

*М. Н. Свирид, канд. техн. наук, доц.,  
И. А. Кравец, д-р техн. наук, проф.,  
Г. А. Волосович, канд. техн. наук, проф.,  
В. Н. Бородий, ст. препод.,  
Л. Б. Приймак, канд. техн. наук,*

## **ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА УСЛОВИЯ ТРИБОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Национальный авиационный университет, E-mail: Ludmila-joy@ukr.net

*Определены параметры работы поверхностных слоёв трения в условиях импульсного воздействия электрического поля. Исследованы энергетические условия импульсного сигнала, необходимые для изменения характеристик трения, установлены оптимальные параметры восстановления прецизионных пар трения.*

**Обзор исследований.** Трение представляет собой исключительно сложный динамический процесс. Относительное перемещение плоскостей даже на установившемся режиме, воспроизводит частотное колебание в широком диапазоне. Нестабильность коэффициента трения провоцирует изменения состояния трибосистемы.

Накопление повреждений при трении проходит в поверхностном слое определенной толщины, – debris-слое. Наиболее характерная глубина debris-слоя имеет мезоскопические размеры 1–3 мкм. Следовательно, масштабный уровень эксперимента должен быть достаточно большим, чтобы полученные оценки отражали общее, усредненное состояние модифицированного материала поверхностного слоя, но и достаточно малым, чтобы не выйти за пределы изучаемого слоя.

В работе [1] была выдвинута концепция, что импульс тока и другие внешние энергетические воздействия выступают в роли катализатора разрядки дислокационных скоплений. Скачёрк деформации, наблюдаемый при этом, осуществляется за счёт энергии внутренних напряжений, накопленных в процессе пластической деформации.

В процессе пластической деформации на уровне отдельных дислокационных групп проходит неоднородное пластическое деформирование [2] как в пространстве, так и во времени.

Влияние мощности электрического импульса на изменение структуры материала изучалось в работах [3; 4]. Показано, что ток оказывает не только тепловое действие, но и влияние на структурные дефекты (электропластический эффект).

Потери энергии на частотах 2...5 кГц пропорциональны квадрату частоты сигнала. Каждая частица среды, находящаяся на пути распространения волн, одновременно участвует в колебаниях всех этих волн.

**Цель работы.** Определить параметры работы поверхностных слоёв трения в условиях импульсного воздействия электрического поля.

**Задачи:**

- создать энергетические условия импульсного сигнала, необходимые для изменения параметров трения;
- изучить действие импульсного сигнала на условия переноса материала донора на поверхности трения.

**Материалы и методика исследований.** Для изменения состояния трибосистемы в процессе взаимного перемещения поверхностей необходимо направить производство энтропии в сторону понижения, что изменит градиент перемещения массы материала в сторону её увеличения. Условия переноса материала в процессе трения разработаны под руководством профессора Д. Гаркунова [5].

Так как электрохимический потенциал системы прямо пропорционален плотности потока энергии и вещества, создаём направленное перемещение электронов материала донора с помощью внешнего источника, позволяя не только изменять направление, но и количество переноса материала донора. Для электрохимических исследований процессов переноса материала вспомогательного электрода использовали растворённый в воде полиэтиленгликоль 400 (ПЭГ-400). ПЭГ-400 используется в узлах трения с повышенной пожароопасностью.

Известно [6; 7], что связь между ионами металлов и молекулами ПЭГ осуществляется в результате их донорно-акцепторного взаимодействия с образованием координационной связи. Акцептором служит ион металла, донором – атом кислорода, входящий в состав терминальных гидроксильных групп, предоставляющий пару электронов для образования связи.

Для исследования использовали модельную схему трения с нейтральным контртелом – стеклом (для обеспечения чистоты экс-

перимента) и образцом из стали 2; вспомогательный электрод (донор) – медь. Стекло – нетокопроводящий материал, поэтому электроны вспомогательного электрода замыкаются через рабочую жидкость на образец (катод). Изменение частоты электросигнала осуществляли стандартным генератор ГЗ-33 в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц. Выходное напряжение составляло 60 В. Структурная электросхема показана на рис. 1.

