

СПОСОБ ФОРМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Научная статья

Антоненкова Т.В.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-8046-3229;¹ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (atv06[at]list.ru)

Аннотация

Проблема автоматизации проектирования процессов обработки деталей на металлорежущих станках требует наличия формальных инструментов разработки технологии. Важнейшей задачей проектирования является формирование набора и последовательности выполнения установок, определяющих структуру технологического процесса. В статье рассмотрен формальный метод моделирования процесса обработки детали. Основу метода составляет подход, основанный на генерировании технологических баз (комплектов баз) и определении последовательности обработки поверхностей. Информационной основой служит комплекс размерных связей, заданных чертежом и техническими требованиями. Приведенные примеры двух вариантов моделирования процесса обработки свидетельствуют о реальной возможности формального проектирования технологии.

Ключевые слова: машиностроение, металлорежущие станки, технологический процесс, технологические базы, последовательность обработки, моделирование технологии.

A WAY TO FORMALLY DESIGN THE STRUCTURE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Research article

Antonenkova T.V.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-8046-3229;¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

* Corresponding author (atv06[at]list.ru)

Abstract

The problem of automating the design of parts machining processes on metal-cutting machines requires formal tools for technological development. The most important design task is to form a set and sequence that determine the structure of the technological process. The article reviews a formal method for modelling the part of machining process. The basis of the method is an approach based on generating technological bases (sets of bases) and determining the sequence of surface machining. The information basis is a set of dimensional relationships set by the blueprint and technical requirements. The given examples of two variants of modelling the machining process indicate the real possibility of formal design of the technology.

Keywords: mechanical engineering, machine tools, technological process, technological bases, sequence of processing, technology modelling.

Введение

Назначение технологического процесса – получить в результате изготовления заданные функциональные характеристики деталей машин, определяемые двумя факторами: физико-механическими свойствами материала (прочность, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость и др.); геометрическими характеристиками (точность размера, точность формы, точность относительного расположения поверхностей, шероховатость поверхностного слоя) [1].

В статье рассматриваются вопросы формализации проектирования технологических процессов обработки деталей на металлорежущем оборудовании. Для достижения заданных геометрических свойств решаются две взаимосвязанные задачи. Одна заключается в разработке набора методов формообразования для всего множества поверхностей. Вторая касается вопроса формирования структуры технологического процесса, обеспечивающего заданные пространственные отношения, а именно, взаимное расположение рассматриваемых поверхностей [2], [3], [4].

Постановка задачи

Формализация процесса проектирования технологии является одним из важнейших направлений теоретических и практических разработок, в рамках которых большую значимость представляет теория базирования, так как именно базирование влияет на погрешность взаимного расположения поверхностей при обработке в процессе изготовления детали. В нашей стране исследования в области базирования при обработке и сборке были начаты в первой половине XX столетия. Основные понятия, определения и положения теории базирования сформулированы в работах А. П. Соколовского, А.А. Маталына, А. И. Каширина, В.М. Кована, Б.С. Балакшина, А.Б. Яхина. Значительный вклад в развитие теории базирования, размерных цепей, способов проектирования и оптимизации проектных решений внесли отечественные ученые В.И. Аверченков, А.М. Дальский, И.М. Колесов, Б.С. Матвеев, В.В. Мордвинов, В.Г. Старостин, А. Г. Суслов, В.Д. Цветков, Ю.М. Соломенцев, Б.М. Базров и др.

Как известно, технологический процесс дискретного производства включает в себя ряд разноплановых технологических процедур, т.е. элементов, которые выполняются в определенном порядке [1], [5], [6]. В качестве базового элемента технологического процесса в работе рассматривается регламентируемая ГОСТ 3.1109-82 часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой

сборочной единицы, называемая установом [7]. Следовательно, структура технологического процесса есть набор и последовательность выполнения этих установов [8].

Целью статьи является реализация формального подхода проектирования структуры технологического процесса, поиск всех возможных вариантов установов непротиворечащих условиям существования конкретной геометрической конфигурации детали. Для исследования в качестве базы использована схема моделирования процесса обработки деталей на станках, описанная в работах [1], [9].

