

- Сиов Б.Н. Истечение жидкости через насадки. М.: Машиностроение, 1968. – 139 с.
11. Арзуманов Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. М.: Энергия, 1978. – 304 с.

Силин Р.И., Гордеев А.И., Савицкий Ю.В. Оборудование и технология очищения облоя из пластмассовых деталей. В работе предложена технология и конструкция оборудования для снятия облоя в емкости пульсирующей струей жидкости, приводится расчет конструктивной формы насадки. Оборудование повышает производительности и условий работы.	Silin R.I., Gordeev A.I., Savitski Y.V. Equipment and technology of the fin rectification at plastic details. In work the technology and construction of the equipment for the fin rectification in the octave by impuls stream, the model of the nozzle constructive form is offered. This equipment increase productivity and work conditions.
---	---

*Надійшла до редакції
23 квітня 2003 року*

УДК 621.9:658.512

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Філіппова М.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

В роботі розглядаються питання створення математичної моделі виробу з метою автоматизації технології механоскладальних робіт. При цьому розглядаються функціональні зв'язки між параметрами конструкції і порядком створення виробу.

Вступ

Швидкість проектування технологічних процесів складання з визначеною якістю залежить від ефективності використання ЕОМ. Рациональне використання ЕОМ залежить від можливості формального опису технологічного процесу складання. Для цього необхідно виявлення закономірностей при здійсненні технологічних процесів складання, розробка методів їх математичного опису та моделювання. Використання ЕОМ передбачає використання прогресивних методів складання. Їх розвиток здійснюється по наступним головним напрямкам: підвищення рівня автоматизації складальних робіт; використання прогресивних методів при виконанні складальних операцій; покращення якості складаних виробів; використання ЕОМ та програмного керування в системах автоматизованого керування складальним виробництвом.

Можливість автоматизованого проектування технологічних процесів приладобудування визначається в першу чергу рівнем наукових основ його технології, математичних методів, а також техніки програмування. Від того, які технологічні основи закладені при проектуванні, від їх практичної та наукової цінності залежить ступінь придатності розробленого технологічного процесу, якій визначає якість виробу. Не дивлячись на існуючі великі наукові та прак-

тичні досягнення в технології приладобудування та машинобудування, проектування технологічних процесів проводять, як правило, традиційними методами, які розраховані на використання опиту та інтуїції технолога та довідково-нормативних матеріалів. Методика проектування носить характер рекомендацій зі складними логічними взаємозв'язками, по яким досить складно встановити якісь закономірності.

Технологія має справу з великою кількістю можливих технологічних рішень, при цьому він не має необхідні кількісні залежності, щоб встановити направлення пошуку. Розв'язок цієї задачі особливо ускладнюється невизначеним характером залежностей, що визначають зв'язки математичних моделей [1, 2, 3].

Головною проблемою технології приладобудування як науки є вивчення закономірностей створення технологічних процесів, визначення найбільш ефективних параметрів підвищення якості виробів та інтенсифікації виробництва. Визначення технологічних залежностей течії процесів складання та їх оптимізації займає важливе місце у розвитку наукових основ технології приладобудування. Проектування технологічних процесів за рахунок математичного моделювання є придатним для підвищення якості складання приладів

З вище наведеного можна зробити висновок про необхідність підвищення в сучасних умовах ефективності приладобудівного виробництва за рахунок скорочення всіх життєвих етапів приладу, зниження його собівартості, що є головними вимогами до технологічної підготовки виробництва (ТПВ) виробу, яка забезпечує основні технологічні процеси його створення. Підвищення рівня технологічної підготовки виробництва потребує використання нових інформаційних технологій, систем управління проектуванням ТПВ та інтегрованих інформаційних систем, які дозволяють в стислі терміни створювати інформаційний простір для отримання необхідних даних для приладобудівного виробництва, тобто автоматизації проектування технологічних процесів. При автоматизованому проектуванні технології механоскладальних робіт, в першу чергу, необхідно розробити формалізовану модель складальної одиниці, яка входить до виробничої системи, математичну модель технологічного процесу складання.

