

УДК 621.783.223:658.52.011+536.75

*Л. М. Акулович, Л. М. Кожуро, М. Л. Хейфец,
Е. З. Зевелева*

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ

На основании исследования кортежей технологических комплексов предложены рациональные комплексы агрегатов и систем для гибких производственных модулей и обрабатывающих центров, осуществляющих термомеханическую и электромагнитную обработку поверхностей деталей.

Сокращение сроков проектирования новых перспективных технологических процессов, оснащенных инструментами, агрегатными блоками и системами, станками и модулями, образующими единый технологический комплекс, – одна из актуальных проблем современного машиностроительного производства [1]. Ключевой задачей проектирования технологического комплекса является создание структуры, обеспечивающей бесперебойное функционирование и гибкую переналадку комплекса высокоэффективной обработки [2]. Рациональные надежность и адаптивность обеспечиваются при синтезе структуры, основанном на анализе элементов и исследовании кортежей технологического комплекса [3].

Анализ элементов технологических комплексов высокоэффективной обработки. Технологический комплекс в общем случае рассматривается как иерархически построенная система "человек–машина" [3], включающая следующие уровни: I) функциональные элементы, реализующие главное движение, движение подачи и движение инструмента; II) функциональные подсистемы в виде агрегатных блоков; III) функциональные системы, обеспечивающие рабочие, транспортные движения, питание и удаление, а также обслуживание; IV) технологические модули или агрегатные станки, энергетические и информационные машины; V) автоматические и полуавтоматические линии и участки, образующие технологический комплекс.

Каждая подсистема n -го уровня является элементом подсистемы $(n + 1)$ -го уровня. Состав технологического комплекса, каждой функциональной системы и подсистемы, входящих в технологический модуль, а также функции составляющих их элементов соответствуют содержанию тех технологических операций, для которых создается данный технологический комплекс.

Каждая подсистема состоит в общем случае из нескольких элементов, в наименовании которых фигурируют названия выполняемых ими функций (движений). Подсистема данного вида в ходе технологического процесса выполняет определенную типовую функцию, т. е. типовую технологическую операцию.

Спроектированные в настоящее время установки для высокоэффективной токарной, фрезерной и абразивной обработки, ротационного резания [4], электромагнитной наплавки [5, 6], поверхностного пластического деформирования [6, 7] и магнитно-абразивного полирования [5, 6] представляют собой функциональные системы с набором различных подсистем (см. таблицу).

Описание межуровневых связей элементов технологического комплекса для обработки поверхностей вращения

Технологический комплекс (уровень V)		Технологические модули для обработки поверхностей вращения (уровень IV)				
		токарной	абразивной	ротационного резания	электромагнитной наплавки с деформированием	магнитно-абразивной
Функциональные системы (уровень III)	Функциональные подсистемы (уровень II)	Функциональные элементы (уровень I)				
Рабочая	движения заготовки	вращательное	вращательное	вращательное	вращательное	вращательное
	движения инструмента	поступательное	поступательное, вращательное	поступательное, вращательное	поступательное, вращательное	—
	движения врезания (подачи)	поступательное	поступательное	поступательное	—	—
	движения электромагнитной системы	—	—	—	поступательное	поступательное
	дополнительного нагрева обрабатываемой поверхности	электроконтактный, электродуговой	—	электроискровой, электроконтактный, электродуговой	электроискровой, электродуговой	—
	движения подачи СОЖ	поступательное	поступательное	поступательное	—	поступательное
Вспомогательная	движения подачи порошка	—	—	—	поступательное	поступательное
	установочных движений инструмента	поперечное, продольное	поперечное, продольное	поперечное, продольное, поворот	поперечное, продольное	—
Обслуживающая	движения смсны детали и инструмента	реализуются устройствами	реализуются устройствами	реализуются устройствами	реализуются устройствами	реализуются устройствами

Для анализа состава и количества межуровневых связей элементов технологических комплексов комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки используем двухзначную нумерацию составляющих систем и элементов [8, 9]. Первая цифра номера соответствует уровню составляющих: 1 – функциональные элементы, 2 – функциональные подсистемы, 3 – функциональные системы, 4 – технологическая машина, 5 – технологический комплекс. Вторая цифра – порядковый номер каждой составляющей данного уровня.

Таким образом, получаем следующую кодовую нумерацию составляющих пятого уровня: 51 – технологический комплекс комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки для поверхностей вращения; 52 – то же для торцевых поверхностей; 53 – то же для плоских поверхностей.

