

УДК 658.52.011.56

Є.С. Пуховський д-р техн.наук, проф.
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м.Київ, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ ГНУЧКОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Стаття посвячена проблемам проектирования технологических процессов механообработки в условиях гибкого автоматизированного машиностроительного производства. В статье классифицированы методы проектирования технологических процессов, изложены вопросы структурного синтеза маршрутов обработки, а также оптимизации по критерию производительности исходя из рационального выбора режимов резания.

The article deals with the problems of technological processes of machining in a flexible automated machinery production. The paper classified methods of designing technological processes, outlined the issues of structural synthesis route processing, and optimization of performance criteria based on the rational choice of cutting conditions.

В умовах гнучкого виробництва змінюються поняття і сутність технологічного процесу. Враховуючи неперервність і поточність ГАВ, до складу технологічного процесу входять транспортні, складські, маркірувальні, контрольні операції, операції прибирання відходів, плановому обслуговуванню робочих позицій, а також операції, що управляють всім виробничим комплексом. Допоміжні і управляючі операції, не змінюючи розмірів, форми і властивостей виробів, що обробляється, необхідні для обробки, контролю і складання виробу. Тому технологічний процес (ТП), що здійснюється в гнучкій виробничій системі (ГВС) – це набір дій по змінненню геометричної форми, розмірів, зовнішнього вигляду, внутрішніх властивостей, а також здійснення контролю, транспортування, складування, маркірування, видаленню відходів, заміні інструмента і технологічного оснащення.

Рівень розвитку технології визначають не тільки методи обробки, а й структура технологічного процесу, яка має три складові: часову, функціональну, просторову [1]. Часова складова визначає склад і послідовність елементів ТП на кожному етапі виготовлення виробу з одного стану в інший, просторова – розмірні і точнісні зв'язки між базовими поверхнями і поверхнями, що оброблюються.

Результат проектування технологічного процесу обробки деталі в ГВС – достатньо повне пророблення маршрутною та операційною технологією, допоміжних і контрольних операцій; розробка управляючих програм (УП) для оброблюючого і допоміжного обладнання.

Нині накопичено значний досвід створення і впровадження систем автоматизованого проектування технологічних процесів. Існують декілька класифікацій методів проектування ТП. Найбільш вдалою є класифікація, показана на рис. 1. Усі методи поділені на два класи: адресації та синтезу.

Метод адресації ґрунтується на принципі уніфікації, оскільки склад і структура робочого ТП визначаються згідно із складом і структурою уніфікованого ТП послідовним уточненням рішень, що формуються, при суворому дотриманні порядку переходів з більш високих рівнів декомпозиції ТП на більш низькі. Робочий ТП будується лише шляхом виключення деяких елементів-аналогів і зв'язків між ними. Аналогами можуть бути уніфіковані схеми обробки, маршрути, операції, переходи, переміщення транспортних засобів, руху роботів-маніпуляторів при встановленні і зніманні деталей та ін.

Метод адресації найчастіше використовується при проектуванні ТП для ГВС. Це сприяє впровадженню групових і типових технологічних процесів, спрощенню процесу проектування та відлагодження управляючих програм для обладнання, не потребує процедур синтезу нових структур. Відрізняють три модифікації методу адресації: запозичення ТП без зміни структури аналога і параметричного настроювання; те саме, але з параметричним настроюванням (розрахунок режимів різання, норм часу, розмірних характеристик, вибір інструмента і т.д.); запозичення ТП з виключенням елементів і зв'язків і з параметричним настроюванням.

Метод синтезу ґрунтується на формуванні ТП з окремих формалізованих елементів встановленням між ними певних зв'язків. У процесі проектування визначається склад елементів, будуються зв'язки між елементами, виконуються перевірка зв'язків і їх параметричне настроювання з використанням логічних правил і аналітичних залежностей. Проектування здійснюється як з використанням аналогів, так і без їх використання.

Метод синтезу можна використовувати при проектуванні типових і групових технологічних процесів, управляючих програм. Він має такі модифікації: проектування з використанням ТП-аналогів; з використанням елементів-аналогів і без аналогів.

Розглядаючи класифікацію методів проектування (див. рис. 1.), неважко переконатись, що послідовність технологічних рішень від методу до методу зменшується, а отже, зменшується спеціалізація виробничих підрозділів, збільшуються терміни проектування ТП і вартість виготовлення виробів. На нинішньому етапі розвитку обчислювальної техніки, формалізації технологічних рішень природно найбільш доцільно використовувати в ГВС методи адресації. Проте у міру розвитку оброблюючої й обчислювальної техніки, освоєння “справжніх” ГВС із

широкими технологічними можливостями будуть застосовуватись переважно методи синтезу з використанням аналогів і без них. Це особливо пов'язане з розвитком інформаційної технології, створенням ЕОМ і робототехніки на основі штучного інтелекту, коли з'являться можливості оперативної обробки будь-якої виробничо-технологічної ситуації, поява яких неминуха при функціонуванні підприємств, основаних на принципах гнучкої технології.