Математичне моделювання об'єкту та технології проектування

При математичному моделюванні виробнича система механоскладального виробництва розглядається у двох аспектах: як система матеріальних об'єктів, і як система технологічних операторів, які характеризують процеси виробництва. Технологічний оператор τ_k характеризує частину технологічного процесу T_i , при реалізації якого об'єкт виробництва отримує які-небудь задані якості. Склад операторів T_i є частина множини

$$T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_R\}, \quad (1)$$

де R – розмірні зв'язки

операторів всієї виробничої системи. Одному оператору може відповідати етап технологічного процесу, група операцій, окрема операція, перехід та тому подібне. Матеріальні об'єкти виробничої системи створюють множину

$$\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_Q\}, \quad (2)$$

де Q – обмеження можливих переміщень,
а повний склад елементів виробничої системи можна описати множиною $P = T \cup \Pi$. Для встановлення відношень між якостями виробу A і виробничої системи P при рішенні задач технологічного проектування використовується простір контурів F , єдине для всіх елементів виробу і виробничої системи:

$$\left. \begin{aligned} F &= \{F_1, F_2, \dots, F_N\} \\ \forall F(A_k), F(P)(F(A_k)), F(P) &\subseteq F \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де N, k – кількість контурів та деталей відповідно.

Бінарні відношення між елементами виробничої системи P можна описати булевими матрицями $[P \times P]$, кожен з яких можна представити як блочну матрицю

$$[P \times P] = [(T, \Pi) \times (T, \Pi)] = \begin{bmatrix} [T \times T] & [T \times \Pi] \\ [\Pi \times T] & [\Pi \times \Pi] \end{bmatrix} \quad (4)$$

Блоки $[T \times T]$ та $[\Pi \times \Pi]$ описують бінарні відношення між елементами однієї множини T або Π , наприклад взаємодію технологічних операторів по можливій черзі їх реалізації або наявності спряжень між елементами конструкції пристрою. Матриця $[T \times T]$ може розглядатися, як матриця суміжності вершин графу $G = (T, C)$, матриця $[\Pi \times \Pi]$ – як матриця суміжності вершин графу $G = (\Pi, C)$. Блоки $[T \times T]$ та $[\Pi \times \Pi]$ описують бінарні відношення між елементами множин: $\tau_i \in T$ і $\pi_j \in \Pi$ або навпаки.

Склад контурів $F(\tau_k)$ технологічних операторів τ_k описують за допомогою булевої матриці

$$\|c_{i(j)}\|_{T, F(T)} = [T \times F(T)]. \quad (5)$$

Бінарні відношення між контурами операторів описують булевими матрицями виду [1]

$$\|c_{i(j)}\|_{T, F(T)} = [F(T) \times F(T)], \quad (6)$$

або у вигляді графу

$$G = (F(T), C) \quad (7)$$

При сумісному описі виробу та виробничої системи вони характеризуються одними і тим самими контурами. Взаємодія між контурами $F(A)$ та дійсними якостями виробничої системи описують булевою матрицею

$$\|c_{i(j)}\|_{F(A), F(T)} = [F(A) \times F(P)], \quad (8)$$

де $c_{i(j)} = 1$, якщо контур $F_j(P)$ взаємодіє на реалізацію контуру $F_i(A)$ у процесі виробництва.

Припустимо, що основними видами математичних моделей є моделі $S(A)$ виробів та моделі $S(P)$ виробничої системи; останні розділяються на моделі $S(T)$ технологічних операторів, які моделюють зміст технологічного процесу, і моделі $S(P)$ оснащення виробництва (моделі обладнання, пристроїв та такого

іншого). Ефективність автоматизованого проектування залежить перш за все від якостей структурно-логічних моделей, тому, що вони відбивають такі якості виробничої системи, як рівень уніфікації та типізації її елементів, можливі варіанти технологічних процесів, обладнання, інструменту та таке інше. Класи моделей $S(T)$, $S(P)$, $S(\Pi)$ відповідають булевим матрицям виду

$$[S^0 \times F(S^0)] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

яка залежить від складу контурів, тобто модель може містити один єдиний об'єкт, або різні варіанти об'єкту з однаковою кількістю, але різним складом елементів, або варіанти об'єкту, що відрізняються і кількістю і складом вихідних елементів.

