

# **ФИНИШНАЯ АНТИФРИКЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ**

**В.Р. ЭДИГАРОВ**, канд. техн. наук, доцент  
**Е.В. ЛИТАУ**, адъюнкт  
(ОАБИИ, г. Омск)

Поступила 5 мая 2015  
Рецензирование 20 июня 2015  
Принята к печати 17 июля 2015

**Эдигаров В.Р.** – 644098, г. Омск,  
Омский автобронетанковый инженерный институт,  
e-mail: edigarovs@mail.ru

Приведены результаты исследований электромеханической обработки поверхностей стальных деталей трибосистем с предварительным нанесением на поверхность обрабатываемых деталей тонкого антифрикционного слоя из различных твердых смазочных материалов, позволяющих изменить структуру поверхностного слоя, повысить его износостойкость и эксплуатационные характеристики, особенно антифрикционность. Способ обработки с предварительным нанесением антифрикционного материала на поверхность детали с последующей электромеханической обработкой назван АФЭМО. В результате исследований установлено, что АФЭМО позволяет снизить момент трения образцов трибопары. Термодеформационное воздействие в процессе АФЭМО позволяет получить упрочненный поверхностный слой с твердостью до 9 ГПа и участками с твердосмазочным антифрикционным покрытием, что повышает износостойкость и антифрикционные свойства поверхностного слоя деталей, а также коррозионную стойкость. Минимальный момент трения имеют образцы, поверхности которых обработаны АФЭМО с предварительным нанесением антифрикционного материала натиранием поверхности детали и нанесением антифрикционного материала в виде суспензии в смеси с поверхностно-активным веществом (ПАВ). В случае применения натирания для нанесения твердосмазочного материала лучшие результаты показала бронза.

При использовании в качестве антифрикционного материала ультрадисперсного скрытокристаллического графита (СКГ) и дисульфида молибдена в смеси с ПАВ глицерином скорость изнашивания трибосопрежения минимальна в сравнении с применением других твердых смазок и при обработке по традиционной технологии поверхностного упрочнения. Скорость изнашивания деталей после АФЭМО, по сравнению с деталями обработанными по «классической» технологии ЭМО, снижается на 10...20 %. Общая закономерность влияния АФЭМО на микротвердость стальных образцов заключается в изменении степени упрочнения по глубине зондируемого слоя с максимумом микротвердости у поверхности, зависящим главным образом от величины силы тока.

**Ключевые слова:** шероховатость, антифрикционные свойства, электромеханическая обработка, твердая смазка, износостойкость, трибосистема, скрытокристаллический графит, дисульфид молибдена.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-3-6-15

## **Введение**

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, од-

нако 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.

Как известно, износостойкость деталей, образующих трибосистему, зависит прежде всего от окончательной (финишной) технологической обработки поверхностей деталей [1]. Имеются обширные экспериментальные исследования по влиянию шероховатости поверхности трения на интенсивность изнашивания деталей. Установлено, что от финишной обработки деталей зависит не только первоначальный (приработочный) износ, но и установившийся износ, т. е. первоначальная приработка может влиять на интенсивность изнашивания при длительной эксплуатации машин.

В последние годы разработаны новые технологические способы финишной обработки поверхностных слоев деталей, которые позволяют снизить приработочный износ деталей и повысить антифрикционные свойства сочленения (улучшить смазывание деталей, снизить коэффициент трения). К таким способам можно отнести различные вибрационные способы обработки, хонингование, алмазное выглаживание и другие. Так, например, при хонинговании может обеспечиваться требуемая шероховатость поверхности и определенная направленность выступов неровностей, которые способствуют удержанию смазочного материала на рабочей поверхности. Однако при этом обрабатываемая поверхность в большей или меньшей степени насыщается абразивом от брусков хонеров, которые несмотря на последующие осуществляемые мероприятия остаются на рабочей поверхности и в труднодоступных местах. В период последующей эксплуатации эти частицы попадают в смазку, что приводит к повышенному износу деталей трибосистемы. В этой связи возникает необходимость в методе окончательной обработки деталей, при котором исключена абразивная обработка поверхностей.

Так, для повышения антифрикционных свойств поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве широко применяют фи-

нишную антифрикционную безабразивную обработку (ФАБО), для чего поверхность трения детали покрывается тонким слоем (1...2 мкм) меди или ее сплавов путем использования явления переноса металла при трении [1]. ФАБО придает стальным или чугунным поверхностям высокие антифрикционные свойства. Этот способ повышает триботехнические показатели за счет заполнения полостей, устьев микротрещин и углублений микронеровностей присадочным материалом. Однако при таком способе обработки структура поверхностного слоя не изменяется и износостойкость поверхности повышается лишь частично.

Хорошие результаты показало предварительное нанесение на поверхность стальных и чугунных деталей тонкого антифрикционного слоя из различных твердых смазочных материалов с последующей электромеханической обработкой.

Электромеханическая обработка (ЭМО) [2–6, 13–18] 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 являются наличие нескольких источников теплоты (основные – электрический ток и трение), локальный нагрев зоны обработки, сопровождающийся действием значительных давлений, кратковременный термический цикл обработки, достаточно высокая скорость охлаждения, а также влияние других технологических факторов. Предварительное нанесение на поверхность обрабатываемых деталей тонкого антифрикционного слоя из различных твердых смазочных материалов перед ЭМО позволяет изменить структуру поверхностного слоя, повысить его износостойкость, эксплуатационные характеристики и особенно антифрикционность [4, 5, 7, 8]. Такой способ обработки можно назвать антифрикционной электромеханической обработкой (АФЭМО).

