



Мехатроника – новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов.

В промышленности мехатронными системами являются все современные роботы, станки и измерительные комплексы, состоящие из нескольких приводов, каждый из которых в свою очередь является мехатронной системой. Такие системы позволяют исключить ряд блоков и узлов конструкции, уменьшить его массогабаритные показатели и повысить надежность комплекса.

УДК 621:681.5

МЕХАТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И УПРОЧНЕНИЯ, РАСКРОЯ И СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

д-р техн. наук, проф. М.Л. ХЕЙФЕЦ, канд. техн. наук Е.З. ЗЕВЕЛЕВА, А.А. САДЮКОВИЧ
(Полоцкий государственный университет);
канд. техн. наук О.Л. РОДИОНОВА
(Институт современных знаний, Минск)

Рассмотрены особенности использования технологических комплексов совмещенной обработки на предприятиях машиностроительного, строительного производства и других отраслях промышленности. Показано, что в технологических комплексах, совмещающих процессы упрочнения и восстановления с механической обработкой деталей машин, обратные связи технологической системы обеспечивают самоорганизацию процессов формирования поверхности и позволяют управлять их устойчивостью. Предложена методология оптимизационного синтеза технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий. Рекомендовано применение гибких производственных комплексов для повышения производительности благодаря использованию высокоэффективных методов обработки, автоматизации производства как с технологическим, так и с предметным принципом организации, изменения организации производства за счет его высокой гибкости, построения производства на принципах самоорганизации технологических процессов.

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 [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].

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

Основы рационального проектирования технологических комплексов (ТК) заложены научными школами И.И. Артоболевского [5, 6], Л.Н. Кошкина [7], В.С. Корсакова [8], Б.Е. Патона [9], В.Н. Подураева [10, 11] и др. Элементы интегрированных мехатронных комплексов 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, когда пользователь самостоятельно объединяет в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства. Именно поэтому многие сложные технологические комплексы, построенные по методологии проектирования гибких производственных систем, показали на практике низкую надежность и невысокую технико-экономическую эффективность.

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. Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (использующую компьютеры и микропроцессоры) части [3]. 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, что достигается методами теории автоматического управления [12, 13].

Мехатронные производственные 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); систему управления (компьютер и микропроцессоры) [1, 3, 4].

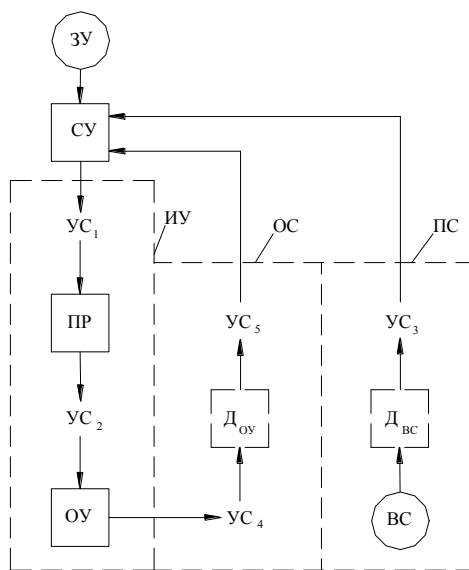


Рис. 1. Составные части мехатронной системы ТК:

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_{ОУ} – датчики состояния объекта управления; Д_{ВС} – датчики состояния внешней среды; ВС – внешняя среда

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.

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 производственного ТК (рис. 2) должна содержать все необходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления; приводы; датчики; управляющие устройства, сопряженные между собой; систему программного обеспечения.