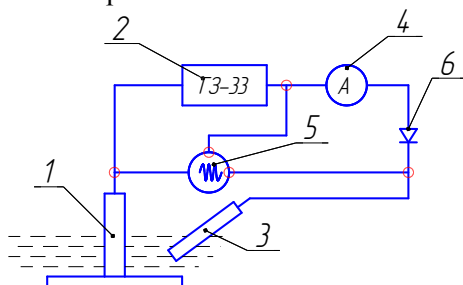


Рис. 1. Электрическая схема проведения эксперимента: 1 – образец; 2 – генератор сигналов

Сигнал, задающей частоты от генератора 2 подаётся на амперметр 4 через диод 6 на вспомогательный электрод 3, проходя через рабочую жидкость и образец 1. Наиболее вероятное место прохождения электрического сигнала – через зоны деформируемого материала, которым соответствуют участки фактических площадей контакта. Двухлучевой осциллограф 5 контролирует сигнал генератора и показывает характеристики сигнала, проходящего через зону трения.

Учитывая, что направление тока должно быть импульсным в определённую сторону, в цепи предусмотрен диод 6, который пропускает сигнал с характеристикой, представленной на рис. 2.

Предназначение диода – пропускать ток в одном направлении: от анода (вспомогательного электрода) к катоду (образцу).

Параметр однонаправленного тока (рис. 2) позволяет перемещать электроны (ионы) в одном направлении импульсно-го характера, при этом представляется возможным управление массопереносом материала донора.

Из графика (рис.3) видно, что переменный ток, проходящий по схеме рабочая жидкость –

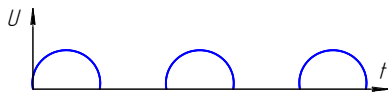


Рис.2. Характер сигнала подаваемого в зону трения

образец, почти в четыре раза больше, но образованные поверхностные плёнки в зоне трения не обладают хорошими трибологическими характеристиками.

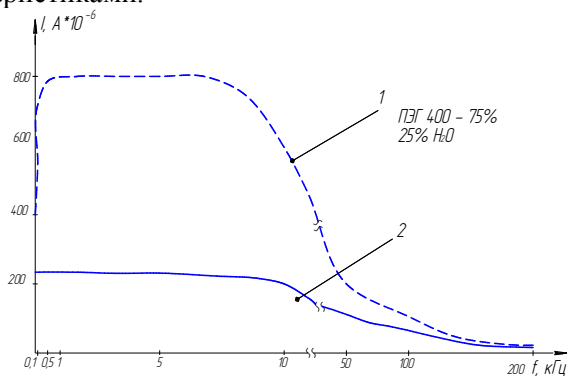


Рис.3. График изменения силы тока по электрической схеме (см. рис. 1) в среде ПЭГ-400 от частоты напряжения с вспомогательным электродом из меди; 1 – переменный ток; 2 – ток через диод

**Результаты исследований.** Из топографии поверхности трения (рис. 4) видно, что рост трибопленок проходит по различным механизмам образования. На рис. 4, а, б трибопленки образуются на достаточно грубой поверхности трения, их толщина достигает 20 мкм.

В результате большой толщины плёнка трещит и выносится из зоны трения, отчего видны участки поверхности без плёнок, которые постоянно находятся в поле видимости микроскопа.

При однонаправленном воздействии тока (рис. 3, кривая 2) на зону трения, плёнки характеризуются мелкодисперсностью (толщиной 2...5 мкм) и распределением по всему полю трения с последующим истиранием и измельчением (рис. 4, в, г). Характеристика сигнала показана на рис. 2.

Таким образом, однонаправленное воздействие тока на зону трения создаёт трибопленки более трибологически работоспособные по отношению к образованным при переменном токе.

Большинство насосов плунжерной конструкции изготавливается из сплавов на основе меди, легированной различными металлами. Условия работы прецизионных механизмов требуют кропотливого подхода к изучению процессов трения в тонких слоях мате-

риала. Электродный потенциал меди (+0,52В) провоцирует активные условия перехода материала от анода – вспомогательного электрода к катоду – образцу. Трибологические параметры влияния медного вспомогательного электрода на условия насыщения поверхности в процессе трения стали 2 в среде ПЭГ-400 по модельному контртелу – стеклу показано на рис. 5.

