

6. Structure studies of  $C_{60}$  polymerized at low Pressures / N.A.Aksenova, A.P. Isakina, A.I. Prokhvatilov et all // Recent Adv. in the Chem. & Phys. Fullerenes and Rel. Mat. (eds. K.Kadish and R.Ruoff). – The Electrochem. Soc., Inc., Pennington , NJ. – 1997.– P. 687–694.

7. Елецкий А. В. Углеродные нанотрубки // УФН. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 945–972.

8. Thermodynamic properties of  $C_{60}$ : Effect of impurities / N.A.Aksenova, A.P.Isakina, A.I.Prokhvatilov et all // Recent Adv. in the Chem. & Phys. of Fullerenes and Rel. Mat. (eds.K.Kadish and R.Ruoff). – The Electrochem. Soc., Pennington NJ. – 1994. – V. 1. – P.1543–1549.

*Акулович Л.М.* Белорусский государственный аграрный технический университет,  
*Гайко. В.А., Позылова Н.М., Пынькин А.М.*  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск  
*Зевелева Е.З.* Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ**

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 эксплуатации комплекса. В этом радикальное отличие мехатронных систем от традиционных, в кото-

рых пользователь самостоятельно объединяет в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства.

Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (использующую компьютеры и микропроцессоры) части. Система управления ТК 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. Мехатронный производственный комплекс конструктивно подразделяется на электрическую и механическую составляющие, а также систему управления.

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. Это достигается программным обеспечением, управляющим работой соответствующих вычислительных средств. Следовательно, важную роль в обеспечении многофункциональной работы мехатронной системы играют алгоритмические и программные средства.

Структурная схема любого гибкого производственного модуля, использующего концентрированные источники энергии, должна обеспечить модулю длительное время устойчивой работы в автономном режиме, используя минимальное количество управляющих воздействий от пространственно удаленных подразделений виртуального предприятия.

Анализ комбинированных термомеханических и электромагнитных процессов формирования поверхностного слоя с позиций технологического наследования геометрических показателей качества по-

верхности дал возможность рекомендовать оптимальные режимы и рациональные маршруты операций процесса реновации на ТК.

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

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

Поскольку для деталей автотракторной техники и сельхозоборудования достаточно обеспечивать шероховатость рабочих поверхностей  $Ra$  0,4–0,8, 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 позволило уменьшить численность производственного персонала до двух-трех рабочих-операторов и повысить производительность восстановления деталей в 3–4 раза.

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

Применение мехатронных технологических комплексов в условиях мелкосерийного производства позволяет существенно повысить производительность благодаря использованию комбинированных методов обработки и автоматизации производства, как с технологическим, так и с предметным принципом организации.

*Анисович А.Г.* Физико-технический институт НАН Беларуси,  
*Бородавко В.И., Насыбулин А.Х.* ГНПО «Центр» НАН Беларуси,  
*Хилько Д.Н.* СООО «ШТРАБАГ Инжиниринг Центр», Минск, Беларусь

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФЕРРОПОРОШКА ПРИ НАПЛАВКЕ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД**

Для упрочнения и восстановления изношенных поверхностей пар трения используют различные способы нанесения покрытий, позволяющие получать поверхность с требуемым химическим составом, высокой твердостью и износостойкостью. Наиболее рациональными являются электрофизические методы, основанные на использовании концентрированных потоков энергии. Прогрессивным ресурсосберегающим методом является электромагнитная наплавка (ЭМН), обеспечивающая не только упрочнение поверхностного слоя, но и повышение его физико-химических характеристик.

Сущность метода электромагнитной наплавки заключается в расплавлении частиц порошка и металла основы импульсами разрядного тока, проходящего через цепочки-микроэлектроды порошка, формируемых магнитным полем. Для обеспечения стабильности процесса наплавки цилиндрических деталей необходимо охлаждение рабочей зоны – пространства между полюсным наконечником и деталью, в которое непрерывно подается ферромагнитный порошок в потоке рабочей жидкости.

При выборе рабочих жидкостей для ЭМН учитываются их функциональные эксплуатационные свойства: охлаждающая способность,