

ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДИНАМІЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

С. Г. Вірченко, аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Для комп'ютерного геометричного моделювання деталей машинобудування запропоновано деякі типові прийоми динамічних побудов, які подано на процесах формоутворення гладких циліндричних отворів. Наведений математичний апарат спирається на метод поліпараметризації та ілюструє сфери його практичного застосування. Окреслено перспективні напрямки проведення подальших досліджень у даному напрямку, що є складовою загальною концепцією структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного геометричного моделювання, розроблюваної науковою школою прикладної геометрії НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

Ключові слова: автоматизація, виробничі процеси, геометричне моделювання, динамічне формоутворення, метод поліпараметризації, об'єкти машинобудування.

Постановка проблеми. До технічної продукції завжди висуваються різноманітні вимоги щодо покращення її якості, тобто підвищення продуктивності, надійності, економічності, екологічності і т. д., та зменшення витрат на проектування, виготовлення й експлуатацію [1]. У наведеній праці також зазначається, що доволі часто дані вимоги мають суперечливий характер. Це обумовлює необхідність проведення для опрацьовуваних об'єктів комплексної (в аспектах багатьох технічних та інших дисциплін) оптимізації, яка становить актуальну науково-технічну проблему.

Ефективними засобами успішного розв'язання окреслених задач на сучасному етапі розвитку суспільства є системи автоматизованого проектування (САПР) [2]. Даний термін відповідає закордонному CAD/CAM/CAE (Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing/ Computer-Aided Engineering). Подана аббревіатура підкреслює інтегрований характер процесів автоматизованого проектування та виробництва різноманітної технічної продукції, зокрема, об'єктів машинобудування.

Відомо, що геометричне моделювання становить одну з фундаментальних складових нинішніх САПР. Звідси випливає важливість подальшого удосконалення відповідних комп'ютерних графічних технологій, на яке і спрямована дана стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Науковою школою прикладної геометрії НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» завжди приділялась особлива увага автоматизації проектування об'єктів машинобудування та процесів їх виготовлення [3-11]. На базі виконаних у співпраці з вітчизняними підприємствами конструкторсько-технологічних робіт запропоновано новий науковий напрямок структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного геометричного моделювання [3-9].

Публікацію [3] присвячено використанню структурно-параметричних моделей у якості основи для комплексної оптимізації літака на стадії ескізного проектування. Працюю [4] досліджують-

ся питання застосування даних моделей як інваріантної складової комп'ютерних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу об'єктів машинобудування. При цьому аналізується приклад раціональної автоматизованої реалізації варіантного виробничого процесу складання лонжерона крила літака, а у статті [5] – механічного оброблення деталі. У публікації [6] на основі накопленого досвіду викладено базові загальні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. Це стосується його визначення, використовуваних принципів (системного підходу, варіантності, оптимальності, відкритості та розвитку, комплексного підходу), етапів розробки та застосування структурно-параметричних геометричних моделей у САПР.

Подальшим розвитком розглянутої теорії є методологія комбінаторно-варіаційного формоутворення [7-8], яка спрямована на високопродуктивну комп'ютерну розробку широкої номенклатури деталей машинобудування на засадах модульної концепції геометричного моделювання, тобто широкого використання універсальних, спеціалізованих (уніфікованих) та комплексних модулів.

Нині наукові пошуки школи прикладної геометрії НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» здійснюються в галузі варіантних динамічних побудов різноманітних геометричних фігур [9] та відповідного комп'ютерного моделювання технічних об'єктів і процесів їх виготовлення [10].

Мета та завдання дослідження полягають у поданні для виробів машинобудування деяких типових прийомів динамічного формоутворення, що базуються на застосуванні методу поліпараметризації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вираз

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u_1, \dots, u_j, p_1, \dots, p_k); \quad (1)$$

$$u_j \in [u_{\min j}, u_{\max j}], \quad j \leq n,$$

визначає в параметричній формі радіус-вектор \mathbf{r} довільної точки фігури в n -вимірному просторі, де n – натуральне число; u_j – парамет-

ри-змінні; p_k – параметри-сталі; j, k – цілі невід’ємні числа.

У формулі (1) параметри-змінні є елементами внутрішньої параметризації фігури, а параметри-сталі – її зовнішньої параметризації.