Рассмотрим технологический комплекс комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки деталей поверхностей вращения.

Четвертый уровень технологических комплексов составляют технологические модули по методу обработки: 41 – токарной обработки; 42 – абразивной обработки; 43 – ротационного резания; 44 – электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием; 45 – магнитно-абразивного полирования.

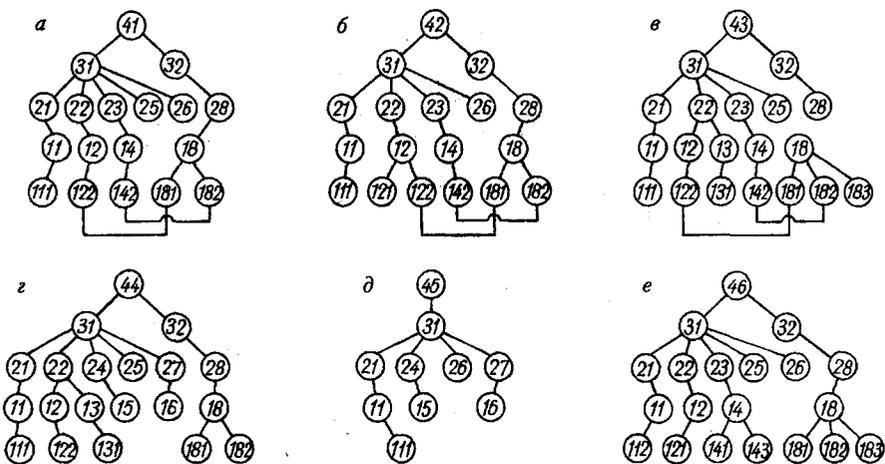


Рис. 1. Графы кортежей: а – токарной обработки, б – абразивной обработки, в – ротационного резания, г – электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием, д – магнитно-абразивной обработки, е – фрезерной обработки

Третий уровень – функциональные системы: 31 – рабочая, включающая элементы, необходимые для выполнения прямого назначения функциональной системы; 32 – вспомогательная, осуществляющая установочные движения инструмента и заготовки; 33 – обслуживающая, обеспечивающая смену заготовки, инструмента, заполнение устройств подачи порошка, смазочно-охлаждающей жидкости.

Второй уровень – функциональные подсистемы: 21 – движения заготовки; 22 – движения инструмента; 23 – движения подачи; 24 – движения электромагнитной системы; 25 – дополнительного нагрева обрабатываемой поверхности; 26 – подачи смазочно-охлаждающей жидкости; 27 – подачи порошка; 28 – установочных движений инструмента, которые могут совпадать с основными движениями; 29 – смены детали и инструмента.

Первый уровень – функциональные элементы, реализующие: 11 – главное движение заготовки (111 – вращательное, 112 – поступательное); 12 – главное движение инструмента (121 – вращательное, 122 – поступательное); 13 – дополнительное движение инструмента (131 – вращательное, 132 – поступательное); 14 – движение подачи (врезания) (141 – продольное, 142 – поперечное, 143 – перпендикулярное плоскости поперечного и продольного); 15 – движение электромагнитной системы; 16 – движение устройства подачи порошка; 17 – установочное движение заготовки (171 – продольное, 172 – поперечное, 173 – перпендикулярное плоскости поперечного и продольного); 18 – установочное движение инструмента (181 – продольное, 182 – поперечное, 183 – вращательное).

На основании анализа наборов составляющих функциональных систем, функциональных подсистем и функциональных элементов, называемых кортежами [3], определим связи между ними.

Структурный синтез кортежей технологических комплексов. Изучение построенных по таблице графов кортежей (рис. 1) позволяет установить количество взаимосвязей между различными уровнями составляющих технологический комплекс.

Все технологические модули (IV уровень) включают функциональные системы (III уровень) 31 и 32 (рабочую и вспомогательную), кроме технологического модуля 45.