В качестве твердосмазочного материала, используемого при АФЭМО, могут быть использованы слоистые вещества (структурные твердосмазочные материалы: графит, дихалькогениды тугоплавких металлов (молибдена, вольфрама,

ниобия), гексагональный нитрид бора и др.), антифрикционные покрытия, образованные на рабочих поверхностях в результате химической реакции (сульфиды, фосфаты, высокотемпературные термохимические покрытия на основе молибдена (димолиты) и ниобия), мягкие металлы и их окислы (медь и ее сплавы, свинец, баббиты и др.), полимерные материалы и другие твердые смазки. В случае применения антифрикционных покрытий, образованных на рабочих поверхностях в результате химической реакции полимерных материалов и некоторых других твердых смазок, необходимо обеспечить температурную стойкость наносимого материала в процессе электромеханического сглаживания и исключить образование вторичного абразива в поверхностном слое.

Твердосмазочные материалы могут быть нанесены на обрабатываемые поверхности одним из нижеперечисленных способов: натиранием поверхности, нанесением из суспензии в смеси с поверхностно-активным веществом (ПАВ), нанесение методами газоплазменного распыления, газодинамического напыления, напылением ультразвуковым инструментом, покрытие поверхности со связующим и без него, подачей струей жидкости или газа, нанесением магнитным методом, гальваническим способом, фрикционной наплавкой, напылением в вакууме, термическим разложением паров металлоорганических соединений, ротационным методом и др. [4]. При этом с целью повышения качества предварительного нанесения твердосмазочного материала на поверхность детали поверхность может быть заранее обработана до необходимой шероховатости или ранее выполняемые операции механической обработки могут учитывать последующее нанесение антифрикционного материала одним из вышеперечисленных способов, обеспечив необходимую шероховатость и твердость.

На рис. 1 представлена поэтапно схема АФЭМО. На поверхность с исходной шероховатостью (рис. 1, а), получаемой на предыдущих этапах механической обработки, которая может быть поставлена в зависимость от наносимого твердосмазочного материала и технологии его нанесения, наносят твердосмазочный материал, например, принудительным трением о поверхность детали [7]. Получается поверхность,

состоящая из основного материала 1 и антифрикционного слоя 2, частицы которого располагаются во впадинах исходного профиля (рис. 1, б). При последующей электромеханической обработке в месте контакта обрабатываемого инструмента с деталью происходит деформация и местный нагрев поверхности выше температуры фазового превращения, что приводит к смятию микронеровностей с одновременным заполнением полостей, устьев микротрещин и углублений твердосмазочным антифрикционным материалом (рис. 1, в) и образованием «белого» слоя высокой твердости 3 [9, 10]. На рис. 1, в представлена поэтапно схема АФЭМО с нанесением антифрикционного слоя 4 из суспензии в смеси с ПАВ [8, 10], возможно, на заранее подготовленную поверхность 1, например, обработанную предварительно электромеханической обработкой инструментом с малым углом при вершине. Предварительная обработка позволяет получить регулярный микрорельеф с определенными характеристиками, способствующими улучшению качества и производительности процесса нанесения антифрикционного материала. Последующая ЭМО формирует поверхность с требуемыми, наперед заданными антифрикционными характеристиками, впадины которой заполнены твердосмазочным антифрикционным материалом 4 (рис. 1, д), продукты деструкции которого остаются на обрабатываемой поверхности и способствуют повышению антифрикционных свойств, кроме того, за счет термореформационного воздействия образуется «белый» слой 3 большой твердости.

В процессе работы трибосистемы находящаяся во впадинах суспензия твердосмазочного материала за счет нагрева и последующего расширения заполняет пространство между трущимися деталями, обеспечивая их смазку, в эти же полости может попадать и дополнительная смазка, подаваемая к трущимся деталям, действие которой аналогично.

Комбинированное воздействие в процессе АФЭМО позволяет получить поверхность, состоящую из упрочненного слоя с твердостью до 9 ГПа (белый слой 3 (рис. 1, в и 1, д)) и участками с твердосмазочным покрытием, что повышает антифрикционные свойства поверхностного слоя деталей, а также коррозионную стойкость.

