

УДК 658.512.011.56:621.91.02

Юхимчук В.М., Пасічник В.А., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

СИНТЕЗ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ НА ОСНОВІ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ВИРОБУ НА ОБРОБЛЮВАНІ ПОВЕРХНІ

Yukhymchuk V., Pasichnyk V.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

SYNTHESIS OF CUTTING TOOLING FOR MACHINING OF HOLES BASED ON THE DECOMPOSITION OF PART MODEL

В статті розглянутий спосіб синтезу інструментального забезпечення для оброблення деталей зі значною кількістю отворів на основі декомпозиції деталі на оброблювальні поверхні. Формалізований опис елементарних оброблюваних поверхонь та різального інструменту дозволяє синтезувати всю множину рішень інструментального забезпечення за допомогою логічних правил та аналізувати їх для отримання найбільш ефективного варіанту технологічного процесу. Аналіз цих рішень дозволить отримати оптимальні витрати на виготовлення виробу на етапі технологічного проектування.

Ключові слова: синтез, декомпозиція, інструментальне забезпечення, оброблення отворів, метод оброблення, САПР

Сучасний ринок потребує все більш широкого асортименту продукції з одночасною вимогою його появи у найкоротший термін. Поряд з підвищенням продуктивності процесів проектування та виготовлення самого виробу, що забезпечується сучасним програмним забезпеченням та програмно керованим обладнанням, суттєві резерви містить етап технологічного підготовки виробництва (ТПВ). Складовою ТПВ є вирішення задач вибору інструментального забезпечення оброблення деталей зі значною кількістю отворів, що суттєво впливає на ефективність технології виготовлення.

Задача вибору інструментального забезпечення на етапі ТПВ сьогодні стає все більш актуальною у зв'язку з розширенням номенклатури різального інструменту різних виробників та неповною формалізацією задачі його призначення [1]. Оптимізація цієї задачі за критерієм найнижчої собівартості виробу є складною задачею, що пов'язана з такими факторами, як відсутність у САПР ТП засобів автоматизації вибору інструментального забезпечення з врахуванням особливостей конструкції виробу та експлуатаційних можливостей самого інструменту; необхідність методів економічної оцінки використання інструментального забезпечення в процесі механічного оброблення [2].

В зв'язку з цими проблемами перспективним шляхом зниження собівартості виготовлення деталі є призначення оптимальних методів оброблення та інструментального забезпечення на основі автоматизованої декомпозиції виробу на множину елементарних оброблюваних поверхонь, які утворюють множину конструктивно-технологічних елементів (КТЕ) виробу. Декомпозиція виробу на окремі КТЕ дозволяє формалізувати процес вибору методів оброблення, процес вибору та оптимізації кількості інструментального забезпечення, призначати більш ефективні режими різання відповідно до конкретних умов процесу різання.

Метою даної роботи є розроблення нових підходів до автоматизації синтезу інструментального забезпечення для оброблення деталей зі значною кількістю отворів.

Вирішення цієї задачі базується на аналізі деталі та бази даних інструментального забезпечення, на основі якого синтезується порядок технологічних переходів та матриці можливості оброблення (ММО) елементарних поверхонь відповідним різальним інструментом.

Декомпозиція деталі на елементарні оброблювальні поверхні. Деталі типу «корпус» зазвичай мають велику кількість складних ступінчастих отворів. Кожному ступеню отвору можна поставити у відповідність певну типову послідовність технологічних переходів механічного оброблення. Тому першим кроком аналізу деталі, що виготовляється, повинна бути декомпозиція деталі на сукупність оброблюваних на даній технологічній операції поверхонь (рис. 1). Широкі можливості для автоматизованого виділення оброблюваних поверхонь або конструктивно-технологічних елементів деталі відкриває аналіз сучасних форматів обміну 3D даними, зокрема формат STEP AP 224, специфікація якого дозволяє передавати в САПР систему не тільки геометричні, але і технологічні параметри поверхонь деталі [3].