Одна з головних ідей запропонованого в роботі [9] методу поліпараметризації полягає в застосуванні структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного підходів до областей внутрішнього параметричного визначення ліній, поверхонь і тіл, які подаються відповідно в наступному вигляді

$$r = r(u), \quad (2)$$

$$r = r(u, v), \quad (3)$$

$$r = r(u, v, w), \quad (4)$$

де r – радіус-вектор довільної точки фігури зі значеннями параметрів-змінних $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$, $w \in [0, 1]$.

Використання прийому відокремлення внутрішньої та зовнішньої параметризації сприяє підвищенню ефективності подальшої розробки належного програмного забезпечення САПР, яке реалізує динамічне формоутворення методом

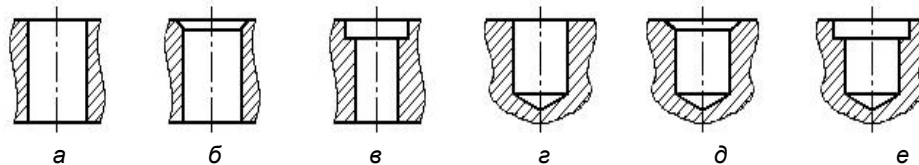


Рис. 1. Отвори циліндричні гладкі:
а – наскрізні; б – наскрізні з фаскою; в – наскрізні з цекуванням;
г – глухі; д – глухі з фаскою; е – глухі з цекуванням

З геометричної точки зору зазначені фігури можна розглядати як певні комбінації прямих кругових циліндрів та конусів (у тому числі і зрізаних), векторні параметричні рівняння яких у декартовій системі координат Охуз на підставі формул (1) ... (4) мають вигляд

$$\mathbf{r}(u, v, w) = \mathbf{r}(x, y, z) = \mathbf{r}\left(\left((1-w)\frac{D}{2} + w\frac{d}{2}\right)v \cos(2\pi u), \left((1-w)\frac{D}{2} + w\frac{d}{2}\right)v \sin(2\pi u), wH\right), \quad (6)$$

де D, d – діаметр більшої та меншої основи зрізаного конуса (для значення $d=0$ маємо незрізаний конус); H – його висота; $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$, $w \in [0, 1]$ – параметри-змінні.

Під час утворення отворів у машинобудівних деталях застосовуються різноманітні технологічні процеси, зокрема, свердлування, зенкування, цекування, зенкерування, протягування і т. д. Використовуваний при цьому різальний інструмент має відповідну назву.

Запропонована в даній статті методика автоматизованого динамічного формоутворення, що базується на методі поліпараметризації геометричних фігур, значною мірою інваріантна до конкретних зазначених оброблювальних процесів різання та застосовуваного інструменту.

Рекомендується наступний порядок її реалізації.

поліпараметризації.

Це досягається тим, що комп’ютерні програмні модулі опрацювання внутрішньої параметризації доволі універсальні внаслідок інваріантного по відношенню до зовнішньої параметризації застосовуваного математичного апарату [9]. Остання, як правило, має спеціалізовані аналітичні описи [10] і тому реалізується відповідними уніфікованими модулями. Унаслідок інтеграції універсальних та уніфікованих модулів отримують комплексні комп’ютерні програмні модулі.

З метою уніфікації створюваного програмного забезпечення у формулах (2) ... (4) для параметрів-змінних використовуються одиничні відрізки. З топологічної точки зору дані вирази є відповідно відображенням, наприклад у тривимірному просторі, вихідного одиничного прямолінійного відрізка, плоского квадрата та куба.

На рис. 1 показано кілька видів отворів, які є типовими конструктивно-технологічними компонентами для машинобудівних CAD/CAM/CAE систем.

$$\mathbf{r}(u, v, w) = \mathbf{r}(x, y, z) = \mathbf{r}\left(\frac{D}{2}v \cos(2\pi u), \frac{D}{2}v \sin(2\pi u), wH\right), \quad (5)$$

де D – діаметр основи циліндра; H – його висота; $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$, $w \in [0, 1]$ – параметри-змінні,

Етап 1. Створення твердотільної моделі використовуваного різального інструмента.

Етап 2. Побудова твердотільної моделі вихідної заготовки.

Етап 3. Динамічне відтворення робочих ходів технологічного процесу.

Проілюструємо наведені етапи на прикладі свердління наскрізного циліндричного отвору (рис. 1, а) за допомогою спірального свердла, яке має вигляд циліндричного стрижня, загостреного на робочому кінці.