Функциональная подсистема 22 (движение инструмента) отсутствует в технологическом модуле 45; функциональная подсистема 23 (движение подачи, врезания) – в технологических модулях 44, 45; функциональная под-

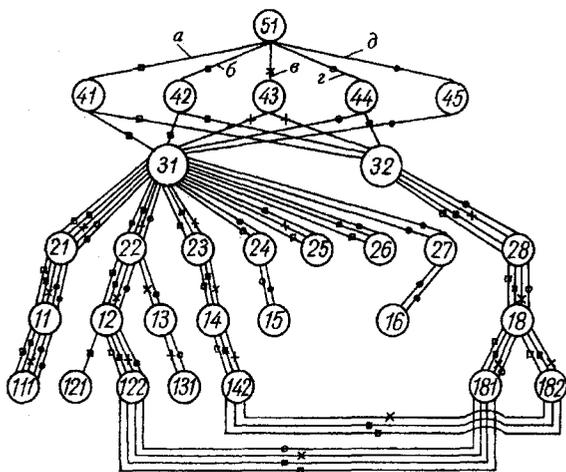


Рис. 2. Графы кортежей технологического комплекса для обработки поверхностей вращения: *a* – токарной обработки, *б* – абразивной обработки, *в* – ротационного резания, *г* – электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием; *д* – деформационной обработки

система 24 (движение электромагнитной системы) – в технологических модулях 41, 42, 43, 46; функциональная подсистема 25 (дополнительный нагрев) – в технологических модулях 42, 45; функциональная подсистема 26 (подача смазочно-охлаждающей жидкости) – в технологических модулях 43, 44; функциональная подсистема 27 (дозировующее устройство) – в технологических модулях 41, 42, 43, 46; функциональная подсистема 28 (установочные движения) – в технологическом модуле 45.

Таким образом, в большинстве случаев в технологических комплексах присутствуют: функциональная подсистема 21 (движение заготовки) – вращение (111), функциональная подсистема 22 (движение инструмента) – поступательное перемещение (122), функциональная подсистема 22 (дополнительное движение инструмента) – вращение (131), функциональная подсистема 23 (движение подачи или врезания) – поперечное перемещение (141), функциональная подсистема 28 (установочные движения инструмента) – продольное и поперечное перемещение (181, 182).

Для проектирования универсального технологического комплекса комбинированной термомеханической и электромагнитной обработки объединим кортежи и определим совпадающие связи и функциональные элементы [10, 11]. Совмещение кортежей (рис. 2) выявляет целесообразность создания универсального технологического комплекса, объединяющего высокоэффективные термомеханические и электромагнитные методы обработки поверхностей вращения.

Структурный синтез элементов на основании рассмотренных связей позволяет выделить в составе технологического комплекса ряд унифицированных блоков [12]: 1) главного движения, обеспечивающего вращение заготовки относительно горизонтальной оси; 2) привода инструмента: а – поступательного движения вдоль оси вращения заготовки и движения врезания, б – вращательного движения, скорость которого определяется по усилиям в процессе обработки; 3) подачи: а – порошка для наплавки или полирования, б – рабочей смазочно-охлаждающей жидкости; 4) привода электромагнитной системы, используемые: а – для управления технологическим процессом, б – для контроля и регулирования качества обработки; 5) служащие: а – для подачи энергии, б – для управления энергетическими воздействиями на поверхностный слой обрабатываемой заготовки.

Блок 2, *a* может быть выполнен в виде суппорта токарного станка, а блок 2, *б* жестко закрепляется на блоке 2, *a*, что дает возможность

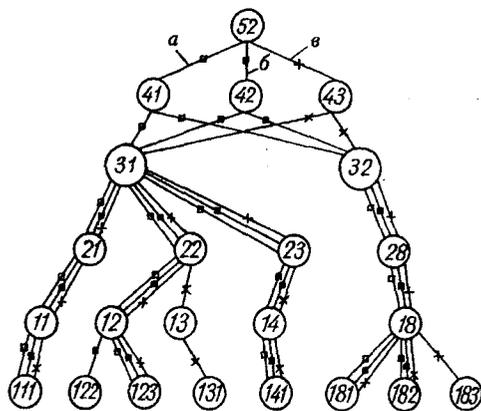


Рис. 3. Графы кортежей технологического комплекса для обработки торцевых поверхностей: *a* – токарной обработки, *б* – абразивной обработки, *в* – ротационного резания

использовать существующие механизмы блока 2, *a* для реализации части движений инструмента.

Рассмотрим связи (рис. 3) между функциональными элементами технологического комплекса для обработки торцевых поверхностей.

Совмещение кортежей показывает, что для обработки торцевых поверхностей полностью подходят блоки комплекса для обработки поверхностей вращения, только требуется замена главного движения на подачу инструмента (поступательного продольного на поперечное).

Исследуем связи (рис. 4) между функциональными элементами технологического комплекса для обработки плоских поверхностей.