Теоретическим базисом рассматриваемого метода проектирования технологии обработки деталей является геометрия неидеальных объектов, использующая шестимерное пространство с тремя линейными и тремя угловыми координатами $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$ [8].

Исходным постулатом в ходе моделирования процесса обработки является прямое выдерживание заданных на чертеже размерных связей, определяющих их взаимное расположение. При этом в качестве баз для получения рассматриваемой поверхности могут быть использованы реальные поверхности детали, позволяющие однозначно ориентировать формообразующие движения для её обработки. Процесс проектирования комплектов баз и последовательности их смены построен на использовании алгоритма направленного поиска реально существующих сторон детали, которые можно применить в качестве баз для ориентации детали при обработке поверхностей [2], [3], [9], [10]. Структура технологического процесса образовывается на основе: определения баз и комплектов баз; установления последовательности смены баз.

В ходе проектирования технологии задано следующее условие порождения поверхности – окончательную обработку каждой из поверхностей детали достаточно выполнить только за один технологический переход. Выбор черновых баз производится исходя из следующих положений:

- количество их может быть не более трёх;
- базы должны быть непосредственно связаны размерной связью с обрабатываемыми поверхностями;
- любую черновую базу можно использовать только один раз;
- совокупности степеней свободы, фиксируемые базами, не могут повторяться.

В работе выполнено моделирование процесса обработки поверхностей для детали, показанной на рисунке 1.

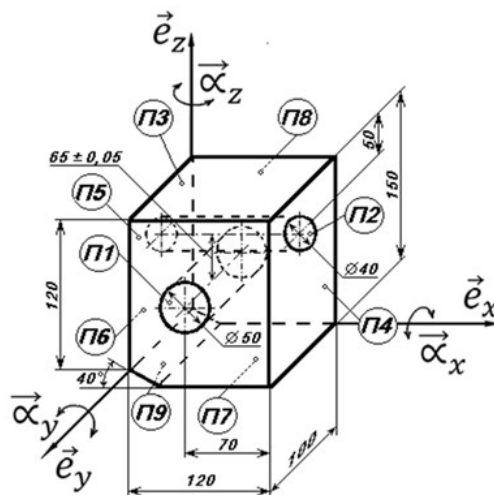


Рисунок 1 - Деталь

Примечание: параллельность отверстия П1 относительно плоскости П4 не более 0,01 мм; параллельность поверхности П4 относительно поверхности П6 не более 0,01 мм; перпендикулярность поверхности П6 относительно поверхности П8 не более 0,01 мм; перпендикулярность поверхности П3 относительно поверхности П5 не более 0,01 мм; перпендикулярность поверхности П3 относительно поверхности П4 не более 0,01 мм; перпендикулярность поверхности П4 относительно поверхности П5 не более 0,01 мм

Геометрическая конфигурация исходной заготовки ограничена комплексом черновых поверхностей, при этом обрабатываемые поверхности отсутствуют, т.е. скрыты внутри материала детали. При проектировании технологического процесса важно таким образом расположить комплекс обрабатываемых поверхностей, чтобы в ходе обработки не осталось необработанных участков.

В рассматриваемом случае в качестве исходной заготовки используется тело в форме прямоугольного параллелепипеда, ограниченного шестью необработанными (черновыми) поверхностями. Для обеспечения связи чистового комплекса с черновым используются три черновые поверхности: Ч6, Ч7 и Ч8. Каждая из них связана размерами с поверхностями П4, П3 и П5 соответственно.

Структура геометрической конфигурации детали с введёнными черновыми поверхностями показана на рисунке 2 в виде графов размерных связей. Эта структура отображает один из многочисленных вариантов конфигурации детали, а также учитывает реально существующие размерные связи поверхностей заготовки с поверхностями детали до начала обработки. Мощность множества конфигураций (структур) определяется как сумма остовных деревьев по каждой из

шести координат пространства. Число деревьев для одной координаты вычисляется по формуле А. Кэли $K = n^{n-2}$, где n – количество вершин графа [8].