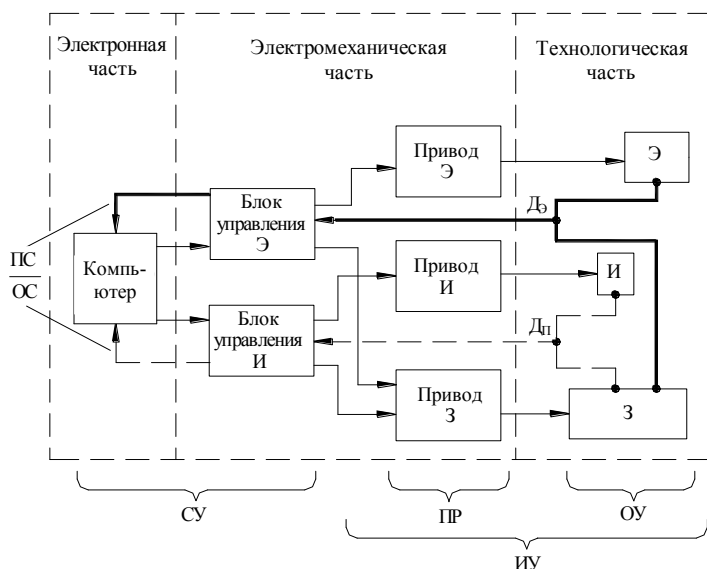


Рис. 2. Структурная схема мехатронного комплекса:
 З – заготовка; И – инструмент; Э – концентрированный источник энергии;
 ДП – датчик перемещений; ДЭ – датчик интенсивности потока энергии;
 СУ – система управления; ПР – приводы; ОУ – объект управления;
 ИУ – исполнительные устройства; ПС – прямая связь; ОС – обратная связь

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.

Анализ организационно-технических мероприятий по обеспечению эффективности гибкого производства позволил определить основные этапы проектирования мехатронных технологических комплексов высокоэффективной 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 высокоэффективной 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) параметрическую оптимизацию установок, инструментов и средств оснащения технологического комплекса;
- 9) компоновку гибкого производственного модуля комплекса обработки;
- 10) синтез мехатронной системы высокоэффективной комбинированной обработки.

Мехатронный технологический комплекс комбинированной обработки. Рассмотрим структуру гибкого производственного комплекса (ГПК) комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки (КЭТО) изделий.

В соответствии с используемыми электромагнитными и термомеханическими потоками [15] ГПК конструктивно подразделяется на две структурные составляющие: электрическую и механическую части (рис. 3).

