

13. Способ обработки поверхности стальных изделий: а.с. 1400089 СССР МКИ С21D1/09 / С.Ф. Кукин, Н.Н. Дорожкин, Е.В. Пасах (СССР). – № 4102337; заяв. 19.05.86 (не публикуется).

14. Способ поверхностного термического упрочнения стальных изделий: а.с. 1587922 СССР МКИ С21D1/09, 1/06 /С.Ф. Кукин, Е.В. Пасах, А.С. Фомченко, В.И. Дубняков (СССР). – № 4491357; заяв. 10.10.88 (не публикуется).

УДК 621:681.5

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

Л.М. Акулович

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск;*

*Е.З. Зевелева, М.Л. Хейфец*

*УО «Полоцкий государственный университет»*

**Введение.** Современными тенденциями развития производства является внедрение технологических комплексов (ТК), являющихся сложными электромеханическими системами, реализующими процессы комбинированной обработки, их оснащение инструментами, установками, устройствами автоматизации. Интеграция электромеханики и микроэлектроники при компоновке машин привела к появлению комплексных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Такая интеграция требует использования систем компьютерного управления движениями, деталями, инструментами, источниками энергии, транспортными и другими механизмами [1]. В результате составляющие части мехатронных комплексов не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная система обладала качественно новыми свойствами [2].

В настоящее время получили развитие мехатронные конструкции, отличающиеся высокой точностью, компактностью и многофункциональностью. Соединение технологических и транспортных составляющих комплекса в пространстве и совмещение их воздействий во времени обеспечивает производству компактность. Соединение узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными компонентами для проектирования и производства качественно новых комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциями обеспечивают на современ-

ном этапе мехатронные производственные системы [3]. Совместная трансформация потоков вещества, энергии и информационных потоков обеспечивает производству интеллектуальность [4].

Основы рационального проектирования технологических комплексов заложены научными школами И.И. Артоболевского, Л.П. Кошкина, В.С. Корсакова, Б.Е. Патона, В.Н. Подураева и др. При проектировании мехатронных ТК элементы интегрированных мехатронных комплексов выбираются разработчиком на стадии функционального проектирования, а затем обеспечивается необходимая конструкторская и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации комплекса в отличие от традиционных методов проектирования, когда пользователь самостоятельно объединяет в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройств. Это позволяет повысить надежность и технико-экономическую эффективность оборудования.

Методологической основой разработки мехатронных систем служат методы проектирования, заключающиеся в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонентов системы [1]. В мехатронных системах для обеспечения высокой точности реализации сложных движений применяются методы интеллектуального управления. Данная группа методов опирается на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники и концепцию виртуального производства.

**Производственно-технологические комплексы.** Функционально простую мехатронную систему ТК (рис. 1) можно подразделить на следующие составные части: исполнительные устройства (объект управления и приводы), информационные устройства (датчики внутреннего состояния системы и датчики состояния внешней среды) и систему управления (компьютер и микропроцессоры) [1, 3, 4].

Гибкость функционирования мехатронной системы в виртуальном производстве обеспечивается применением универсальных рабочих органов (инструментов и источников энергии), способных выполнять различные операции, или изменением модулей сменного инструмента, которые выбираются системой управления в соответствии с выполняемыми операциями, или управлением источниками энергии. В таких системах заранее определить число и вид необходимых исполнительных устройств и датчиков невозможно. Возникает необходимость решить две задачи:

- 1) обработать и систематизировать информацию, поступающую с датчиков;
- 2) обеспечить синхронизацию между этой информацией и движением исполнительных устройств.

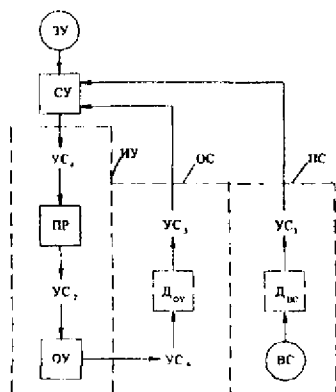


Рис. 1. Составные части мехатронной системы ТК:

ИУ – исполнительные устройства; ОС – обратная связь; ПС – прямая связь; ЗУ – задание на управление; СУ – система управления; УС – устройство сопряжения; ПР – приводы; ОУ – объект управления; Д<sub>об</sub> – датчики состояния объекта управления; Д<sub>вс</sub> – датчики состояния внешней среды; ВС – внешняя среда

Взаимодействие между этими частями, реализующее прямые и обратные связи в системе, осуществляется через устройство сопряжения (интерфейс).

