

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБЪЕМНОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДОРНОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БРОНЗОВЫХ ВТУЛОК

**Морозов Александр Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»

**Байгулов Андрей Валерьевич**, аспирант кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина»

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1. Тел.: 8(84231)5-11-75

e-mail: tneft\_ecolog@mail.ru

**Ключевые слова:** бронза, свертные втулки, субшероховатость, момент трения, износостойкость.

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния объемного электромеханического дорнования (ОЭМД) на износостойкость и формирование благоприятного микрорельефа, схожего с эксплуатационным. С помощью сканирующей туннельной микроскопии доказано соответствие поверхностей, полученных ОЭМД, эксплуатационным на уровне субшероховатости. Результаты исследований на износ выявили повышение относительной износостойкости у бронзовых втулок, обработанных ОЭМД, по сравнению с втулками, обработанными с использованием традиционной технологии.

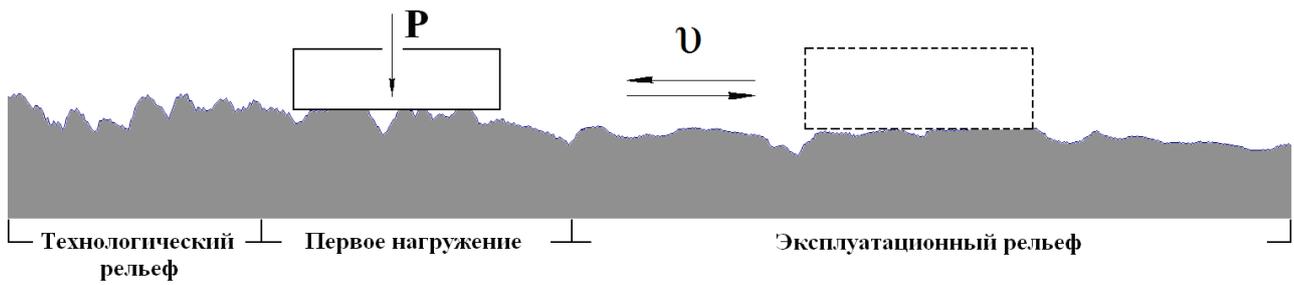
Выход из строя подавляющего большинства узлов современных машин крайне редко связан с потерей их прочностных характеристик и часто обусловлен износом элементов трибосопряжений. В настоящее время методы выбора материалов, их упрочнения, расчета и прогнозирования срока службы деталей по прочности и сопротивлению усталостному разрушению обеспечивают вполне удовлетворительное решение данной проблемы. Обратная картина наблюдается в области расчетов деталей на износ: 80% машин выходит из строя по причине низкой износостойкости отдельных деталей сопряжений. Поэтому центральной проблемой в обеспечении надежности и долговечности машин является проблема снижения износа трибосопряжений. Это подтверждается данными, согласно которым объем трудовых затрат на весь срок службы автомобиля распределяется следующим образом: на изготовление – 1,4%, на техническое обслуживание – 45,4%, а на ремонт, обусловленный в основном износом деталей, – 53,2% [2].

На процесс трения и изнашивания, особенно в период приработки сопряже-

ний, существенное влияние оказывает не только химический состав и структура материала, из которого изготовлены детали, но также качество поверхностного слоя деталей, характеризуемого шероховатостью и субшероховатостью.

В процессе трения шероховатость поверхности изменяется, стремясь к некоторому стабильному значению. Исходная шероховатая поверхность выглаживается, а исходная гладкая становится шероховатой. Исходная шероховатость (технологический микрорельеф), определяемая технологией изготовления деталей, влияет на износостойкость сопряжения в основном только в процессе приработки. Под приработкой понимают процесс изменения микрогеометрии поверхности трения и физико-механических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении трения, температуры в зоне контакта трущихся поверхностей и интенсивности изнашивания.

