

Замота Т.Н.,*

Аулин В.В.**

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,
г. Луганск, Украина

**Кировоградский национальный технический университет,
г. Кировоград, Украина

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА В СМАЗЫВАЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ ПРИРАБОТКЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ТРЕНИЯ

Введение

Значительная часть деталей двигателей, поступающих в ремонт, пригодна к повторному использованию. Вместе с тем детали, подаваемые на сборку, обладают пониженной точностью и искаженной макрогеометрией за счет износа (годные без ремонта), а также в результате несовершенства технологического процесса восстановления. Применение электрохимико-механической приработки (доводки) (ЭХМП(Д)) позволяют исправлять макрогеометрию сопряженных деталей, приспособлять их друг к другу после сборки сопряжений [1, 2].

Технологический процесс ЭХМП(Д) включает в себя протекание ряда специфических процессов, которые уменьшают продолжительность приработки, способствуют изменению режима трения, дают возможность при этом электролит считать неньютоновской жидкостью [3], в которой при подаче переменного тока на сопряженные детали развивается процесс интенсивного выделения воздушных пузырьков у их рабочих поверхностях.

Цель работы

Исследование загазованности электролита при ЭХМП(Д), влияния его на качество приработки, изменения триботехнических характеристик рабочих поверхностей и режима трения деталей.

Методика проведения эксперимента

Исследование влияния электрохимических параметров на газообразование при развитии прирабочных показателей проводили по схеме ролик-колодочка. Зазор a в трибосистеме (ТС) изменялся за один оборот ролика от 0 до 100 мкм за счет его биения. Загазованность электролита при напряжениях 3, 4 и 5 В определяли по схеме (рис. 1).

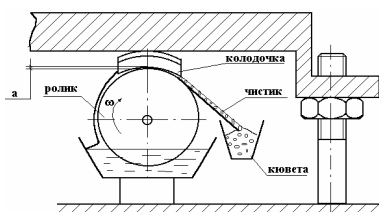


Рис. 1 – Схема отбора проб загазованного электролита

Дисперсионность пузырьков газа оценивали с помощью микроскопа МБС-10, при увеличении $\times 56$, и специальной индикаторной головки МИГ-1 с ценой деления 1 мкм, вводимой в измерительную систему предметного столика (рис. 2). Процесс газовыделения фиксировали визуально.

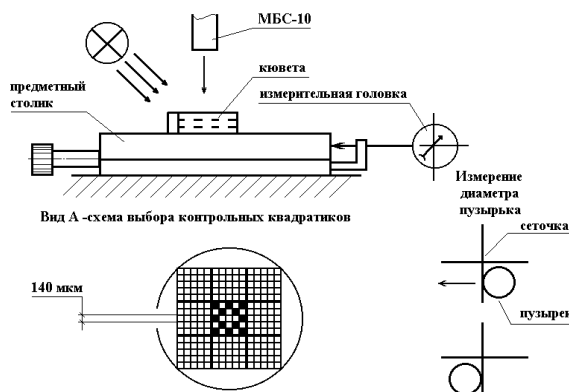


Рис. 2 – Схема оценки загазованного электролита

Были поставлены два вида экспериментальных исследований. В первом эксперименте исследования проводили при постоянной нагрузке 58,9 Н. Продолжительность опытов была 20 мин. Для определения периода наиболее благоприятного развития площади пятна контакта при ЭХМП(Д) наблюдения проводили через каждые 5 минут. Электрический ток подавали по схеме, изображенной на рис. 3.

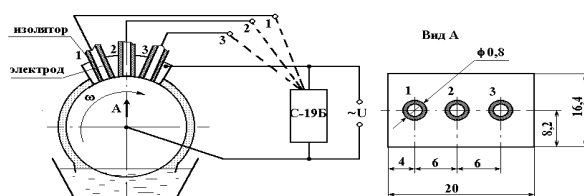


Рис. 3 – Схема подключения электродов к колодочке

Показания силы тока и напряжения фиксировали через каждые 30 с. Напряжение холостого хода изменялось в пределах 1,8 ... 2,1 В. В процессе исследований напряжение принудительно поднимали до 3 В. Сила тока при этом не превышала 0,5 А. Потенциал на колодочке изменяли с помощью электродов сравнения, которые представляли собой медные проводники, изолированные от колодочки и осциллографа С-19Б.

