

УДК 621.002:004.896

ФОРМАЛІЗОВАНИЙ СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДУВАННЯ

Войтенко В.І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського м.Київ, Україна

Анотація: Розглядається методика формалізованого (алгоритмічного) синтезу структури технологічних процесів механічної обробки деталей машино- та приладобудування. Синтез виконується після автоматизованого проектування принципової схеми технологічного процесу. Подано приклад синтезу формули структури технологічного процесу обробки деталі «Ступінчатий вал».

Ключові слова: структура технологічного процесу, принципова схема технологічного процесу; системи автоматизованого проектування.

Проектування структури технологічного процесу (що традиційно називають проектуванням маршрутного ТП) виконується на другому рівні деталізації проектування, після вже сформованої, на першому рівні, принципової схеми [1,2,3,4].

Основи методики формалізованого синтезу

Вихідними даними при проектуванні структури є один, або декілька варіантів принципової схеми ТП, відомості про форму деталі, розміри її поверхонь з якісними вимогами до них, лінійні та кутові розміри, що встановлюють взаємне розташування поверхонь поміж собою, відомості про форму та розміри заготовки, а також відомості про програму випуску.

Метою проектування на цьому рівні є вибір найбільш раціонального варіанту складу та послідовності технологічних операцій, вибір технологічних баз, металорізального обладнання та затискних пристроїв на кожну операцію.

Технологічний процес (його структура) формується послідовно, по етапам, від молодших етапів до старших. Це є першим ключовим моментом формалізованого синтезу структури ТП. Послідовність операцій в межах одного із етапів встановлюється з урахуванням технологічних можливостей наявного обладнання та оснастки, форми та габаритів деталі, вимог точності взаємного розташування поверхонь деталі, лінійних та кутових розмірних ланцюгів між поверхнями деталі, також враховується величина програми випуску.

Алгоритм синтезу структури ТП складається з наступних основних блоків:

1). Формування на кожному із призначених етапів укрупнених технологічних операцій (у відповідності до типів прийнятих методів обробки). Утворюються “Токарні”, “Фрезерні”, “Свердлувальні” та інші укрупнені операції. Однак, слід відмітити, що при проектуванні ТП корпусних деталей для обробки базової поверхні слід виділяти окрему операцію.

2). Ранжування укрупнених операцій – присвоєння кожній укрупненій операції відповідного рангу і встановлення таким чином послідовності їх виконання. Ранжування операцій є другим ключовим моментом формалізованого синтезу структури ТП.

3). Розділення укрупнених операцій на прості і встановлення послідовності їх виконання в складі конкретної укрупненої операції.

4). Вибір типу та моделі металорізального обладнання для кожної простої операції.

Ранг технологічної операції визначається значеннями рангів поверхонь, обробка яких виконується в складі конкретної операції. Розрізняють поверхні першого, другого, третього і т.д. рангів. Поверхні першого рангу – базові поверхні (для деталей, що не є “тілами обертання”), або ж поверхні основного контуру деталей типу “тіла обертання” (циліндричні, конічні, сферичні та торцеві поверхні, вісі яких співпадають із віссю деталі). Слід відмітити,

що для деталей типу “тіла обертання” поверхонь першого рангу, як правило, декілька. Бо послідовність обробки їх між собою не впливає на їх взаємне розташування (при обробці з однієї установки). Натомість для деталей типу “не тіла обертання” поверхня першого рангу завжди одна. Порядок обробки поверхні першого рангу не вимагає обов’язкової попередньої обробки якоїсь із поверхонь. Порядок обробки поверхні другого рангу залежний в часі від попередньої до неї обробки відповідної поверхні першого рангу. Аналогічно поверхні третього та наступних рангів можуть бути обробленими тільки після обов’язкової попередньої обробки поверхонь відповідного (на одиницю меншого) рангу.

Ранг всієї укрупненої операції визначається найбільшим рангом поверхні, що обробляється в складі цієї операції. Наприклад, якщо в складі певної операції обробляється деяка кількість поверхонь другого рангу і одна поверхня четвертого рангу, всій операції буде присвоєно четвертий ранг.

Технологічний процес в межах кожного із технологічних етапів формується, починаючи з першого рангу, в послідовності збільшення рангів технологічних операцій.

Визначення послідовності виконання укрупнених технологічних операцій однакового рангу виконується із застосуванням принципу суміщення конструкторських баз із технологічними. В першу чергу враховується наявність чи відсутність в кресленні деталі розмірних (лінійних чи кутових) ланцюгів з високими якісними вимогами, що регламентують взаємне розташування плоских поверхонь, пазів, нецентральных отворів, зубчатих, шліцевих поверхонь і т.п. між собою. При наявності таких регламентацій враховують наявні технологічні можливості обробки і залежну від них певну традиційну виробничу “пріоритетність” технологічних операцій. Наприклад, наявність в кресленні деталі високих вимог забезпечення кутового розміру між впадиною одного із зуб’ів зубчатого вінця та площиною уступу, вимагає (з огляду на можливості обробки) першочергової обробки зубчатого вінця. Потім, з базуванням по впадині між зуб’ями, можна вести обробку уступу, забезпечуючи заданий кутовий розмір. Подібний виробничий досвід фіксується набором евристичних правил, які і використовуються для формального визначення послідовності обробки поверхонь однакового рангу. Далі подається приклад деяких таких правил:

1. при визначенні послідовності обробки плоских поверхонь, пазів, нецентральных отворів, зубчатих поверхонь, шліцевих поверхонь і т.п. пріоритет, як правило, віддається плоским поверхням найбільших габаритів;
2. при наявності високих вимог точності взаємного розташування зубчатих, або шліцевих поверхонь по відношенню до пазів, або нецентральных отворів, першими обробляють зубчаті, або ж шліцові поверхні. Обробка пазів та нецентральных отворів ведеться з базуванням по зубчатій, або шліцевій поверхні; при відсутності вищезазначених вимог, або коли вони невисокі, спочатку обробляють пази та нецентральный отвори, а вже потім обробляють зубчаті та шліцові поверхні;
3. при наявності високих вимог до точності взаємного розташування пазів по відношенню до нецентральных отворів, першими обробляють нецентральный отвори. Далі, з базуванням по отвору, виконується обробка пазів;
4. вікна, або колодязі прямокутної форми, як правило, обробляють також після нецентральных отворів. Пов’язано це з тим, що при обробці нецентральных отворів доцільно обробити також і технологічний отвір, що забезпечить при фрезеруванні занурення кінцевої фрези на задану глибину;
5. зовнішні різі з високими вимогами до їх точності, обробляються в кінці маршруту технологічного процесу з метою забезпечення неушкодженості різі при переміщенні між заготовки між робочими місцями.

Застосування методики синтезу

Розробку принципової схеми ТП, формування укрупнених технологічних операцій, встановлення їх послідовності виконання та синтез формули структури ТП розглянемо на прикладі деталі типу ступінчатого вала [1. Стр. 184]. Деталь має тринадцять поверхонь, що підлягають обробці.

В якості заготовки використовується штамповка з мінімально-доцільними припусками. При цьому вважається, що крайні торці та центрові гнізда попередньо оброблені при виконанні фрезерно-центрувальної операції.

Перші сім поверхонь складають основний контур деталі. Серед них циліндричні поверхні та проміжні між ними торцеві поверхні. Всі ці поверхні являються поверхнями першого рангу. На структурно-технологічній моделі деталі [1. Стр. 184] вони відображені низкою горизонтальних векторів. Відомості про головні розміри поверхонь, вимоги до їх точності та шорсткості подані частково на структурно-технологічній моделі та у відповідних стовпчиках принципової схеми ТП [1. Стр. 186].

При об'єднанні технологічних операцій та переходів по різновидам методів обробки, одержуємо такий склад укрупнених технологічних операцій та їх ранги:

ТОК⁴ (Тч₁^Тч₂^ Тч₃^ Тч₄^ Тч₅^ Тч₆^ Тч₇) - I ранг;
СВЕРДЛ⁴ (Св₁₀^ Св₁₂) - III ранг; ФРЕЗ⁴ (Фр₁₃) - II ранг;
ФрезШпон⁴ (ФШ₁₁) - II ранг; ЗубФрез⁴ (Зфр₉) - II ранг;
РізНар⁴ (Рнр₈) - II ранг;
КругШл⁸ (Шл₁^Шл₃^ Шл₇) - I ранг; ТорцШл⁸ (Тшл₂) - I ранг;
ЗубШл⁸ (Зшл₉) - II ранг; ПлШл⁸ (Пшл₁₃) - II ранг;
ТорцШл¹¹ (Тшл₂) - I ранг; РізШл¹¹ (Ршл₈) - II ранг.

Згідно з евристичними алгоритмами традиції сучасного машинобудування наступною має виконуватись обробка плоскої поверхні – уступу (пов. 13). Для встановлення послідовності виконання зубонарізної та шпоночно-фрезерної операцій враховуємо наявність високих вимог до кутового розміру між впадиною зубчатого вінця (пов. 9) та уступом (пов. 13). Тому спочатку доцільно обробити зубчатий вінець, а далі, з базуванням по середині однієї із його впадин, обробити уступ, а потім шпоночний паз. Така ж послідовність виконання збережеться для зубчатої поверхні та уступу і в 8-му етапі.

Третій ранг свердлувальної операції, обумовлений третім рангом поверхні з номером 12, визначає останнє її положення в складі операцій 4-го етапу.

