

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-

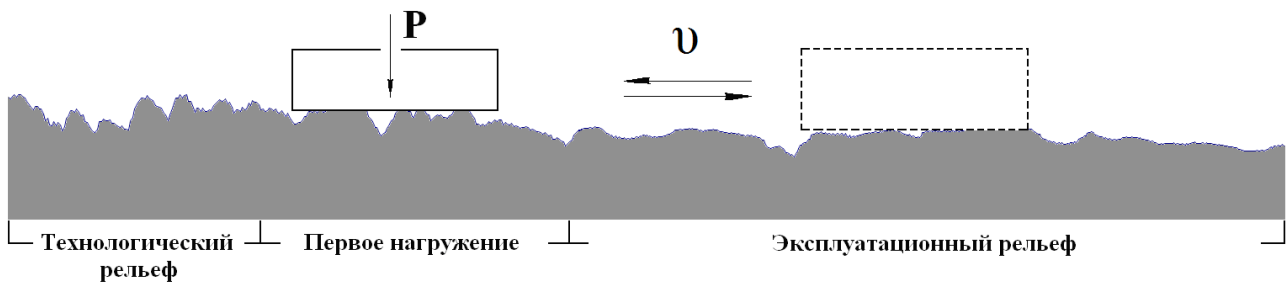


Рис. 1 – Схема трансформации технологического рельефа поверхности в эксплуатационный

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

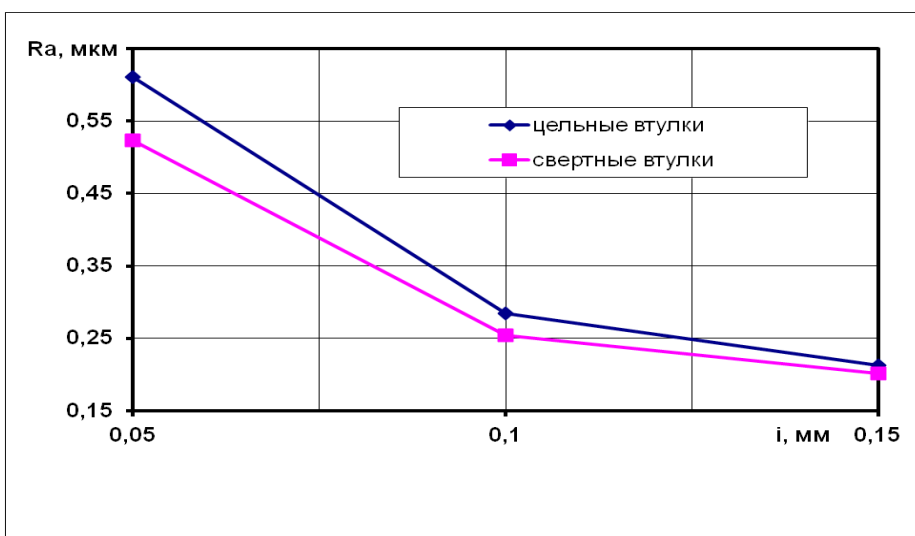


Рис. 2 – Зависимость шероховатости при объемном электромеханическом дорновании от величины натяга в зависимости от типа втулки ($I = 4800A$, $u = 320$ мм/мин)