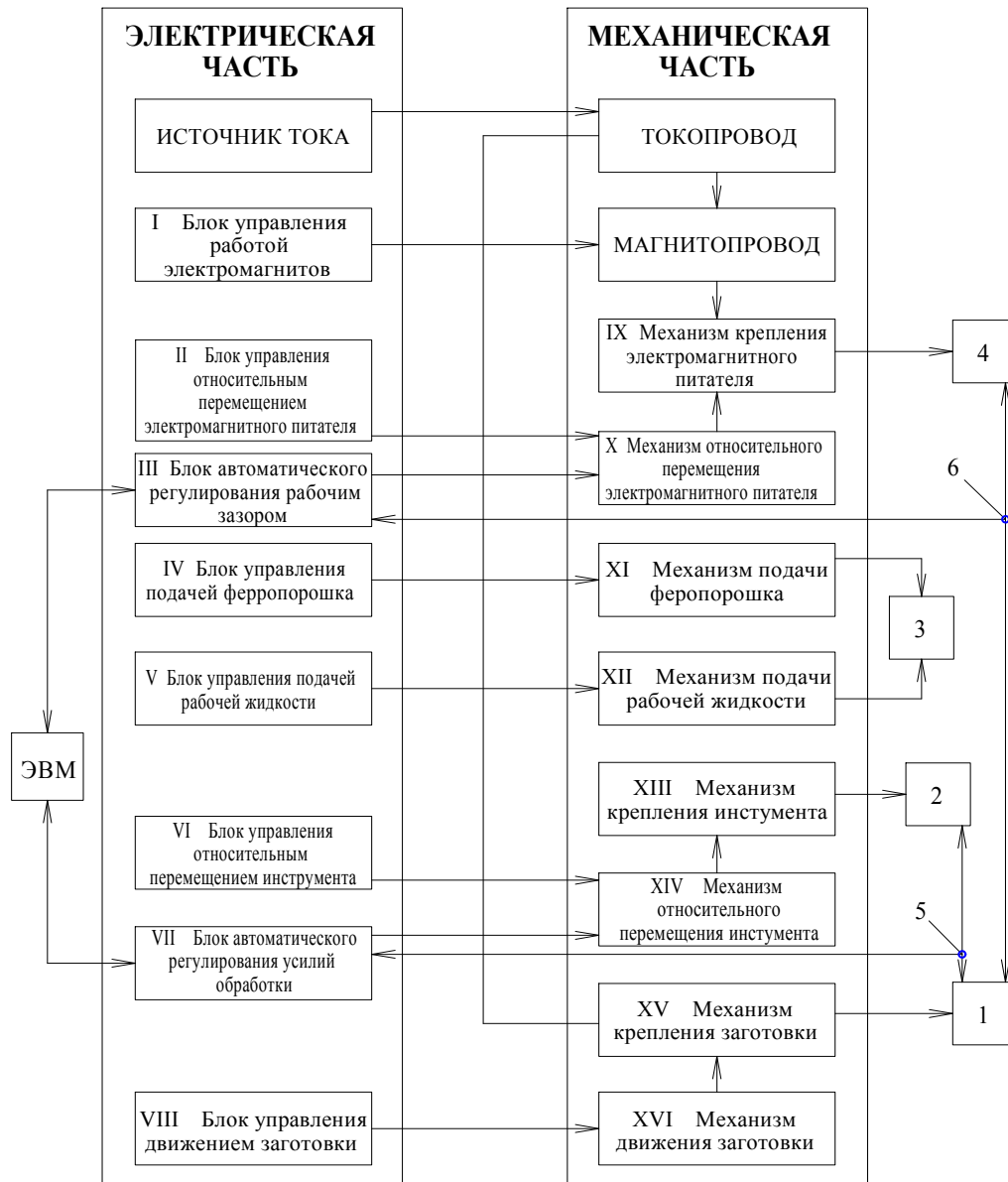


Рис. 3. Обобщенная структурная схема ГПК:

- 1 – обрабатываемая деталь; 2 – инструмент с держателем;
 3 – бункерное дозирующее и транспортирующее устройство; 4 – полюсный наконечник электромагнита;
 5 – датчик величины усилий обработки; 6 – датчик величины разрядного промежутка
 Основные узлы гибкого производственного модуля КЭТО 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

Сопряжения блоков электрической части с узлами механической части, управляющими обрабатываемой деталью 1, держателем с инструментом 2, бункерным дозирующим и транспортирующим устройством 3, полюсным наконечником электромагнита 4 показаны на структурной схеме ГПК комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки (см. рис. 3). На схеме показаны места установки датчиков величин усилий обработки 5 и рабочего зазора 6, отмечено их соединение с ЭВМ через блоки автоматического регулирования (III, VII) или микропроцессоры.

Структурная схема содержит все необходимые и сопряженные между собой составляющие мехатронной системы: объекты управления 1 – 4 и приводы (IX – XVI); датчики 5, 6; управляющие устройства (I – VII). Так как, структурная схема ГПК комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки имеет все рассмотренные элементы, то это позволяет комплексу длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме [16].

Технологический комплекс для термомеханической обработки 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 [17].

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

Схема и установка комбинированной обработки в электромагнитном поле приведены на рисунках 4 и 5.

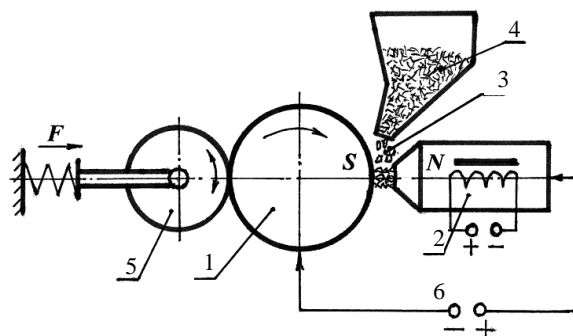


Рис. 4. Принципиальная схема комбинированных способов обработки в электромагнитном поле:

- 1 – заготовка; 2 – электромагнит; 3 – ферромагнитный порошок; 4 – бункер-дозатор; 5 – абразивный круг или деформирующий ролик; 6 – источник разрядного тока

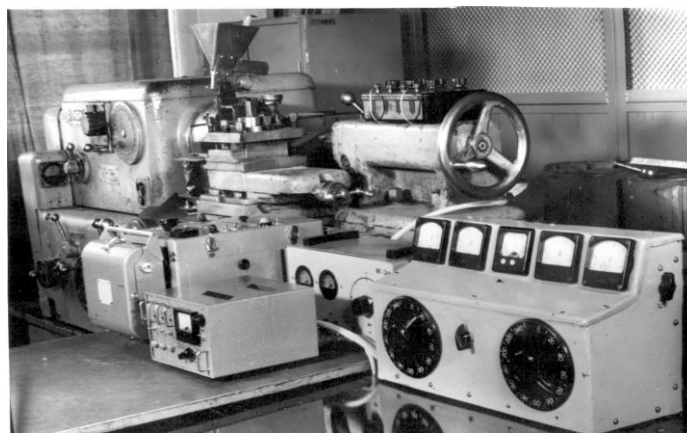


Рис. 5. Установка для комбинированной обработки в электромагнитном поле

Процессы термомеханической обработки в электромагнитном поле. Рассмотрим гамму технологических операций: нанесение покрытий, термообработку, деформирование и абразивную обработку поверхностных слоев, которые должны реализовываться ГПК при термомеханической обработке в электромагнитном поле.