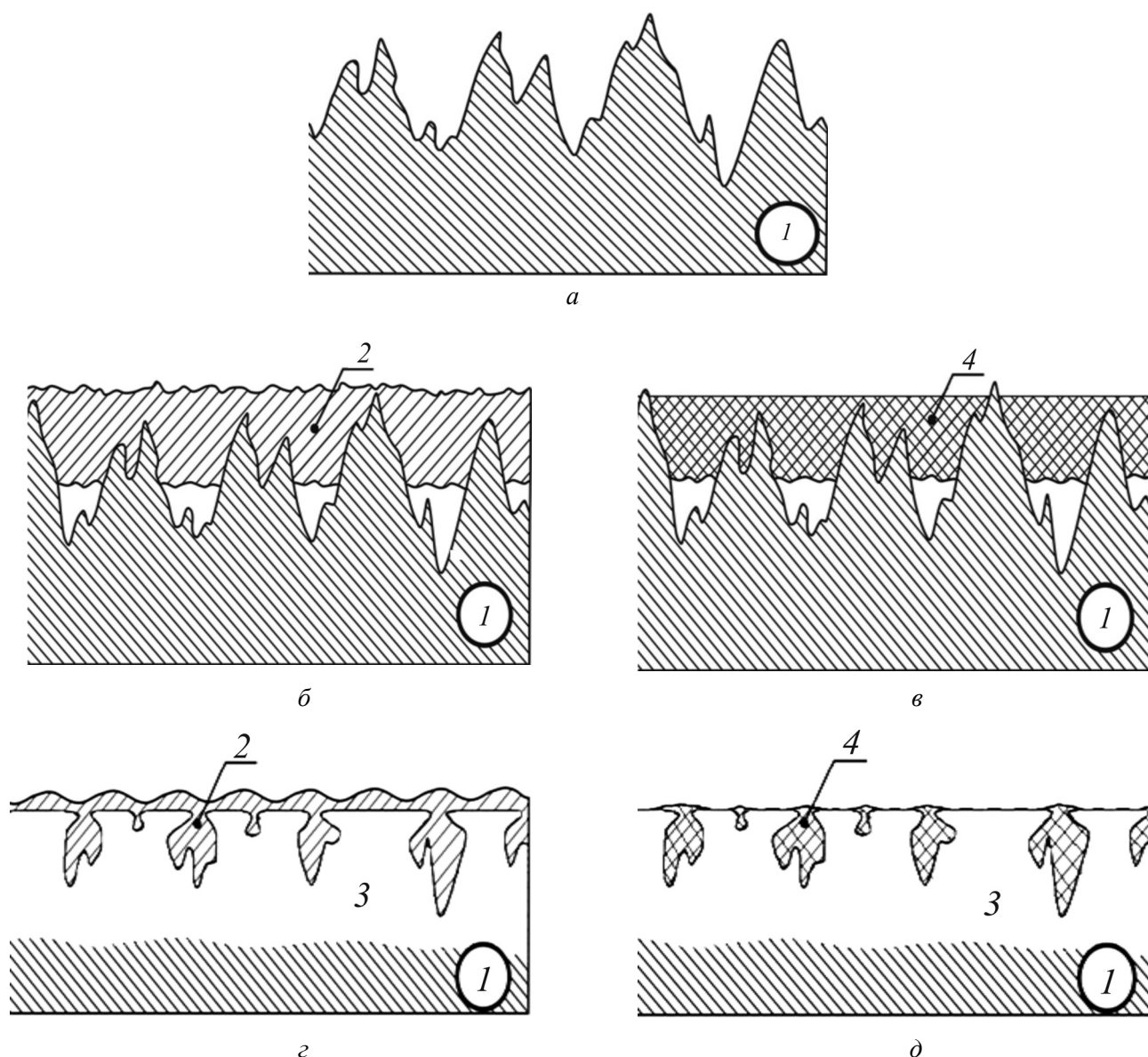


Рис. 1. Схемы нанесения антифрикционного материала с последующей ЭМО:

а – исходная поверхность; б – поверхность после натирания антифрикционным металлом; в – поверхность с нанесенной суспензией антифрикционной смеси на основе ПАВ; г – поверхность (б) после ЭМО; д – поверхность (в) после ЭМО

## Методика

### экспериментального исследования

Для исследования эффективности АФЭМО использовали образцы из сталей 45, 38ХС, 40Х, как наиболее распространенные в узлах ходовой части многоцелевых гусеничных и колесных машин (МГКМ). В качестве твердосмазочного материала для нанесения на поверхность детали натиранием использовали медь МЗ, бронзу БрОЦС -3-5-5 и латунь Л-62. Для нанесения суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ использованы мелкодисперсные порошки скрытокристаллического графита (СКГ),

дисульфида молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), меди МЗ, оловянисто-свинцовистой бронзы Бр. ОФ4-0,25 и их смеси в различных пропорциях с поверхностно-активным веществом (ПАВ) – глицерином.

Высокопроизводительный инструмент для АФЭМО, позволяющий одновременно предварительно создавать необходимый регулярный микрорельеф на поверхности детали электромеханической обработкой инструментом с малым углом при вершине, наносить твердосмазочный материал натиранием и проводить электромеханическое сглаживание твердосплавным инструментом [11] представлен на рис. 2.