Совмещение кортежей технологических модулей для обработки плоских поверхностей показывает: 1) блок движения заготовки обеспечивает поступательное перемещение; 2) блок движения инструмента обеспечивает вращательное движение; 3) поступательное движение инструмента в технологическом модуле магнитно-абразивного полирования может быть заменено движением подачи, и, следовательно, блок будет осуществлять одно движение.

Анализ совмещения кортежей технологических комплексов для обработки поверхностей вращения, торцевых и плоских поверхностей выявил, что для выполнения комбинированных термомеханических и электромагнитных процессов рабочей функциональной системе требуется обеспечить [12]: глав-

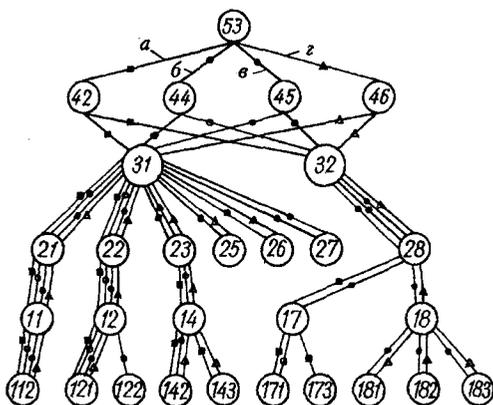


Рис. 4. Графы кортежей технологического комплекса для обработки плоских поверхностей: *a* – абразивной обработки, *б* – электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием, *в* – магнитно-абразивной обработки, *г* – фрезерной обработки

ное движение, движение подачи, установочное движение, дополнительное движение.

В общем случае для выполнения необходимого набора движений рекомендуется технологический комплекс строить из унифицированных блоков, осуществляющих: 1) вращательное движение детали; 2) вращательное движение инструмента; 3) три взаимно перпендикулярных поступательных движения стола; 4) дополнительное вращательное движение инструмента; 5) установочное поворотное движение оси ротационного инструмента; 6) крепление детали на столе при обработке плоских поверхностей и 7) крепление инструмента при токарной обработке.

Блоки 1 и 2 могут быть конструктивно объединены с блоками, выполняющими установочные движения для регулирования расстояния между осью вращения и рамой (столом) комплекса; блоки 4 и 5 могут быть совмещены.

Таким образом, структурный синтез технологических комплексов высокоэффективной комбинированной термомеханической и электромагнитной обработки поверхностей вращения, торцевых и плоских поверхностей показал целесообразность создания универсальных технологических комплексов в виде гибкого производственного модуля, состоящего из унифицированных блоков, осуществляющих главное, дополнительные и установочные движения деталей и инструментов, а также обеспечивающих их установку и закрепление.

Объединение комбинированной обработки поверхностей вращения и плоских поверхностей при использовании дополнительных блоков дает возможность создавать гибкие обрабатывающие центры.

Литература

1. Акулович Л. М., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л., Зевелева Е. З. // ИФЖ. 1999. Т. 72, № 5. С. 969–977.
2. Froment B., Lesage J.-J. Production: Les techniques de l'usinage flexible. Paris, Bordas, 1984.
3. Артоболевский И. И., Ильинский Д. Я. Основы синтеза систем машин автоматического действия. М., 1983.
4. Кожуро Л. М., Мрочек Ж. А., Хейфец М. Л., Шипко А. А., Акулович Л. М. Обработка износостойких покрытий. Минск, 1997.
5. Ящерицын П. И., Забавский М. Т., Кожуро Л. М., Акулович Л. М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. Минск, 1988.
6. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле. Минск, 1995.
7. Чистосердов П. С., Чемисов Б. П., Кожуро Л. М., Акулович Л. М. Технология размерно-чистовой и упрочняющей обработки. Минск, 1993.
8. Хейфец М. Л., Кожуро Л. М., Шипко А. А. и др. // ИФЖ. 1995. Т. 68, № 6. С. 931–943.
9. Хейфец М. Л., Кожуро Л. М., Шипко А. А. и др. // ИФЖ. 1996. Т. 69, № 1. С. 46–57.
10. Ящерицын П. И., Чемисов Б. П., Хейфец М. Л. // Современные проблемы машиноведения. Гомель, 1996. С. 112–113.
11. Ящерицын П. И., Чемисов Б. П., Хейфец М. Л., Зевелева Е. З. // Современные проблемы машиноведения. Гомель, 1998. Т. 2. С. 117–120.
12. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л. // Вестник машиностроения. 1996. № 3. С. 33–36.

Конструкторско-технологический институт средств механизации и автоматизации, г. Минск, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск,

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк

Поступила 24.08.1998, в окончательной редакции – 14.05.1999.