Для нанесения поверхностного слоя используется метод электромагнитной наплавки [18]. 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 [19].

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 [20].

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 [21].

Обработка вязких и пластичных материалов абразивным кругом приводит к засаливанию, что препятствует его самозатачиванию. Управлять процессом обработки в этом случае позволяют электромагнитные потоки, когда съем металла осуществляется незакрепленными зернами абразивного порошка с ферромагнитным покрытием, подаваемыми смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ) в рабочий зазор и подвергаемыми воздействию постоянного магнитного поля [22].

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 термомеханической обработки в электромагнитном поле в едином 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 производственных комплексов термомеханической обработки в электромагнитном поле [12, 14].

Анализ процессов нанесения покрытий и обработки в электромагнитном поле позволил определить пути управления технологической системой, обеспечивающие повышение производительности и качества поверхности. Термодинамические неустойчивости, возникающие при наплавке и деформировании поверхности, изменяющие структуры наплавленных слоев и снижающие твердость H_ε покрытия, уменьшаются посредством регулирования силы разрядного тока I , величины магнитной индукции B и усилия деформирования P . Это позволяет повышать устойчивость технологической системы и снижать шероховатость при формировании термомеханических структур в поверхностном слое.

При нанесении покрытия и магнитно-абразивной обработке образование термодинамически неустойчивых структур определяется параметрами электромагнитного поля в рабочей зоне. Напряженное состояние σ_f и σ_m порошковой среды зависит главным образом от магнитной индукции B и определяется силой тока I при электродуговых разрядах. Регулирование параметров электромагнитного поля B и I , управляющих движениями, фиксацией и плавлением порошка, изменяет электропроводимость порошковой среды. Это является одним из путей повышения устойчивости технологической системы в процессах, использующих энергию электромагнитного поля, и стабилизации параметров качества покрытия.

При формировании поверхности свободным абразивом или накатным инструментом с ростом усилия деформирования P увеличивается твердость HRC обрабатываемой поверхности, вследствие этого возрастают скорости дополнительных перемещений инструмента. Нагрев обеспечивает повышение степени деформации, но снижает скорости дополнительных перемещений, что приводит к увеличению отклонений микрорельефа поверхности R_a . Совместные согласованные воздействия на материал нагрева и дополнительных перемещений повышают через обратную связь устойчивость технологической системы, в результате чего формируется поверхностный слой максимальной твердости H_ε и минимальной шероховатости R_a .

Организация обратной связи в технологической системе через дополнительные перемещения частиц порошка и формообразующих инструментов, а также посредством воздействий потоками энергии позволяет управлять устойчивостью термомеханических процессов в электромагнитном поле.

В результате проведенных исследований в технологической системе установлены обратные связи, характеризующие производительность обработки Π : положительная при формировании поверхности или отрицательная при упрочнении поверхностного слоя:

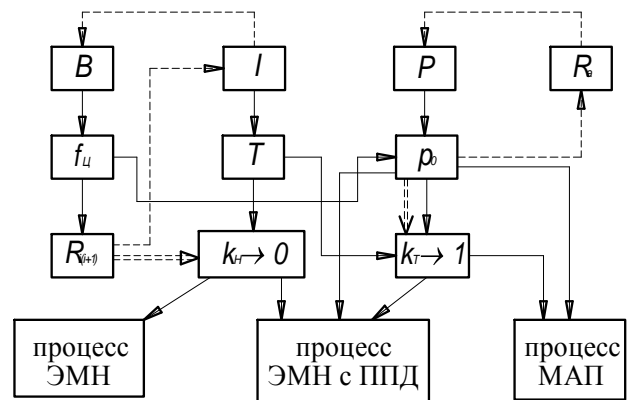
$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \Pi \leftarrow + \\ \downarrow \\ R_a = \frac{\Pi}{1 - H_\varepsilon} \\ \downarrow \\ H_\varepsilon \end{array} & \text{или} & \begin{array}{c} \Pi \leftarrow - \\ \downarrow \\ H_\varepsilon = 1 - \frac{\Pi}{R_a} \\ \downarrow \\ R_a \end{array}
 \end{array}$$

При использовании положительной обратной связи дополнительные перемещения частиц порошка или инструмента, подавляя рассеяние потоков энергии, создают упрочняющие структуры в поверхностном слое и повышают производительность обработки.

При использовании отрицательной обратной связи дополнительные воздействия потоками энергии, формируя упрочняющие структуры, не допускают развития неустойчивостей процесса образования рельефа поверхности и повышают качество обработки при снижении ее производительности.

