

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.783:621.922:658.512:536.75

*Академик П. И. ЯЩЕРИЦЫН, Л. М. КОЖУРО, М. Л. ХЕЙФЕЦ, Б. П. ЧЕМИСОВ***ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ
НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Одной из наиболее актуальных проблем повышения эффективности производства является сокращение сроков проектирования новых, более совершенных технологических процессов, оснащенных инструментами, станками, машинами и автоматическими линиями, образующими единый технологический комплекс [1]. Поиск наилучшего варианта синтеза технологического комплекса осуществляется многофакторной оптимизацией, рассматривающей основные направления развития обрабатывающей системы.

В числе основных направлений развития И. И. Артоболовским [1] и Л. Н. Кошкиным [2] выделены: I – введение структурной и параметрической избыточности в технологической системе; II – применение адаптивных функциональных обрабатывающих и транспортных подсистем и связей; III – централизация материального и информационного обеспечения технологических комплексов.

Кооперативность процессов обмена материальных и информационных потоков, обусловленная централизацией (III), разомкнутость при обмене ресурсами и информацией с внешней средой при адаптации подсистем (II), изменение материальных потоков и обновление информационных связей вследствие их избыточности (I) приводят к неравновесным состояниям [3] технологического комплекса и обрабатывающей системы в целом.

Таким образом, рассматривать различные направления развития обрабатывающей системы целесообразно в совокупности, дополняя каждое из них изучением неравновесности процессов высокоэффективной обработки изделий [4].

Следовательно, состояния неравновесности процессов, характеризующие производство энтропии, могут служить в качестве критериев многофакторной оптимизации технологических комплексов. В результате оптимизации, когда приток новой информации снижает производство энтропии, ранее организованная информационная система упорядочивается, а технологический комплекс синтезируется наиболее эффективным образом.

В соответствии с основными направлениями развития технологических комплексов их многофакторная оптимизация включает ряд стадий.

Ограничение до рационального комплекта структурных связей и параметров элементов технологической системы. Ограниченный комплект технологических объектов и процессов должен обеспечить необходимые адаптивность к внешним условиям при переналадке и надежность в процессе работы [4]. Адаптивностью и надежностью технологического комплекса можно управлять путем изменения числа подсистем обрабатывающей системы, исследуя ее с помощью предельной центральной теоремы [5].

Рассматривая в качестве объектов конструктивно-технологические элементы обрабатываемых изделий, вводим параметрическую избыточность при классификации используемых инструментов и структурную избыточность при кодировании формообразующих движений инструмента (рис. 1, а).

Изучая конструкторскую и технологическую документацию на осваиваемые конкретным производственным подразделением изделия, проводим унификацию форм и параметров режущих кромок (рис. 1, б), выбираем траектории формообразующих и вспомогательных перемещений инструментов.

Статистический анализ применимости конструктивно-технологических элементов и формирующих их режущих кромок [4], исследование траекторий перемещений инструментов в виде замкнутых графов позволяют составить технологические регламенты (рис. 1, в). Технологические регламенты включают описания инструментов и их режущих кромок с учетом возможных перемещений при формообразовании, а также режимы резания для различных конструкционных материалов.

Аналогичным образом, используя статистический анализ и исследуя структуру геометрических образов технологической системы, для других технологических объектов (оснастки, станков, машин, автоматических линий и др.), процессов (механической, термической, химической, электрообработки и др.) создаются унифицированные или стандартизированные ограничительные перечни и регламенты.

Самонастройка и самоорганизация в процессе работы функциональных обрабатывающих и транспортных подсистем. Адаптация в процессе работы происходит в результате автоматического изменения программы или структуры самонастройки и самоорганизации соответственно [1]. Возможность самонастройки является следствием параметрической избыточности элементов технологических комплексов, возможность самоорганизации – следствием избыточности по структурному составу.

Самонастройка и самоорганизация происходят в результате образования положительных и отрицательных обратных связей в нелинейных системах, приводящих к подавлению рассеяния основных управляемых параметров технологического комплекса [6].