Система управления включает аппаратные средства и программное обеспечение, которое управляет согласованной работой аппаратных средств и обеспечивает синхронизацию процессов сбора и обработки данных, поступающих от информационных устройств, с процессами, управляющими исполнительными устройствами.

Обобщенная схема производственно-технологического комплекса (рис. 2) должна содержать все необходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления; приводы; датчики; управляющие устройства, сопряженные между собой; систему программного обеспечения.

Важную роль в обеспечении многофункциональной работы мехатронной системы играют алгоритмические и программные средства. В результате структурная схема любого гибкого производственного комплекса должна иметь рассмотренные элементы, чтобы обеспечить ему длительное время устойчивой работы в автономном режиме, используя минимальное количество управляющих воздействий от пространственно удаленных подразделений виртуального предприятия.

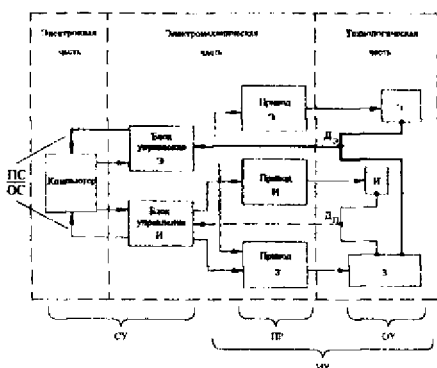


Рис. 2. Структурная схема мехатронного комплекса:

- З – заготовка; И – инструмент; Э – концентрированный источник энергии;  
 Дп – датчик перемещений; Дн – датчик интенсивности потока энергии;  
 СУ – система управления; ИР – приводы; ОУ – объект управления;  
 ИУ – исполнительные устройства; ПС – прямая связь; ОС – обратная связь

Анализ организационно-технических мероприятий по обеспечению эффективности гибкого производства позволил определить основные этапы проектирования мехатронных производственно-технологических комплексов комбинированной обработки изделий [14]:

- 1) выбор источников энергии для интенсификации технологических процессов;
- 2) анализ реологии технологической среды, использующей потоки энергии;
- 3) выделение прямых и обратных связей в системе при технологических воздействиях;
- 4) исследование элементов технологической системы комбинированной обработки;
- 5) изучение взаимодействий элементов в рабочей зоне технологической системы;
- 6) структурный анализ открытой производственной системы высокоэффективной обработки;
- 7) структурный синтез технологических комплексов, использующих источники энергии;
- 8) параметрическая оптимизация установок, инструментов и средств оснащения технологического комплекса;
- 9) компоновка гибкого производственно-технологического комплекса комбинированной обработки;
- 10) синтез мехатронной системы комбинированной обработки.

**Производственно-технологический комплекс комбинированной обработки в электромагнитном поле.** Рассмотрим структуру гибкого производственно-технологического комплекса (ГПТК) комбинированной обработки изделий в электромагнитном поле.

В соответствии с используемыми электромагнитными и термомеханическими потоками [4] ГПТК конструктивно подразделяется на две структурные составляющие: электрическую и механическую части.

Основные узлы гибкого производственно-технологического комплекса комбинированной обработки соответствуют выделенным блокам:

- 1) механизм крепления и движения заготовки;
- 2) механизм крепления и относительного перемещения инструмента;
- 3) механизм подачи ферропорошка и рабочей жидкости;
- 4) механизм крепления и относительного перемещения электромагнитного питателя;
- 5) источник постоянного тока.

Структурная схема содержит все необходимые и сопряженные между собой составляющие мехатронной системы: объекты управления и приводы; датчики; управляющие устройства. Так как, структурная схема ГПТК комбинированной обработки в электромагнитном поле имеет все рассмотренные элементы, то это позволяет комплексу длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме [4].

Производственно-технологический комплекс для комбинированной в электромагнитном поле использует термомеханические и электромагнитные потоки вещества и энергии, так как процессы формирования поверхностей деталей носят в основном термомеханический характер, а электромагнитные потоки вследствие простоты их формирования и удобства в управлении наиболее технологичны. Одновременное применение при обработке нескольких потоков энергии, передаваемых в рабочую зону, как технологической средой, так и инструментом, резко повышает производительность технологических операций [4].

Однако совместное использование нескольких потоков создает технологические ограничения по устойчивости комбинированных процессов. Поэтому принципиально новые ГПТК для комбинированной обработки в электромагнитном поле в настоящее время целесообразно создавать на основе использования процессов самоорганизации в технологических системах.