Организация обратных связей в технологической системе создает условия для самоорганизации процессов формирования поверхности и позволяет управлять устойчивостью процессов упрочнения и обработки в электромагнитном поле через дополнительные перемещения частиц порошка и формообразующих инструментов, а также посредством воздействий потоками энергии и позволяет управлять устойчивостью процессов упрочнения и обработки в электромагнитном поле.

Управление устойчивостью процессов упрочнения и обработки. Для обеспечения устойчивости нестационарных технологических процессов, таких как электромагнитная наплавка и магнитно-абразивная обработка, разработана схема управления (рис. 6), основанная на поддержании заданного уровня устойчиво протекающих диссипативных процессов и на использовании явлений их самоорганизации.



----- обратная связь -----> самоорганизация

Рис. 6. Функциональная схема управления устойчивостью процессов упрочнения и обработки в электромагнитном поле:

ЭМН – электромагнитная наплавка; ППД – поверхностное пластическое деформирование;
 МАП – магнитно-абразивное полирование; f_u – усилие прижима порошка к поверхности детали;
 $R_{i(i+1)}$ – контактное сопротивление частиц порошка в электроде-цепочке; θ – температура; p_0 – давление;
 k_H – коэффициент распределения энергии; k_T – коэффициент трения скольжения;
 B – магнитная индукция; I – разрядный ток; P – усилие деформирования

Управлять процессами термодинамического упрочнения поверхности позволяют тепловое воздействие и дополнительные степени свободы деформирующего инструмента, а при магнитно-абразивной обработке – потоки магнитной энергии, когда сьем металла осуществляется незакрепленными частицами абразивного порошка [3, 4].

В соответствии с протекающими в рабочей зоне процессами движения материальных потоков термодинамические неустойчивости, возникающие при наплавке и деформировании поверхности, снижаются посредством управления величиной магнитной индукции (B) и стабилизацией силы тока (I) электрических разрядов, определяющего температуру в зоне упрочнения, а также регулированием усилия деформирования (P), создающего напряжения в поверхностном слое.

При электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием наиболее сильное влияние на геометрические (шероховатость R_a), физико-механические (микротвердость $H\mu$) и эксплуатационные (относительная износостойкость ε_0) параметры качества поверхности оказывают сила тока (I) электрических разрядов и усилие деформирования (P) инструментом.

Термодинамические неустойчивости, возникающие в процессах термомеханического упрочнения и восстановления деталей в электромагнитном поле при наплавке и деформировании поверхности и изменяющие структуру наплавленных слоев, их микротвердость, геометрические показатели, уменьшаются посредством регулирования величины магнитной индукции (B) и стабилизации параметров I и P .

Современным направлением повышения устойчивости технологических систем является оснащение их средствами адаптации. Управление процессами базируется на поддержании заданного уровня устойчиво протекающих диссипативных процессов и на использовании явлений их самоорганизации [13]. Для технологических процессов термомеханического упрочнения и восстановления такое решение позволяет стабилизировать температурные и силовые параметры, т.е. осуществлять управление термическими и меха-

ническими воздействиями. В качестве управляемых технологических параметров приняты величина тока I , определяющая тепловое состояние зоны упрочнения, и усилие пластического деформирования P , определяющее напряженное состояние поверхностного слоя [4].

Система автоматического управления технологическим комплексом. По результатам исследований для процесса упрочнения в электромагнитном поле разработаны методология управления нестационарными технологическими процессами с использованием системы адаптивного управления величиной магнитной индукции и усилием деформирования [23].

Применение для контроля силы тока измерительных систем с использованием электромагнитных датчиков затруднено тем, что неустойчивость процессов в электрической дуге создает мощные электромагнитные помехи, дополняющиеся наличием паров металла, тепловым и световым излучениями. Поэтому схема адаптивного управления (рис. 7, а) использует в качестве датчика параметры электрической дуги, сигнал от которой поступает в блок сравнения (БС), сравнивается с сигналом от блока расчета (БР). Разность этих значений преобразуется усилителями напряжения (УН) и тока (УТ) и обрабатывается оконечным каскадом (ОК), далее интегрированное значение тока выдается на преобразователь напряжения (ПН) в обмотках электромагнитной системы. При этом ОК обеспечивает заданный уровень мощности, сравнивает текущее состояние с предыдущим, не реагируя на импульсный характер тока электрического разряда. При коротких замыканиях система защиты (тепловой элемент (ТЭ) – адаптер (А) – КЛЮЧ) отключает внешнее магнитное поле, и процесс наплавки прерывается до устранения короткого замыкания. Совмещение точки измерения непосредственно с зоной термического воздействия повышает точность и надежность системы управления.