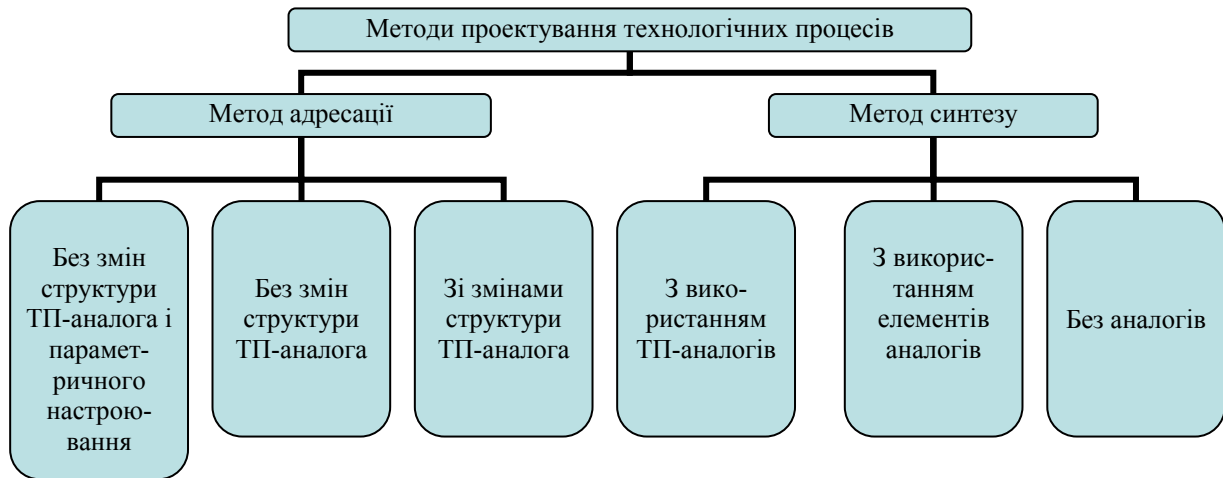


Рис. 1. Класифікація методів проектування технологічних процесів

Найважче автоматизувати процес проектування структури ТП, тобто визначити склад і послідовність переходів, операцій, маршруту обробки і допоміжних елементів ТП. Це пояснюється різноманітністю правил проектування, що визначаються конкретними виробничими умовами. Сучасні системи, основані на використанні евристичних алгоритмів формування структур, які враховують обмежену кількість виробничих ситуацій, слабо пристосовуються і адаптуються до конкретних виробничих умов. Для полегшення коригування рішень, одержаних системою, застосовується діалог, що дозволяє технологів приймати певні рішення з формування структури ТП. Однак навіть діалог не дозволяє підвищити ефективність проектування, через те що не може врахувати різноманітності виробничих ситуацій, що виникають.

Процес параметричного налаштування ТП значно легше піддається формалізації, оскільки менше залежить від виробничої ситуації. Існує досить багато систем, в яких параметричне налаштування здійснюється автоматично, а структура ТП формується технологом вручну або за допомогою діалогових програмних засобів. Системи параметричного налаштування, будучи системами низького рівня, досить легко адаптуються до різних виробничих умов. Проте при формуванні структури ТП вони повністю залежать від кваліфікації технолога і в них спостерігається мала послідовність технологічних рішень.

Система параметричного налаштування поділяється на три види:

- перший – це системи, в яких людина формує структуру ТП на основі аналізу уніфікованого ТП. Такі системи формують рішення методом адресації;
- другий – системи, в яких передбачається формування структури ТП за уніфікованими ТП. Технолог формує і вводить до ЕОМ ТП на основі свого досвіду і знань. В таких системах реалізується метод синтезу;
- третій – системи, в яких допускається формування структури ТП з використанням уніфікованих ТП і без них, тобто вони реалізують два методи проектування ТП.

При експлуатації впроваджених ГВС при проектуванні ТП перевага надається системам, що працюють за методом адресації; при проектуванні підрозділів гнучкого виробництва (ділянок, ліній, цехів, ГВС) – системам, що реалізують метод синтезу.

Побудова технологічних процесів у гнучкому виробництві значною мірою відрізняється від традиційного. Технологічні маршрути мають бути досить гнучкими, щоб оперативно реагувати на можливі зміни виробничої ситуації: вихід з ладу однієї одиниці обладнання, термінові замовлення, несвоєчасне постачання на вхід ГВС заготовок чи інструмента, перебої в системі управління тощо. Необхідно створити гнучку технологію, побудовану на міцній основі типізованих і стандартизованих поопераційних групових технологічних процесів.