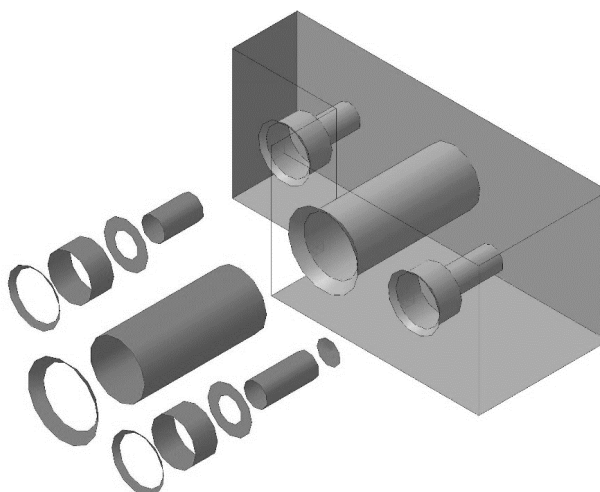


Рис. 1. Декомпозиція виробу на оброблювані поверхні

Кожна елементарна поверхня повинна бути віднесена до певного типу, який можна визначити спираючись на класифікація поверхонь отворів з точки зору їх геометричних та конструктивних ознак, що має такий вигляд (рис. 2):