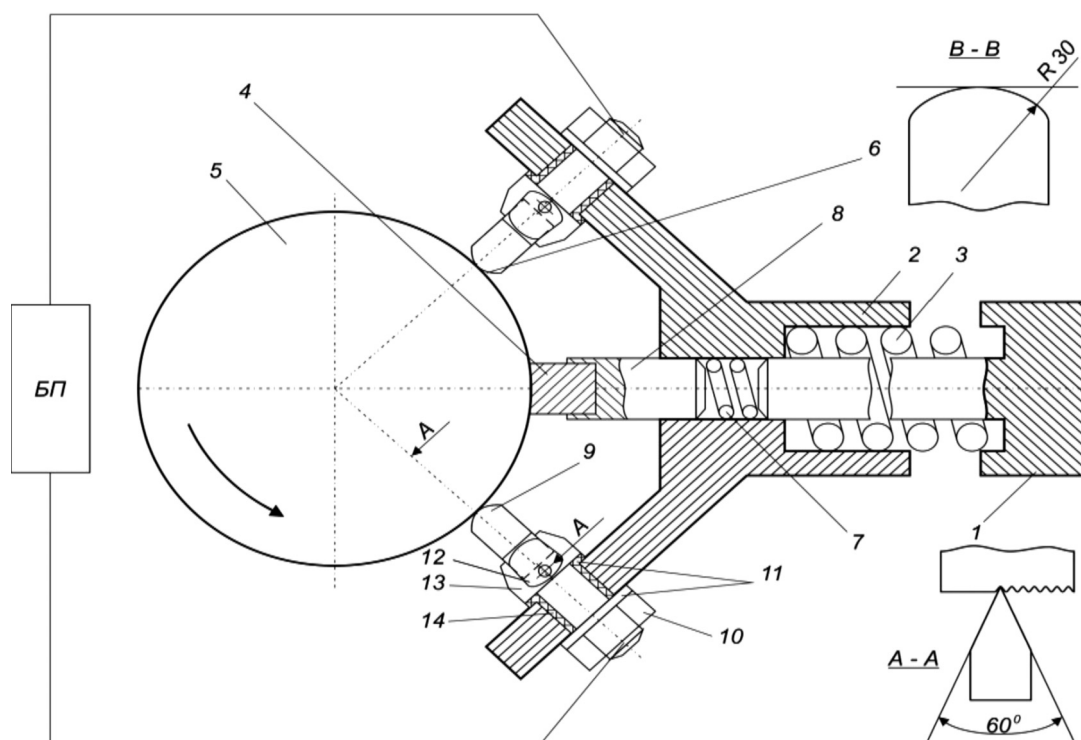


Рис. 2. Инструмент для АФЭМО натиранием твердосмазочного материала

## Результаты и обсуждение

В случае применения натирания для нанесения твердосмазочного материала лучшие результаты показала бронза. При использовании меди наблюдаются схватывания, что связано с высокой ее пластичностью. Анализ зависимостей скорости изнашивания образцов, обработанных

АФЭМО нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ, имеет характерный идентичный для всех твердосмазочных материалов характер (рис. 3), наилучшие результаты показали образцы, обработанные АФЭМО со скрытокристаллическим графитом (СКГ) и дисульфидом молибдена (кривые 1 и 2 соответственно). Скорость изнашивания у образцов,

поверхность которых обработана в присутствии меди (кривая 3), примерно в три раза выше, чем у образцов, обработанных с СКГ, в случае использования бронзы (кривая 4) в 3,5 раза выше, у образцов, обработанных закалкой ТВЧ (кривая 5), в 5 раз выше.

В процессе проведения АФЭМО проводилось исследование влияния технологических режимов обработки (скорости обработки, усилия прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности, давления антифрикционного материала на натираемую поверхность, в случае натирания, величины электрического тока) на перенос и сцепление с поверхно-

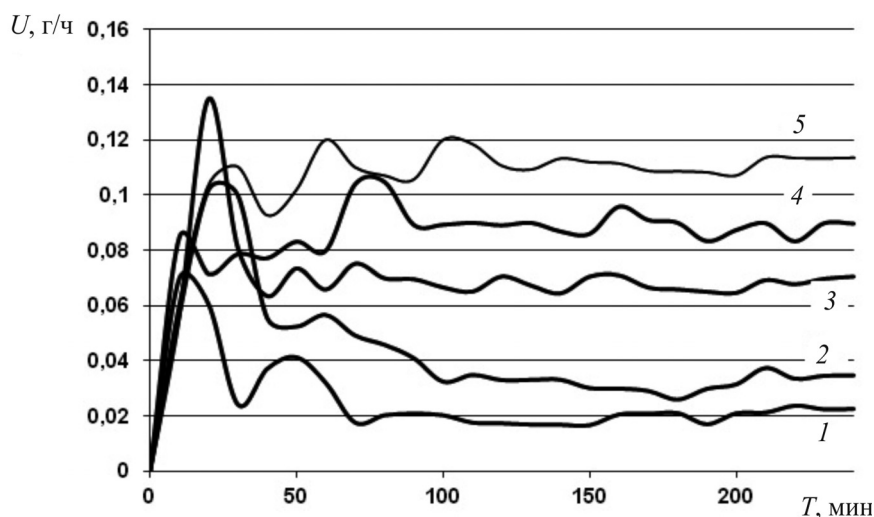


Рис. 3. Результаты сравнительных испытаний на износ, частичный вкладыш бронза Бр АЖ-9-4 и ролик сталь 40Х, обработанный АФЭМО с нанесением суспензии различных твердосмазочных материалов в смеси с ПАВ:

1 – графит СКГ; 2 – дисульфид молибдена; 3 – медь; 4 – бронза; 5 – закалка ТВЧ

стью детали твердосплавного материала, получаемые при этом шероховатость и микротвердость. Наилучшие результаты получены на следующих режимах:

а) для нанесения твердосмазочного материала в смеси с ПАВ  $I = 500 \dots 600$  А,  $V = 8 \dots 10$  м/с,  $P = 400 \dots 600$  Н (усилие прижатия инструмента);

б) для натирания  $I = 600 \dots 650$  А,  $V = 1,4 \dots 2$  м/с,  $P = 400 \dots 600$  Н (усилие прижатия инструмента),  $p = 10 \dots 20$  Па (давление антифрикционного материала), подача антифрикционного материала  $s = 0,05 \dots 1$  мм/об, при исходной шероховатости поверхности  $Ra\ 2,5 \dots 6,3$ .