Класи впорядкованих моделей $S_i(A)$ визначаються рядками булевої матриці

$$[S \times F(S)] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Табличні, мереживі та інші моделі при технологічному проектуванні використовують для одержання проектних рішень різного рівня уніфікації.

Модель $S_i(T)$ технологічних операторів може бути використана для проектування технологічного процесу виготовлення виробу A_i тільки при виконанні наступних умов:

$$F(A_i) \subseteq F(T) \quad (11)$$

$$R^S(F(A_i)) \subseteq R^L(F(T)) \quad (12)$$

$$R^L(F(T)) \rightarrow R^L(F(A_j)) \quad (13)$$

$$R^N(F(T)) \rightarrow R^N(F(A_j)). \quad (14)$$

Властивості виробу A_j можуть по-різному об'єднуватись у контури $F_i(A_j)$, в залежності від чого і відношення

$$F_j(A) = \bigwedge_{k=1}^N \left(\bigvee_{i=1}^m F_j(a_i) \right)_k, \quad (15)$$

між ними можуть мати різний вигляд. Тому, якщо в однієї з груп виробів, процеси виготовлення яких треба проектувати по одній моделі $S_i(T)$, логічні відношення описуються різними функціями, то їх необхідно привести до одного виду, шляхом перерозподілу складу властивостей, які описують контури $F(A)$ [2]. Тобто одна і та сама сукупність виробів може мати, в залежності від засобу групування їх контурів, різні форми відношень виду

$$F(A) = R_r^L(F_1, F_2, \dots, F_m). \quad (16)$$

Типові відношення встановлюються і для контурів виробничої системи. Якщо кожний оператор $\tau_k \in T$ може бути використано для реалізації любого з контурів F_i або сумісно, або окремо від інших контурів. Якщо контури, які реалізуються розподілені на групи за природою властивостей виробу (наприклад, група з'єднань), то $R^L(F(T))$ має вигляд

$$F(A_k) = \bigvee_{j=1}^N \left(\bigwedge_{i=1}^n F_{k_i} \right)_j, \quad (17)$$

а у загальному вигляді

$$F(A_k) = \left[\bigwedge_{j'=1}^{N'} \left(\bigvee_{i'=1}^{n'} F_{i'} \right) \right]_{j'} \bigvee \left[\bigwedge_{j''=1}^{N''} \left(\bigvee_{i''=1}^{n''} F_{i''} \right) \right]_{j''} \quad (18)$$

Аналогічний вигляд мають типові відношення між контурами кожного технологічного оператора, що відповідає рядкам матриці контурів (2) моделі технологічних операторів.

Відношення виду

$$F_j(A) = R_k^L(F_j(a_1), \dots, F_j(a_n)), \quad (19)$$

між однаковими контурами різних операторів, які відповідають стовпчикам матриці контурів (2), визначають склади операторів, з використанням яких може бути реалізовано контур. Якщо контур F_j може бути реалізовано тільки визначеною сукупністю операторів, то $R^L(F(T))$ має вигляд

$$F_j(A) = \bigwedge_{i=1}^m F_j(a_i). \quad (20)$$

У даному випадку F_j вміщує в собі m контурів більш низького рівня, кожний з яких і реалізується визначеним оператором; варіанти виконання технологічного процесу по контуру F_j у даному випадку відсутні.