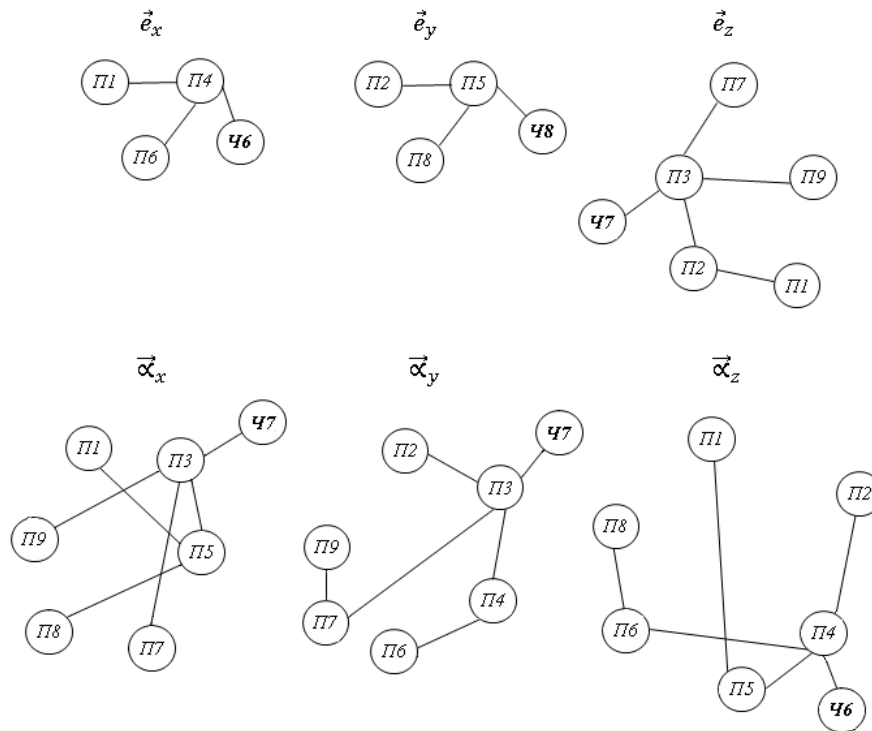


Рисунок 2 - Графы размерных связей для координат $e^{-}_x, e^{-}_y, e^{-}_z, \alpha^{-}_x, \alpha^{-}_y, \alpha^{-}_z$

Необходимо определить какая из черновых поверхностей скольких степеней свободы будет лишать деталь при базировании. В рассматриваемом пространстве поверхность Ч7 фиксирует три степени свободы $\vec{e}_z, \vec{\alpha}_x$ и $\vec{\alpha}_y$, поверхность Ч6 две степени свободы \vec{e}_x и $\vec{\alpha}_z$, поверхность Ч8 обеспечивает фиксацию одной степени свободы \vec{e}_y .

Далее представлены два варианта моделирования технологий обработки: первый с последовательным получением поверхностей, второй с параллельным.

Суть последовательной обработки в формировании структуры проектируемого технологического процесса, отражающего последовательное (друг за другом) выявление баз или комплектов баз, используемых для обработки одной (конкретной) поверхности в соответствии с требованиями чертежа [7], [14]. При параллельной обработке выявляются комплекты баз, используемые для обработки нескольких поверхностей детали. Работа алгоритма проектирования процесса обработки по обоим вариантам основана на преобразовании матрицы смежности.

Первый вариант моделирования

Способ моделирования строится на последовательном выявлении баз для обработки отдельных поверхностей детали. По содержанию диагональных ячеек матрицы (рис. 3) видно, что для получения поверхностей детали необходимо лишать её 3-х или 4-х степеней свободы, следовательно, не имеет смысла первыми черновыми базами назначать поверхностей П6 и П8. В качестве черновой базы выбирается поверхность Ч7, фиксирующая деталь в трёх направлениях – $\vec{e}_z, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_y$. Этих связей необходимо и достаточно для «покрытия» диагональной таблицы поверхности П3. Следовательно, база Ч7 может использоваться для обработки поверхности П3.

