

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА «МЕТАЛЛ – КОНСИСТЕНТНАЯ СМАЗКА» МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
ул. Ожешко, 22, г. Гродно, 230023, Республика Беларусь*

Вопросы повышения долговечности и надежности различных видов сопряжений до нашего времени остаются актуальными в машиностроении и непосредственно связаны с развитием фундаментальных и прикладных исследований в области триботехники. Особое место среди таких сопряжений занимают подвижные электрические соединения – скользящие электрические контакты. Особая сложность решения триботехнических проблем в электрических контактах обусловлена действием такого фактора, как электрический ток, приводящего к ужесточению условий внешнего трения и повышенному износу взаимодействующих поверхностей.

Применение в электрических контактах специальных смазочных композиций, создающих на поверхностях контакта переходные (приэлектродные) слои с особыми электрофизическими свойствами, снижающими коэффициент трения и обеспечивающими необходимое токопрохождение, позволит существенно повысить эксплуатационные характеристики электрических машин. Изучение механизма проводимости таких слоев служит основой для создания новых электропроводных смазок.

В работе исследование проводимости переходных (приэлектродных) слоев выполнено методом импульсных вольт-амперных характеристик [1, 2], впервые примененном для консистентных смазок. В качестве модельной среды использовалась композиция на основе консистентной смазки типа ЦИАТИМ-201 с различным содержанием модификаторов: ЦИАТИМ-201 + 2,5% Cu + 2,5% С (графит), ЦИАТИМ-201 + 5% Cu + 5% С (графит), ЦИАТИМ-201 + 2,5% Fl (фолеокс), ЦИАТИМ-201 + 5% С (графит), ЦИАТИМ-201 + 5% Cu, ЦИАТИМ-201 чистый.

Методика эксперимента

К выходной цепи генератора прямоугольных импульсов подключается измерительная кювета с исследуемой композицией, которая вместе со входным сопротивлением осциллографа образует дифференцирующую RC-цепь. Подавая с генератора импульсы напряжения прямоугольной формы на RC-цепь, получают характерный отклик, параметры которого наблюдают на осциллографе. Типичная осциллограмма тока и напряжения в цепи ячейки показана на рис. 1.

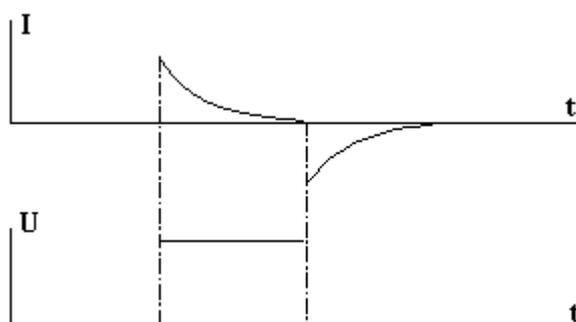


Рис. 1. Осциллограмма тока I и напряжения U в цепи кюветы с исследуемой композицией

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Осциллограф С9-8 имеет два независимых входа, что обеспечивает возможность одновременной регистрации напряжения, подаваемого на кювету, и тока, протекающего через нее при подаче на электроды напряжения прямоугольной формы. Генератор Г6-31 позволяет изменять форму, амплитуду и частоту импульсов.

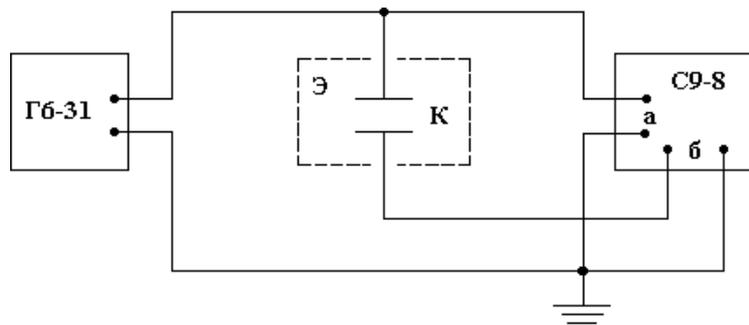


Рис. 2. Блок-схема установки для измерений импульсных вольт-амперных характеристик консистентной смазки. Гб-31 – генератор сигналов специальной формы ($10^{-3} - 10^5$ Гц); К – экспериментальная кювета с исследуемой смазкой; Э – экран для устранения электрических наводок; С9-8 – цифровой осциллограф