Для определения антифрикционных свойств поверхностных слоев деталей машин, обработанных АФЭМО, были изготовлены шесть партий роликов из стали 40Х. Первую партию образцов не подвергали дополнительному упрочнению. Вторую партию упрочняли объемной закалкой в воде с последующим низким отпуском. Третью партию образцов упрочняли закалкой ТВЧ, четвертую – электрохимической обработкой. Пятую партию обрабатывали АФЭМО с натиранием твердосмазочного материала на обрабатываемую поверхность, а шестую партию образцов обрабатывали АФЭМО с нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ.

После предварительного взвешивания образцы подвергали испытаниям на износ по схеме трения ролик – частичный вкладыш со смазкой маслом М-8В SAE 20W-20 ТУ-0253-052-04001396-02 на машине трения МТ-393 в соответствии с требованиями РД 50-662-88. Частичный вкладыш изготавливался из нормализованной стали 45. Время испытания составляло 90 мин, частота вращения роликов –  $500\text{ мин}^{-1}$ , нагрузка на колодку – 650 Н.

Анализ динамики изменения момента трения по результатам проведенных испытаний (рис. 4) показал, что ролики, обработанные АФЭМО, работающие в паре со стальным контртелом, показывают наименьший мо-

мент трения, причем образцы, обработанные АФЭМО с нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ, имеют минимальный момент трения в период приработки в сравнении с другими трибопарами. Это объясняется наличием на поверхности трения продуктов деструкции твердосмазочного материала, а также остатков самого ПАВ после АФЭМО, способствующих снижению момента трения в трибосопряжении [12].

Это говорит о более высоких антифрикционных свойствах поверхностей, полученных после АФЭМО, что обеспечивает более низкую скорость изнашивания образцов по сравнению с другими способами обработки образцов (рис. 5).

Испытания втулок, изготовленных из стали 40Х, на износ производились в паре с чугунными частичными вкладышами, при нагрузке на вкладыш в 800 Н и частоте вращения роликов  $500\text{ мин}^{-1}$  (рис. 6).

Сравнительный анализ износостойкости поверхностей образцов после различных методов упрочнения показал:

– увеличение твердости образца объемной закалкой с отпуском повышает износостойкость поверхности примерно в 1,3...1,35 раза в сравнении с неупрочненными образцами, при этом износостойкость частичного вкладыша увеличивается примерно в 2,1...2,3 раза;

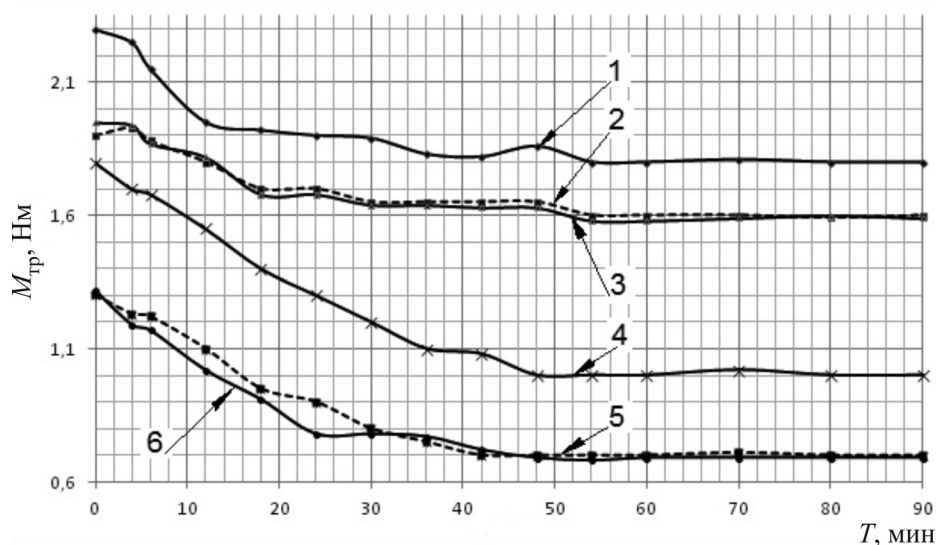


Рис. 4. Зависимость момента трения от времени приработки, образцы: 1 – без упрочнения; 2 – закалка с низким отпуском; 3 – закалка ТВЧ; 4 – ЭМО; 5 – АФЭМО с натиранием твердосмазочного материала на обрабатываемую поверхность; 6 – АФЭМО с нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ (СКГ)

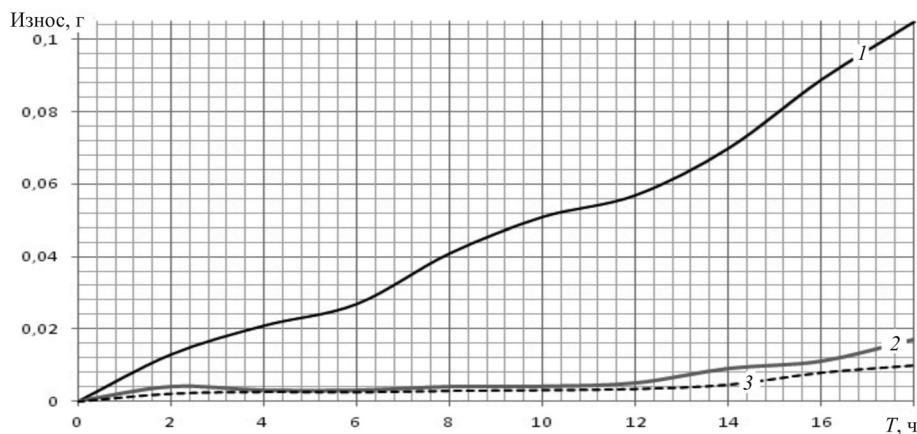


Рис. 5. Результаты сравнительных испытаний на износ (образцы – сталь 40X в паре с чугунными частичными вкладышами):