В процессе приработки микронеровности технологического рельефа подвергаются воздействию нормальных и касатель-



**Рис. 1 – Схема трансформации технологического рельефа поверхности в эксплуатационный**

ных напряжений. Интенсивным воздействиям будут подвержены наиболее высокие и острые микронеровности, которые за счет больших напряжений будут либо срезаться, либо пластически деформироваться. Пологие, гладкие микронеровности также будут испытывать интенсивное воздействие при трении за счет большой адгезии и «пленочного голодания», что приведет к значительному изменению их геометрического очертания. Поэтому в совокупности микронеровностей, имеющих различную высоту и радиус закругления, в более благоприятных условиях окажутся промежуточные по своим размерам микронеровности. Они будут превалирующими на приработанной поверхности. Равновесная шероховатость для установившегося процесса сопровождается минимальным трением при прочих неизменных условиях. В процессе приработки

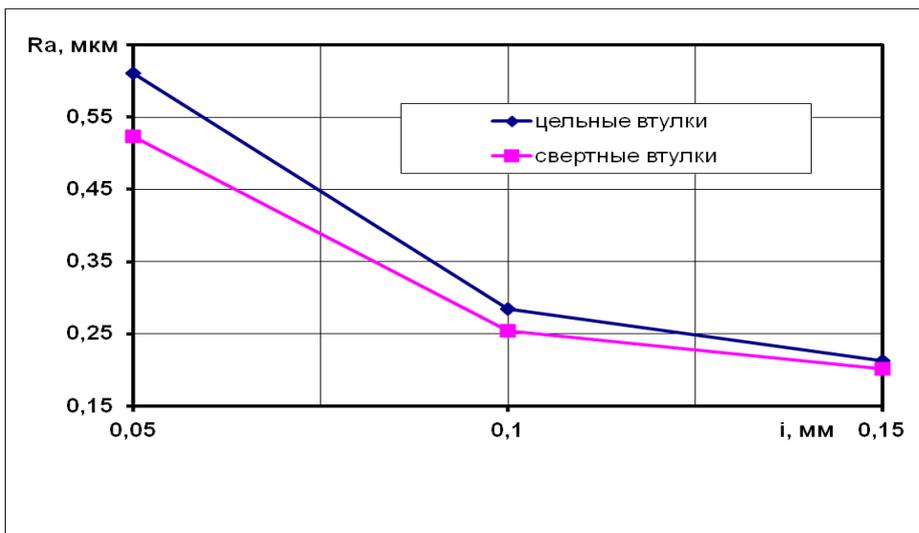
исходный (технологический) микрорельеф преобразуется в эксплуатационный (рисунок 1).

Учет особенностей процесса формирования эксплуатационного микрорельефа (шероховатости) позволит ориентировать производство на обеспечение таких же показателей поверхностей у новых или отремонтированных деталей, как и у поверхностей, находящихся в режиме равномерного изнашивания (эксплуатации). Это позволит сократить время приработки сопряжений и увеличить их срок службы.