базы \ обраб.		П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
		существующие поверхности					1 0 0			
существующие поверхности	Ч6				0 0 1					
	Ч7			0 0 1						
	Ч8			1 1 0		0 1 0				
несуществующие (необработанные) поверхности						0 0 0				
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1 0 1	0 0 1		1 0 0	0 0 0				
	П2	0 0 1	0 1 1	0 0 1	0 0 0	0 1 0				
	П3		0 0 1	0 0 1	0 0 0	0 0 0		0 0 1		0 0 1
	П4	1 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	1 0 0			
	П5	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0			0 1 0	
	П6				1 0 0		1 0 0		0 0 0	
	П7			0 0 1				0 0 1		0 0 0
	П8			1 1 0				1 1 0		0 1 0
	П9			0 0 1				0 0 0		0 0 1

Рисунок 3 - Первый шаг обработки матрицы смежности

Далее матрица в соответствии с правилами трансформируется: столбец П3 удаляется из матрицы, строка с номером П3 перемещается в верхнюю часть матрицы, и данная поверхность становится реально существующей (обработанной), строка с базой Ч7 так же удаляется, так как черновую базу можно использовать только один раз. Матрица смежности преобразовывается в вид, представленный на рисунке 4.

базы \ обраб.		П1	П2	П4	П5	П6	П7	П8	П9
		существующие поверхности				1 0 0			
существующие поверхности	Ч8			0 0 1		0 1 0			
	П3		0 0 1	0 0 0	0 0 0		0 0 1		0 0 1
несуществующие (необработанные) поверхности			0 1 0	0 1 0	1 0 0		1 1 0		1 0 0
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1 0 1	0 0 1	1 0 0	0 0 0				
	П2	0 0 1	0 1 1	0 0 0	0 1 0				
	П4	1 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	1 0 0			
	П5	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 1 0			0 1 0	
	П6			1 0 0		1 0 0		0 0 0	
	П7			0 1 1		0 1 1		0 0 1	
	П8				0 1 0	0 0 0		0 1 0	
	П9				1 0 0	0 0 1		1 0 1	

Рисунок 4 - Второй шаг обработки матрицы смежности

На следующих шагах работы с матрицей снова выявляются те столбцы, в которых логическая сумма шестиклеточных таблиц поверхностей, принятых за базы, полностью «покрывает» соответствующую диагональную шестиклеточную таблицу пока ещё необработанных поверхностей нижней части матрицы. В верхней части матрицы (рис. 4) в столбце 3 (строки 1 и 3) шестиклеточные таблицы перекрывают диагональную таблицу со степенями свободы $\vec{e}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$. Это даёт возможность использовать в качестве баз реально существующие поверхности для получения поверхности П4: обработанную П3 (фиксация одной степени свободы $\vec{\alpha}_y$) и черновую поверхность Ч6 (фиксация двух степеней свободы $\vec{e}_z, \vec{\alpha}_z$). Дальнейшее преобразование приводит матрицу к новому виду (рис. 5).

базы		обработ.																			
		П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П9										
существующие поверхности	Ч8					0	1	0													
	П3			0	0	1	0	0	0			0	0	1				0	0	1	
	П4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0										
	П2	0	0	1	0	1	1	0	1	0											
	П5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0					0	1	0			
	П6										1	0	0			0	0	0			
	П7													0	0	1			0	0	0
	П8					0	1	0	0	0	0					0	1	0			
	П9					1	0	0	0	0	1					1	0	1			
	П9											0	0	0					0	0	1
											0	1	0					1	1	0	

Рисунок 5 - Третий шаг обработки матрицы смежности

Последовательная проверка на третьем шаге (рис.5) показывает, что для ориентации поверхности П5 относительно формообразующих движений инструмента можно за базировать деталь используя комплект, состоящий из черновой базы Ч8, дающей фиксацию одной степени свободы – \vec{e}_y и уже обработанных поверхностей П3 и П4, обеспечивающих фиксацию по двум степеням свободы $\vec{\alpha}_x$ и $\vec{\alpha}_z$ соответственно.

Трансформация приводит матрицу в вид, представленный на рисунке 6.

На четвёртом шаге моделирование показывает, что цилиндрическое отверстие П2 может быть обработано при использовании комплекта баз П3, П4, П5 (рис. 6), обеспечивающего фиксацию по четырём степеням свободы – $\vec{e}_y, \vec{e}_z, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$. И далее на следующем (пятом) шаге (рис. 7) обрабатывается отверстие П1. Для его ориентации базами назначаются П2, П4 и П5. Данный комплект обеспечивает необходимые четыре степени свободы $\vec{e}_x, \vec{e}_z, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_z$.