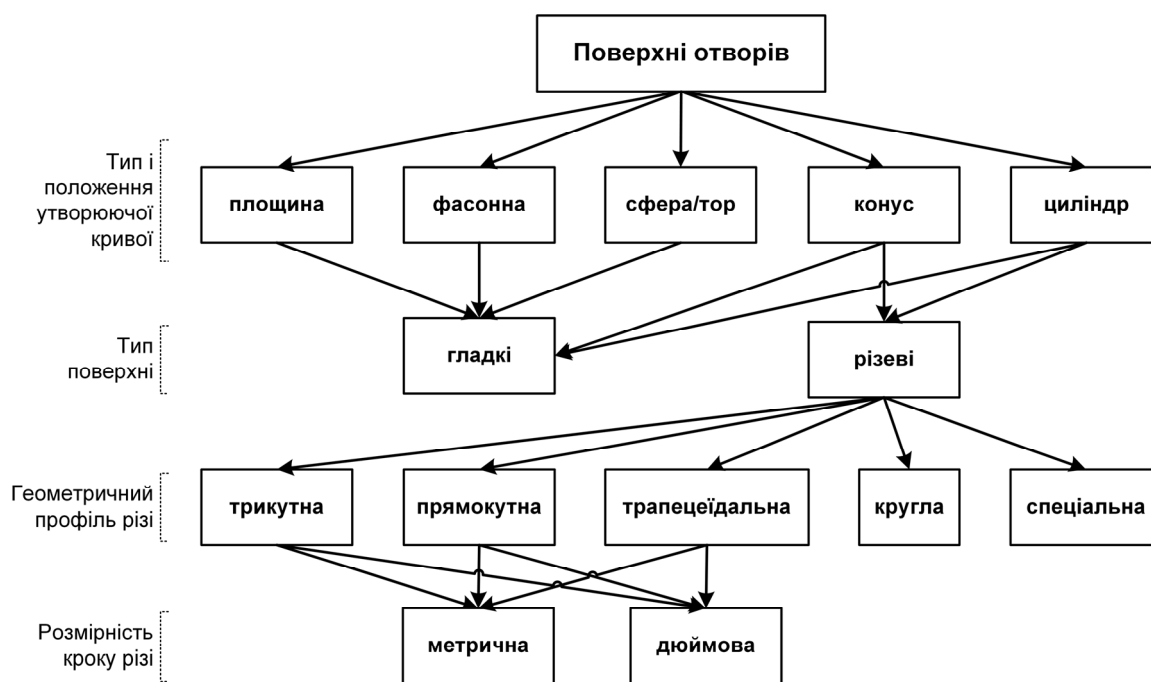


Рис. 2. Класифікація поверхонь отворів

Внутрішні елементарні поверхні обертання можна розділити по декільком класифікаційним ознакам. Перша ознака – геометрична: вид і положення утворюючої кривої, в залежності від яких поверхні бувають: площина (обертання прямої навколо осі, пряма перпендикулярна осі), циліндричні (обертання прямої навколо осі, пряма паралельна осі), конічні (обертання прямої навколо осі, пряма перетинає вісь), сферичні/торові (обертання дуги кола навколо осі, центр дуги знаходиться або на осі, або на відстані від неї), фасонні (обертання довільної кривої навколо осі). Друга ознака – конструктивна: гладкі або різеві поверхні. Різеві поверхні по третій ознаці – геометричному профілю різі – бувають з трикутним профілем, прямокутним, круглим, трапецеїдальним або спеціальним. Четверта ознака визначає способів вимірювання кроку різі: метричні та дюймові різі.

Формалізований опис елементарних поверхонь деталі. В результаті декомпозиції елементарних поверхонь деталі створюються параметричні моделі отворів та ступінчастих отворів необхідні як вхідні дані для синтезу звичайного та комбінованого інструментального забезпечення. Ця модель описується підмножиною оброблюваних поверхонь, що складають КТЕ. У формалізованому вигляді, ступінчастий отвір

можна представити у вигляді множини елементарних поверхонь, кожна з яких описується геометричними та технологічними параметрами:

$$O = \langle S_{P1}, \dots, S_{Pi} \rangle, \quad (1)$$

$$S_p = \langle IdFeature, TypeSurface, DHole, LHole, LineAngle, LineRadius, TypeThread, StepThread, ItHole, THole, TdHole, TaHole, TpHole, TypeRough, ValueRough, ValueH \rangle \quad (2)$$

де S_{p_i} – елементарні поверхні, з яких складається отвір, а $IdFeature$ – номер поверхні, $TypeSurface$ – тип поверхні та інші, детальний опис яких представлений у таблиці 1.

Таблиця 1

Опис параметрів опису поверхонь отвору

Позначення	Опис параметру
IdFeature	унікальний номер елементарної поверхні даного КТЕ / посилання на вже існуючу описану поверхню виробу ($IdFeature=01,02,03\dots N$)
TypeSurface	тип елементарної поверхні ($TypeSurface=PLT$ – торцева, CYL – циліндрична, CON – конічна, SPH – сферична, TOR – тороїдальна)
DHole	діаметральний розмір поверхні, максимальний ($DHole>0$)
LHole	лінійний розмір: довжина проєкції утворюючої кривої на вісь отвору ($Lhole>0$ для циліндричної, конічної, сферичної та тороїдальної поверхні, $Lhole=0$ для торцевої)
LineAngle	кут нахилу утворюючої кривої до осі отвору ($LineAngle=0$ для циліндричної поверхні, $0>LineAngle<90$ для конічної і $LineAngle=90$ для торцевої)
LineRadius	радіус утворюючої кривої ($LineRadius=0$ для торцевої поверхні, $LineRadius>0$ сферичної та тороїдальної поверхні, $LineRadius=999^{999}$ для циліндричної та конічної поверхні)
TypeThread	тип різі ($TypeThread =0$ – різь відсутня, $TypeThread =M$ для метричної, MJ для метричної циліндричної, MK для метричної конічної, G для трубної циліндричної, R для трубної конічної, Kp для круглої, Tr для трапецеїдальної, S для упорної, $S45$ для упорної підсиленої, BSF для дюймової, UTS для дюймової циліндричної, NPT для дюймової конічної)
StepThread	крок різі ($Step_Thread>0$)
ItHole	квалітет точності поверхні ($ItHole=04,05\dots14$ для механічного оброблення, якщо квалітет точності не регламентується, то $ItHole=14$)
THole	допуск лінійного розміру поверхні ($THole>0$, якщо допуск не регламентується, то $THole=0$)
TdHole	допуск діаметрального розміру поверхні ($TdHole>0$, якщо допуск не регламентується, то $TdHole=0$)
TaHole	допуск форми поверхні ($TaHole>0$, якщо допуск не регламентується, то $TaHole=0$)
TpHole	допуск розташування поверхні ($TpHole>0$, якщо допуск не регламентується, то $TpHole=0$)
TypeRough	тип параметру шорсткості поверхні ($TypeRough=Ra$ або Rz)
ValueRough	значення параметру шорсткості поверхні ($ValueRough>0$)
ValueH	глибина деформованого шару поверхні ($ValueH>0$)