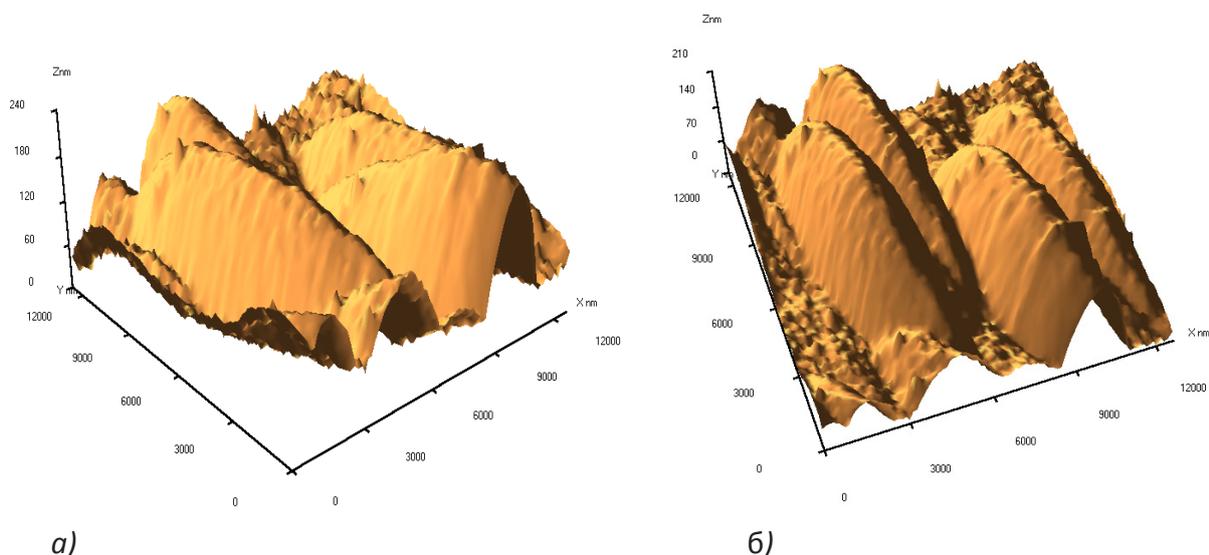
Рассмотрим влияние режимов объемного электромеханического дорнования (ОЭМД) бронзовых втулок на качество поверхностного слоя исполнительной поверхности на примере втулок верхней головки шатуна двигателя Д-240. Исследованию подвергали свертные, изготовленные из пол-

лос, и цельные втулки, полученные прокатом.

Ранее было установлено, что ОЭМД благоприятно влияет на формирование элементного состава на обработанной поверхности втулок из свинцовой бронзы (в частности, выделение свинца на поверхности и его залегание в микровпадинах), а также позволяет получить микрорельеф, приближенный к микрогеометрии поверхности, формирующейся



**Рис. 2 – Зависимость шероховатости при объемном электро-механическом дорновании от величины натяга в зависимости от типа втулки ( $I = 4800A$ ,  $u = 320$  мм/мин)**



**Рис. 3 – Трехмерные изображения поверхностей, полученные методом сканирующей туннельной микроскопии: а) втулки, обработанной с натягом 0,10 мм; б) втулки, снятые с эксплуатации**

в процессе эксплуатации, в зависимости от условий работы сопряжений [1].

Анализ рисунка 2 показал, что чистота поверхности увеличивается с увеличением натяга, но до определенной величины. Поэтому целесообразно использовать при обработке натяг 0,1 мм. В дальнейшем будем рассматривать образцы, обработанные именно при таком натяге.

Установлено, что при большем соответствии полученных поверхностей эксплуатационным эффективностью предлагаемой технологии (ОЭМД) увеличивается. Поэтому с помощью сканирующей туннельной микроскопии на приборе СММ-2000 исследовали субшероховатость поверхностей втулок, как снятых с эксплуатации, так и обработанных.

Принцип действия данного микроскопа основан на эффекте туннелирования электронов из металла при небольшой разности потенциалов (примерно 10 мВ) между образцом и острым металлическим наконечником - иглой консоли, при условии достаточно близкого их взаимного расположения.

При сканировании образца вследствие наличия неровностей на поверхности детали расстояние между поверхностью и иглой изменяется. Вследствие экспоненциальной зависимости туннельного тока от расстоя-

ния  $z$  можно измерить изменение расстояния с погрешностью 0,01 нм и построить топографическую карту поверхности образца.

Для исследований методом сканирующей туннельной микроскопии подготавливали образцы в виде сегментов обработанных и снятых с эксплуатации бронзовых втулок размером 10×8 мм. Образцы получали из втулок, обработанных на следующих режимах ОЭМД: сила тока 4800А; скорость 320 мм/мин; натяг 0,1 мм. Замеры проводили с трехкратной повторностью.

В результате были получены трехмерные изображения участков поверхностей, часть которых представлена на рисунке 3.

Сравнительную оценку проводили по количеству выступов и их высоте, а также по несущей способности поверхности. После анализа полученных данных было выявлено, что микрогеометрия поверхностей цельных втулок, обработанных ОЭМД с натягом 0,1 мм, близка к эксплуатационной субшероховатости. Сравнительная оценка свертных втулок привела к аналогичным результатам.