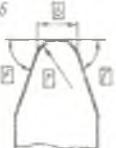

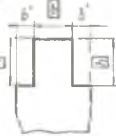

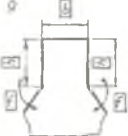
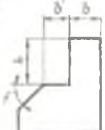

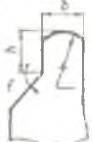
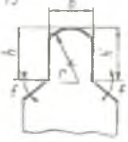
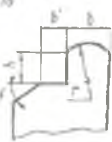
Рассматривая процессы механической обработки, самонастройку можно проводить, используя адаптивные инструменты: подпружиненные с демпфирующими элементами [7], гибкие с упругими элементами, самозатачивающиеся с возобновляющимися лезвийными и абразивными режущими кромками [9]. Самоорганизацию – применяя инструменты с дополнительными степенями свободы: роликовые самовращающиеся ротационные резцы [10], шариковые накатники [11], а также рассматривая формирование профиля естественного износа инструмента при резании и трении [12].

В случае, когда необходимо в первую очередь сформировать поверхность, а затем ее упрочнить, как, например, при резании, шлифовании, полировании, выглаживании, в технологической системе создается положительная обратная связь (рис. 2, а). При этом дополнительные степени свободы инструмента и технологической среды, подавляя рассеяние потоков вещества и энергии в формоизменяемом, срезаемом припуске, создают упрочняющие структуры в поверхностном слое и повышают производительность обработки [13].

В том случае, когда сначала требуется упрочнить, а в завершение сформировать рельеф поверхности, как, например, при нанесении покрытий, пластическом деформировании и накатке, в технологической системе организуется отрицательная обратная связь (рис. 2, б). При этом дополнительные воздействия источниками вещества и энергии, формируя упрочняющие структуры в поверхностном слое, не допускают развития неустойчивости процессов образования рельефа поверхности и при повышении эффективности снижают производительность обработки [13].

Аналогично проектированию комбинированных процессов, выявляя степень влияния технологических факторов на параметры эффективности и качества обработки (рис. 2, а, б), устанавливая связи между основными управляемыми параметрами технологического комплекса, разрабатываются рациональные маршруты обработки изделий. Оптимальный технологический маршрут определяется с учетом самонастройки элементов системы и само-

Унифицированные формы и параметры режущих кромок специальных резцов

	b	b, f	$b, f(f')$	$b(b'), f$
1	1 	2 	3 	10 
2 r	4 	5 	6 	11 
3 h	7 	8 	9 	12 
4 r, h	13 	14 	15 	16 

в

Технологический регламент

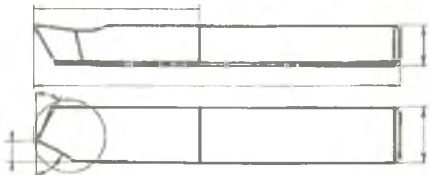
N п/п	Наименование режущего инструмента и его эскиз	Обозначение	Параметры режущего инструмента					Обрабатываемый материал и режимы резания										
			H × B, мм	L, мм	I, мм	т		Сталь гр.2 σ = 600 - 1200 МПа										
						при F = 15	при F = 50	Предварит.		Грубая								
								т, мм	В, мм/мин	при S, мм/об								
1	Резцы токарные проходные прямые ГОСТ 18869-73 	2100-0555	8 × 8	50	-	4,0	-	5	18	60	40							
2		2100-0651				-	3,0	10	88	34	44							
3		2100-0557	10 × 10	60	30	6,0		12										
4		2100-0653				-	4,5	15										

Рис. 1. Последовательность формирования рационального комплекса процессов и объектов производства: классификация и кодирование (а); унификация и стандартизация (б); регламентация и ограничение (в)

организации процессов формирования поверхностного слоя обрабатываемого изделия на основе исследования наследственности в операциях и переходах технологического процесса [14].

Пространственная и временная концентрации технологических операций и транспортных переходов. Операции и переходы ограничиваются минимальными временными рамками и пространственными размерами, обеспечивающими кратчайшие сроки освоения и выпуска новой продукции при использовании более совершенных технологических процессов. Максимальная концентрация достигается при самонастройке узлов оснастки и модулей оборудования, самоорганизации централизованных материальных и информационных потоков, в которых избыточность функциональных параметров дополнена структурной избыточностью связей обрабатывающей системы [4, 6].

