

УДК 621.787.044

**КЛАССИФИКАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ  
НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ****Эдигаров В.Р., Килунин И.Ю., Дегтярь В.В.***ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ» филиал, Омск, e-mail: edigarovs@mail.ru*

Проведен анализ разновидностей электромеханической обработки поверхностей деталей, на основе которого предложена классификация комбинированных электромеханических методов обработки.

**Ключевые слова:** электромеханическая обработка, классификация

**KLASSIFICATION OF COMBINED METHODS OF PROCESSING  
ON BASIS ELECTROMECHANICAL HARDENING****Edigarov V.R., Kilunin I.U., Degtyar V.V.***VUNC SV «OVA VS RF» branch, Omsk, e-mail: edigarovs@mail.ru*

The analysis of varieties of electromechanical processing of details surfaces is done. On this basis the classification of combined electromechanical methods of processing is offered.

**Keywords:** electromechanical processing, classification

Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых машин связаны с необходимостью повышения их надежности, которая в значительной степени определяется эксплуатационными свойствами отдельных деталей.

Эксплуатационные свойства деталей машин существенно зависят от качества поверхностного слоя, определяемого геометрическими (макроотклонения, шероховатость) и физико-механическими (микротвердость, структура, остаточные напряжения) параметрами. Все эти параметры зависят от технологии изготовления деталей, однако традиционные методы обработки часто не позволяют эффективно получать необходимые параметры качества поверхностей. Анализ технологических методов обработки поверхностей деталей машин показывает, что универсальных методов нет, каждый имеет свою конкретную область рационального применения, зачастую достаточно узкую. Технолог и конструктор стоят перед проблемой выбора высокоэффективного метода обработки из большого числа возможных или создания на основе их совмещения комбинированного метода обработки детали. На предприятиях машиностроения все шире применяются комбинированные методы термомеханической, электрофизической, электрохимической и ионно-лучевой обработки, в основу которых положено использование высокопроизводительных инструментов, а также разнообразных источников высококонцентрированной энергии. В процессе такой обработки поверхностный слой детали поглощает в короткое время значительное количество энергии. Образующиеся в нем неравновесные диссипативные структуры аккумулируют избыток энергии и самопро-

извольно стремятся к состоянию с наименьшей свободной энергией. В поверхностном слое происходят необратимые процессы наследственности и самоорганизации, которые путем наложения и совместных действий потоков энергии ведут к образованию комплекса структур с определенными свойствами.

Большими потенциальными возможностями улучшения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин обладает электромеханическая обработка (ЭМО) [1]. ЭМО является особым способом контактной обработки поверхностей высококонцентрированным источником электрической энергии, объединяющим в единой технологической схеме силовое и термическое воздействие инструмента на деталь, что позволяет формировать уникальные свойства поверхностного слоя деталей. Основными особенностями различных видов ЭМО является: наличие нескольких источников теплоты, основные из которых электрический ток и трение, локальный нагрев зоны обработки сопровождается действием значительных давлений, термический цикл обработки кратковременен, достаточно высокая скорость охлаждения, а также влияние других технологических факторов.

В настоящее время разработано большое количество разновидностей электромеханической обработки, представляющие собой комбинацию различных высокоэнергетических воздействий на поверхность обрабатываемой детали, комбинация потоков энергии и вещества в процессе обработки обеспечивает условия, ведущие к стабилизации неравновесных процессов, основой которых является поверхностное пластическое деформирование в условиях трения скольжения при одновременном пропуска-

нии электрического тока через зону контакта детали и инструмента. Достаточно полной классификации разновидностей электромеханической обработки, комбинированных методов обработки в основе которых лежит ЭМО не существует, что создает определенные трудности при разработке технологических процессов изготовления

деталей с поверхностным упрочнением, в распределении методов обработки по точности формирования поверхности в зависимости от мощности источников воздействия, в создании поверхностных слоев с определенными, наперед заданными или закономерно-изменяющимися, параметрами качества поверхностного слоя.