Типізація технологічних процесів використовується не лише як метод знаходження оптимальних рішень, а й як засіб зберігання технологічної інформації. Спосіб подання і зберігання інформації у вигляді типових технологічних переходів для типових поверхонь – елементів форми чи комплексів – дозволяє раціонально проектувати процеси, враховуючи вплив великої кількості факторів. Технологічне рішення на кожному типову поверхню визначає не тільки набір переходів, а й послідовність їх виконання в межах типового маршрута.

Порядок проходження і тривалість маршрутів залежать від відповідності заданих на кресленні точності і жорсткості поверхні. При проектуванні гнучкої технології важливою є наявність множин варіантів виконання технологічних маршрутів. Для зменшення кількості варіантів і вибору оптимального необхідно додатково мати відомості про змінення припусків, наявність литої корки і вимог точності і жорсткості.

Процес формування маршрутів на комплекси поверхонь значно спрощується, оскільки кожному типовому комплексу поверхонь відповідає типовий технологічний маршрут. Для цього підготовляють і вводять до системи

вихідну інформацію про тип поверхні, габаритні розміри, точність та жорсткість обробки, . припуски на обробку та ін. За цими даними автоматично призначається типовий технологічний маршрут обробки комплексу поверхонь. Потім визначаються бази обробки і можливості забезпечення технічних вимог на розташування поверхонь. У першу чергу перевіряють елементарні технологічні маршрути, що мають найменшу кількість переходів.

Із множинності елементарних маршрутів вибирають перший, який задовольняє поставленим вимогам базування і точності обробки. Якщо вихідна поверхня деталі, що обробляється, складається з декількох елементів форми, але являє собою єдиний комплекс і зустрічається вперше, то за типом елементів форми визначають групу можливих елементарних технологічних маршрутів, а потім за найменшою кількістю переходів чи за економічними критеріями виділяють один елементарний маршрут. Потім складають новий елементарний технологічний маршрут, до якого входять усі переходи із складових маршрутів, причому технологічна послідовність виконання переходів відповідає вимогам точності і жорсткості обробки.

Задача вибору раціонального маршруту обробки, тобто оптимальної послідовності стандартних переходів і операцій, виникає і на етапі проектування, і на етапі експлуатації ГВС. При впливі на ГВС випадкових збурень у процесі функціонування наявність альтернативних варіантів послідовності маршрутно-технології - важливий резерв підвищення експлуатаційної надійності і продуктивності ГВС. Проте закладені при проектуванні ресурси вимагають використання відповідних методів і засобів для їх оперативної реалізації при експлуатації ГВС. Тому на етапі проектування доцільно виконувати імітаційне моделювання на ЕОМ альтернативних маршрутів і розробляти алгоритми управління процесом функціонування ГВС за критерієм оптимальної послідовності технологічного маршруту. Алгоритм управління альтернативним маршрутом задає послідовність зміни маршрутів обробки залежно від стану системи, який визначається випадковими відмовленнями, і вводами в дію обладнання. Довільна зміна маршруту при відмовах і відновленнях може не поліпшити, а погіршити деякі вихідні показники ГВС. Тому за наявності альтернативних маршрутів необхідно оцінити варіанти і вибрати оптимальний.

Алгоритм зміни маршрута обробки впливає на найважливіші показники ГВС: середню тривалість виробничого циклу, середній час чекання деталями обробки, середню кількість партій деталей, що знаходяться в ГВС за одиницю часу. Порівнюючи вихідні характеристики ГВС при незмінному лінійному маршруті і використовуючи алгоритм обходу несправного обладнання, можна побачити, що при лінійному маршруті тривалість виробничого циклу обробки партії деталей на 15% більше, ніж при вибраному. Середній час чекання обробки – на 18, а середня кількість партій деталей, що знаходяться на обробці (обсяг незавершеного виробництва), – на 13% більше. Сумарні витрати на експлуатацію ГВС, що приходиться на партію виробів, що випускаються при лінійному маршруті, приблизно на 1,5% більші, ніж при вибраному.

Можливість втручання у процес проектування технологічних маршрутів ГВС на етапі експлуатації реалізована в системі ситуативного проектування технології [2]. Передбачається активно впливати на процес прийняття рішень з урахуванням виробничої ситуації. При цьому забезпечується здатність системи оперативно змінювати не тільки маршрут раніше зафіксованих операцій, а й склад самих операцій, що істотно скорочує загальний час перебування деталей у виробничій системі.