Система автоматического управления усилием деформирования (P) (рис. 7, б) состоит из датчика положения (ДП), блока задания положения (ЗП), контроллера с аналого-цифровым (АЦП) и цифро-аналоговым (ЦАП) преобразователями, пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД), усилителя мощности (УМ) и реверсивного шагового двигателя (РШД).

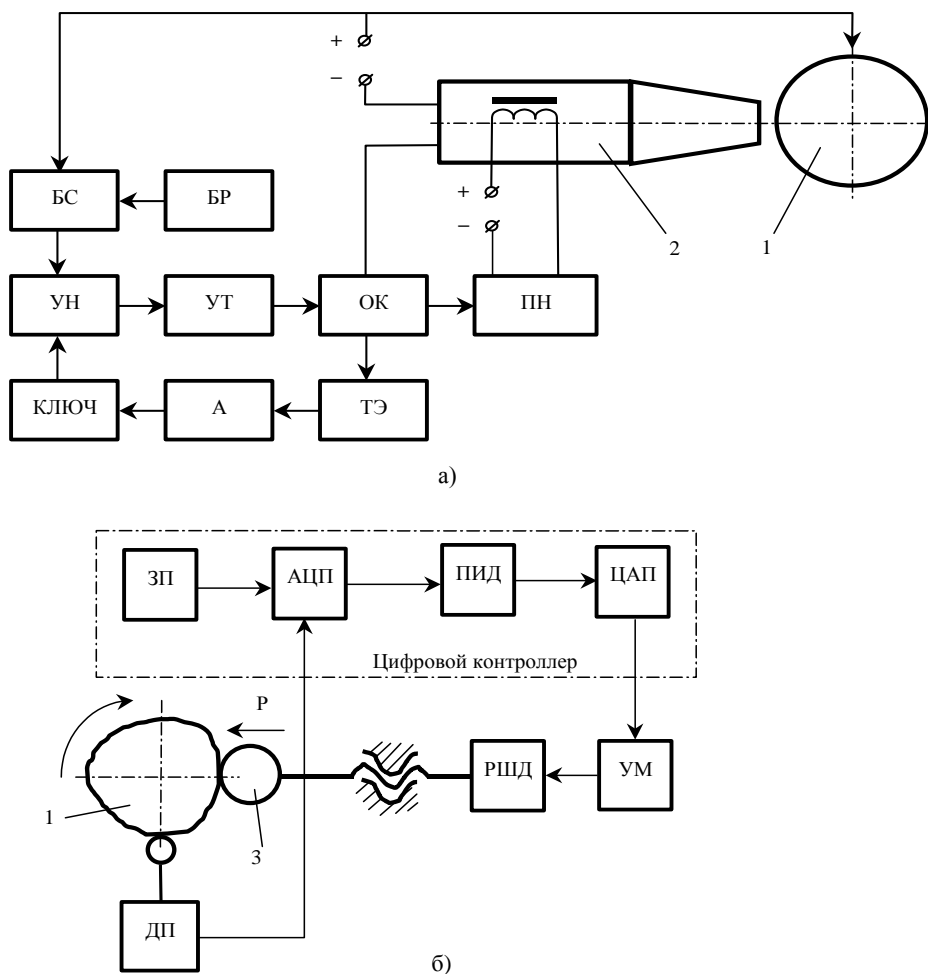


Рис. 7. Структурные схемы систем управления величиной разрядного тока I (а) и усилием деформирования (б):
1 – деталь; 2 – электромагнит; 3 – накатник

При управлении производственными процессами широко используется пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования [4]. Аналоговая форма алгоритма имеет вид:

$$y(t) = kx(t) + \frac{k}{T_1} \int_0^t x(t)dt + kT_2 \frac{dx}{dt}, \quad x(t) = u(t) - c(t),$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие, подаваемое с регулятора на объект управления; $u(t)$ – требуемый выходной сигнал объекта; $c(t)$ – действительный выходной сигнал объекта; k – коэффициент усиления; T_1 – постоянная времени интегрального регулирования; T_2 – постоянная времени дифференциального регулирования.