Для технологічних цілей будемо застосовувати спрощену геометричну модель свердла як комбінацію циліндра (5) та конуса (6) необхідних розмірів (рис. 2, а). Ця модель окреслює частину простору, яку займає свердло при своєму обертанні під час виробничого процесу.

Вважатимемо, що потрібно зробити

наскрізний циліндричний отвір у листовій заготовці (рис. 2, б).

Динамічне відтворення робочого ходу свердла показано на рис. 2, в ... є, а отриманий отвір – на рис. 2, ж.

Охарактеризуємо поданий виробничий процес із геометричної точки зору, зокрема, концепції методу поліпараметризації.

Подане на рис. 2, в зображення можна вважати завершенням допоміжного ходу, який полягає в підведенні інструмента до заготовки,

тобто необхідного його паралельного перенесення, повороту тощо. Належні матричні параметричні формули для здійснення зазначених перетворень загальновідомі. Ці ж перетворення використовуються і для показу руху різання неспроценої твердотільної комп'ютерної конструкторської моделі свердла, для якої розглянута технологічна модель є лише доповненням. Рух різання для даного інструмента має обертальну складову та поступальну подачу.

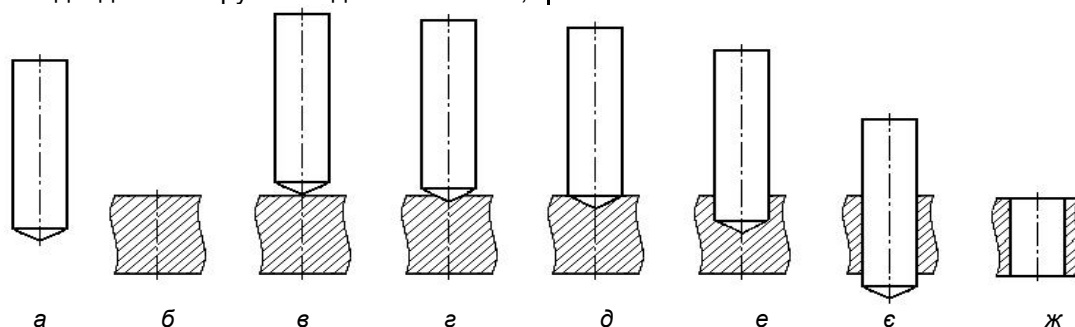


Рис. 2. Динамічне формоутворення отвору:

а – технологічна модель свердла; б – фрагмент заготовки; в – початок робочого ходу;

г ... е – робочий хід; є – завершення робочого ходу; ж – циліндричний отвір

Під час робочого ходу внаслідок подачі свердло переміщується і врізається в заготовку. З геометричної точки це означає булеву операцію віднімання від заготовки належної поступово збільшуваної частини свердла. Для моделювання останньої методом поліпараметризації можна застосувати спосіб неперервного однонаправленого формоутворення зі сталими або змінними ділянками параметризації [9].

З метою підвищення обчислювальної продуктивності варто виконувати розглянуті булеві операції не з початковою заготовкою, а з її геометрією, яка отримана на попередньому кроці динамічного моделювання.

За аналогією з викладеним вище порядком моделюються й інші технологічні процеси оброблення отворів, такі як зенкування, цекування, зенкерування, протягування тощо.

Таким чином, запропоновані типові прийоми динамічного відтворення зазначених виробничих процесів у системах CAD/CAM/CAE зводять-

ся до побудови спочатку комп'ютерних твердотільних моделей використовуваного різального інструменту та вихідних заготовок, а потім до реалізації потрібного руху інструменту та застосування додаткових технологічних моделей, які характеризують дані оброблювальні процеси.

Як наслідок описаної послідовності дій отримуємо комп'ютерні динамічні процеси виготовлення певної номенклатури деталей.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована методика та типові прийоми для автоматизації динамічного формоутворення деталей машинобудування мають універсальний характер і тому пристосовані для використання в середовищі сучасних САПР. Перспективними напрямками проведення подальших наукових досліджень у даній сфері можна вважати опрацювання інших, ніж отвори, конструктивних елементів деталей машинобудування та технологічних процесів їх виготовлення.