Наприклад, ідентифікацію наскрізного чи глухого отвору можна провести за допомогою логічного правила, що враховує тип 1-ої елементарної поверхні та її геометричні параметри:

```
IF IdFeature="1"
  AND (TypeSurface="PLT")
  OR (TypeSurface="CON" AND LHole="DHole"*cos(90 - "LineAngle"))
  OR (TypeSurface="SPH" AND "LineRadius"="Dhole / 2")
THEN AttribHoleClosed="1" /отвір глухий/
```

Враховуючи технологічну послідовність оброблення отворів в машинобудуванні для досягнення необхідних параметрів якості елементарної оброблюваної поверхні можуть бути використані різні варіанти технологічного маршруту (пріоритет – кількість технологічних переходів), які можуть описуватись за допомогою послідовності оброблення поверхні:

$$TP = \langle P, S, RS, Zr1, Zr2, Zr3, R1, R2, R3, M, Zn1, Zn2 \rangle, \quad (3)$$

де P – технологічний перехід центрування, S – свердління, RS – розсвердлювання, $Zr1$ – чорного зенкерування, $Zr2$ – напівчистового зенкерування, $Zr3$ – чистового зенкерування, $R1$ – чорного розвертання, $R2$ – напівчистового розвертання, $R3$ – чистового розвертання, M – нарізання різі, $Zn1$ – зенкування, $Zn2$ – цекування, які приймають значення 1 або 0, відповідно до наявності в технологічному маршруті оброблення. Синтезувати варіант послідовності технологічних переходів оброблення отвору можливо на основі матриці, зображеної на рис. 3 (для отворів діаметром 4-40 мм).

Рівні якості поверхні																			
№	Ra, мкм	IT																	
1	80 – 40	13	1																
2	40 – 20	12	0	1	1														
3	20 – 10	11	0	0	0	1	1												
4	10 – 5	10	0	0	0	0	0	1	1										
5	5	9	0	0	0	0	0	0	0	1	1								
6	2.5	8-9	0					0	0	0	0	1	1	1					
7	1.25	7-8	0					0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		
8	0.6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Технологічний перехід			Варіанти технологічного маршруту оброблення отвору (Рівень якості.Пріоритет)																
			1.1	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2	7.3	8.1	
Свердління	S		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Зенкерування 1	Zr2		0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
Зенкерування 2	Zr3		0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
Розвертання 1	R1		0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
Розвертання 2	R2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Розвертання 3	R3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 3. Матриця досягнення рівня якості оброблення

Вхідними даними для синтезу варіанту технологічного маршруту оброблення отвору є необхідний рівень якості поверхні, який встановлює необхідність тих чи інших технологічних переходів. При чому оптимальним буде процес який забезпечую мінімальну необхідну якість поверхні – тобто знаходиться на межі зон, де якість або не досягається, або уже вища ніж це необхідно, що створить додаткові витрати.

Формалізований опис інструментального забезпечення. Для формалізованого вибору інструментального забезпечення, кожне інструментальне рішення має бути описане параметрами, які описують його визначальні характеристики:

$$T = \langle IdTool, TypeTool, TypeMachSurf, DTool, DNTool, LCutTool, ChamAngTool, ChamLTool, ChamRadTool, TTypeThread, TStepThread, MaxItTool, TdTool, ValueRoughTool, NPilotHole \rangle \quad (4)$$

де, а $IdTool$ – унікальний номер синтезованого інструменту, $TypeTool$ – тип інструменту та інші, детальний опис яких представлений у таблиці 2.

