

ции: температурные (двигатель горячий, холодный), скоростные (на холостом ходу, на средних оборотах, на высоких, при резком ускорении), условия нагрузочные (без нагрузки, под нагрузкой, при любых нагрузках). Системообразующим является процесс сгорания топливовоздушной смеси в цилиндрах. Действительные процессы двигателя представлены в виде совокупностей перцептронов образующих кластеры диагностических событий. Исследование флуктуации быстропротекающих циклических процессов газообмена, сжатия, воспламенения и выгорания топливовоздушной смеси позволяет соотнести сложные симптомы неисправности к отдельным системам, подсистемам и элементам. Что позволяет повысить достоверность диагностирования при одновременном снижении трудоемкости, повышает эффективность выявления постепенных и комплексных неисправностей.

**Заключение.** Предложена диагностическая модель рабочих процессов в двигателе с опорой на предикаты нечеткой логики; предложена нечеткая модель оценки характера флуктуации рабочих процессов двигателя; методики диагностирования по ускорению отработавших газов и виброколебаниям двигателя. Прототип диагностической системы реализован в среде Excel-2010 пакета Microsoftoffice-2010.

#### Литература

1. Тарасик, В.П. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств: моногр. / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с.
2. Уваров, Г.А. Компьютерные технологии в виброакустическом диагностировании автомобилей / Г.А. Уваров // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2011. – № 11. – С. 25 – 30.
3. Иванов, В.П. Совершенствование системы диагностирования бензиновых автомобильных двигателей / В.П. Иванов, Г.А. Уваров // Вест. Брест. госуд. ун-та. – Машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 35 – 38.

**УДК 621:681.5:658.512**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

**М.Л. Хейфец<sup>1</sup>, В.И. Бородавко<sup>1</sup>, А.М. Пынькин<sup>1</sup>,  
Л.М. Акулович<sup>2</sup>, Е.З. Зевелева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск

<sup>3</sup>Полоцкий государственный университет, Новополоцк

*Разработана методология оптимизационного синтеза мехатронных технологических комплексов, включающая: структурный синтез технологических комплексов высокоэффективной обработки; анализ адаптивного*

*управления в мехатронных комплексах; параметрическую оптимизацию производственных процессов и средств оснащения. Применение мехатронных технологических позволяет повысить производительность благодаря использованию комбинированных методов обработки и обеспечивает автоматизацию производства путем его переналадки и адаптивного управления.*

**Введение.** 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. В результате составляющие части мехатронных технологических комплексов (ТК) не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная система обладала качественно новыми свойствами.

Элементы интегрированных мехатронных ТК выбираются разработчиком на стадии функционального проектирования, а затем обеспечивается необходимая конструкторская и технологическая поддержка при производстве и применении комплекса. Методологической основой разработки мехатронных систем служат методы проектирования, заключающиеся в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонентов системы.

В мехатронных системах для обеспечения высокой точности реализации сложных движений применяются методы интеллектуального управления. Данная группа методов опирается на теорию управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники и концепцию виртуального производства.

**Структура мехатронного технологического комплекса.** Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (использующую компьютеры и микропроцессоры) части. В нее входят: датчики состояния как внешней среды, так и самой системы управления; источники энергии; исполнительные механизмы; усилители; вычислительные элементы (компьютеры и микропроцессоры). Мехатронная система представляет собой единый комплекс электромеханических и электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется непрерывный обмен энергией и информацией. Поэтому при проектировании комплексов следует учитывать динамику протекающих процессов, обеспечивая их устойчивость и требуемое качество обработки, что достигается методами теории автоматического управления.

Функционально простую мехатронную систему ТК 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).

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.

В результате мехатронный производственный модуль конструктивно подразделяется на электрическую и механическую составляющие, а также систему управления.

Обобщенная схема производственного модуля ТК должна содержать все необходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления; приводы; датчики; управляющие устройства, сопряженные между собой; систему программного обеспечения.

**Системы управления процессами высокоэффективной обработки.** 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: обработать и систематизировать информацию, поступающую с датчиков; обеспечить синхронизацию между этой информацией и движением исполнительных устройств.