базы \ обраб.		П1		П2		П6	П7	П8	П9				
		П1	П2	П1	П2								
существующие поверхности	П3		1	0	0	1		0	0	1			
				1	0	1	0		1	1	0		
	П4	1	0	0	0	0	0	1	0	0			
		0	0	0	0	0	1	1					
	П5	0	0	0	0	1	0		0	1	0		
		1	0	1	0	0	0		1	0	0		
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1	0	1	0	0	1						
		1	0	1	0	0	0						
	П2	0	0	1	0	1	1	1					
		0	0	0	0	1	1	1					
	П6					1	0	0		0	0	0	
						0	1	1		0	0	1	
	П7						0	0	1		0	0	0
							1	1	0		0	1	0
	П8					0	0	0		0	1	0	
					0	0	1		1	0	1		
П9						0	0	0		0	0	1	
						0	1	0		1	1	0	

Рисунок 6 - Четвёртый шаг обработки матрицы смежности

базы \ обраб.		П1		П6	П7	П8	П9				
		П1	П2								
существующие поверхности	П2	0	0	1							
		0	0	0							
	П3				0	0	1	0	0	1	
					1	1	0	1	0	0	
	П4	1	0	0	1	0	0				
0		0	0	0	1	1					
П5	0	0	0			0	1	0			
	1	0	1			1	0	0			
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1	0	1							
		1	0	1							
	П6			1	0	0		0	0	0	
				0	1	1		0	0	1	
	П7				0	0	1		0	0	0
					1	1	0		0	1	0
	П8			0	0	0		0	1	0	
			0	0	1		1	0	1		
П9				0	0	0		0	0	1	
				0	1	0		1	1	0	

Рисунок 7 - Пятый шаг обработки матрицы смежности

Следующей обрабатываемой поверхностью является поверхность П6 (рис. 8), которая может быть получена при использовании базы П4. Данная базисующая поверхность позволяет зафиксировать необходимые три степени свободы: перемещение по \vec{e}_x и повороты вокруг $\vec{\alpha}_y$ и $\vec{\alpha}_z$.

базы \ обраб.		П6			П7			П8			П9		
		0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
существующие поверхности	П3	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
	П4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
П5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
несуществующие (необработанные) поверхности	П6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
	П7	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
	П8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
		0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
	П9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0

Рисунок 8 - Шестой шаг обработки матрицы смежности

После произведённых манипуляций матрица трансформируется в вид, представленный на рисунке 9. Следующей поверхностью *П7* обрабатывается от базы *П3* (рис. 9).

базы \ обраб.		П7			П8			П9		
		0	0	1	0	0	1	0	0	1
существующие поверхности	П3	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		1	1	0	1	1	0	1	1	0
	П5	0	1	0	1	0	0	0	0	0
П6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
несуществующие (необработанные) поверхности	П7	0	0	1	0	0	1	0	0	0
		1	1	0	1	1	0	0	1	0
	П8	0	1	0	1	0	1	0	0	0
П9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	0	1	0	0	1	0	1	1	0	

Рисунок 9 - Седьмой шаг обработки матрицы смежности

Дальнейший анализ показывает, что осталось провести два шага по трансформации матрицы смежности, позволяющие перевести все поверхности детали из состояния необработанных в состояние обработанных. На восьмом шаге (рис. 10) обрабатывается поверхность *П8*, для ориентации которой необходима фиксация по трём степеням свободы – $\vec{e}_y, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_z$, реализуемая комплектом баз из поверхностей *П5* и *П6*.

базы		обrab.		
		П8	П9	
существующие поверхности	П3		0 0 1	
			1 0 0	
	П5	0 1 0		
		1 0 0		
несуществующие (необработанные) поверхности	П6	0 0 0		
		0 0 1		
П8			0 0 0	
			0 1 0	
П9		0 1 0		
		1 0 1		
			0 0 1	
			1 1 0	

Рисунок 10 - Восьмой шаг обработки матрицы смежности

На последнем (девятом) шаге обрабатывается поверхность П9 от комплекта баз П3 и П7 (рис. 11).