Рис. 1. Классификация методов электромеханической обработки (ЭМО) и комбинированных методов обработки на основе ЭМО

В соответствии с [1] процесс ЭМО имеет следующие разновидности: электромеханическое сглаживание (ЭМС) или упрочнение (ЭМУ) и электромеханическую высадку металла (ЭМВ). Высадка является основной операцией электромеханического способа восстановления деталей. Бесспорно, на сегодняшний день такая классификация не позволяет достаточно полно раскрыть всё разнообразие электромеханического метода обработки. В работе [3] выделены: отделочно-упрочняющая ЭМО; электромеханическая поверхностная закалка; электромеханическое дорнование и электромеханическое восстановление. В последние годы появились новые разновидности ЭМО, включающие электромеханическую обработку как основу, а также другие виды высокоэнергетического воздействия или комплексное сочетание двух-трех методов поверхностной обработки, завершающим этапом которой является ЭМО – окончательно формирующая заданные параметры качества поверхностного слоя детали. Это такие комбинированные методы обработки на основе ЭМО, пред-

ставленные на рис. 1, как комплексные технологии упрочнения энергией взрыва с последующей ЭМО (УВ + ЭМО), магнитно-импульсной обработкой с последующей ЭМО (МИ + ЭМО), лазерная обработка с последующей ЭМО (ЛО + ЭМО), объемная термическая обработка с последующей ЭМО (ТО + ЭМО) [1]. Обработка с нанесением различными способами покрытий на поверхность детали с последующей ЭМО [2]. Модифицирование поверхностного слоя детали различными методами, легирование определенными химическими элементами поверхностного слоя с последующей ЭМО: электроискровое легирование с последующей ЭМО (ЭИЛ + ЭМО), химико-термическая обработка с последующей ЭМО (ХТО + ЭМО), ионная имплантация поверхности с последующей ЭМО (ИИ + ЭМО), комбинированная обработка сочетающая электромеханическое воздействие с воздействием акустических волн (ЭМАО), с воздействием ультразвуковых волн (ЭМУзО), с воздействием импульсных ударных нагрузок (ЭМИО), с трибоэлектрохимическим воздействием (ТЭХО) и дру-

гие. Одна из разновидностей ЭМО фрикционно-электрическая обработка (ФЭО) или трибоэлектрическая обработка (ТЭО) [3], отличается от ЭМО первостепенную ролью в процессе воздействия на обрабатываемую поверхность сил трения, образующих основной источник тепла в зоне фрикционно-электрического контакта за счет фрикционного воздействия (т.е. обработка производится с достаточно малыми значениями силы тока, значительным деформационным воздействием и большими скоростями обработки).

Классификация электромеханических методов обработки и комбинированных методов обработки на основе ЭМО может осуществляться по ряду признаков (рис. 2), характерных для всех комбинированных методов обработки [2].

1. По количеству и природе подводимых видов энергии (энергетических воздействий).

2. По способу подвода энергии в зону обработки.

3. По характеру распределения энергетических воздействий в пространстве и времени.

4. По количественным характеристикам энергетических воздействий.

Классификация по первому признаку основывается на использовании известных видов энергии: механической, электрической, лучевой, энергии химических реакций, термической, магнитного поля, акустического поля, энергии взрыва, а также путем комбинированного их воздействия (двух и более видов энергии) на материал поверхностного слоя обрабатываемой заготовки.

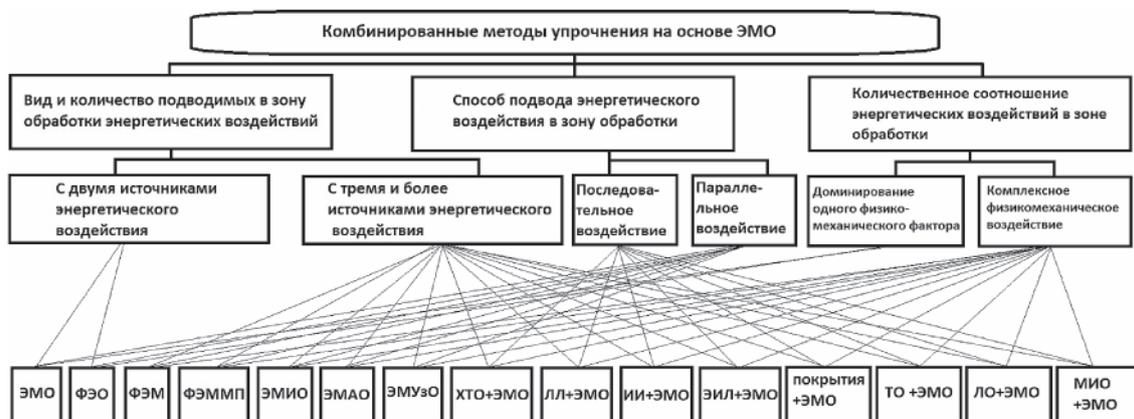


Рис. 2. Классификация комбинированных методов электромеханического упрочнения (ЭМУ)