Схема установки комбинированной обработки в электромагнитном поле приведена на рисунке 3.

**Процессы комбинированной обработки в электромагнитном поле.** Рассмотрим гамму технологических операций: нанесение покрытий, термообработку, деформирование и абразивную обработку поверхностей

слоев, которые должны реализовываться ГПТК при комбинированной обработке в электромагнитном поле [3].

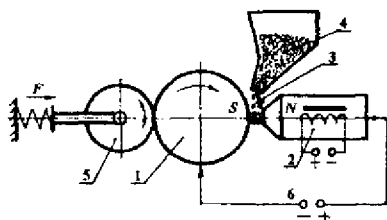


Рис. 3. Принципиальная схема комбинированных способов обработки в электромагнитном поле: 1 – заготовка; 2 – электромагнит; 3 – ферромагнитный порошок; 4 – бункер-дозатор; 5 – абразивный круг или деформирующий ролик; 6 – источник разрядного тока

Для нанесения поверхностного слоя используется метод электромагнитной наплавки. Процессами формирования поверхности при наплавке управляют электромагнитные потоки, которые помимо фиксации частиц ферропорошка обеспечивают интенсивное тепловыделение в местах их контакта с деталью и, изменяя электросопротивление в рабочей зоне, регулируют сплошность покрытия и стабилизируют его толщину.

Для термообработки поверхностного слоя используется энергия электродугового разряда, что позволяет легировать поверхностный слой основы как элементами материала порошка, так и элементами присадок в транспортирующей жидкости. Управлять глубиной и степенью упрочнения поверхностного слоя в процессах термообработки и легирования позволяют главным образом электромагнитные потоки в рабочей зоне.

Для деформационного упрочнения поверхностных слоев используются накатники. При поверхностном пластическом деформировании шариком дополнительные степени свободы позволяют ему в результате взаимодействия с обрабатываемой поверхностью помимо качения совершать вращение.

Нагрев поверхностного слоя тормозит вращение и уменьшает длину траектории шарика, что приводит к снижению интенсивности пластической деформации. Таким образом, управлять процессом деформирования позволяет термическое воздействие и дополнительное вращение шарика.

Обработка вязких и пластичных материалов абразивным кругом приводит к засаливанию, что препятствует его самозатачиванию. Управлять процессом обработки в этом случае позволяют электромагнитные потоки, когда сьем металла осуществляется незакрепленными зернами абразивного по-

рошка с ферромагнитным покрытием, подаваемыми СОЖ в рабочий зазор и подвергаемыми воздействию постоянного магнитного поля.

Результаты исследования процессов нанесения, термообработки, деформирования и полирования поверхностных слоев позволили сделать вывод о том, что между рассматриваемыми процессами термомеханической обработки в электромагнитном поле существует взаимосвязь по общности свойств технологических решений. Это позволяет, используя синергетический подход, совместить технологические процессы комбинированной обработки в электромагнитном поле в едином производственно-технологическом комплексе. Создание условий для использования явлений самоорганизации совмещаемых процессов обеспечивает стабилизацию их параметров, что позволяет технологическому оборудованию длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме. Это указывает на целесообразность проектирования гибких производственно-технологических комплексов комбинированной обработки в электромагнитном поле [4].

**Выводы.** Таким образом, на основании проведенных исследований разработана методология оптимизационного синтеза производственно-технологических комплексов комбинированной обработки изделий, включающая: анализ методов обработки; структурный синтез технологических комплексов; параметрическую оптимизацию производственных комплексов.

Методология использует структурную и параметрическую избыточность в технологической системе; применяет адаптацию обрабатываемых и обслуживаемых подсистем; объединяет материальное и информационное обеспечение технологических комплексов.

При проектировании производственно-технологических комплексов комбинированной обработки изделий предложено ограничивать структурную и параметрическую избыточность обрабатывающей системы, обеспечивая самоорганизацию и самонастройку функциональных подсистем комплекса на основе пространственной и временной концентрации технологических операций и транспортных переходов.

#### Литература

1. Мехатроника / Т. Исии [и др.]; пер. с яп. С.Л. Масленикова; под ред. В.В. Василькова. – М.: Мир, 1988. – 314 с.
2. Сироткин, О. Технологический облик России на рубеже XXI века / О. Сироткин // Экономист. – 1998. – № 4. – С. 3–9.
3. Ящерицын, П.И. Основы проектирования технологических комплексов машиностроения / П.И. Ящерицын, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск: Технопринт, 2006. – 248 с.
4. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / Л.М. Акулович [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.