Чтобы в полной мере оценить качество рабочей поверхности бронзовых втулок верхней головки шатуна двигателя Д-240, были проведены износные исследования на модифицированной машине трения СМТ-1. Данные регистрировали как в режиме ре-

ального времени, так и с использованием программного обеспечения ZET lab 27.01, в частности, SCADA системы ZetView. Она представляет собой высокоэффективную среду графического программирования, в которой можно создавать гибкие и масштабируемые приложения измерений, управления и тестирования. По истечении исследований по полученному массиву данных строили график изменения триботехнических параметров исследуемых деталей.

Триботехническим испытаниям подвергали свертные и цельные втулки, обработанные ОЭМД на различных режимах силы тока.

1) Базовые образцы. Колодки изготавливали из бронзовых втулок верхней головки шатуна двигателя Д-240 и приклеивали на колодку-основу, ролик был выполнен из поршневого пальца того же двигателя (рисунок 4).

2) Экспериментальные образцы. Колодки изготавливали из бронзовых втулок верхней головки шатуна Д-240, обработанных ОЭМД на различных режимах, а ролики также изготавливали из поршневого пальца этого же двигателя.

Контроль температуры осуществляли с помощью термопары, установленной на максимально близком расстоянии к поверхности трения.

Триботехнические исследования про-

водили с трехкратной повторностью. Они состояли из трех этапов: притирки, приработки и длительных стационарных исследований.

Взаимную предварительную приработку образцов проводили на машине трения под нагрузкой меньшей, чем прилагаемая на испытаниях в течение одного часа для каждого образца. После достижения взаимного прилегания (площадью не менее 90% от номинальной расчетной поверхности контакта) образцы маркировали, промывали в керосине и сушили в сушильном шкафу в течение 30 минут при температуре 353 К. Образцы взвешивали до и после приработки на аналитических электронных весах AND HR-200 с точностью до 0,1 мг по ГОСТ 24104-2001.

Во время стационарных исследований каждый час снимали показания приборов машины трения, а также измеряли массу одномаркерных колодок и роликов после промывки в керосине и просушки. Общее время исследования одного образца составляло 24 часа.

На рисунке 5 представлено изменение момента трения и температуры в зоне трения во времени пар трения со стандартными и экспериментальными втулками.

Сравнение показателей трения образцов цельных и свертных втулок показало, что наблюдается единая тенденция снижения периода приработки после обработки объемным электрохимическим дорнованием. Это объясняется наличием на обработанных поверхностях выделившегося в процессе ОЭМД свинца, количество которого в процентах отражено в таблице. Однако при большой силе тока период приработки снижается незначительно по сравнению с образцами, обработанными при силе тока 4800 А, что говорит о дальнейшей неэффективности увеличения силы тока.

Момент трения образ-

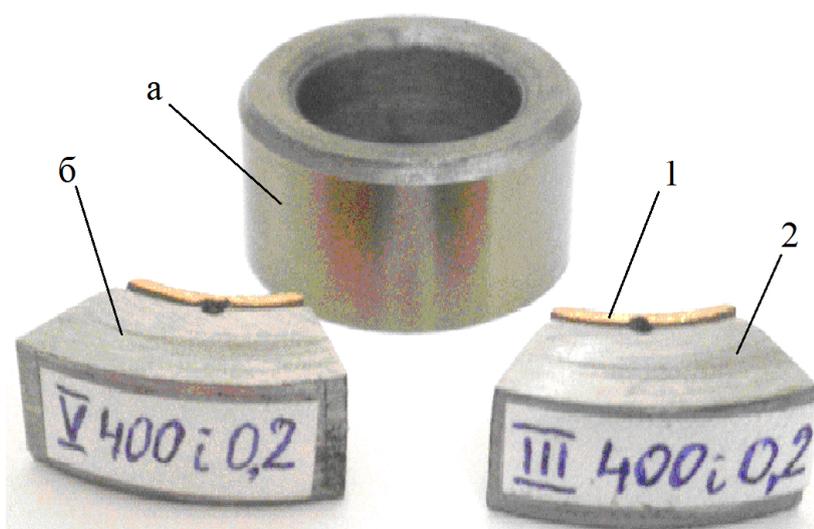


Рис. 4 – Образцы для триботехнических испытаний:

а) ролик; б) колодка; 1 – фрагмент втулки; 2 – основа

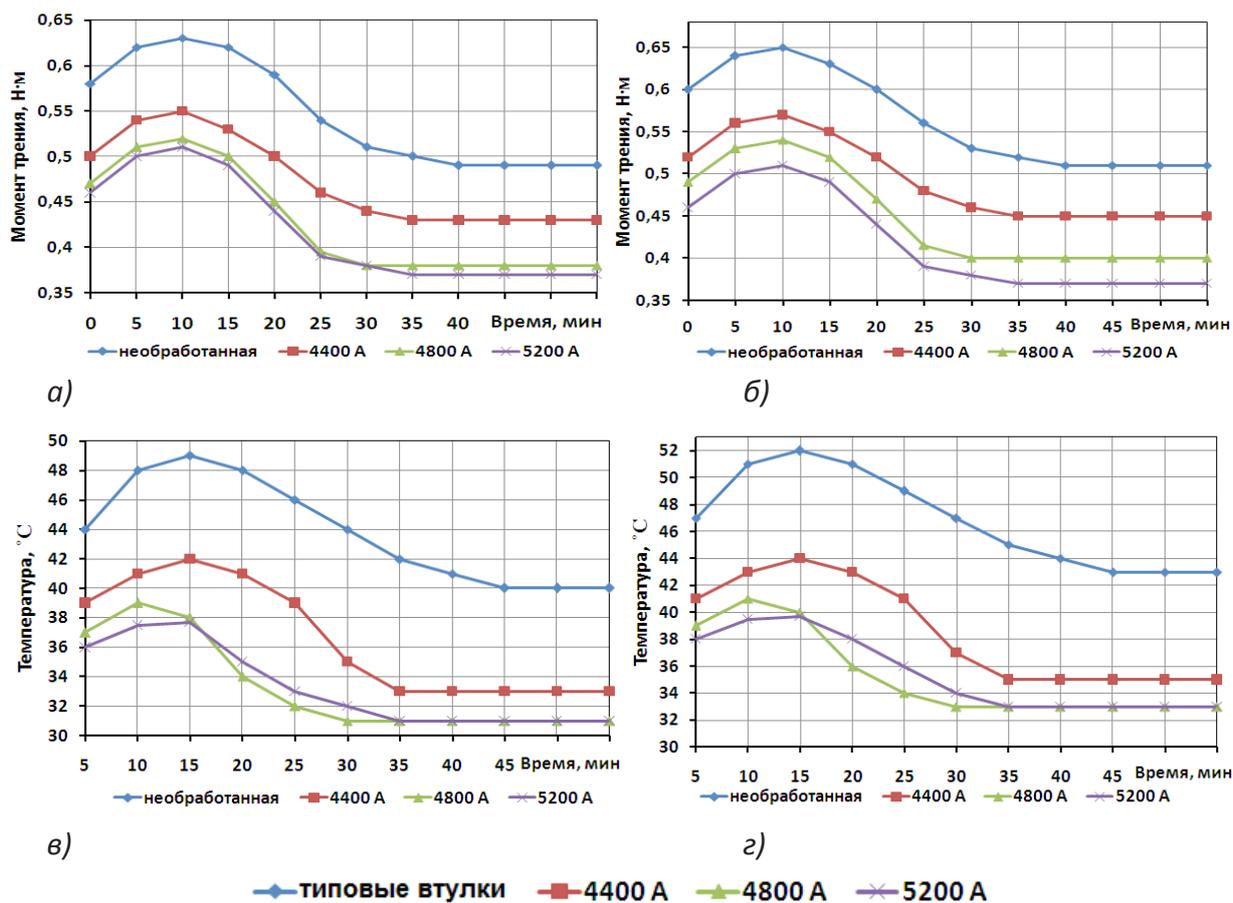


Рис. 5 – Зависимости момента трения и температуры колодок от времени проведения исследований при различной силе тока для следующих образцов:

а) цельные втулки в период приработки; б) свертные втулки в период приработки; в) колодки цельных втулок; г) колодки свертных втулок

цов втулок, обработанных ОЭМД, значительно меньше, чем у образцов втулок, не подвергнутых какой-либо обработке. Такой результат можно объяснить тем, что во время термомодеформационного воздействия инструмента при ОЭМД на обрабатываемую поверхность втулок из свинцовистой бронзы наблюдается эффект выделения свинца на поверхности и заполнение им микровпадин.

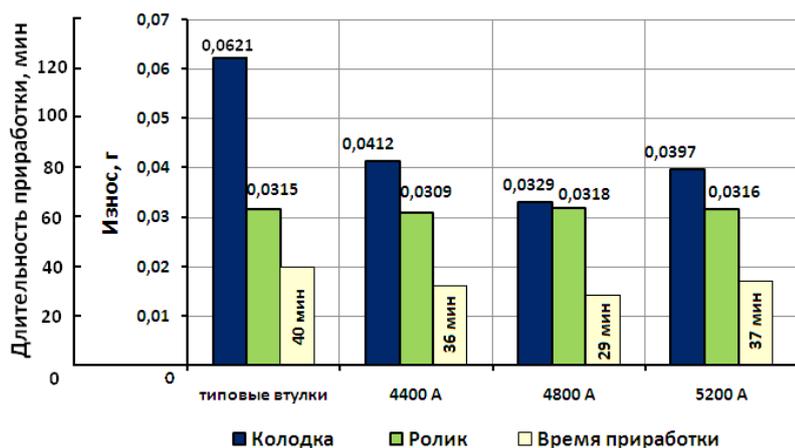
Исследования на износостойкость показали, что сравнительная износостойкость втулок из свинцовистой бронзы распределяется в зависимости от способа обработки их исполнительных поверхностей (рисунок б).

Так, образцы втулок, обработанные ОЭМД, имеют относительную износостойкость на 47 % выше по сравнению с образцами типовых втулок. Это объясняется тем, что обработанные образцы, во-первых, имели

наименьшее время приработки, во-вторых, у них наблюдался значительно меньший момент трения. Это подтверждает сказанное выше о максимальном соответствии па-

Таблица 1  
Процентное соотношение выделенного свинца на поверхность втулок из свинцовистой бронзы БрОЦС 5-5-5 в зависимости от силы тока при обработке ОЭМД (натяг 0,1 мм, скорость 320 мм/мин).

Сила тока при ОЭМД	Процентное соотношение свинца на поверхности втулок	
	цельные	свертные
4400 А	8,74	7,56
4800 А	12,8	11,5
5200 А	12,01	10,98



**Рис. 6 – Износостойкость образцов цельных втулок за весь период исследований**

раметров субшероховатости поверхностей эксплуатационному микрорельефу.

**Выводы.**

1. ОЭМД бронзовых втулок позволяет получить поверхность с параметрами субшероховатости максимально приближенными к параметрам эксплуатационного ми-

крорельефа.

2. Объемное электромеханическое дорнование цельных бронзовых и свертных втулок одинаково благоприятно влияет на повышение их износостойкости. Однако образцы свертных втулок изнашиваются более интенсивно, чем цельные втулки, что объясняется технологией их изготовления.

**Библиографический список**

1. Морозов, А.В. Формирование свойств поверхности при объемном электромеханическом дорновании втулок из бронзы БрОЦС 5-5-5 / А.В. Морозов, А.В. Байгулов // Вестник Ульяновской ГСХА – 2011. Выпуск № 4(16), с. 116 - 121.
2. Трение, смазка и износ в машинах / П.Н. Богданович, В.Я Прушак, С.П. Богданович. – Минск: Тэхналогія, 2011. - 527 с.