Во втором эксперименте использовали ступенчатое изменение нагрузки через 20 ... 90 с с шагом 19,6 и 28,8 Н до значений 245,3 и 387,5 Н. Продолжительность опытов 20 и 56 минут. Начальное напряжение составляло 2,1 В. Во время опытов силу тока принудительно увеличивали до 3 и 5 А. Частота вращения ролика в экспериментах была одинакова – 300 мин⁻¹.

Особенности электрохимического травления в зазоре и контакте без взаимного перемещения поверхностей исследовали на сопряжениях материалов трибоэлементов (ТЭ) "хром-сталь" и "хром-чугун". Электрохимическое травление сопряжения материалов "хром-сталь" при постоянном напряжении в зависимости от величины зазора и изменяющемся напряжении при постоянном зазоре проводили по схеме "ролик-кольцо". Эти условия были следующими:

- во всех опытах напряжение холостого хода составляло $U_{xx} = 2,0$ В, а величина зазора а изменялась от 10 до 60 мкм с шагом 10 мкм;
- зазор оставался постоянным и равным $a = 20$ мкм, а напряжение холостого хода U_{xx} поднималось от 1,6 В до 2,0 В с шагом 0,1 В.

Повторность опытов была не менее 3.

Исследования процессов приработки сопряжений материалов ТЭ проводили на модернизированной машине трения СМЦ-2. Стальной ролик $\varnothing 83$ мм устанавливался на нижнем валу машины, а хромированное кольцо $\varnothing 120$ мм в оправке – на верхнем. Подпором поворотной бабки с помощью винтовой пары устанавливали требуемый зазор в наиболее сближенных точках сопряжения. Стальной ролик и кольцо при этом были разбиты на 16 участков. Посередине каждого участка на торцевой поверхности образцов делался тонкий надпил, по которому проходила игла профилографа при профилографировании. В процессе эксперимента в электрохимический контакт вводились последовательно места, отмеченные надпилами. Каждый опыт проводили на новых поверхностях на установке для химического травления (рис. 4).

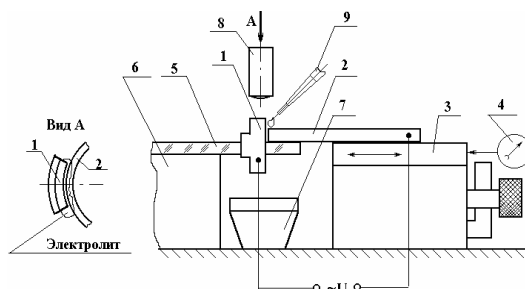


Рис. 4 – Схема установки для электрохимического травления пары хром-чугун на зазоре:

- 1 – колодочка $R = 60$ мм; 2 – хромированные кольца $\varnothing 120$ мм; 3 – предметный столик;
- 4 – индикатор часового типа; 5 – фиксирующая пластина из оргстекла; 6 – столик;
- 7 – ванночка; 8 – микроскоп МБС-10; 9 – трубка для подачи электролита

Согласно схеме установки электролит 1 подавали через наконечник с расходом 5 капель в минуту. Это обеспечивало постоянное заполнение зазора электролитом. Колодочку фиксировали в прорези пластины 5. Кольцо 2 ложилось на предметный столик 3. Предварительно кольцо сжимали до теплового зазора в замке с помощью пластины и винтов с гайками. Таким образом, обеспечивался постоянный радиус кривизны кольца. Необходимый зазор устанавливался с помощью предметного столика и индикатора часового типа.

Результаты исследований и их обсуждение

Для выяснения роли выделяющихся пузырьков газа на протекание процессов ЭХМП(Д) исследовано влияние их количества и дисперсности на изменение конусности, площади пятна контакта и износ.

Результаты исследований изменения макрогеометрии приведены в табл. 1.