Используя в уравнении упрощенные выражения:

$$\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{x_n - x_{n-1}}{\Delta t},$$

$$\int_0^t x(t)dt \approx \int_0^{t-\Delta t} x(t)dt + \frac{x_n + x_{n-1}}{2} \Delta t$$

и соотношение

$$\int_0^{t-\Delta t} x(t)dt = \frac{T_1}{k} \left[y_{n-1} - kx_{n-1} - kT_2 \frac{x_{n-1} - x_{n-2}}{\Delta t} \right],$$

получаем пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования в разностной форме:

$$y_n = y_{n-1} - k_1 x_n - k_2 x_{n-2} + k_3 x_{n-2};$$

где

$$k_1 = k \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{T_2}{\Delta t} \right); \quad k_2 = k \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{2T_2}{\Delta t} \right); \quad k_3 = k \frac{T_2}{\Delta t}.$$

Ввод значения x_n осуществляется микропроцессором с аналого-цифрового преобразователя побайтно. После ввода каждого нового значения необходимо записать его в запоминающее устройство, вычислить управляющее воздействие y_n и выдать его на цифро-аналоговый преобразователь, переместить величину x_n на место x_{n-1} , а x_{n-1} на место x_{n-2} . Величина y_n помещается на место y_{n-1} . После этого микропроцессор готов к вводу нового значения x_n .

При вращении упрочняемой детали датчик положения, попадая на неровность, выдает аналоговый сигнал, амплитуда которого находится в пропорциональной зависимости от высоты неровности. Этот сигнал преобразуется в цифровую форму в виде разности значения текущего и предыдущего опроса, сравнивается с сигналом блока задания положения и поступает в ПИД-регулятор. Реакцией регулятора на входное воздействие является угол поворота вала шагового двигателя, преобразующийся через винтовую пару в линейное перемещение деформирующего элемента. При этом дифференциальная составляющая обеспечивает моментальную выборку всех люфтов и зазоров в системе привода, а интегральная – плавное изменение величины усилия поджима деформирующего элемента.

С помощью коэффициентов имеется возможность точно настраивать регулятор на текущий технологический процесс. Выходная величина с регулятора преобразуется в аналоговый вид. Усилитель тока преобразует изменение входного напряжения в силовой сигнал, достаточный для поворота вала шагового двигателя на рассчитанный угол.

Применение технологических комплексов. Анализ термомеханических и электромагнитных процессов формирования поверхностного слоя с позиций явления технологического наследования показателей качества поверхности дал возможность рекомендовать оптимальные режимы и рациональные маршруты операций процесса обработки изделий на ГПК КЭТО [24].

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 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 удовлетворяет шероховатость Ra 0,4...0,8 мкм, то после нанесения покрытия достаточно абразивного шлифования и магнитно-абразивного полирования.

Поскольку при восстановлении и упрочнении деталей достаточно обеспечивать шероховатость рабочих поверхностей Ra 0,4...0,8 мкм, для ГПК рекомендован набор технологических операций: электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием, резание с электродуговым нагревом, абразивное шлифование и магнитно-абразивное полирование.

Использование гибкого производственного комплекса комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки для операций технологического процесса по упрочнению и восстановлению наружных поверхностей тел вращения типа валов, осей и втулок и других на ремонтных предприятиях показало высокую эффективность комплексов в условиях мелкосерийного производства.

При производстве строительных конструкций из монолитного и сборного железобетона около 40 % материальных и трудовых затрат приходится на сварные арматурные изделия: арматурные сетки, плоские и пространственные каркасы из проволоки диаметром 3...8 мм. Большая номенклатура этих изделий и частая сменяемость объекта производства потребовали гибкой автоматизации оборудования для их изготовления. Решение проблемы состояло в создании технологического комплекса на основе синтеза унифицированных механизмов, агрегатов и систем, интегрированных в блоки, включающие механическое, сварочное оборудование, системы электрооборудования и программного управления. В состав технологического комплекса входит оборудование для правки, сварки, вырубки проволоки, укладки готовых сеток в пакет. Общий вид технологического комплекса изготовления сварных арматурных изделий приведен на рисунке 8.