1 – образцы без поверхностного упрочнения; 2 – образцы после ЭМО; 3 – образцы после АФЭМО

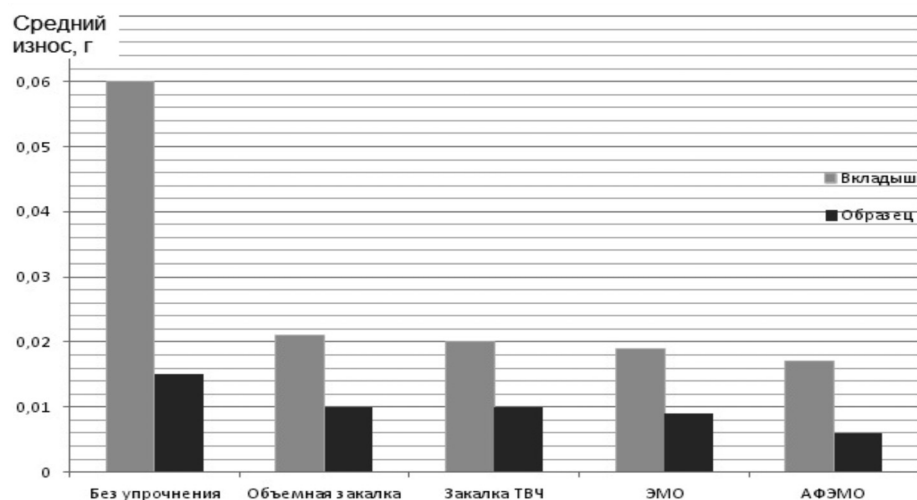


Рис. 6. Износ роликов и вкладышей после испытаний на трение

– электромеханическое упрочнение поверхности приводит к повышению износостойкости примерно в 1,5...1,6 раза, а вкладышей – в 2,5...2,7 раза;

– антифрикционная электромеханическая обработка повышает износостойкость образцов в 1,7...1,9 раза, вкладышей – примерно в 2,8...3,0 раза.

Повышение износостойкости поверхностей для образцов после АФЭМО по отношению к образцам, обработанным по «классической» технологии ЭМО, составляет примерно 10...20 %. Наибольший прирост износостойкости проявляется на первоначальном этапе работы деталей трибосистемы, т. е. на этапе приработки, что подтверждает повышение антифрикционных свойств деталей и долговечности деталей трибозула в целом при применении АФЭМО в качестве упрочняющей финишной технологии.

Проведенные исследования позволили выявить зависимость износостойкости деталей машин после антифрикционной электромеханической обработки от материала сопрягаемого вкладыша. Так, при трении стальных образцов (сталь 40X) после АФЭМО с частичными вкладышами из стали 45, серого чугуна СЧ-21 и бронзы БрОСЦ -3-5-5 было установлено, что самая высокая износостойкость наблюдается в паре трения образца после АФЭМО с бронзовым вкладышем, причем стальной образец был обработан АФЭМО с нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ (скрытокристаллический графит (СКГ) или дисульфид молибдена с ПАВ) подачей на поверхность в процессе обработки. Трибопара сталь 40X после АФЭМО – чугунный вкладыш дает по сравнению с другими парами трения несколько более высокий износ как образца, так и вкладыша.

## Выводы

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Антифрикционная электромеханическая обработка позволяет снизить момент трения образцов трибопары. Минимальный момент трения имеют образцы после антифрикционной электромеханической обработки. АФЭМО с нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ позволяет получить минимальный момент, особенно на этапе приработки, что свидетельствует о высоких антифрикционных свойствах обработанных поверхностей.

2. Скорость изнашивания деталей после АФЭМО, по сравнению с деталями, обработан-



ными по «классической» технологии ЭМО, снижается на 10...20 %.

3. Наиболее эффективно применение технологии АФЭМО для стальных деталей, которые работают в паре трения с бронзовыми деталями, например, подшипники скольжения ходовой части МГКМ.

4. Подбор твердосмазочного материала и ПАВ для АФЭМО с нанесением суспензии твердосмазочного материала в смеси с ПАВ, стальных деталей, образующих трибосистему с бронзовыми деталями, позволяет повысить твердость обработанной поверхности и значительно ее износостойкость с возможной реализацией одного из видов избирательного переноса в трибоузле.

### Список литературы

1. Справочник по триботехнике: в 3 т.: т. 1: Теоретические основы / под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 397 с.: ил.

2. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой: монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 198 с.

3. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация: монография / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев, Н.Г. Дудкина, И.Н. Захаров. – Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.

4. Эдигаров В.Р. Технологии и оборудование комбинированных способов электромеханической обработки: монография. – Омск: ОАБИИ, 2014. – 280 с.

5. Эдигаров В.Р. Повышение эксплуатационных свойств и качества поверхностного слоя деталей машин технологическими методами: монография. – Омск: ОФ ВА МТО, 2013. – 196 с.