При використанні традиційного способу проектування в автоматизовану систему управління ГВС (АСУ ГВС) надходить описання маршрутно-операційного технологічного процесу, а при ситуативному проектуванні – виробничі обмеження, що вміщують відомості про переходи, можливості їх виконання різними засобами технологічного оснащення, а також організаційні обмеження (кількість деталей у партії, порядок і пріоритет їх запуску та ін.). Порядок виконання переходів і операцій формується системою в режимі реального часу, тому маршрут і склад операції стають гнучкими, а система управління ГВС – більш “інтелектуальною” [2]. Набір виробничих обмежень формується до початку функціонування ГВС.

В системі ситуативного проектування технології програми ЧПУ виготовляються в розрахунок не на раніш сформовану операцію, а на перехід; це суттєво підвищує гнучкість технології. Підпрограми ЧПУ на кожен перехід формуються до початку виробництва, а програми ЧПУ для операцій компонується із підпрограм в режимі реального часу. Систему ситуативного проектування доцільно об'єднати з системою проектування деталей і заготовок. Це дозволяє скоротити терміни проектування і обсяг інженерної праці.

При визначенні оптимальних маршрутів проходження деталей в ГВС необхідно враховувати оцінки продуктивності і собівартості обробки, що впливають на вибір раціональних режимів різання.

Наприклад, на основі функції собівартості формується цільова функція у вигляді

$$z_c = \frac{\pi DL}{1000} \left(\frac{E}{vS} + \frac{Et}{A_1 v^{A_2+1} S^{A_3+1}} + \frac{\varepsilon}{A_1 v^{A_2+1} S^{A_2+1}} \right),$$

де DL – відповідно діаметр і довжина обробки; E – вартість верстат-хвилини, грн.; t_3 – час заміни інструмента; ε – вартість експлуатації ріжучого інструмента, грн./хв; A_1 – постійна у формулі стійкості, незалежна від компонентів режиму різання; A_2, A_3 – показники ступеня у формулі стійкості.

В такому разі швидкість різання, що забезпечує мінімальну собівартість обробки,

$$v = \left[\frac{(Et_3 + \varepsilon)(-A_2 - 1)}{A_1 E S^{A_3}} \right]^{\frac{1}{A_2}}.$$

Цільова функція для оптимального розподілу робіт між верстатами ГВС

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T_{ij} x_{ij},$$

де N, M – відповідно число різних деталей і число верстатів; T_{ij} – час обробки партії i -ї деталі на j -му верстаті; x_{ij} – показник застосування j -го верстата для обробки i -ї деталі, $x_{ij} \in \{0, 1\}$.

Як обмеження необхідно враховувати умову

$$\sum_{j=1}^M T_{ij} x_{ij} \leq F_j$$

де F_j – допустимий фонд часу j -го верстата; $x_{ij} + x_{i+1j} = 1$, якщо застосовується j -й чи $j+1$ -й верстат; $x_{ij} = x_{i+1j}$, якщо після j -го застосовується $j+1$ -й верстат.

Виробнича ситуація часто характеризується появою нової деталі на вході ГВС. При порівнянні альтернативних варіантів обробки цієї деталі використовуються оцінки завантаження верстатів, трудомісткості і складності обробки.

Коефіцієнт завантаження верстатів при обробці деталі за j -м маршрутом

$$K_{зj} = \frac{Z_{спj}}{Z_{сп}}$$

де $Z_{спj}$, $Z_{сп}$ – середнє завантаження верстатів, відповідно застосовуваних на j -му варіанті обробки, що входять до ГВС.

Оцінка часу обробки деталі визначається відношенням

$$K_{Aj} = \frac{T_j}{T_{сп}}$$

де T_j – час обробки деталі за j -м альтернативним варіантом; $T_{сп}$ – середній час обробки деталі, яка входить до даної номенклатури.

Показник складності обробки (KG) враховує геометричну складність деталі, складність обробки її поверхонь, число і вид використовуваного інструмента і т. ін. Оцінка складності обробки виражається так:

$$KG = \frac{KG_{n+1}}{KG_{сп}}$$

де KG_{n+1} – показник складності обробки $n+1$ -ї деталі; $KG_{сп}$ – середня складність обробки деталей.

Цільові функції при виборі альтернативного варіанта обробки, що забезпечує найбільшу ефективність ГВС:

$$Z = \begin{cases} \min K_{зj}, & \text{якщо } K_{KG} \leq 0,7; \\ \min K_{зj}, & \text{якщо } 0,7 \leq K_{KG} \leq 1,3; \\ \min K_{Aj}, & \text{якщо } K_{KG} \geq 1,3. \end{cases}$$

Рациональний вибір технологічних маршрутів при змінній виробничій ситуації в ГВС дозволяє суттєво підвищити ефективність її експлуатації, збільшити завантаження верстатів системи, зберегти її живучість при виході з ладу деяких технологічних одиниць.

Список літератури

1. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов и др. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1987. – 352с.
2. Пуховский Е. С., Кукарин А. Б. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства. К., Техніка, 1997. – 238 с.