

УДК 621.891

А. И. ВОЛЬЧЕНКО¹, В. С. СКРЫПНИК¹, М. Я. ДЖАВАДОВ², И. О. БЕКИШ¹,
Я. В. КУРЫЛЯК³

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

²Государственная нефтяная компания, Азербайджанская республика

³Коломыйский политехнический колледж, Украина

ИОНИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ (ПРОБОЯ) ПЛЕНОК ПОЛИМЕРНЫХ НАКЛАДОК В МЕТАЛЛО-ПОЛИМЕРНОМ ТРИБОСОПРЯЖЕНИИ (часть первая)

Предложены стадии ионизационного метода электротермического разрушения (пробоя) пленок полимерных накладок, находящихся в возбужденном состоянии, и приведена оценка метода применительно к металлополимерному трибосопряжению.

Ключевые слова: ионизационный метод, электротермический пробой, пленка полимера, металлополимерные микровыступы, трибосопряжение, трибосистема.

Введение. Долговечность металлополимерных пар трения трибосопряжений в значительной степени зависит от долговечности полимерной пленки накладки в электрическом поле при электротермомеханическом трении.

Из классической физики известно, что электрическое разрушение пленок полимеров не являются критическим явлением, происходящим при достижении допустимой напряженности поля. Время жизни пленок полимеров (долговечность) в электрическом поле экспоненциально уменьшается при увеличении напряженности поля. При этом установлено, что электрическое разрушение полимерных пленок можно рассматривать как явление, состоящее из двух последовательных стадий. На первой (подготовительной) стадии происходит инициируемое электрическим полем накопление повреждений макромолекул телом полимерной пленки. Длительность этой стадии определяет долговечность полимерной пленки в электрическом поле.

В настоящее время отсутствуют удовлетворительное объяснение столь быстрого и значительного возрастания электрического тока при пробое пленок полимерной накладки в металлополимерных трибосопряжениях. Вместе с тем эта проблема является одной из основных в физике пробоя полимерных пленок фрикционных накладок. Ее решение позволит установить условия, вызывающие разрушения пленок полимерных накладок в электрическом поле при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии металлополимерных пар трения. Кроме того, это даст возможность наметить пути повышения электрической прочности поверхностных слоев полимерных накладок, т.е. обеспечить увеличение их электрической долговечности.

В работе [1] рассмотрены данные об электрической прочности тонких полимерных пленок. Сделан вывод о невозможности использования представлений об электронном лавине для описания пробоя тонких пленок. Предложено рассматривать электрическое разрушение как следствие резкого локального усиления поля, вызванного эволюцией объемного заряда, инжектированного в полимер из электродов. Показано, что долговечность полимерных пленок экспоненциально зависит от напряженности электрического поля.

В работе [2] предложен физический механизм, объясняющий быстрого (за время $\sim 10^{-7}$ с) возрастание тока при электрическом пробое полимерных диэлектриков. Накопление в локальной области полимера в результате толевой ионизации макромолекул положительных молекулярных ионов и электронов рассматривается как образование квазинейтральной плазмы, в которой возникает эффект дебаевского экранирования зарядов, приводящий к снижению потенциала ионизации молекул, что в свою очередь ускоряет образование несвязанных зарядов в полимере. Показано, что протекание этих взаимосвязанных процессов, скорости которых возрастают со временем, приводит на определенном этапе к взрывообразному изменению свойств полимера. Выявлен самоускоряющийся процесс, приводящий к возрастанию концентрации квазисвободных зарядов, время развития которого сопоставимо со временем развития пробоя.

Однако в работах [1, 2 и др.] не было учтено специфику эксплуатации рабочих поверхностей полимерных накладок со своей топографией микровыступов при электротермомеханическом трении в трибосопряжениях.

Постановка задачи. В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к данной проблеме:

- энергетические уровни зарядов при их ионизации;
- аналитическое описание процессов сопровождаемых ионизацию зарядов;
- природа электрического и электротеплового пробоя металлополимерных пленок пятен контактов микровыступов трибосопряжения.

Цель работы. Оценка ионизационного метода электротермического разрушения (пробоя) пленок полимерных накладок в металлополимерном трибосопряжении.

Энергетические уровни зарядов при их ионизации. В электрических полях, которым подвержены пятна контактов микровыступов полимерной накладки квазисвободные носители зарядов могут возникать в локальном объеме микровыступов вследствие полевой ионизации макромолекул при туннельном переходе с уровня высшей занятой орбитали макромолекулы (E_e) на низшую свободную орбиталь (E_n) соседней молекулы. Схема такого ионизационного процесса представлена на рис. 1 а для трех микровыступов полимерной накладки.