6. Эдигаров В.Р., Малый В.В. Повышение износостойкости деталей ходовой части многоцелевых гусеничных машин комбинированными методами электромеханической обработки // Вестник СибАДИ. – 2014. – № 4 (38). – С. 57–64.

7. Яковлев С.А. Результаты исследований износостойкости деталей после антифрикционной электромеханической обработки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3 (15). – С. 116–120.

8. Комбинированное фрикционно-электрическое модифицирование стальных поверхностей трения / Ю.К. Машков, В.Р. Эдигаров, З.Н. Овчар, М.Ю. Байбарацкая // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 1. – С. 89–94.

9. Эдигаров В.Р., Килунин И.Ю. Рентгенографическое исследование стали 38ХС, подвергнутой

фрикционно-электрическому модифицированию // Металлообработка. – 2011. – № 4 (64). – С. 24–29.

10. Эдигаров В.Р., Дегтярь В.В., Малый В.В. Математическая модель температурных параметров при фрикционно-электрическом модифицировании // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (120). – С. 161–165.

11. Патент 148162 Российская Федерация, МПК В 23 Р 9/00, В 24 В 39/00. Инструментальный узел для поверхностного фрикционно-электрического модифицирования деталей машин / В.Р. Эдигаров, С.В. Ушнурцев, Г.Г. Макаров, В.В. Малый; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева». – № 2014127907/02; заявл. 08.07.2014; опубл. 27.11.2014, Бюл. № 33. – 2 с.

12. Эдигаров В.Р., Машков Ю.К., Макаренко Н.Г. Исследование поверхностного слоя стали модифицированного фрикционно-электрическим методом // Технология металлов. – 2007. – № 3. – С. 28–31.

13. Theoretical and experimental analysis of electric contact surface hardening of ductile iron / X. Qi, S. Zhu, H. Ding, M. Xu // Applied Surface Science. – 2014. – Vol. 288. – P. 591–598. – doi: 10.1016/j.apusc.2013.10.078.

14. Stachowiak G.W., Batchelor A.W. Surface hardening and deposition of coatings on metals by a mobile source of localized electrical resistive heating / Journal of Materials Processing Technology. – 1996. – Vol. 57, iss. 3–4. – P. 288–297. – doi: 10.1016/0924-0136(95)02070-5.

15. Jutas A., Žiliukas A., Griškevičius P. Structural and mechanical analysis of steel 45 after electromechanical treatment (EMT): elastic and plastic states // Medžiagotyra = Materials science. – 2002. – Vol. 8, N 3. – P. 246–251.

16. Daunys M., Staponkus V. Influence of electromechanical surface treatment on low cycle stressing characteristics of grade 45 steel // Mechanika. – 2005. – N 2 (52). – P. 148–153.

17. Staponkus V., Daunys M., Markauskas S. Influence of electromechanical treatment regimes on strength and durability of elements // III Sympozjum mechaniki zniszczenia materiałów i konstrukcji. – Augustów: Politechnika Białostocka, 2005. – P. 393–396.

18. Edigarov V.R., Litau E.V. The influence of process parameters of the electromechanical handling on its features // Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics 2014)”. – Omsk, 2014. – P. 78–81. – doi: 10.1109/Dynamics/2014/7005647.



# OBRABOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 3(68), July – September 2015, Pages 6–15

## Parts finishing antifriction electromechanical machining

**Edigarov V.R.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: edigarovs@mail.ru

**Litau E.V.**, Post-graduate Student (Military), e-mail: litau100@mail.ru

Omsk Tank-Automotive Engineering Institute, 14 Military Town, Omsk, 644098, Russian Federation

### Abstract

The results of investigations of electromechanical surface treatment of tribosystems steel parts with preliminary application of thin sliding layer consisting of a variety of solid lubricants to the surface of the workpiece, allows to change the structure of the surface layer, to improve durability and performance, especially antifrictionality. A method for processing with a pre-coating of antifriction material on the surface of the workpiece, followed by treatment with an electromechanical is called AFEMO. It is found that AFEMO reduces friction torque of the samples in the friction pairs. Thermal and deformational influence during AFEMO provides a hardened surface layer with a hardness of 9 GPa and areas with a solid lubricating antifriction coating, which improves the wear resistance and friction properties of the parts surface layer, and corrosion resistance. Minimum torque friction have samples, which surfaces have been processed with AFEMO with preliminary coating of antifriction material and rubbing the surface of the workpiece by applying an antifriction material in suspension in a mixture with a surfactant (surfactant). Bronze showed better results in the case of rubbing for the application of the solid material.

When using an ultradisperse crypto-crystalline graphite (SCG) as an antifriction material and molybdenum disulfide in admixture with glycerine, tribocoupling wear rate is minimal in comparison with any other solid lubricants and traditional processing techniques for surface hardening. The wear rate of parts after AFEMO compared with the items processed by the “traditional” technology EMI is reduced by 10...20%. Total AFEMO influence pattern on the microhardness of steel specimens resides in the change of the degree of hardening layer through the samples depth with a maximum near the surface and depending mainly on the magnitude of the current.