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

Структура ТК термомеханической обработки деталей с электромагнитными воздействиями в соответствии с используемыми потоками конструктивно подразделяется на электрическую и механическую составляющие, а также систему управления. Обобщенная схема ТК содержит все не-

обходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления, приводы, датчики, управляющие устройства, сопряженные между собой, и систему программного обеспечения.

Так при наплавке порошка с поверхностным пластическим деформированием наиболее сильное воздействие на геометрические, физико-механические параметры качества поверхности оказывают сила тока электрических разрядов и сила давления деформирующего элемента. Термодинамические неустойчивости, возникающие при наплавке и деформировании поверхности и изменяющие структуру наплавленных слоев, их микротвердость, геометрические показатели, ликвидируются посредством регулирования и стабилизации указанных факторов.

Современным направлением повышения устойчивости технологических систем является оснащение их средствами адаптации. Для технологических процессов термомеханического упрочнения и восстановления деталей такое решение позволяет стабилизировать температурные и силовые параметры, то есть осуществлять управление термическими и механическими воздействиями.

**Оптимальные режимы и рациональные маршруты высокоэффективной обработки.** Анализ комбинированных термомеханических и электромагнитных процессов формирования поверхностного слоя с позиций технологического наследования геометрических показателей качества поверхности дал возможность рекомендовать оптимальные режимы и рациональные маршруты операций процесса обработки на ТК.

В случае, когда необходимо обеспечить шероховатость поверхности Ra 3,2...6,3 мкм, предлагается электромагнитная наплавка ферропорошка с поверхностным пластическим деформированием при твердости покрытия до 55HRC. Если твердость превышает 55 HRC, то необходимо ротационное упрочняющее резание с электродуговым нагревом.

В случае, когда требуется шероховатость Ra 0,08...0,10 мкм, перед магнитно-абразивным полированием необходимо алмазное шлифование до Ra 1,25 мкм. Если нужна шероховатость Ra 0,4...0,8 мкм, то после нанесения покрытия достаточно операций абразивного шлифования и магнитно-абразивного полирования.

Поскольку для деталей автотракторной техники достаточно обеспечивать шероховатость рабочих поверхностей Ra 0,4...0,8 мкм, для ТК рекомендован следующий набор технологических операций: электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием, ротационное резание с электродуговым нагревом, абразивное шлифование и магнитно-абразивное полирование.

Предложенная структура мехатронного комплекса, разработанные системы управления процессами, рациональные маршруты и оптимальные

режимы высокоэффективных методов обработки деталей позволили спроектировать мехатронный ТК.

Использование ТК для операций технологического процесса по упрочнению и восстановлению наружных поверхностей тел вращения показало высокую эффективность в условиях мелкосерийного производства ремонтных предприятий. Применение ТК дало возможность уменьшить численность производственного персонала до двух-трех рабочих-операторов и повысить производительность восстановления деталей в 3-4 раза.

**Заключение.** Таким образом, на основании проведенных исследований разработана методология оптимизационного синтеза мехатронных технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий, включающая: структурный синтез технологических комплексов высокоэффективной обработки; анализ адаптивного управления в мехатронных комплексах; параметрическую оптимизацию производственных процессов и средств оснащения.

Применение мехатронных технологических комплексов позволяет существенно повысить производительность благодаря использованию комбинированных методов обработки и автоматизации производства, как с технологическим, так и с предметным принципом организации; которая может радикально изменяться путем гибкой переналадки и адаптивного управления.

**УДК 621.762.8**

## **СПЕКАНИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДОБАВКАМИ ШУНГИТА И КОРУНДА**

**М.Л. Хейфец<sup>1</sup>, В.Т. Сенюць<sup>2</sup>, В.А. Ржецкий<sup>2</sup>,  
И.Н. Черняк<sup>3</sup>, А.Г. Колмаков<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

<sup>3</sup>Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ НАН Беларуси, Минск

<sup>4</sup>Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,  
Москва, Российская Федерация

*Проведено исследование влияния высокого давления и температуры на структуру материала на основе алюминия, модифицированного наноструктурированными добавками шунгитового углерода и ультрадисперсного корунда. Отработаны технологические схемы спекания композиционных наноструктурных материалов Al-шунгит, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с содержанием модификаторов в пределах 1,5 – 5 мас.%.*