В состав экспериментальной установки входит специально изготовленная кювета с парой плоских электродов. Качество обработки поверхности электродов из электротехнической меди марки М00 соответствует $R_z = 0,1$ мкм, отклонение от плоскостности и непараллельность взаимного расположения электродов таковы, что обеспечивают между ними площадь контакта не менее 95% от номинальной. Для точного измерения расстояния d между электродами применен микрометрический механизм, обеспечивающий точность измерения расстояния в межэлектродном промежутке не менее 0,01 мм. Начиная с 5 и до 1 мм, межэлектродное расстояние изменяется через 1 мм, с 1 до 0,5 мм – через 0,1 мм, от 0,5 мм и до полного смыкания электродов через 0,01 мм. При этом фиксируются амплитуда и длительность импульса отклика τ . Измерения производятся до полного исчезновения межэлектродной емкости, то есть до пропадания импульса отклика. Одновременно с применением метода импульсных вольт-амперных характеристик прибором Еб-13А контролируется сопротивление межэлектродного промежутка по постоянному току. Амплитуды всех зондирующих сигналов выбираются таким образом, чтобы оказывать минимальное влияние на физико-химические свойства исследуемой композиции.

По результатам измерений построены зависимости $R(d)$ и $\tau(d)$, приведенные на рис. 3–6.

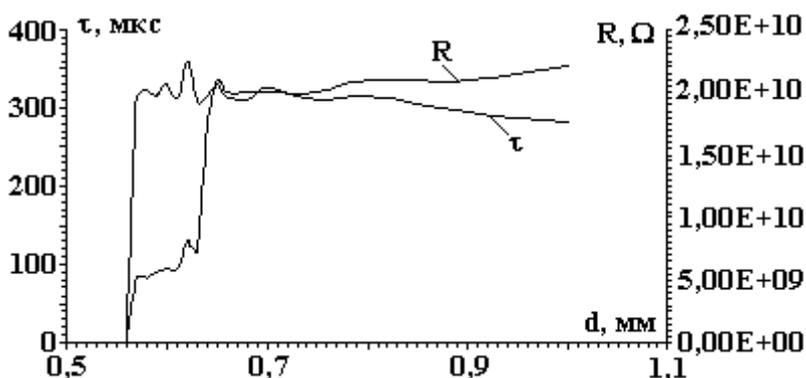


Рис. 3. Зависимость длительности фронта импульса отклика τ и сопротивления межэлектродного промежутка R от расстояния между электродами d для ЦИАТИМ-201 + 2,5% Si + 2,5% С (графит)

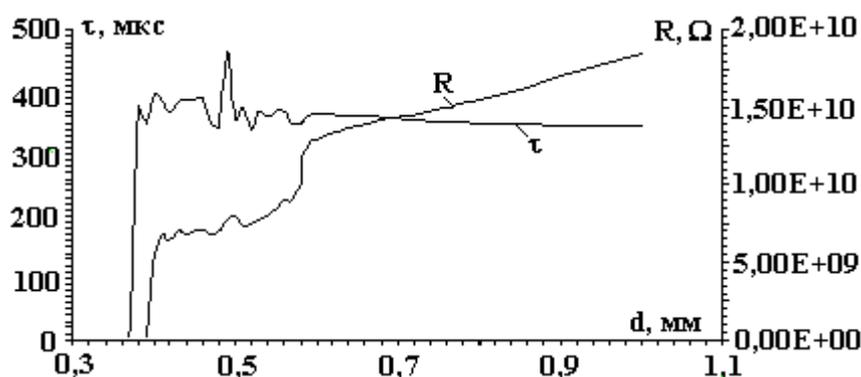


Рис. 4. Зависимость длительности фронта импульса отклика τ и сопротивления межэлектродного промежутка R от расстояния между электродами d для ЦИАТИМ-201 + 5% Si + 5% С (графит)