Ионизация с наибольшей интенсивностью будет происходить на втором пятне контакта микровыступа полимерной накладки, поскольку работа выхода электронов (W_M) из металлического элемента трения будет больше работы выхода ионов (W_{II}) их полимерной накладки. При соблюдении условия $W_M > W_{II}$ будет иметь инжектирующий (омический) контакт фрикционного взаимодействия [3]. В этом случае локальная напряженность электрического поля существенно превосходит средние значения. Неоднородность электрического поля в полимерах может быть также связана с их гетерогенностью и прежде всего с наличием аморфных и кристаллических зон, обладающих разной электро- и теплопроводностью.

В конечном итоге ионизация макромолекул, вызванная переходами « $E_e \rightarrow E_n$ », приведет к накоплению в рассматриваемой локальной зоне (пятно контакта) микровыступа полимера квазисвободных электронов и дырок, характеризующихся некоторой равновесной концентрацией, величина которой определяется балансом между темпом протекания ионизационного процесса и оттоком носителей заряда из данной зоны.

В ионизированных фрагментах макромолекул наблюдается пониженная энергия разрыва химических связей. В связи с чем полевая ионизация макромолекул рассматривалась ранее [2] как первая стадия процесса повреждения макромолекул,

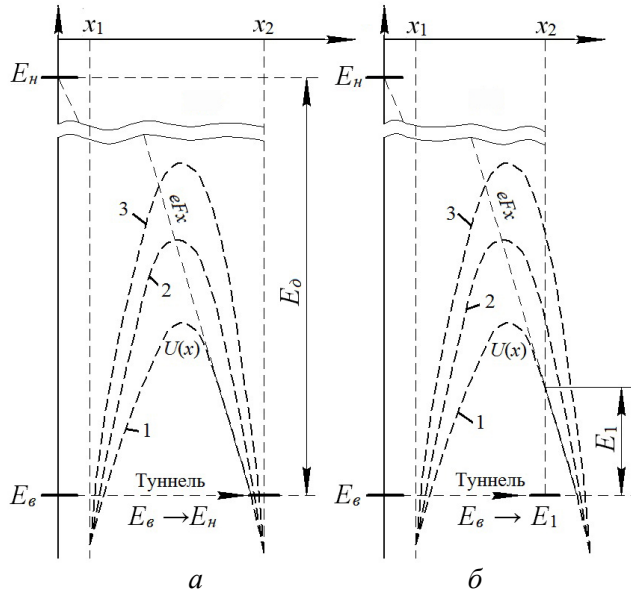


Рис. 1. Схема туннельных энергетических переходов « $E_e \rightarrow E_n$ » (а) и « $E_e \rightarrow E_1$ » (б)

иницирующая в электрическом поле их разрыв. Электрическое и тепловое поле в процессе электротермомеханического трения дополнительно снижают энергию ионизационной связи в молекулярном ионе, вследствие чего вероятность его разрыва по термофлукуационному эффекту возрастает. Совокупность процессов является второй стадией ионизированного электрическим и тепловым полем распада макромолекул.

При распаде макромолекул образуются новые макроионы и химически активные свободные радикалы (обрывки молекул с неспаренными электронами), вступающими в химические реакции с соседними молекулами. Особенно это заметно при попадании поверхностных слоев полимерной накладки в область температур выше допустимой температуры для ее материалов. В этом случае из-за выгорания связующих компонентов из материалов накладки на ее рабочей поверхности образуются островки жидкости, т.е. электролиты, что способствует интенсификации ионной проводимости. Кроме того, при фазовых переходах, как правило, расходуется энергия в несколько килоджоулей на моль. При химических реакциях затраты энергии обычно колеблются от 50 до несколько сотен килоджоулей на моль. Таким образом, затраты энергии при химических реакциях в 10-100 раз больше, чем при фазовых переходах.

В результате возникают химические эффекты макромолекул – новые атомные группы с положительным сродством к электрону, что способствует превращению инжектирующего контакта в блокирующий ($W_{II} > W_M$) (кривая 1, рис. 1, а). Кроме того, положительное сродство к электрону выполнять функции глубоких ловушек для электронов в поверхностном слое полимерной накладки.

Возникновение и накопление в электрическом и тепловом поле глубоких ловушечных состояний ускоряет накопление микроионов в поверхностном слое полимерной накладки, поскольку становится возможным туннелирование электрона с уровня E_e макромолекулы на глубокую ловушку (переход, обозначаемый далее как $E_e \rightarrow E_1$) (рис. 1, б). В этом случае ширина барьера (x_1-x_2) и становится зависящей от глубины ловушки с энергетическим уровнем E_1 , на которую туннелирует электрон,

т.е. прозрачность барьера при указанном переходе будет выше, чем при переходах $E_e \rightarrow E_n$. С течением времени по мере увеличения концентрации глубоких ловушек будет увеличиваться и концентрации захваченных на них электронов.