Список використаної літератури:

1. Ванін В.В. Комп'ютерне геометричне моделювання як інтегруюча основа автоматизованого проектування об'єктів машинобудування / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.О. Голова, Г.М. Смаковська // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць Мелітопольського держ. педагогічного університету. – Вип. 2. – Мелітополь: МДПУ, 2014. – С. 22-25.
2. Ванін В.В. Автоматизоване варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів / В.В. Ванін, Г.І. Вірченко, О.М. Гумен // Науковий вісник Мелітопольського держ. педагогічного університету. Серія: Математика. Геометрія. Інформатика: наук.-метод. зб. – Т. 1. – Мелітополь: МДПУ, 2014. – С. 41-44.
3. Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як основа для узгодженої розробки літака на стадії ескізного проектування / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, І.В. Ванін // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – №4. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – С. 35-41.
4. Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як інваріантна складова комп'ютерних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу виробів машинобудування / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, В.В. Ванін // Праці Таврійської. держ. агротехнічної академії. – Вип. 4. Прикладна

геометрія та інженерна графіка. – Т. 36. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 16-21.

5. *Вірченко Г.А.* Інтегровані структурно-параметричні геометричні моделі виробів машинобудування / Г.А. Вірченко, В.Г. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Вип. 27. – Харків: ХДУХТ, 2010. – С. 87-92.

6. *Ванін В.В.* Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.

7. *Вірченко В.Г.* Твердотільне геометричне комп'ютерне моделювання об'єктів машинобудування на засадах комбінаторно-варіаційного підходу / В.Г. Вірченко // Праці Таврійського держ. агротехнологічного університету. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 54. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 27-31.

8. *Камаєв Ю.М.* Автоматизоване комбінаторно-варіаційне геометричне моделювання деталей машинобудування в системі SolidWorks / Ю.М. Камаєв, В.Г. Вірченко, С.Г. Вірченко // Праці Таврійського держ. агротехнологічного університету. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 55. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 99-103.

9. *Ванін В.В.* Варіантне моделювання геометричних об'єктів методом поліпараметризації / В.В. Ванін, Г.І. Вірченко, С.Г. Вірченко // Проблеми інформаційних технологій. – №02(016) грудень 2014. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 76-79.

10. *Ванін В.В.* Деякі перспективи подальшого розвитку параметричного опису геометричних фігур / В.В. Ванін, Г.І. Вірченко, С.Г. Вірченко // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Вип. 5. – Мелітополь: МДПУ, 2016. – С. 9-13.

11. *Вірченко С.Г.* Деякі питання автоматизації геометричного моделювання об'єктів машинобудування / С.Г. Вірченко // Праці Таврійського держ. агротехнологічного університету. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 52. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 176-179.

Вірченко С.Г. К вопросу автоматизированного динамического формообразования объектов машиностроения.

Для компьютерного геометрического моделирования деталей машиностроения предложены некоторые типовые приемы динамических построений, которые представлены на процессах формообразования гладких цилиндрических отверстий. Приведенный математический аппарат основывается на методе полипараметризации и является иллюстрацией сфер его практического применения. Очерчены перспективные направления проведения дальнейших исследований в данной сфере, которые являются составной частью общей концепции структурно-параметрического и комбинаторно-вариационного геометрического моделирования, разрабатываемой научной школой прикладной геометрии НТУУ «КПИ им. И. Сикорского».

Ключевые слова: автоматизация, геометрическое моделирование, динамическое формообразование, метод полипараметризации, объекты машиностроения, производственные процессы.

Virchenko S. To the question of automated dynamic shaping of machine industry objects.

The paper discusses some aspects of dynamic geometric modeling of technical objects with using for this purpose of computer information technologies. The successful solution of these issues enables to automate many different manufacturing processes.

The offered approach is based on the methodology of structural-parametric and combinatorial-variational geometric modeling, which is proposed by the scientific school of applied geometry National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". The dynamic shaping of machine industry objects is a perspective direction for further development of this methodology.

The considered techniques are based on the polyparameterization method. This method provides the dynamic shaping of various geometric figures, such as points, lines, surfaces and bodies. The indicated simulation techniques are suitable for implementation by means of modern computer information technologies.

The variant computer dynamic shaping enables to simulate many manufacturing processes of technical objects. This applies to turning, milling, drilling, welding, soldering etc. The variant dynamic formation is a component of structural-parametric and combinatorial-variational geometric models. Therefore, computer modeling of specified processes implements complex optimization of technical objects.

Examples of dynamic shaping of various cylindrical holes were analyzed. These objects are the typical elements of many different machine parts. Fixing elements and indicated holes connect the individual parts in the assembly units of engineering products. Therefore, they are very important to ensure the quality of various technical objects.