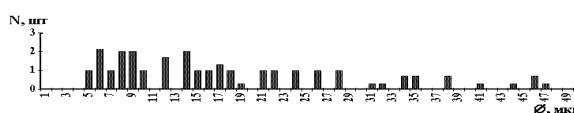
Таблица 1

Изменение макрогеометрии сопряженных трибоэлементов при различных напряжениях

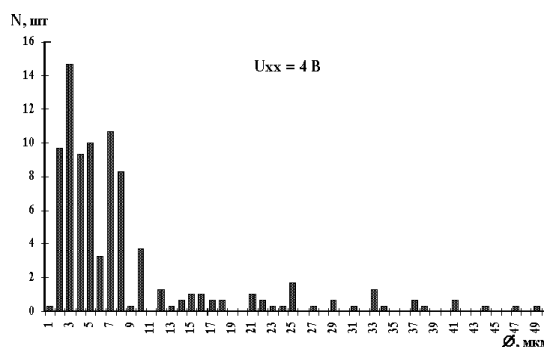
Напряжение холостого хода, U_{xx} , В	Конусность роликов, мкм		Площадь пятна контакта на колодочке, мм^2	Износ, мг	
	до	после		ролика	колодочки
3	10,60	8,97	13,89	5,80	2,03
4	10,83	1,97	33,36	15,70	3,07
5	11,47	12,70	16,40	29,77	4,07

Как видно из приведенных данных, при ЭХМП(Д) имеет место исправление искаженной формы деталей сопряжения, развевается площадь контакта при сравнительно небольшом износе. Наилучшие результаты наблюдали при $U_{xx}=4$ В: конусность снизилась с 10,83 мкм до 1,93 мкм; площадь пятна контакта была наибольшей – 33,36 мм^2 ; износ ролика и колодочки оказались средними. Для развития площади контакта равной 1 мм^2 при 3 В колодочка изнашивалась на 0,146 $\text{мг}/\text{мм}^2$, а при 4 В – 0,092 $\text{мг}/\text{мм}^2$. Если рассмотреть отношение износа ролика к уменьшению конусности, то для 3 В оно составит 3,56 $\text{мг}/\text{мм}^2$, для 4 В – 1,76 $\text{мг}/\text{мм}^2$, при 5 В – конусность из-за электроэрозионных процессов даже ухудшилась.

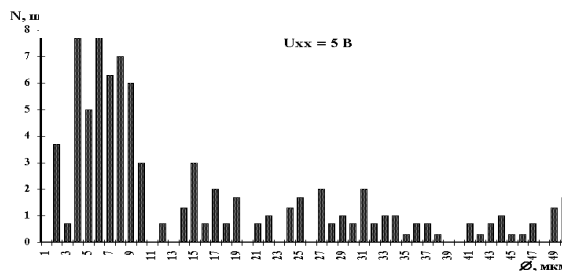
Определяли также количество и дисперсность пузырьков газа, образующихся в электролите при различных напряжениях (рис. 5).



а



б



в

Рис. 5 – Распределение выделенных воздушных пузырьков в электролите при приработке по их диаметру при различных напряжениях: а – 3 В; б – 4 В; в – 5 В

Можно видеть, что при $U_{xx} = 3$ В имеет место неинтенсивное газообразование с преобладающим образованием пузырьков диаметром 5...29 мкм. При $U_{xx} = 4$ В образовывалось большое количество мелких пузырьков размерами до 10 мкм, а при $U_{xx} = 5$ В преимущественно образовывались пузырьки размером до 2 ... 10 мкм и 15 ... 50 мкм.

По всей вероятности, попадая во впадины микрошероховатости пузырьки, вследствие своих диэлектрических свойств, предотвращают растравливание этих впадин (рис. 6).

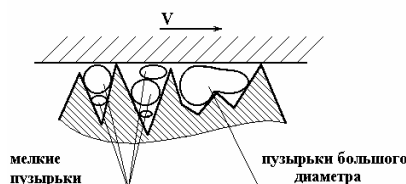


Рис. 6 – Схема возможного расположения пузырьков газа при ЭХМП(Д)

При этом микровыступы не блокируются мелкими пузырьками, что способствует их локальному травлению. В то же время крупные пузырьки могут закрывать микровыступы, в результате чего происходит пробой в межэлектродном зазоре, вызывающий эрозию металла. Такое явление наблюдали при $U_{xx} = 5$ В.

Таким образом, экспериментальные результаты показывают, что при напряжении 4 В возникают лучшие условия для травления микровыступов, что создает возможность сглаживать микроповерхность за счет чего более интенсивно развивается площадь пятна контакта при более малой величине износа.