Рассматривая всю гамму технологических операций: нанесение покрытий, термообработку, резание, деформирование поверхностного слоя изделий, а также сочетание нанесения покрытий и термообработки с резанием и деформированием [6], в процессах плазменного оплавления покрытий с ротационным упрочняющим резанием (рис. 2, а) и электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием (рис. 2, б) [13],

а Плазменное оплавление покрытия с ротационным упрочняющим резанием

Оптимизируемые параметры:

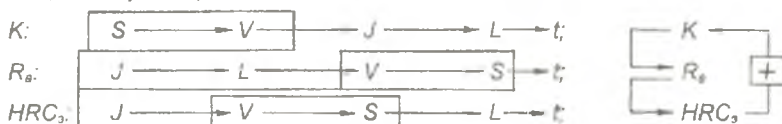
K — производительность движений резания;

R_a — среднеарифметическое отклонение профиля поверхности;

HRC_3 — твердость поверхности по Роквеллу

Технологические факторы:

J — сила тока плазменной дуги, L — расстояние от пятна нагрева до инструмента; S — подача инструмента; V — скорость главного движения; t — глубина резания.



б Электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием

Оптимизируемые параметры:

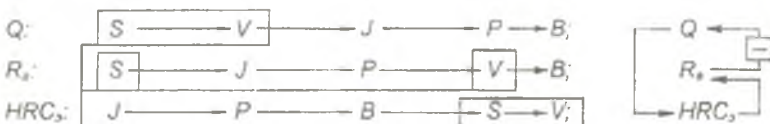
Q — производительность нанесения слоя поверхности;

R_a — среднеарифметическое отклонение профиля;

HRC_3 — твердость поверхности по Роквеллу

Технологические факторы:

J — сила тока плазменной дуги; B — магнитная индукция; S — подача инструмента; V — скорость главного движения; P — усилие деформирования.



Обобщенная структурная схема ГПМ

- 1 — полюсный наконечник электромагнита
- 2 — бункерное дозирующее и транспортирующее устройство
- 3 — инструмент с держателем
- 4 — обрабатываемая деталь