### Keywords:

roughness, friction properties, electromechanical, solid lubricant, wear resistance, tribosystem, cryptocrystalline graphite, molybdenum disulfide.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-3-6-15

### References

1. Khebды M., Chichinadze A.V., eds. *Spravochnik po tribotekhnike. V 3 t. T. 1. Teoreticheskie osnovy* [Reference of tribological engineering. Vol. 1: Theoretical foundation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 397 p.
2. Askinazi B.M. *Uprochnenie i vosstanovlenie detalei mashin elektromekhanicheskoi obrabotkoi* [Hardening and recovery of machine's details using electromechanical processing]. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 198 p. ISBN 5-217-00443-6
3. Bagmutov V.P., Parshev S.N., Dudkina N.G., Zakharov I.N. *Elektromekhanicheskaya obrabotka: tekhnologicheskie i fizicheskie osnovy, svoystva, realizatsiya* [Electromechanical machining. The technological and physical fundamentals, properties, realization]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003. 318 p.
4. Edigarov V.R. *Tekhnologii i oborudovanie kombinirovannykh sposobov elektromekhanicheskoi obrabotki* [Technologies and equipment for combined methods of electromechanical processing]. Omsk, OABII Publ., 2014. 280 p.
5. Edigarov V.R. *Povyshenie ekspluatatsionnykh svoystv i kachestva poverkhnostnogo sloya detalei mashin tekhnologicheskimi metodami* [Increase of operational properties and quality of the surface layer of machine parts by technological methods]. Omsk, OF VA MTO Publ., 2013. 196 p.
6. Edigarov V.R., Malyy V.V. *Povyshenie iznosostoikosti detalei khodovoi chasti mnogotselevykh gusenichnykh mashin kombinirovannymi metodami elektromekhanicheskoi obrabotki* [Improving wear resistance of details

of multi-purpose tracked machines' running gear by combined methods of electromechanical processing]. *Vestnik SibADI – SibADI Journal*, 2014, no. 4 (38), pp. 57–64.

7. Yakovlev S.A. Rezul'taty issledovaniy iznosostoikosti detalei posle antifriktsionnoi elektromekhanicheskoi obrabotki [Results of researches of wear resistance details after antifrictional electromechanical processing]. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii – Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 2011, no. 3 (15), pp. 116–120.

8. Mashkov Yu.K., Edigarov V.R., Baibaratskaya M.Yu., Ovchar Z.N. Kombinirovannoe friktsionno-elektricheskoe modifitsirovanie stal'nykh poverkhnostei treniya [Combined friction-electric modification of steel friction surfaces]. *Trenie i iznos – Journal of Friction and Wear*, 2006, vol. 27, no. 1, pp. 89–94.

9. Edigarov V.R., Kilunin I.Yu. Rentgenograficheskoe issledovanie stali 38XC, podvergnutoi friktsionno-elektricheskomu modifitsirovaniyu [X-ray study of steel 38 XC subjected to friction-electric modification]. *Metalloobrabotka – Metal processing*, 2011, no. 4 (64), pp. 24–29.

10. Edigarov V.R., Degtiar' V.V., Malyi V.V. Matematicheskaya model' temperaturnykh parametrov pri friktsionno-elektricheskom modifitsirovanii [Mathematical model of temperature parameters of friction-electric modifying]. *Omskii nauchnyi vestnik – Omsk Scientific Bulletin*, 2013, no. 2 (120), pp. 161–165.

11. Edigarov V.R., Ushnurtsev S.V., Makarov G.G., Malyi V.V. Instrumental'nyi uzel dlya poverkhnostnogo friktsionno-elektricheskogo modifitsirovaniya detalei mashin [The instrumental unit for surface friction-electric modification of machine parts]. Patent RF, no. 148162, 2014.

12. Edigarov V.R., Mashkov Yu.K., Makarenko N.G. Issledovanie poverkhnostnogo sloya stali modifitsirovanogo friktsionno-elektricheskim metodom [Investigating the surface layer of steel, modified by friction-electric method]. *Tekhnologiya metallov – Metal Technology*, 2007, no. 3, pp. 28–31.

13. Qi X., Zhu S., Ding H., Xu M. Theoretical and experimental analysis of electric contact surface hardening of ductile iron. *Applied Surface Science*, 2014, vol. 288, pp. 591–598. doi: 10.1016/j.apsusc.2013.10.078

14. Stachowiak G.W., Batchelor A.W. Surface hardening and deposition of coatings on metals by a mobile source of localized electrical resistive heating. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, vol. 57, iss. 3–4, pp. 288–297. doi: 10.1016/0924-0136(95)02070-5

15. Jutas A., Žiliukas A., Griškevičius P. Structural and mechanical analysis of steel 45 after electromechanical treatment (EMT): elastic and plastic states. *Medžiagotyra – Materials science*, 2002, vol. 8, no. 3, pp. 246–251. (In Lithuania)

16. Daunys M., Staponkus V. Influence of electromechanical surface treatment on low cycle stressing characteristics of grade 45 steel. *Mechanika – Mechanics*, 2005, no. 2 (52), pp. 148–153. (In Lithuania)

17. Staponkus V., Daunys M., Markauskas S. [Influence of electromechanical treatment regimes on strength and durability of elements]. *Materiały III Sympozjuma Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji* [Proceedings of III Symposium “Damage Mechanics of Materials and Structures”]. Augustow, 2005, pp. 393–396.

18. Edigarov V.R., Litau E.V., Morgunov A.P. The influence of process parameters of the electromechanical handling on its features. *Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics 2014)”*, Omsk, Russia, 11–13 November 2014, pp. 78–81. doi: 0.1109/Dynamics.2014.7005647

#### Article history:

Received 5 May 2015

Revised 20 June 2015

Accepted 17 July 2015