Якщо контур F_j може бути реалізовано сукупністю N операторів, але кожен раз лише одним з оператором з кожної групи $k \in N$, то $R^L(F(T))$ має вигляд

$$F(A_k) = \bigwedge_{k=1}^N \left(\bigvee_{i=1}^m F_j(a_i) \right)_k \quad (21)$$

Технологічне проектування здійснюється на основі встановлених відношень між властивостями відношень виробу і виробничої системи. Так стан контурів виробу $F(A)_k$ після дії технологічного оператора τ_k визначається як функція від попереднього стану $F(A)_{k-1}$ контурів виробу і контурів $F(\tau_k)$ оператора, який взаємодіє з контурами виробу. Склад контурів $F(\tau_k)$ оператора визначається властивостями елементів виробничої системи.

Одному оператору τ_k може відповідати один або декілька елементів технологічного процесу (операцій, переходів та тому подібного). Взаємодія $F(\tau_k)$ з $F(A)_{k-1}$ можливе лише у випадку, коли всі ці елементи мають необхідні властивості, які допомагають одержати контур $F_i(A)$ виробу. Ці властивості виробничої системи можна представити у вигляді

$$F_i(\tau_k) = \bigwedge_{j=1}^m \left[F_i(\tau_k)_j \wedge (F_i(\pi_k)_1 \wedge \dots \wedge F_i(\pi_k)_n)_j \right] \quad (22)$$

де $(\tau_k)_j$ – елемент технологічного процесу; $(\pi_k)_j$ – елемент виробничої системи; m – кількість елементів технологічного процесу, які використовуються при реалізації τ_k ; n – кількість елементів виробничої системи, які використовують

при використанні τ_k [4].

При математичному моделюванні технологічного процесу складання виробу у булевом векторному просторі використовуються дві форми представлення властивостей виробу та виробничої системи – диз'юнктивна та кон'юнктивна [3]. При першій формі вхідний стан контуру $F_i(A)$ виробу, який реалізують, представляють у вигляді $F_i(A)=0$, а вихідний (після реалізації) – $F_i(A)=1$. Стан контуру $F_i(\tau_k)$ технологічного оператора, який реалізує контур $F_i(A)$ виробу, визначається за допомогою операції логічного складання контурів $F_i(\tau_k)$ та $F_i(A)$. Матриця контурів виробничої системи у даному випадку має назву диз'юнктивна. Тобто логічні відношення між контурами $F(A)$ всієї групи деталей можна описати функцією

$$F(A_k) = \bigvee_{i=1}^m F_i, \quad (23)$$

відношення $R^L(F(\tau_k))$, відповідають рядкам матриці контурів, яку описують функцією вигляду

$$F(A_k) = \bigvee_{i=1}^m F_i, \quad (24)$$

а $R^L(F_j(T))$ -- функцією вигляду

$$F_j(A) = \bigvee_{j=1}^n F_j(a_i). \quad (25)$$

При диз'юнктивній формі склад контурів виробу після виконання k -ої операції визначається за формулою

$$F(A_k) = F(A)_{k-1} \vee F(\tau_k). \quad (26)$$

Оскільки між контурами $F_i \in F(A)$ існують логічні зв'язки виду

$$F_j(A) = R_k^L(F_{j_1}, \dots, F_{j_{m-1}}) \quad (27)$$

по умовам їх існування, фактичний склад контурів $F(A)_k$, які реалізуються при дії оператора τ_k може бути більшим, чим розрахований за формулою (19). Тому після розрахунку $F(A)_k$ за формулою (19) необхідно визначити контури, які не входять у $F(\tau_k)$, але які реалізуються із-за логічних зв'язків $F(A)$, та включити їх у склад $F(A)_k$.