По диаметру пузырьков d и коэффициенту поверхностного натяжения электролита ($\sigma = 3,01 \cdot 10^{-2}$ Н/м) проведена оценка избыточного давления в пузырьках:

$$P_n = 4 \cdot \sigma / d. \quad (1)$$

Используя закон Бойля-Мариотта, избыточное давление в пузырьках разных диаметров и их количество, был определен коэффициент перевода объема газа в пузырьке в нормальные условия и объем выделившегося газа. Выявлено, что мелкие пузырьки обладают большим избыточным давлением, причем при уменьшении диаметра пузырьков, меньше 10 мкм, возрастание давления в них идет наиболее интенсивно. Зная исследуемый объем электролита в установке выявлено: при 3 В газ занимал 0,081 % от этого объема, при 4 В – 0,088 %, а при 5 В был 0,239 %. Определено, что электропроводность газовой эмульсии ниже, чем чистого электролита. Оценка электропроводности проводили по формуле:

$$\chi_{эф} = \chi_0 (1 - 1,78 \cdot \psi + \psi^2), \quad (2)$$

где $\psi = V_g / V_{эл}$ – величина, показывающая отношение объема газа V_g к общему объему электролита $V_{эл}$: она тем больше, чем больше выход по току газов, чем меньше межэлектродное расстояние;

χ_0 – электропроводность незагазованного электролита.

Исследования с использованием электродов сравнения показали, что на первом электроде по ходу вращения ролика потенциал был наименьшим. Затем потенциал увеличился и на третьем электроде он был максимальным (табл. 2).

Таблица 2

Токковые параметры в различных местах колодочки

Точка измерения	Напряжение в различных точках, U, В	Напряжение на кольце, U, В	Напряжение, U_{xx} , В	Сила тока, I, А
1	1,26	3,86	4,00	1,00
2	2,27			
3	3,70			

При одинаковом зазоре под электродами различие напряжений свидетельствует об образовании газовых пузырьков в электролите под колодочкой по мере вращения ролика (рис. 7).

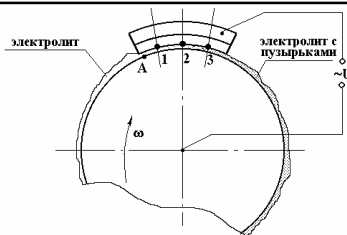


Рис. 7 – Схема заgasывания электролита

Чистый электролит попадая в зазор между роликом и колодочкой начинал заполняться пузырьками газа. Время прохождения точки А вдоль поверхности колодочки составляет 0,01 с, время прохождения точки 1 и 2 составляло 0,003 с. За столь короткое время происходило существенное снижение электропроводности электролита.

Проведены также исследования влияния скорости вращения с 100 мин^{-1} до 500 мин^{-1} , при которых наиболее мелкодисперсное газообразование наблюдали при $U_{xx} = 4 \text{ В}$.

Выводы

Исследования показали, что в реальных условиях приработку сопряжения материалов ТЭ необходимо проводить при чередовании граничного и гидродинамического режимов трения, причем доля гидродинамического режима увеличивается. ЭХМП(Д) с предпочтительным использованием электролита состава: 20 % водного раствора нитрата натрия с добавлением глицерина в соотношении 1/4, можно исправить конусность и развить площадь пятна контакта при сравнительно небольшом износе.

Наилучшие результаты были получены при напряжении холостого хода $U_{xx} = 4 \text{ В}$. В таких условиях наблюдали интенсивные образование мелкодисперсной газовой эмульсии в зазоре, характеристики которой существенно влияют на качество приработки рабочих поверхностей, а также установления гидродинамического режима трения.

Литература

1. Алексеев В.П. Влияние электрохимико-механических процессов на трение и износ поверхностей в механизме ползун-цилиндр / В.П. Алексеев, Т.Н. Замота, М.А. Домбровский, Р.В. Зорин // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. – № 31. – Луганск, 2003. – С. 4-9.
2. Алексеев В.П. Износ первого компрессионного кольца как компенсирующего звена размерной цепи КШМ при проведении электрохимико-механической приработки (доводки) / В.П. Алексеев, Т.Н. Замота, А.Н. Мельников // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. – № 17. – Луганск, 2002. – С. 7-10.
3. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

Надійшла 20.12.2010