базы		обrab.		
		П9		
существующие поверхности	П3	0 0 1		
		1 0 0		
	П7	0 0 0		
несуществующие (необработанные) поверхности		0 1 0		
	П8			
П9		0 0 1		
		1 1 0		

Рисунок 11 - Девятый шаг обработки матрицы смежности

В результате трансформации матрицы смежности выявлена последовательная обработка всех поверхностей детали. Полученный ряд последовательности смены баз показан на рисунке 12. Здесь в квадратных рамках указаны поверхности, используемые при обработке в качестве баз. Двойными рамками выделены черновые базы, в кружочках обозначены обрабатываемые поверхности. Прямые линии связывают обрабатываемую поверхность с базовой, стрелками показана последовательность шагов при моделировании процесса обработки. Как видно, полученная технология отражает последовательную обработку поверхностей со сменой баз – за один установ производится обработка одной поверхности.

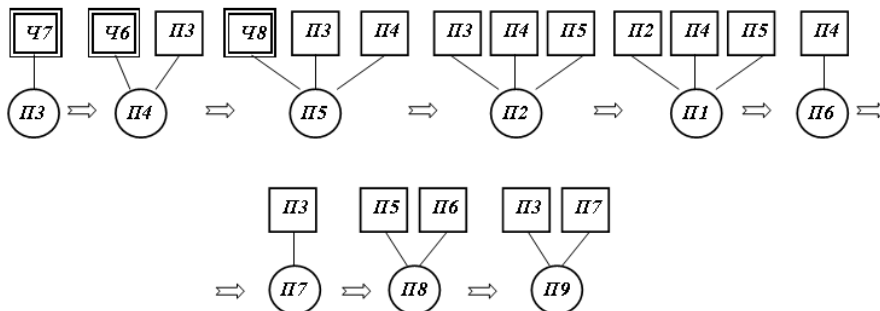


Рисунок 12 - Последовательность обработки поверхностей детали

Второй вариант моделирования

При реализации второго способа моделирования технологии обработки используются комплекты баз для получения нескольких поверхностей детали. При анализе матрицы смежности выделенная база или комплект баз проверяются на возможность их использования для ориентации всех возможных поверхностей детали на данном шаге.

Первый шаг анализа матрицы показывает, что база Ч7 может использоваться только для обработки поверхности П3, так как больше не выявлено столбцов, в которых логическая сумма шестиклеточных таблиц базовых поверхностей, полностью «покрывает» соответствующие диагональные шестиклеточные таблицы необработанных поверхностей. Поэтому первый шаг преобразования матрицы полностью соответствует виду, показанному на рисунке 3.

На следующем (втором) шаге обработки матрицы (рис.13) комплект базовых поверхностей Ч6 и П3 даёт необходимую ориентацию для обработки поверхностей П4 и П7. Данный комплект баз фиксирует пять степеней свободы: черновая база Ч6 две степени – $\vec{e}_x, \vec{\alpha}_z$, а поверхность П3 – три $\vec{e}_z, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_y$.

базы		обработ.								
		П1	П2	П4	П5	П6	П7	П8	П9	
существующие поверхности	Ч6			1 0 0						
	Ч8				0 1 0					
	П3	0 0 1	0 1 0	0 0 0	0 0 0		1 0 0	1 0 0	0 0 1	
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1 0 1	0 0 1	1 0 0	0 0 0					
	П2	0 0 1	0 1 1	0 0 0	0 1 0					
	П4	1 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	1 0 0				
	П5	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 1 0			0 1 0		
	П6			1 0 0		1 0 0			0 0 0	
	П7						0 0 1		0 0 0	
	П8				0 1 0	0 0 0		0 1 0		
	П9						0 0 0		0 0 1	
							0 1 0		1 1 0	

Рисунок 13 - Второй шаг обработки матрицы смежности

На следующем шаге (рис.14) проверка по столбцам соответствия верхней части матрицы с диагональными выявляет возможность использования комплекта баз из поверхностей Ч8, П3, П4, фиксирующих пять степеней свободы: по одной черновая база Ч8 (\vec{e}_y) и поверхность П3 ($\vec{\alpha}_x$), три степени – поверхность П4 ($\vec{e}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$) для ориентации заготовки при обработке поверхностей П5 и П6.