При кон'юнктивній формі представлення вихідний стан контуру $F_i(A)$, який підлежить реалізації визначається як $F_i(A)=1$; стан контуру $F_i(\tau_k)$ технологічного оператора, який приймає участь у реалізації контуру $F_i(A)$, також визначається як $F_i(\tau_k)=1$. дія технологічного оператора на виріб по контуру F_i , у цьому випадку, визначається за допомогою операції логічного множення контурів. Матриця контурів має назву кон'юнктивної матриці контурів. Логічні відношення між контурами можна описати за допомогою функції

$$F(A_k) = \bigwedge_{i=1}^m F_i. \quad (28)$$

Склад операторів T_i є достатнім для виготовлення виробу A , якщо виконується умова

$$F(A) = F(T_i) \cap F(A) \quad (29)$$

Склад контурів [3], при реалізації яких приймає участь послідовність T_i операторів τ_k визначається за формулою

$$F(T_i) = \bigvee_{k=1}^m F(\tau_k) \quad (30)$$

а декілька послідовностей за формулою

$$F(T_j) = F(T_i) \vee \dots \vee F(T_k) \quad (31)$$

Якщо $F(\tau_k)$, $F(A)_{k-1}$ та $F(A)_k$ представляється, як множина контурів, які дорівнюють одиниці, то склад контурів дорівнює

$$F(A_k) = F(A) \cap F(\tau_k) \quad (32)$$

При цьому склад контурів, у реалізації яких може приймати участь сукупність T_i операторів τ_k визначається за формулою

$$F(T_i) = \bigcup_{k=1}^m F(\tau_k) \quad (33)$$

а декілька операторів за формулою

$$F(A)_k = F(A) \wedge F(\tau_k) \quad (34)$$

Склад операторів достатніх для виготовлення виробу A , якщо виконуються умови

$$F(A) = F(T_i) \cap F(A) \quad (35)$$

або

$$F(A) = F(T_j) \cap F(A) \quad (36)$$

Зміст та взаємозв'язок проектних процедур та проектних операцій при автоматизованому проектуванні технологічних процесів залежить від класу моделі технологічних операторів та виду логічних відношень та зв'язків між контурами виробу та технологічних операторів.

Проектування технологічного процесу по табличній моделі $S_1(T)$ зводиться до пошуку у матриці контурів (5) рядків, які відповідають потрібному складу контурів виробу. Якщо матриця контурів табличної моделі диз'юнктивна, то проектування технологічного процесу T_i здійснюється наступним чином: а) по чергово, починаючи з першого рядка, визначаються оператори τ_k , у яких булевий вектор $F^1(A)_k$, що обчислюється за формулою

$$F^1(A)_k = \bar{F}(A)_{k-1} \wedge F(\tau_k), \quad (37)$$

не дорівнює нулю – кожний такий оператор вноситься у склад технологічного процесу T_i ; б) формування T_i закінчується, якщо виконана умова

$$F(A) = F(T_i) \wedge F(A). \quad (38)$$

Якщо матриця контурів кон'юнктивна, то проектування технологічного процесу здійснюється наступним чином: а) по чергово, починаючи з першої строки, визначаються оператори τ_k , у яких булевий вектор $F(A)_k$, що розраховується за формулою (34), не дорівнює нулю – кожен такий оператор включають у склад технологічного процесу T_i ; б) формування T_i закінчується коли розглянуті всі

строки матриці контурів та виконана умова (38).

Табличні моделі, які розрізняються видом логічних відношень між контурами в матриці контурів, в різних ступенях розкривають технологічні можливості виробничої системи в цілому, та технологічного процесу складання зокрема.

Дія τ_k на модель об'єкту проектування аналогічна дії технологічного оператора на об'єкта виробництва – вона призводить до зміни визначених властивостей та відношень у моделі об'єкта. Тому, з математичної точки зору, моделювання проектування аналогічно моделюванню виробництва виробу.

Перетворення вихідної моделі A може здійснюватись і шляхом перетворення структури контурів $F(A)$. Перетворення моделі на рівні логічних властивостей та відношень здійснюється зміною складу логічних змінних та логічних зв'язків між ними, а на рівні кількісних властивостей та відношень – зміною кількісних зв'язків між ними.

