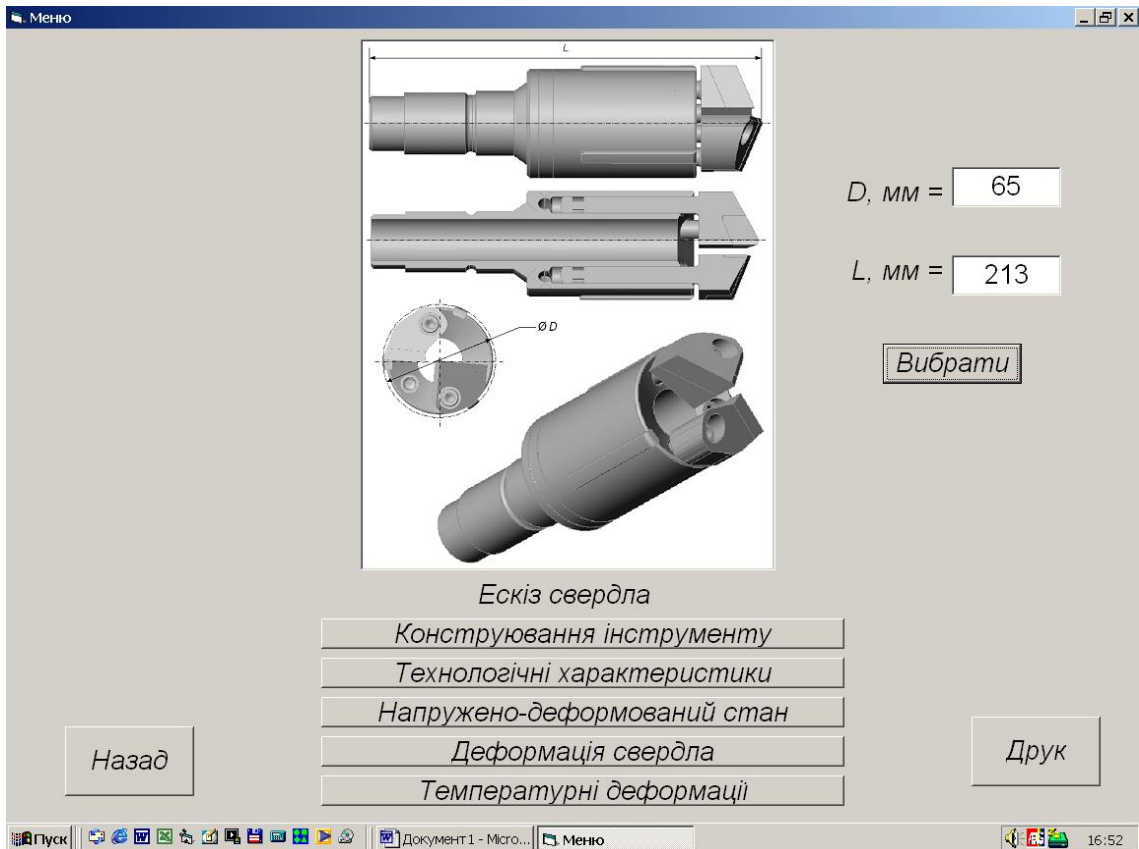


Рис.2. Діалогове вікно меню

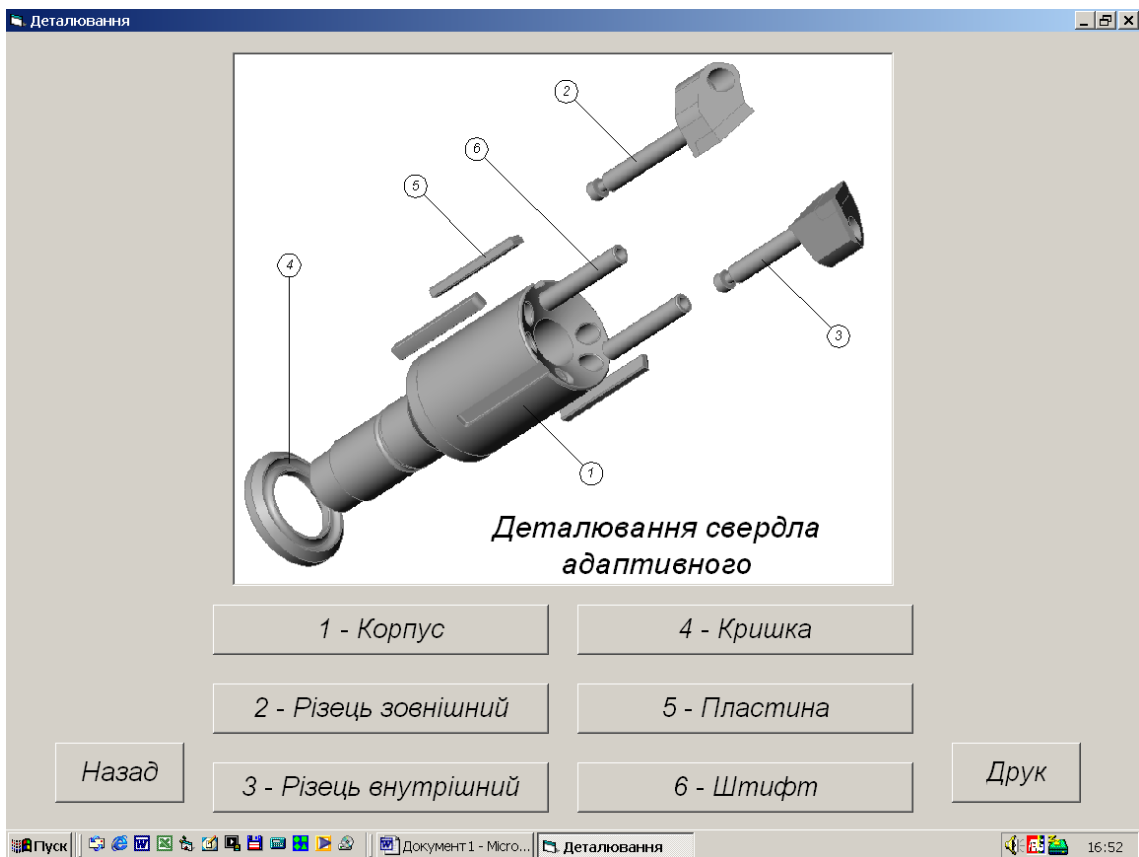


Рис.3. Діалогове вікно конструювання інструменту

температурні поля вище 200°C) [4]. Такий аналіз дозволяє переконатись у тому, що основні рухомі елементи конструкції працюють у дограничних умовах, імовірності заклинювання лез внаслідок температурного розширення циліндричних напрямних різців нема. Всі ці залежності отримано в системі Cosmos Work.

Запропоновану САПР доцільно використовувати при проектуванні адаптивних сверدل для оброблення глибоких отворів на верстатах свердильної та токарної груп.

*The algorithms of adaptive type drills with interedge hydraulic links computer aided design are discussed. The CAD-system consists of design and manufacturing structures. The calculation of tool's mechanical stress and temperature picture analyses are given.*

### **Література**

1. Брошак І., Луців І. Аналіз технологічних та конструкторських параметрів свердел адаптивного типу для оброблення глибоких отворів.// *Машинознавство*.- 2001.- №1
2. Гнучкі виробничі системи для механічної обробки./Е.М.Гуліда та ін. Львів: Світ, 1992.
3. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. Изд. 3-е. М.: Машиностроение, 1969.
4. Луців І., Брошак І. Проектування свердел адаптивного типу для оброблення глибоких отворів з допомогою ПЕОМ // *Вісник ТДТУ*.- 2001. - №1. – Т.6.

*Одержано 15.03.2001 р.*