Таблиця 2

Опис параметрів інструментального забезпечення

Позначення	Опис параметру
<i>IdTool</i>	унікальний номер синтезованого інструменту ($IdTool=01,02,03\dots N$)
<i>TypeTool</i>	тип інструменту ($TypeTool=P$ центрове свердло, S – свердло, $Zr1$ – чорновий зенкер, $Zr2$ – напівчистовий зенкер, $Zr3$ – чистовий зенкер, $R1$ – чорнова розвертка, $R2$ – напівчистова розвертка, $R3$ – чистова розвертка, M – мітчик, $Zn1$ – зенківка, $Zn2$ – цеківка)
<i>TypeMachSurf</i>	тип оброблюваної поверхні ($TypeMachSurf=PLT$ – торцева, CYL – циліндрична, CON – конічна, SPH – сферична, TOR – тороїдальна)
<i>DTool</i>	діаметр інструменту, максимальний ($DTool>0$)

Опис параметрів інструментального забезпечення

<i>DNTool</i>	діаметр направляючої частини інструменту ($DNTool \geq 0$)
<i>LCutTool</i>	довжина різальної частини інструменту ($LCutTool > 0$)
<i>ChamAngTool</i>	кут фаски інструменту ($ChamAngTool \geq 0$ для свердла, зенкера, розвертки, мітчика, зенківки, $ChamAngTool = 0$ для цеківки)
<i>ChamLTool</i>	довжина фаски інструменту ($ChamLTool \geq 0$)
<i>ChamRadTool</i>	радіус фаски інструменту ($ChamRadTool \geq 0$)
<i>TTypeThread</i>	тип різі, яка нарізується інструментом ($TTypeThread = 0$ – неможливо нарізати різь даним інструментом, $TTypeThread = M$ можливе нарізання метричної, MJ метричної циліндричної, MK метричної конічної, G трубної циліндричної, R трубної конічної, Kp круглої, Tr трапецеїдальної, S упорної, $S45$ упорної підсиленої, BSF дюймової, UTS дюймової циліндричної, NPT дюймової конічної)
<i>MaxItTool</i>	максимальний квалітет точності оброблення, який досягається інструментом ($MaxItTool = 04,05 \dots 14$ для механічного оброблення, якщо не регламентується, то $MaxItTool =$ значенню для тотожної технологічної операції)
<i>TdTool</i>	допуск діаметрального розміру інструменту ($TdTool > 0$, якщо допуск не регламентується, то $TdTool = 0$)
<i>ValueRoughTool</i>	значення параметру шорсткості поверхні, що забезпечується інструментом ($ValueRoughTool \geq 0$)
<i>NPilotHole</i>	необхідність попереднього отвору (0 – ні, 1 – так, $NPilotHole = 0$ для свердла, $NPilotHole = 1$ для зенкера, розвертки, мітчика, зенківки та цеківки)

Синтез множини ІЗ та матриць можливості оброблення поверхонь деталі. Синтез множини інструментального забезпечення оброблення елементарної поверхні можна провести за допомогою логічних правил на основі порівняння геометричних та технологічних атрибутів поверхні та атрибутів різального інструменту враховуючи синтезований порядок технологічних переходів. Фрагмент таких правил представлений нижче:

```

FOR IdSurface="1" TO IdSurface="N"
IF Quality.Level="1" AND Process.Priority="1" THEN
  T=[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
  ToolId=1 AND TypeTool="S"
  IF TypeMachSurf=TypeSurface AND DTool=DHole AND LHole<LCutTool AND
  MaxItTool<=ItHole AND ValueRoughTool<=ValueRoughHole
  THEN Tool.Current="1" //інструмент можна використати
ELSE IF Quality.Level="2" AND Process.Priority="2" THEN
  T=[0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0]
  // TypeTool="S"
  FOR IdTool="1" TO IdTool="T"
  IF TypeTool="S" AND TypeMachSurf=TypeSurface AND DTool<DHole AND
  LHole<LCutTool AND MaxItTool<=ItHole AND ValueRoughTool<=ValueRough
  THEN Tool.Current="1" // інструмент можна використати
  // TypeTool="Zr1"
  FOR IdTool="1" TO IdTool="T"
  IF TypeTool="Zr1" TypeMachSurf=TypeSurface AND DTool=DHole AND
  LHole<LCutTool AND MaxItTool<=ItHole AND ValueRoughTool<=ValueRough
  THEN Tool.Current="1" // інструмент можна використати