Висновки

Математична модель виробу, що складається, може бути представлена як орієнтований контур, який створений з базової деталі, деталі, яка інцендентна до базової, та можливих проміжних деталей, розміщених між ними, при цьому кожна з деталей може бути попередньо включена в інший орієнтований контур згідно пріоритету її зв'язків. Розробка математичної моделі виробу, що складається, дозволяє розширити вихідну інформацію про виріб, зробити її можливою для введення у ЕОМ. Розширення вихідної інформації по виготовленню виробу на етапі його робочого проектування з включенням нормативів часу дає можливість скоротити строки освоєння нових виробів, підвищити ритмічність виробництва та якість планування підприємства.

На основі аналізу стану проблеми автоматизації проектування технологічних процесів складання та розробки формалізованих моделей складальної одиниці та технологічного процесу в подальшому буде розроблена методика проектування технологічних процесів складання, яка містить правила побудови загальних проектних рішень, що визначають структуру технологічного процесу. Ці правила будуть формалізовані у ступені достатньому для побудови програмного забезпечення автоматизованого синтезу технологічних процесів, та представляються у вигляді алгоритмічних схем рішення загальних задач проектування у відповідності до інформаційних та логічних моделей. У розроблених моделях визначені основні проектні рішення та послідовність їх, будови. Також одержані моделі дозволяють описати апарат формалізації технологічних задач, якій реалізований у роботі, дослідити основні закономірності, що характеризують вплив взаємодії елементів конструкції виробу та елементів виробничого середовища при вирішенні задач проектування технології складального виробництва.

Методологія проектування може бути реалізована у вигляді основ для створення системи автоматизованого проектування технології механоскладальних робіт, яка використовує одну з систем параметричного твердотілого моделювання, а саме SolidWorks. Результатом роботи цієї системи буде технологічна документація на виріб, який проектується.

Література

1. Проектирование технологий: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
2. Капустин Н.М. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства. – М.: Машиностроение, 1979. – 245 с.
3. Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес – Сабатер А. Автоматизация проектирования технологий в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
4. Капустин Н.М., Корсаков В.С., Темпельгоф К.-Х., Лихтенберг Х. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1985. – 304с.

Филиппова М.В. Моделирование сборочных единиц и технологии сборки изделий в приборостроении В работе рассматривается вопрос создания математической модели изделия с целью автоматизации технологии механосборочных работ. При этом рассматриваются функциональные связи между параметрами конструкции и порядком создания изделия.	Filippova M.V. Modelling of the assembly units and technology assembly details at instrument making In work the question of creation of mathematical model of a product is considered with the purpose of automation of technology of machine-assembling works. Thus functional communications between parameters of a design and the order of creation of a product are considered.
---	--

Надійшла до редакції
8 липня 2003 року

УДК 539.4: 534.282

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАКУУМ-ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОГАРИФМІЧНИЙ ДЕКРЕМЕНТ КОЛИВАНЬ

¹⁾Антонюк В.С., ²⁾Сорока О.Б., ²⁾Бовсуновский А.П., ²⁾Рутковский А.В.,

¹⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²⁾Інститут проблем міцності НАН України ім. Г.С. Писаренко, м. Київ, Україна

В роботі наведено результати експериментального дослідження впливу вакуум-плазмових покриттів на характеристики розсіювання енергії в матеріалі зразків, виконаних з інструментальної сталі Р6М5. Виявлено зниження декременту коливань зразків з модифікованою поверхнею. Отримані результати відповідають представленням про те, що логарифмічний декремент коливань є характеристикою, що залежить від стану поверхні зразків

Вступ

Напрямок сучасного машинобудування яке включає розвиток і створення нових технологій впливу на поверхневий шар деталей та інструментів, які передбачають керування складом, структурою і властивостями шляхом нанесення покриттів і модифікації поверхневого шару. Тонкі покриття, отримані на основі вакуум-плазмових (PVD) технологій, використовуються для підвищення зносостійкості і ерозійної стійкості. У зв'язку з тим, що ці покриття знаходять застосування у високонавантажених деталях та інструменті, важливим є питання про вплив таких покриттів на механічні характеристики деталей та різального ін-