базы		обработ.						
		П1	П2	П5	П6	П8	П9	
существующие поверхности	Ч8			0	1	0		
	П3		0	0	1	0	0	0
	П4	1	0	0	0	0	0	1
	П7							0
несуществующие (необработанные) поверхности	П1	1	0	1	0	0	1	0
	П2	0	0	1	0	1	1	0
	П5	0	0	0	0	1	0	0
	П6					1	0	0
	П8				0	1	0	0
	П9							0

Рисунок 14 - Третий шаг обработки матрицы смежности

Дальнейшее моделирование показывает, что следующие шаги преобразования матрицы с целью выявления баз и построения последовательности обработки полностью повторяют этапы трансформации матрицы, приведенные при проектировании технологии по первому варианту (последовательная обработка).

Результат моделирования технологии с использованием обработки нескольких поверхностей за один установ представлен на рисунке 15.

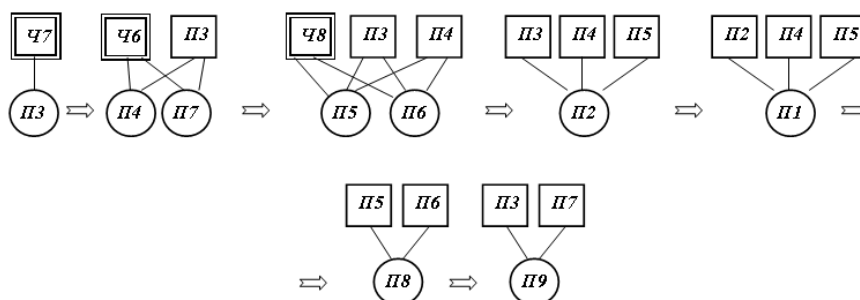


Рисунок 15 - Последовательность обработки поверхностей детали

Как видно количество установов по первому варианту (рис. 12) больше на два, чем по второму (рис. 15), следовательно, технологический процесс с использованием комплектов баз для получения нескольких поверхностей детали более интегрированный.

Заключение

В статье наглядно продемонстрирован способ формального проектирования структуры технологического процесса обработки детали резанием. Показана возможность моделирования разного состава технологий для получения геометрической конфигурации. Хотя в дальнейшем, в зависимости от условий производства можно получить и другие варианты структур технологических процессов.

Таким образом, первый и второй подход формального проектирования технологии позволяет сформировать комплекты баз для обработки поверхностей, спланировать последовательность смены баз при обработке, построить последовательность обработки. Используемая методика моделирования даёт возможность представить состав и структуру установов технологического процесса обработки детали.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Нестеренко Г.А., Омский государственный технический университет, Омск, Российская Федерация

Conflict of Interest

None declared.