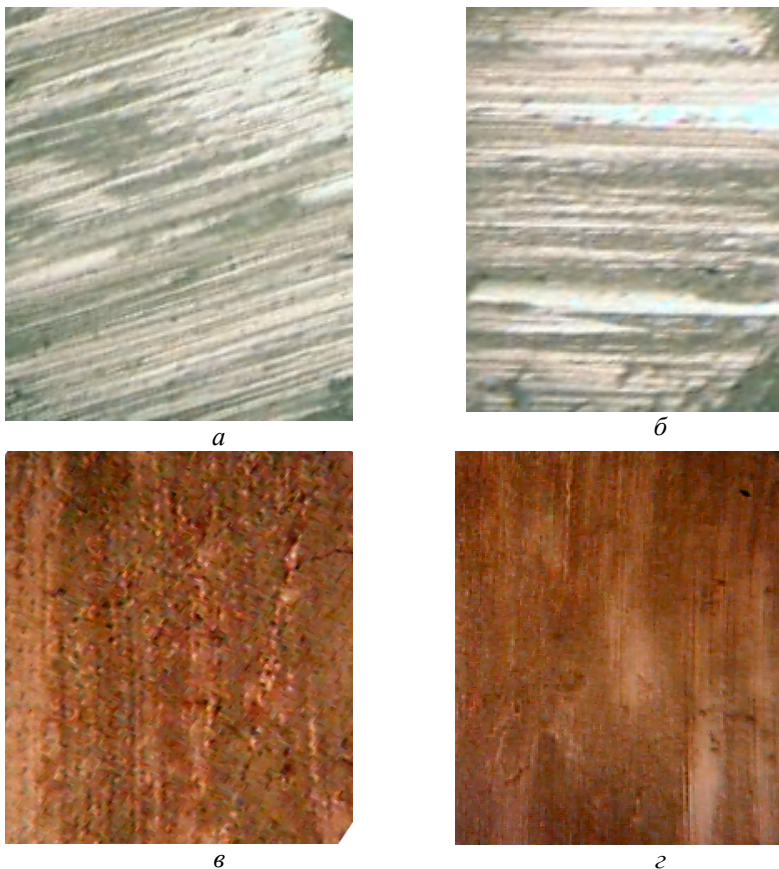


Рис. 4. Характер образования трибопленок на поверхности трения стали 2 по контртелу – стеклу в среде ПЭГ-400 75% при увеличении  $\times 90$ :  
1 – при переменном направлении тока (а, б); 2 – при однонаправленном токе (в, г)

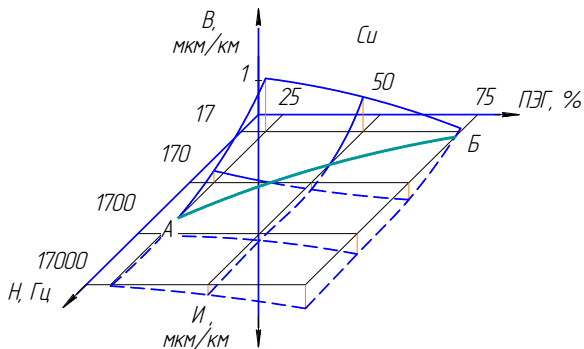


Рис. 5. Трибологические параметры стали 2 с вспомогательным электродом медью по стеклу

Активный перенос материала вспомогательного электрода (наработка плёнки на поверхность трения до 1 мкм) приводит к повышению линейного размера в среде ПЭГ-400 при концентрации 25% и обуславливается хорошей электропроводимостью рабочей среды. Недостатком раствора ПЭГ-400 с концентрацией 25% является склонность его к коррозии металла в процессе обработки и после нанесения пленки, что объясняется разностью электродных потенциалов меди (+0,54В) и стали (-0,44В), а также наличием достаточного количества кислорода и водорода на границе раздела металл – жидкость. Коррозионные исследования стали, в ПЭГ-400 75%, показали отсутствие коррозионных процессов на образце. Но при этом наблюдается значительное увеличение удельного электросопротивления ( $5 \cdot 10^3$  МОм/м), что интенсивно нивелирует процесс переноса материала без изменения режима подачи тока. Направленное воздействие частотного сигнала от 17 до 17000 Гц уменьшало электросопротивление рабочей среды, при котором процесс значительно ускорялся.

Исходя из результатов трибологических исследований, представленных на рис. 5, следует отметить, что изменение состояния системы на условия репарации при концентрации раствора до 75% проходит на частотах 1 кГц, что объясняется повышением активации среды и деформационными параметрами поверхности, которые приобретаются в процессе трения в совокупности с влиянием низкочастотной составляющей электрического поля.

Переход кривой в зону износа по линии *АВ* объясняется тем, что количество изношенного материала превалирует над процессом осаждения материала. Химический анализ (рис. 6) поверхности трения стали 2 указывает на существование меди на участках фактических площадей контактов (см. рис. 4, *в*), тёмные пятна) в количестве более 8%. Постепенное насыщение сопровождается образованием тонких участков меди (рис. 4, *з*), светлые участки на поверхности трения). Режим активной работы сопровождается понижением коэффициента трения до 0,05, при этом повышается мицеллообразование рабочего раствора, что наблюдается в микроскоп в процессе трения.