Враховуючи ранги операцій, типи поверхонь і наявні вимоги точності і взаємного розташування зубчатої поверхні із шпоночним пазом і уступом, формула структури технологічного процесу приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \text{ТП} = & \text{ТОК}^4 (\text{Тч}_1 \text{Тч}_2 \text{Тч}_3 \text{Тч}_4 \text{Тч}_5 \text{Тч}_6 \text{Тч}_7) \wedge \text{РізНар}^4 (\text{Рнр}_8) \wedge \\ & \text{ЗубФрез}^4 (\text{Зфр}_9) \wedge \text{ФРЕЗ}^4 (\text{Фр}_{13}) \wedge \text{ФрезШпон}^4 (\text{ФШ}_{11}) \wedge \\ & \text{СВЕРДЛ}^4 (\text{Св}_{10} \text{Св}_{12}) \wedge \text{КругШл}^8 (\text{Шл}_1 \text{Шл}_3 \text{Шл}_7) \wedge \text{ТорцШл}^8 (\text{Тшл}_2) \wedge \\ & \text{ЗубШл}^8 (\text{Зшл}_9) \wedge \text{ПлШл}^8 (\text{Пшл}_{13}) \wedge \text{ТорцШл}^{11} (\text{Тшл}_2) \wedge \text{РізШл}^{11} (\text{Ршл}_8). \end{aligned}$$

В одержаній формулі вся токарна обробка в 4-му етапі сконцентрована в одній операції. Така обробка можлива, але є недоцільною, бо при обробці поверхонь, що розташовані зліва виникнуть проблеми передачі крутного моменту. Тому, з метою забезпечення можливості використання доцільних режимів різання необхідно укрупнену операцію 4-го етапу розділити мінімум на дві “прості”. Остаточне рішення залежить від партії деталей та типу виробництва. При реальному проектуванні та необхідності забезпечення синхронізації, слід враховувати трудомісткість елементарних операцій. Далі подано приклад формули структури ТП при розділенні токарної напівчистої обробки в четвертому етапі на дві операції.

$$\begin{aligned}
 \text{ТП} = \{ & \text{ТОК}^4(\text{Тч}_1 \wedge \text{Тч}_2 \wedge \text{Тч}_3 \wedge \text{Тч}_4) \wedge \text{ТОК}^4(\text{Тч}_5 \wedge \text{Тч}_6 \wedge \text{Тч}_7) \wedge \text{РізНар}^4(\text{Рнр88}) \wedge \\
 & \text{ЗубФрез}^4(\text{Зфр9}) \wedge \text{ФРЕЗ}^4(\text{Фр13}) \wedge \text{ФрезШпон}^4(\text{ФШ11}) \wedge \text{СВЕРДЛ}^4(\text{Св10} \wedge \text{Св12}) \wedge \\
 & \text{КругШл}^8(\text{Шл}_1 \wedge \text{Шл}_3 \wedge \text{Шл}_7) \wedge \text{ТорцШл}^8(\text{Тшл}_2) \wedge \text{ЗубШл}^8(\text{Зшл}_9) \wedge \\
 & \text{ПлШл}^8(\text{Пшл13}) \wedge \text{ТорцШл}^{11}(\text{Тшл}_2) \wedge \text{РізШл}^{11}(\text{Ршл8}_8) \}
 \end{aligned}$$

Висновки

Розглянута методика формалізованого синтезу структури технологічних процесів виготовлення деталей машинобудування сприяє значному підвищенню рівня автоматизації проектування і скороченню трудомісткості проектування. Проведені дослідження реальних витрат часу на проектування технологічних процесів обробки деталей середньої складності [7]. Результати досліджень доводять, що застосування викладеної методики, разом з САПР ТП розробки автора, скорочує трудомісткість від 10 -80 годин при традиційному проектування до 1 – 1,5 годин при автоматизованому.

Список літератури:

1. *Войтенко В.І. Системи автоматизованого проектування технологічних процесів машинобудування*. Навчальний посібник. К.: НТУУ „КПІ”, 2012. -232 с. – Бібліогр.: с. 226-228. Гриф МОНМС України. (Лист №1/11-2321 від 21.02.2012 р.). УДК 621.002:004.896(075.8) ББК 34.5-5-05я73 ISBN 978-966-622-488-3-232с.
2. *Войтенко В.І. Программный продукт «Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки «Sapг_2017»*. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 69883. від 18.01.2017. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюлетень. ”Авторське право та суміжні права” № 42.
3. *Войтенко В.І. Табличные модели назначения маршрута обработки поверхности*. <http://moiidei.com/education/education-teaching.html>. 16.06.2014.
4. *Войтенко В.І. Структурно-параметрический синтез ТП механообработки*. IX Междун. конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». 08 – 16 июня 2013, г. Варна, Болгария: материалы в 3-х т. Т1(1.3).- Днепропетровск-Варна, 2013.- С.-. (Международ. науч. журн. Acta Universitatis Pontica Euxinus/ Спец. выпуск).
5. *Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов*. - Минск: Наука и техника, 1979,- 264 с.:ил.
6. *Войтенко В.І. Формализованный синтез структуры технологических процессов обработки деталей машиностроения*. Журнал «Современный научный вестник» № 17 (213) 02.04.2014. Серия: Технические науки. Днепропетровск, из-во «Наука и образование»
7. *Войтенко В.И., Крусъ А.В. Трудоёмкость автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки*. <http://www.moiidei.com/образование|обучение>. 05.02.2011.