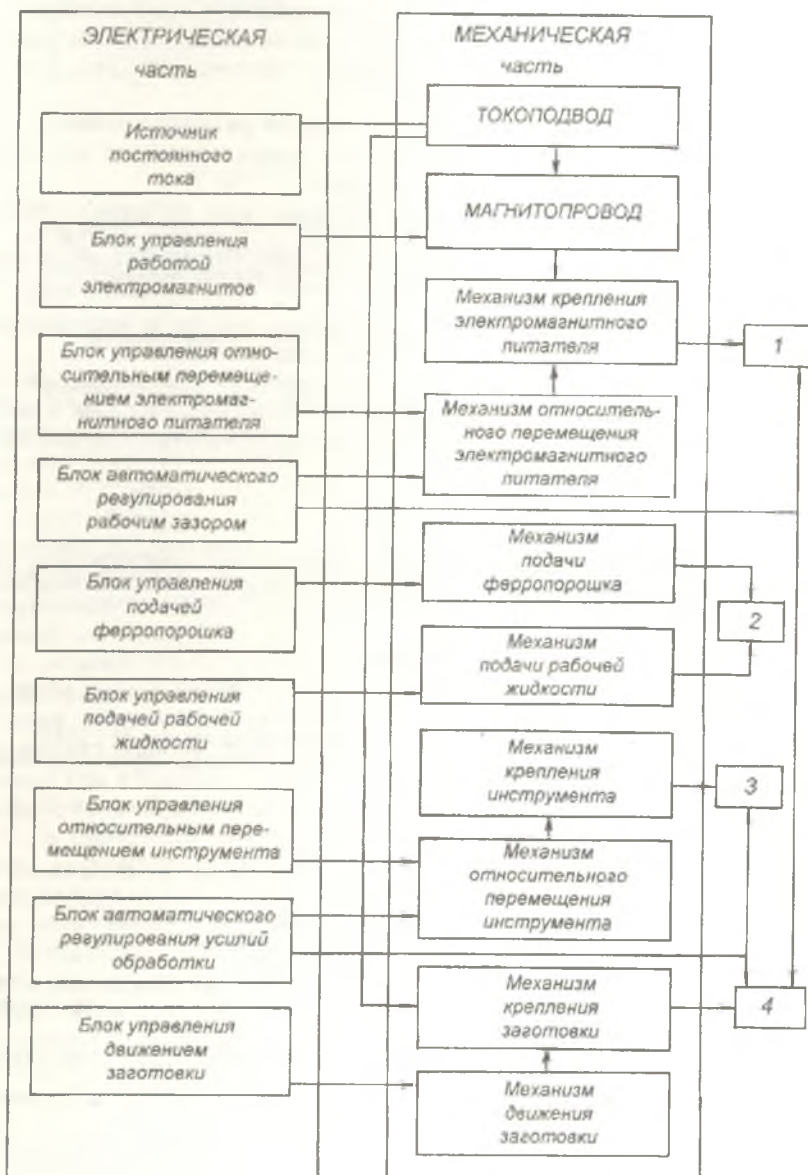


Рис. 2. Последовательность проектирования процессов и оборудования концентрированной обработки: определение значимости технологических факторов и влияния положительных (а) или отрицательных (б) обратных связей на формируемые параметры; моделирование компоновки и структуры (в) гибких производственных модулей

можно сделать вывод о том, что технологическая система обеспечивает длительную устойчивую работу в автоматическом режиме и не требует внешних управляющих воздействий. Это подтверждает целесообразность использования технологического комплекса в виде системы автономных гибких производственных модулей (ГПМ) [15].

Для производства изделий с помощью ГПМ целесообразно использовать термомеханические и электромагнитные потоки вещества и энергии (рис. 2, в), так как процессы формообразования поверхностей носят в основном термомеханический характер, а электромагнитные потоки наиболее технологичны (вследствие простоты их формирования и удобства в управлении). В конкретных условиях в зависимости от серийности производства и характера выпускаемой продукции могут быть рекомендованы различные схемы компоновки ГПМ, но при этом структурная схема модуля (рис. 2, в) всегда содержит рассмотренные части и элементы.

Проведенный анализ основных направлений развития технологических комплексов позволяет рекомендовать при проектировании их многофакторную оптимизацию проводить по стадиям.

I. Ограничивая структурную и параметрическую избыточность обрабатываемой системы.

II. Обеспечивая самонастройку и самоорганизацию адаптивных функциональных подсистем комплекса.

III. Концентрируя централизованные материальные и информационные потоки, ограничивая и выделяя связи потоков в системе.

При этом на всех стадиях в качестве критерия многофакторной оптимизации целесообразно использовать производство энтропии в информационных процессах [4] при высокоэффективной обработке изделий на технологических комплексах.

Summary

Structural and parametric redundancy adaptation of subsystems and structures, centralization of material and information flows during designing technological complexes were considered.

Литература

1. Артоболовский И. И., Ильинский Д. Я. Основы синтеза машин автоматического действия. М., 1983.
2. Кошкин Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. М., 1982.
3. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах: Введение в теорию диссипативных структур. М., 1979.
4. Ящерицын П. И., Шипко А. А., Хейфец М. Л., Попок Н. Н. // Докл. АН Беларуси. 1996. Т. 40, № 1. С. 118–121.
5. Хакен Г. Синергетика. М., 1980.
6. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л., Сенчило И. А. // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39, № 1. С. 117–120.
7. Каллиоппин В. В. Механика волны при резании. Мн., 1969.
8. Ламм М. М. Гидродинамическая теория резания металлов и практика ее применения. Харьков, 1956.
9. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М., 1974.
10. Ящерицын П. И., Борисенко А. В., Хейфец М. Л. // Вестн АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 1992. № 1. С. 48–53.
11. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле. Мн., 1995.
12. Шульц В. В. Форма естественного износа деталей машин и инструментов. Л., 1990.
13. Хейфец М. Л., Ящерицын П. И. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 6. С. 66–76.
14. Хейфец М. Л., Ящерицын П. И. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1995. № 4. С. 61–72.
15. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л. // Вестник машиностроения. 1996. № 3. С. 33–36.

Физико-технический институт АН Беларуси,
Белорусский аграрный технический университет,
Полоцкий государственный университет

Поступило 29.08.96