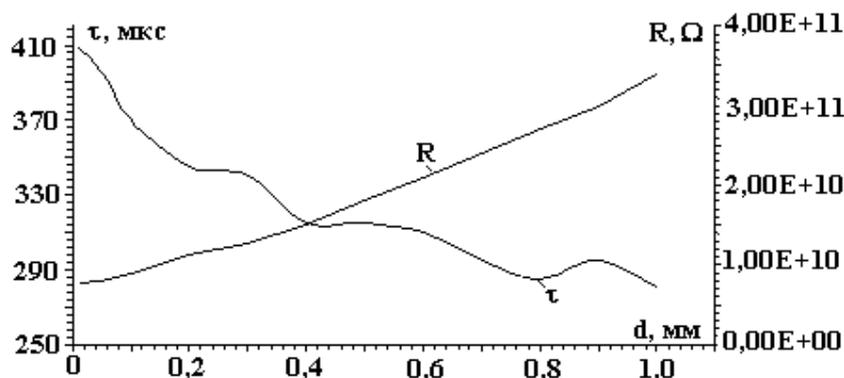


Рис. 5. Зависимость длительности фронта импульса отклика τ и сопротивления межэлектродного промежутка R от расстояния между электродами d для ЦИАТИМ-201 + 5% Cu

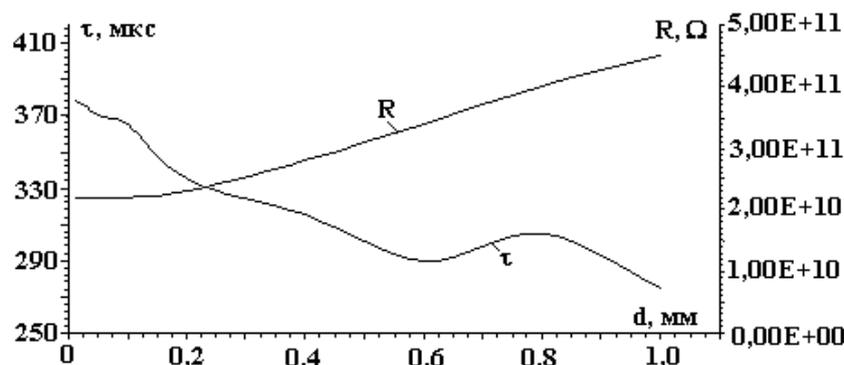


Рис. 6. Зависимость длительности фронта импульса отклика τ и сопротивления межэлектродного промежутка R от расстояния между электродами d для ЦИАТИМ-201 + 5% С(графит)

Интерпретация результатов

Для чистого ЦИАТИМа-201 наблюдались линейные зависимости $R(d)$ и $\tau(d)$. Отклик не пропал до предельных значений сближения электродов. Это доказывает, что без модификаторов консистентная смазка сохраняет свои диэлектрические свойства на любых межэлектродных расстояниях. Толщина приэлектродных слоев для чистой смазки минимальна.

В композициях ЦИАТИМ-201 + 2,5% С + 2,5% Cu (рис. 3) и ЦИАТИМ-201 + 5% С + 5% Cu (рис. 4) наблюдаются флуктуации длительности отклика, а также флуктуации сопротивления на одних и тех же межэлектродных расстояниях. Причем сопротивление резко убывает, начиная с некоторого расстояния между электродами (для ЦИАТИМ-201 + 2,5% С + 2,5% Cu характерным расстоянием является 0,57 мм, а для ЦИАТИМ-201 + 5% С + 5% Cu – 0,37 мм). Для композиции ЦИАТИМ + 2,5% фолеокса таких явлений не наблюдается.

Для определения причин вызывающих вышеуказанные флуктуации, исследованы композиции ЦИАТИМ-201 + 5% С и ЦИАТИМ-201+5% Cu. Но эксперименты, проведенные с этими средами, не выявили ничего необычного, зависимости $R(d)$ и $\tau(d)$ носят практически линейный характер (рис. 5 и 6).