По сути ЭМО уже является комбинацией двух видов энергии – электрической и механической, что следует даже из названия метода обработки, однако созданные в последние годы разновидности ЭМО используют в процессе обработки кроме перечисленных основных видов энергии, комбинации других. Так фрикционноэлектрическое модифицирование (ФЭМ) [4] предусматривает одновременно протекание химических процессов при электромеханическом воздействии на материал поверхности детали, в присутствии поверхностноактивных модификаторов – мелкодисперсных твердых смазок в смеси с ПАВ. ФЭМ предусматривает одновременное воздействие на обрабатываемый материал нагрева в присутствии окружающей среды специального состава с целью обеспечения насыщения поверхностного слоя детали соответствующими элементами на определенную глубину, без удаления продуктов деструкции с обрабатываемой поверхности, для повышения триботехнических характеристик пар трения, особенно на этапе приработки.

Фрикционно-электрическое модифицирование предусматривающее обработку поверхностей деталей с поверхностноактивным модификатором, который является смесью мелкодисперсных ферромагнитных порошков, в магнитном поле представляет собой новый метод обработки, использующий кроме основных факторов электромеханической обработки, энергию магнитного поля – фрикционноэлектрическое модифицирование в магнитном поле (ФЭММП).

Электромеханоакустическая обработка (ЭМАО) предусматривает одновременное электромеханическое деформирование обрабатываемого материала и воздействие акустических волн на его структуру. При электромеханоакустической обработке имеет место использование соответственно звуковых волн для изменения состояния структуры обрабатываемого материала и его деформирования в этом состоянии. Аналогичны вышеописанному комбинированным методам обработки электромеханоультразвуковая обработка (ЭМУзО) использующая ультразвуковые колебания, электромехано-

импульсная обработка (ЭМИО) и электро-механоударная (ЭМУО) использующие ударную энергию, в том числе передаваемую через волновод, причем геометрические параметры волновода способны повысить эффективность обработки например за счет пролонгации ударно-деформационного воздействия на обрабатываемую поверхность.

Второй признак — способ подвода энергии в зону обработки делит электромеханические методы обработки на подклассы методов последовательного и параллельного энергетического воздействия.

К первым относится, например, классическая электромеханическая обработка, т.е. механическая обработка инструментом определенной геометрии с подводом в зону обработки электрического тока большой силы и малого напряжения, аналогична ФЭО.

Ко вторым относится разновидность комбинированной обработки с предварительным воздействием на поверхностный слой материала заготовки, например электроискровым легированием, лазерной обработкой или другим методом, с последующей электромеханической обработкой. Комбинация нескольких видов высокоэнергетического воздействия приводит к созданию поверхностного слоя обладающего заданными служебными характеристиками.

Третий признак — количественное соотношение совмещаемых процессов определяет степень взаимодействия различных видов физико-химического воздействия. По этому признаку ЭМО можно разделить на две группы.

Первая группа — методы с преимущественным влиянием одного воздействия (например, механического или теплового, фрикционного, химического и т. д.). Дополнительное воздействие, например, тепловое

(при преимущественном механическом), снижая механические характеристики материала поверхностного слоя, повышает эффективность механического воздействия, качественно не изменяя природы процесса механической обработки. Для электромеханической обработки этого типа различают базовые и дополнительные энергетические воздействия.

Вторая группа — методы, у которых нельзя разделить физикохимические воздействия на основные и дополнительные. В этом случае процесс обработки может быть описан специфическими закономерностями.

Приведенная выше классификация методов электромеханического упрочнения и комбинированных методов обработки на основе ЭМО позволяет, на основе системного анализа, наметить пути повышения эффективности процессов формирования поверхностей комбинированной электромеханической обработкой, с заданной точностью, качеством и эксплуатационными свойствами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
2. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
3. Машков Ю.К., Байбарацкая М.Ю., Пальянов А.А. Повышение износостойкости стальных деталей методом трибоэлектрической обработки // Омский научный вестник. – 2002. – Вып. 18. – С. 101–103.
4. Машков Ю.К., Эдигаров В.Р., Байбарацкая М.Ю., Овчар З.Н. Комбинированное фрикционно-электрическое модифицирование стальных поверхностей трения // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, №.3. – С. 89–92.