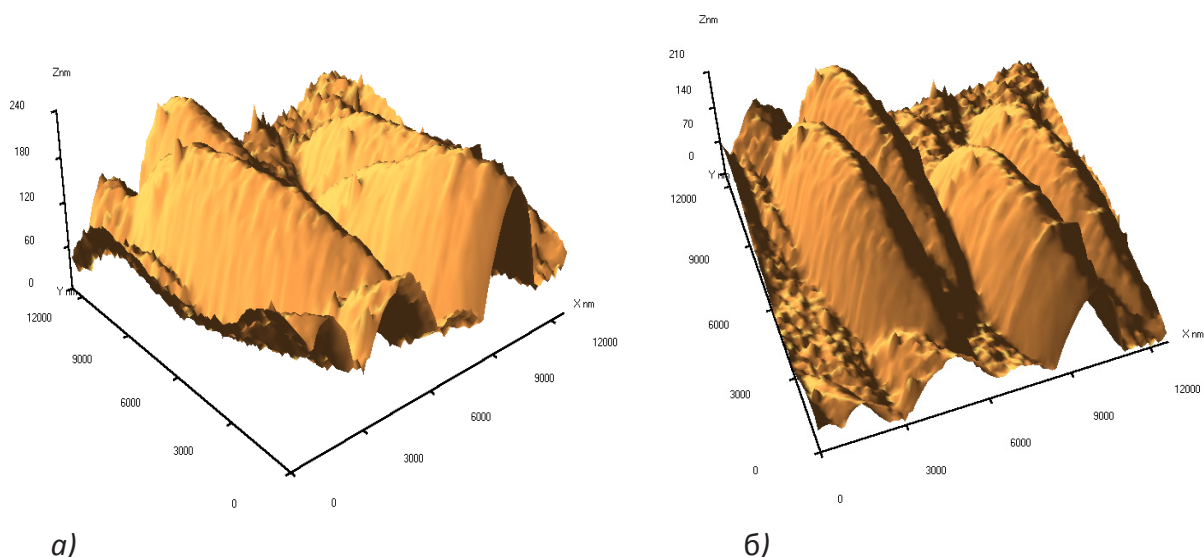


Рис. 3 – Трехмерные изображения поверхностей, полученные методом сканирующей туннельной микроскопии: а) втулки, обработанной с натягом 0,10 мм; б) втулки, снятые с эксплуатации

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-

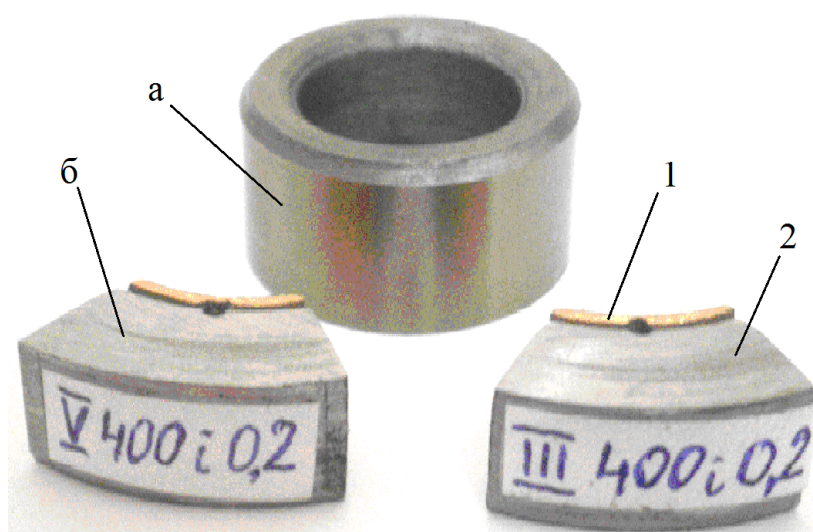


Рис. 4 – Образцы для триботехнических испытаний:

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

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-

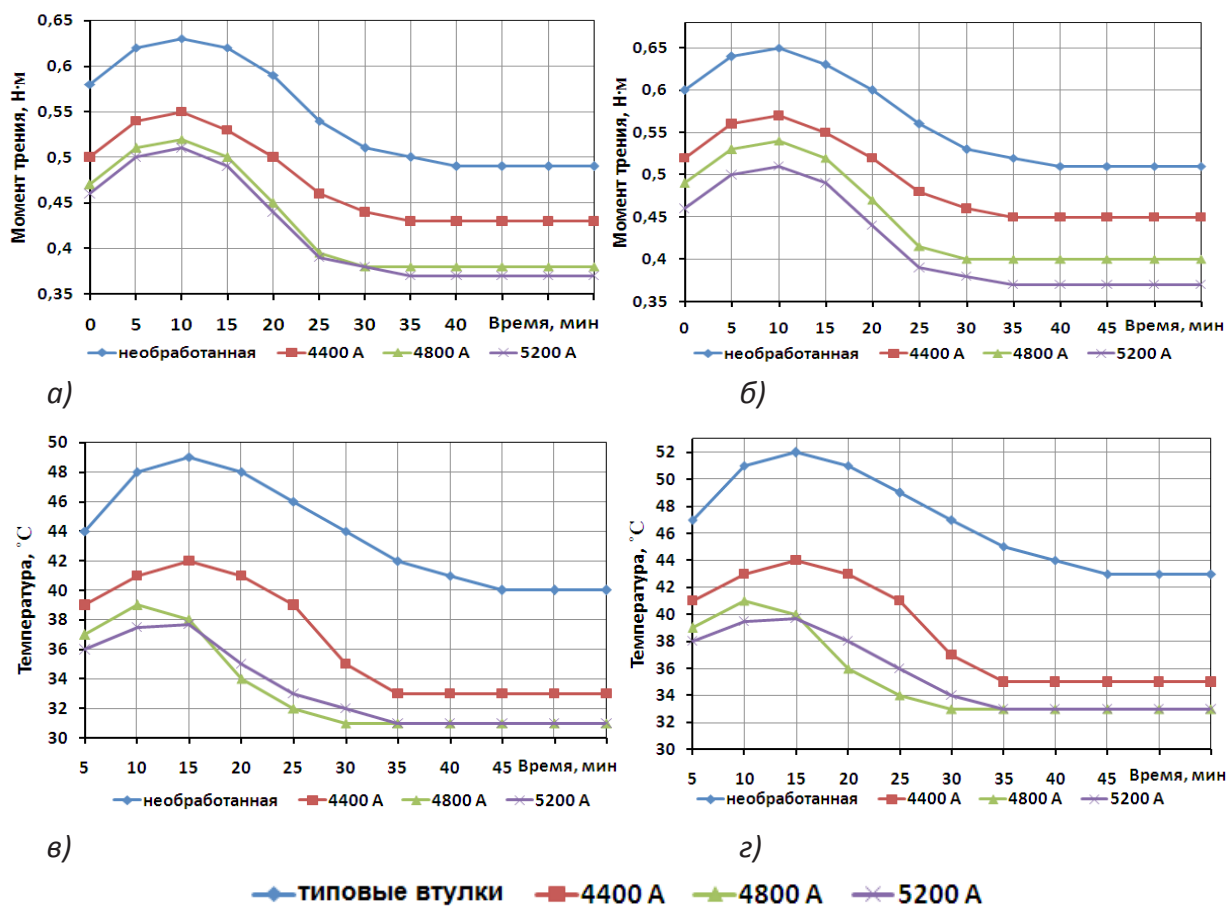


Рис. 5 – Зависимости момента трения и температуры колодок от времени проведения исследований при различной силе тока для следующих образцов:

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

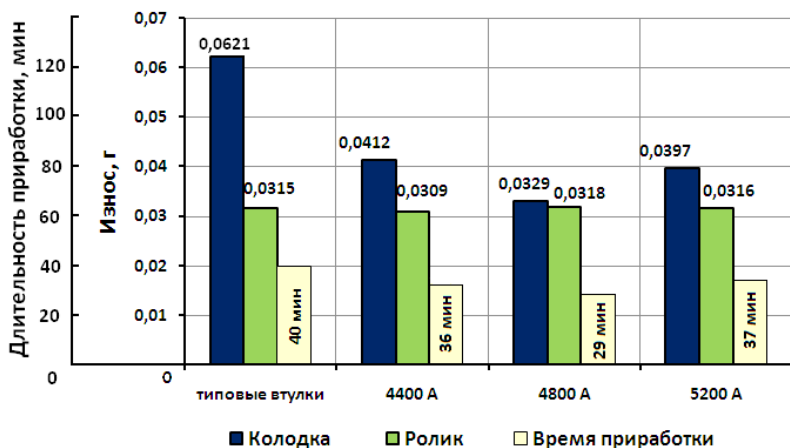


Рис. 6 – Износостойкость образцов цельных втулок за весь период исследований

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.