Таким образом, присутствие в ЦИАТИМ-201 графита в смеси с медью в определенных пропорциях приводит к возникновению флуктуаций сопротивления и исчезновению импульса отклика, начиная с некоторого значения расстояния между электродами, то есть для каждой среды существует некоторая критическая величина зазора между электродами, начиная с которой сопротивление резко уменьшается и исчезает отклик на воздействие прямоугольного импульса. Это позволяет предположить, что причиной высокой электропроводности композиций на основе ЦИАТИМ, графита и меди на указанных межэлектродных расстояниях является перекрытие приэлектродных слоев (толщиной порядка 0,18–0,25 мм), обладающих повышенной удельной проводимостью по сравнению с остальным межэлектродным промежутком. Для каждого типа наполнителя, в зависимости от его электрофизических свойств и дисперсности, существует некоторое предельное значение концентрации, при которой проводимость наполненной среды резко повышается, хотя среда в общем сохраняет свойства диэлектрика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кропачева Л.В., Рычков Ю.М. Приэлектродная проводимость изолирующих жидкостей // Тез. Докл. 6-го Всесоюзного совещания по электронной обработке материалов. Кишинев, 1990. С. 168–169.

Summary

The application of the method of pulsing volt-ampere characteristics for the research of the properties of transition layers of the electric contact "metal – grease lubricant" is shown.

П.П. Малюшевский

ЯВЛЕНИЕ КУМУЛЯЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ (ЧАСТЬ I. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ)

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

Согласно существующим представлениям классической гидродинамики [1] кумуляция энергии и формирование кумулятивных струй происходят при быстром (взрывообразном) захлопывании конической оболочки из вещества по нормали к поверхности внутрь на ось оболочки. В результате обжимающийся конус вещества генерирует тонкую осевую струю вещества оболочки, движущуюся с очень большой скоростью.

Эта теория полностью подтверждается на опыте в достаточно широких пределах варьирования взрывных зарядов, характеристик вещества, из которого состоит коническая оболочка, а также их форм и толщин. Однако имеются экспериментальные факты, не укладывающиеся в теорию. Например, казалось бы, выполняя угол конуса все меньше, можно получить любые сверхскоростные струи, а следовательно, в области образования струи любые сверхвысокие давления. Но обнаружен предельный угол конуса, начиная с которого скорость струи непрерывно уменьшается, а давление – падает. Оказалось, что этот предельный угол существенно определяется свойствами вещества, из которого состоит оболочка, в частности сжимаемостью.

Подробный анализ проблем взрывных струйных течений и проблем кумуляции, выполненный в работе [2], раскрывает механизм уменьшения эффекта кумуляции при изменении оптимального угла конусности $\alpha_{кр}$. При прочих равных условиях, если увеличивать угол конусности, вектор скорости метания струи отходит от оси симметрии – эффект кумуляции уменьшается, а затем возникает инверсия потока относительно обычного течения, масса струи в направлении оси существенно возрастает, скорость падает.

При исследовании классической кумуляции хорошо изучена структура течения [2]: она представляется системой из скоростной кумулятивной струи с относительно высокой удельной кинетической энергией и так называемого низкоскоростного песта, содержащего основную массу вещества исходной облицовки конической выемки.

В этом же основательном обзоре [2] большого количества работ в области проблем кумуляции и струйных течений указывается на возможность существования режима "обратной" кумуляции при схождении на оси метаемых взрывом элементов так называемых "мелких облицовок". При этом эффект "обратной" кумуляции – следствие сложной деформации с разрушением и "выворачиванием" периферии облицовки, а не ее центра. Показано, что при малых углах соударения струи возникают только в том случае, если схлопывание облицовок происходит с дозвуковой скоростью, а при переходе в зазвуковую – струя неустойчива и диспергируется на части.

Здесь же рассмотрены некоторые отличающиеся от классической кумуляции схемы и механизмы формирования кумулятивных течений. Например, при схлопывании осесимметричной цилиндрической облицовки происходит нагрев ее внутренних слоев до температуры испарения (в результа-