Review

Nesterenko G.A., Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

Список литературы / References

1. Старостин В.Г. Формализация проектирования процессов обработки резанием / В.Г. Старостин, В.Е. Лелюхин. — М.: Машиностроение, 1986. — 136 с.
2. Лелюхин В.Е. Метод формального проектирования технологии обработки на станках деталей судовых машин / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Морские интеллектуальные технологии. — 2021. — Т.3. — 4. — с. 39-46.
3. Lelyukhin V.E. Geometry of Six-Dimensional Space for Engineering / V.E. Lelyukhin, O.V. Kolesnikova, E.V. Ruzhitskaya // Lecture Notes in Mechanical Engineering: proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) / Ed. by A.A. Radionov [et al.] — 2021. — p. 386-394.
4. Kolesnikova O.V. Formation of Schemes Generating Geometric Structure of Machine Parts / O.V. Kolesnikova, V.E. Lelyukhin, F.Yu. Ignatev // Lecture Notes in Mechanical Engineering: proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) / Ed. by A.A. Radionov [et al.] — p. 355-363.
5. Gologlu C. A Constraint-Based Operation Sequencing for a Knowledge-Based Process Planning / C. Gologlu // J. Intell. Manuf. — 2004. — 15(4). — p. 463-470.
6. Yusof Y. Survey on Computer-Aided Process Planning / Y. Yusof, K. Latif // Springer-Verlag. — London, 2014. — DOI: 10.1007/s00170-014-6073-3
7. ГОСТ 3.1109-82. ЕСТД. Термины и определения основных понятий. — Москва: Стандартинформ, 2012.
8. Лелюхин В.Е. Геометрия неидеальных объектов в инженерной деятельности (машиностроение и робототехника) / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова, Е.В. Ружицкая и др. — Москва: Знание-М, 2020. — 104 с.
9. Игнатъев Ф.Ю. Исследование сходимости алгоритма автоматического проектирования технологического процесса механической обработки / Ф.Ю. Игнатъев, О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. — 2021. — Т. 53. — с. 30-37
10. Антоненкова Т.В. Технологические базы: понятие и проблемы формирования / Т.В. Антоненкова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2022. — 2. — с. 21-32. — DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-21-32.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Starostin V.G. Formalizacija proektirovanija processov obrabotki rezaniem [Formalization of Design Processing Processes with Cutting] / V.G. Starostin, V.E. Leljuhin. — M.: Mashinostroenie, 1986. — 136 p. [in Russian]
2. Leljuhin V.E. Metod formal'nogo proektirovanija tehnologii obrabotki na stankah detalej sudovyh mashin [Formal Design Method for Processing Ship Machine Parts on Machine Tools] / V.E. Leljuhin, O.V. Kolesnikova // Morskie intellektual'nye tehnologii [Marine Intelligent Technologies]. — 2021. — Vol.3. — 4. — p. 39-46. [in Russian]
3. Lelyukhin V.E. Geometry of Six-Dimensional Space for Engineering / V.E. Lelyukhin, O.V. Kolesnikova, E.V. Ruzhitskaya // Lecture Notes in Mechanical Engineering: proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) / Ed. by A.A. Radionov [et al.] — 2021. — p. 386-394.
4. Kolesnikova O.V. Formation of Schemes Generating Geometric Structure of Machine Parts / O.V. Kolesnikova, V.E. Lelyukhin, F.Yu. Ignatev // Lecture Notes in Mechanical Engineering: proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) / Ed. by A.A. Radionov [et al.] — p. 355-363.
5. Gologlu C. A Constraint-Based Operation Sequencing for a Knowledge-Based Process Planning / C. Gologlu // J. Intell. Manuf. — 2004. — 15(4). — p. 463-470.
6. Yusof Y. Survey on Computer-Aided Process Planning / Y. Yusof, K. Latif // Springer-Verlag. — London, 2014. — DOI: 10.1007/s00170-014-6073-3
7. GOST 3.1109-82. ESTD. Terminy i opredelenija osnovnyh ponjatij [Terms and definitions of basic concepts]. — Moscow: Standartinform, 2012. [in Russian]
8. Lelyukhin V.E. Geometrija neideal'nyh ob'ektov v inzhenernoj dejatel'nosti (mashinostroenie i robototehnika) [Geometry of Non-Ideal Objects in Engineering Activities (Machine Building and Robotics)] / V.E. Lelyukhin, O.V. Kolesnikova, E.V. Ruzhickaja [et al.] — Moscow: Znanie-M, 2020. — 104 p. [in Russian]
9. Ignat'ev F.Ju. Issledovanie shodimosti algoritma avtomaticheskogo proektirovanija tehnologicheskogo processa mehanicheskoy obrabotki [Study of the Similarity of the Automatic Design Algorithm for the Technological Process of Mathematical Processing] / F.Ju. Ignat'ev, O.V. Kolesnikova, V.E. Leljuhin // Uchenye zapiski KnAGTU. Nauki o prirode i tehnike [Scientific Notes KnASTU. Sciences of Nature and Technology]. — 2021. — Vol. 53. — p. 30-37 [in Russian]
10. Antonenkova T.V. Tehnologicheskie bazy: ponjatie i problemy formirovanija [Technological Bases: the Concept and Problems of Formation] / T.V. Antonenkova // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Morskaja tehnika i tehnologija [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Equipment and Technology]. — 2022. — 2. — p. 21-32. — DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-21-32. [in Russian]