The promising directions for further scientific researches in the area of dynamic shaping of different technical objects are outlined in this article. The successful solution of these tasks provides the automation of many production processes. The proposed approach improves the possibilities of geometric modeling modern CAD/CAM/CAE (Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing/ Computer-Aided Engi-

neering) systems.

Keywords: automation, dynamic shaping, geometric modeling, machine industry objects, manufacturing processes, polyparameterization method.

Стаття надійшла в редакцію: 17.09.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Гецович Є.М.

УДК 621.9.048

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В. Б. Тарельник, д.т.н., проф.

Т. П. Волошко, ст.преподаватель

И. Е. Волошин, аспирант,

Сумский национальный аграрный университет

Дан анализ одной из наиболее важных и актуальных проблем в машиностроении – повышения надежности тяжело нагруженных деталей в прессовых соединениях. Установлено, что наиболее характерными случаями отказов работы прессовых и прессово-шпоночных соединений являются фреттинг-усталостные повреждения и поломки вследствие усталости.

Анализ литературных источников показывает отсутствие единого механизма защиты от фреттинг-коррозии. Установлено, что фреттинг-коррозию деталей можно уменьшить или полностью исключить, изменяя качественные параметры их поверхностных слоев, например, нанесением коррозионно-стойких защитных покрытий требуемой твердости, толщины и коэффициента трения, прочно соединенных с основой детали и не снижающих их усталостную прочность.

Предложен новый способ повышения усталостной прочности валов в прессовых соединениях. Способ осуществляется в защитной среде аргона путем формирования методом электроэрозионного легирования на внутренней поверхности ступицы, у ее торца, кольцеобразного покрытия из меди или оловянной бронзы.

Ключевые слова: прессовое соединение, фреттинг-коррозия, прочность, аргон, покрытие

Постановка проблемы. Проблема повышения надежности тяжело нагруженных деталей является одной из наиболее важных и актуальных в машиностроении.

Наиболее характерными случаями отказов работы прессовых и прессово-шпоночных соединений являются нарушение прочности сопряжения, фреттинг-усталостные повреждения и поломки вследствие усталости. Поэтому повышение работоспособности этих соединений является одной из важнейших задач в обеспечении надежности и долговечности деталей машин.

Фреттинг-коррозия наблюдается при различных прессовых посадках на вращающихся валах, в местах посадки лопаток турбин, в шлицевых, шпоночных, болтовых и заклепочных соединениях.

Наиболее перспективно решение этой проблемы за счет привлечения технологических методов, создания благоприятной технологической наследственности, обеспечения параметров качества поверхностного слоя на уровне, соответствующем максимальному повышению требуемой совокупности эксплуатационных свойств.

Анализ последних исследований и публикаций. Неподвижные соединения сопряженных деталей характеризуются невозможностью их взаимного перемещения, которая обеспечивается натягом. Прочность соединения определяется посадкой и качеством точности. Неподвижные соединения могут быть выполнены по прессовым посадкам (гарантированный натяг) или переходным посадкам (натяг или зазор).

Сборка неподвижных поверхностей может осуществляться запрессовкой вала в отверстие, нагреванием детали, которая имеет отверстие и охватывается или охлаждением вала [1].

Особенность прессовых соединений состоит в том, что детали этих соединений еще до приложения рабочих нагрузок находятся в напряженном состоянии, вызванном наличием натяга на посадочных поверхностях. Суммирование рабочих напряжений и напряжений от натяга может привести к их значительной концентрации в отдельных местах сопряжения. Снижение предела выносливости вала в подступичной части происходит под торцами ступицы в результате концентрации напряжения и процесса фреттинг-усталости.

Изнашивание при фреттинг-коррозии возникает при малых колебательных, циклических, возвратно-поступательных перемещениях с малыми амплитудами.

В результате фреттинг-коррозии снижается усталостная прочность деталей, что может явиться причиной серьезных аварий.

На рис. 1 показаны внутренние поверхности защитной втулки (а) и шейки вала ротора воздушного компрессора 101JT, пораженные фреттинг-коррозией. В результате фреттинг-коррозии в районе шпоночного паза зародилась усталостная трещина (рис. 1, в) которая впоследствии развилась до 180° (рис. 1, г). Благодаря своевременной вибродиагностике авария была предотвращена.

Анализ результатов эксплуатации состав-