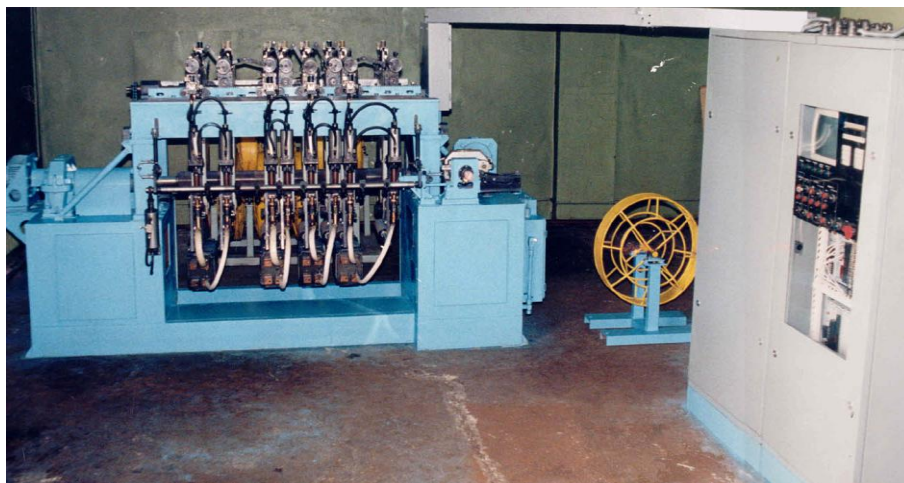


Рис. 8. Технологический комплекс по изготовлению арматурных сеток из проволоки диаметром 3...6 мм

Высокую эффективность методология проектирования технологических комплексов показала при создании оборудования и программного обеспечения для раскроя одежды, с учетом характерных особенностей тканевых материалов.

В результате накопленного опыта можно заключить, что изготовление и применение широкоуниверсальных ГПК в условиях мелкосерийного производства позволяет: существенно повысить производительность благодаря использованию высокоэффективных методов обработки; автоматизировать производство как с технологическим, так и с предметным принципом организации; радикально изменить организацию производства за счет его высокой гибкости; построить производство на принципах самоорганизации технологических процессов.

Заключение. На основании проведенных исследований разработана методология оптимизационного синтеза технологических комплексов высокоэффективной 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 обрабатывающих и обслуживающих подсистем, объединяет материальное и информационное обеспечение технологических комплексов.

При проектировании технологических комплексов высокоэффективной 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. Масленникова; 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 в машиностроении / 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.
5. Артоболевский, И.И. Основы синтеза систем машин автоматического действия / И.И. Артоболевский, Д.Я. Ильинский. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
6. Артоболевский, И.И. Механизмы в современной технике: справ. пособие: в 7 т. / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1979. – Т. 1. – 496 с.
7. Кошкин, Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 236 с.
8. Корсаков, В.С. Автоматизация производственных процессов: учебник / В.С. Корсаков. – М.: Высш. шк., 1978. – 295 с.
9. Патон, Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б.Е. Патон. – М.: Машиностроение, 1974. – 316 с.
10. Подураев, В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
11. Подураев, В.Н. Технология физико-химических методов обработки / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
12. Ящерицын, П.И. Гибкий производственный модуль для комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки изделий / П.И. Ящерицын, Л.М. Кожуро, М.Л. Хейфец // Вестн. машиностроения. – 1996. – № 3. – С. 33 – 36.
13. Проектирование технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий на основе многофакторной оптимизации / П.И. Ящерицын [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 1997. – Т. 41, № 3. – С. 112 – 118.
14. Проектирование мехатронных технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий / П.И. Ящерицын [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2003. – Т. 47, № 6. – С. 120 – 124.
15. Проектирование технологических комплексов высокоэффективной электромагнитной и термомеханической обработки / Л.М. Акулович [и др.] // Инж.-физич. журнал. – 2000. – Т. 73, № 5. – С. 1080 – 1087.
16. Структурный синтез технологических комплексов высокоэффективной обработки / Л.М. Акулович [и др.] // Инж.-физич. журнал. – 2000. – Т. 73, № 4. – С. 813 – 818.
17. Анализ высокоэффективных методов обработки при проектировании технологических комплексов / Л.М. Акулович [и др.] // Инж.-физич. журнал. – 1999. – Т. 72, № 5. – С. 971 – 979.
18. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л.М. Акулович. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
19. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: ФТИ, 1997. – 416 с.
20. Хейфец, М.Л. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей / М.Л. Хейфец, Л.М. Кожуро, Ж.А. Мрочек. – Гомель: ИММС НАНБ, 1999. – 276 с.
21. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М.Л. Хейфец – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
22. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988. – 272 с.
23. Гибкий производственный модуль термомеханического упрочнения и восстановления деталей в электромагнитном поле / Л.М. Акулович [и др.]. – Тяжелое машиностроение. – 2003. – № 6. – С. 18 – 21.
24. Применение электромагнитных и термомеханических процессов в технологических комплексах высокоэффективной обработки / П.И. Ящерицын [и др.] // Современное машиностроение. – 1999. – № 2. – С. 37 – 42.

Поступила 12.01.2009