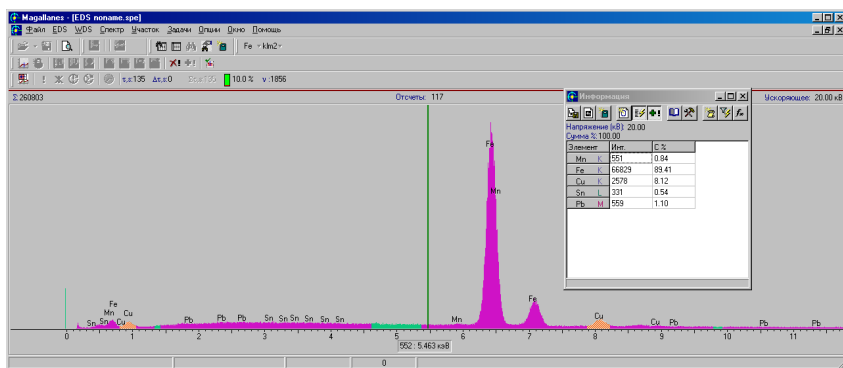


Рис.6. Количественный состав меди на поверхности трения стали 2 по стеклу в 75% растворе ПЭГ-400

Трибоэлектрохимические исследования показали, что использование меди как вспомогательного электрода позволяет сделать заключение о свободном ее перемещении в электролите полиэтиленгликоля, имеющем большое электросопротивление; при этом, чем меньше концентрация ПЭГ-400, тем больше осаждается элемент на катод-образец.

Из результатов исследования (см. рис. 5) видно, что процесс восстановления проходит на частотах 1 кГц импульсного характера (см. рис. 2). Согласно схеме, представленной на рис. 1, напряжение подавали на образец 1 через зону модельной пары трения сталь 2 – стекло в среде 75% раствора ПЭГ-400 с рабочими параметрами наибольшего тока, проходящего через плоскость трения в частотном диапазоне 1...5 кГц (см. рис. 3). Полученные результаты показали, что для проведения процесса насыщения поверхности в процессе трения необходимо влияние внешней энергии.

## Выводы

1. Определены условия воздействия импульсного электрического сигнала на трибологические параметры модельного узла трения.
2. Указано, что изменение параметров электрохимического сигнала на зоны фактических площадей контакта в процессе наработки смещают трибологическое состояние поверхности, во время динамического перемещения в сторону репарации поверхностного слоя.

## Список литературы

1. Рошупкин А.М. Физика 3 / А.М.Рошупкин, И.Л.Батаронов, 1996. – С.57.
2. Лихтман В.И. Физико-химическая механика металлов / В.И.Лихтман, Е.Д.Щукин, П.А. Ребиндер – М.: Изд-во АН СССР 1962.–304 с.
3. Пинчук А.И. / А.И.Пинчук, С.Л.Шаврей/ ФТТ. –2001. –Т. 43. – Вып. 8. – С. 1416–1417.
4. Кирьянчев Н.Е. // Проблемы прочности. / Н.Е.Кирьянчев, О.А.Троицкий, С.А.Клевцур 1983. – № 5. –С. 101–105.
5. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учеб. / Д.Н.Гаркунов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2001. –616 с.
6. Энтелис С.Г. Кинетика реакций в жидкой фазе. Количественный учет влияния среды./ С.Г.Энтелис, Р.П. Тигер – М.: Химия. 1973.– 687 с.
7. *Wieczorek W.* Effect of salt cocentration on the conductivity of PEO-based composite polymeric electrolytes / W.Wieczorek, D.Raducha, A.Zalewska, J. R. Stevens *J. Phys. Chem B.* 1998. –V.102. –P. 8725–8731.6

*Свирид М.М., Кравець І.А., Волосович Г.А., Бородій В.М., Приймак Л.Б.*  
**Вплив енергетичного імпульсу на умови трибоеклектрохімічного відновлення** // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.135–142.

Визначено параметри роботи поверхневих шарів тертя в умовах імпульсного впливу електричного поля. Досліджено енергетичні умови імпульсного сигналу, необхідні для зміни характеристик тертя. Установлено оптимальні параметри відновлення прецизійних пар тертя.

Рис.6, список літ.: 7 найм.

## **Energetic impulse influence on the triboelectrochemical renewal conditions**

In the article the work parameters of friction surface layers are studied in the conditions of electric field impulse influence. Energy conditions of impulse signal, which are obligatory for friction parameters changes, are researched. The optimal friction characteristics precession pairs renewal are determined.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2010