```

Використання таких правил дозволяє синтезувати всю множину інструментального забезпечення, що задовольняє умови оброблення даного отвору чи окремої елементарної поверхні та формує набір даних про ІЗ для наступного синтезу рішення з мінімальною вартістю оброблення.

Висновки. Формалізований опис елементарних оброблюваних поверхонь та різального інструменту дозволяє синтезувати всю множину рішень інструментального забезпечення оброблення отворів та аналізувати їх для отримання найбільш ефективного варіанту технологічного процесу, що дозволить аналізувати та знижувати витрати на виготовлення виробу на етапі технологічного проектування.

Аннотация. В статье рассмотрен способ синтеза инструментального обеспечения для обработки деталей с большим количеством отверстий на основе декомпозиции детали на обрабатываемые поверхности. Формализованное описание элементарных обрабатываемых поверхностей и режущего инструмента позволяет синтезировать все множество решений инструментального обеспечения с помощью логических правил и анализировать их для получения наиболее эффективного варианта технологического процесса. Анализ этих решений позволит получить оптимальные затраты на изготовление изделия на этапе технологического проектирования.

Ключевые слова: синтез, декомпозиция, инструментальное обеспечение, обработка отверстий, метод обработки, САПР ТП

Abstract. Purpose. Development of new approaches to the synthesis of cutting tooling for machining of parts with a significant number of the holes.

Design/methodology/approach. Synthesis of the set of cutting tooling for machining of holes based on formalized description of elementary machined surfaces and cutting tools by logical rules. Description of machined surfaces based on the classification of elementary surfaces following main classification criteria: the type and position of creating curve, type surface, profile geometric thread and other geometric and technologic parameters.

Findings. This allows to synthesize the whole set of cutting tools and analyze them for the most effective machining process, and this will analyze and reduce the cost of manufacture of the product at the stage of technological design.

Keywords: synthesis, decomposition, cutting tool, machining of holes, operation sequencing method, CAPP

Бібліографічний список використаної літератури

1. *Филонов И.П.* Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др. – Минск: УП "Технопринт", 2003. – 910 с.
2. *Пасічник В.А.* Інформаційні зв'язки для реалізації САПР інструментального забезпечення машинобудівного виробництва / В.А. Пасічник, В.М. Юхимчук // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія «Машинобудування та транспорт». – №139. – Севастополь. – 2013. – С. 170-175.
3. *Malleswari V.N., Valli P.M., Sarc M. M. M.* Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files / International Journal of Engineering Research & Technology. – Vol.2. – Issue 3. – 2013. – 11 p.

References

1. *Filonov I.P., Kozhuro L.M., Belyaev G.Y.* Proektirovanie tehnologicheskikh protsessov v mashinostroenii (Process Engineering in Mechanical Engineering), Minsk: Tehnoprnt, 2003, 910 p.
2. *Pasichnyk V.A., Yukhymchuk V.M.* Informatsiyani zv'yazky dlya reallzatsiyi SAPR instrumentalnogo zabezpechennya mashinobudivnogo vyrobnystva [Information communication for the implementation of tool management CAPP in engineering production], Journal of the Sevastopol National Technical University – Mechanical Instrumentation and Transport, Sevastopol, 2013, no. 139, pp. 170-175.
3. *Malleswari V.N., Valli P.M., Sarc M.M.* Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files, International Journal of Engineering Research & Technology, 2013, vo 1.2, no. 3, 11 p.

Подана до редакції 10.02.2015