Аналитическое описание процессов сопровождаемых ионизацию зарядов. Накопление в локальной области полимера положительных ионов и электронов (как квазисвободных, находящихся в зоне E_n , так и захваченных на глубокие ловушки) можно прогнозировать образование квазинейтральной плазмы, в которой возникает эффект дебаевского экранирования зарядов, приводящий к снижению потенциала ионизации нейтральных атомов или молекул на величину [2]

$$\Delta I(N) = \frac{e^2}{r_D(N)}, \quad (1)$$

где e – заряд электрона; N – изменяющаяся со временем полная концентрация зарядов; $r_D(N)$ – дебаевский радиус экранирования

$$r_D(N) = \sqrt{\varepsilon K_e T / (4\pi e^2 N)}, \quad (2)$$

где K_e – постоянная Больцмана; ε – диэлектрическая проницаемость полимерного материала; T – температура рабочей поверхности полимерной наклейки.

В данном случае на величину ΔI изменяется положение E_v , а следовательно, и ширина энергетической щели $E_o = E_e - E_n$, где E_e и E_n – энергии высшего и низшего уровней. Это обстоятельство приведет к снижению E_o на величину, определяемую зависимостью (1), что в свою очередь, ускорит образование несвязанных зарядов в поверхностном и подповерхностном слое полимерной наклейки. Выходит, что протекание двух взаимосвязанных самоускоряющихся процессов, т.е. процессов, темпы которых возрастают со временем, должно приводить на определенной стадии к взрывообразному изменению свойств поверхностного и подповерхностного слоев полимерной наклейки. Энергонагруженность последних при температурах ниже и выше допустимой для материалов наклейки представлены системами дифференциальных уравнений (3)-(6) [2] и (7)-(11), в табл. 1. Указанные системы уравнений описывают процессы ионизации молекул и термофлуктуационного распада макроионов, а также образования глубоких ловушек и пленки окислов.

В приведенных зависимостях (3)-(11) принимали следующие допущения:

- дисперсия энергии носителей заряда в зонах E_e и E_n не учитывалась;
- концентрация глубоких ловушек совпадала с концентрацией свободных радикалов R ($R = N_l = n_r^+$);
- глубина ловушек одинакова из-за равномерного износа рабочей поверхности полимерной наклейки;
- образование каждого радикала вызывает появление одного химического дефекта;
- потоки электронов и дырок из области ионизации были одинаковыми.

Так последнее предложение позволяет констатировать, что квазинейтральность плазмы в исследуемой области не нарушалась. Действительно, ее нарушение привело бы к возникновению избыточного объемного заряда, что привело бы к взрывообразному изменению свойств поверхностного и подповерхностного слоя полимерной наклейки. Изменения концентрации дырок (вследствие оттока их из области ионизации) оценивалось на основе одномерного уравнения непрерывности. Темп оттока дырок учитывался третьим слагаемым в уравнениях (4) и (8).

Таблиця 1

Стадії диференціальних рівнянь, описуючих стані полімерної плівки в ідеальних умовах і при електротермомеханічному терті в трибосопряженні

Енергонапруженість поверхнього і підповерхнього шарів полімерної плівки при температурах	ниже допустимой	$\begin{cases} \frac{d}{dt} n_{HL}^+ = k_{HL} (N_0 - n_{HL}^+ - n_{HT}^+ - n_r^+) - k_{gf} n_{HL}^+ - \frac{\mu F}{L} n_{HL}^+, & (3) \\ \frac{d}{dt} n_{HT}^+ = k_{HT} (N_t - n_{HT}^+) - k_{gf} n_{HT}^+ - \frac{\mu F}{L} n_{HT}^+, & (4) \\ \frac{d}{dt} N_t = k_{gf} (n_{HT}^+ + n_{HL}^+), & (5) \\ N_t = n_r^+. & (6) \end{cases}$
		<p>В залежностях (3)-(6) використані наступні позначення: t – час, N_0 – початкова концентрація здатних іонізуватися фрагментів молекул (наприклад, мономерних ланцюжків), n_{HL}^+, n_{HT}^+ і n_r^+ – концентрації позитивних молекулярних іонів, утворюються при тунельних переходах НОМО→LUMO, НОМО→TRAP при термофлуктуаційному розпаді іонізованих макромолекул (макроіонів), виникають в перших двох процесах, N_t – концентрація глибоких ловушок, k_{HL} і k_{HT} – константи швидкостей іонізації макромолекул при переходах НОМО→LUMO і НОМО→TRAP, залежні від повної концентрації зарядів $N = n_{HL}^+ + n_{HT}^+ + n_r^+$, k_{gf} – константа швидкості термофлуктуаційного розпаду макроіонів, μ – подвижність дірок в зоні НОМО, L – характерні розміри розглядаваної локальної області в напрямленні електричного поля ($L > r_D$), F – напруженість електричного поля в локальній області.</p>
Енергонапруженість поверхнього і підповерхнього шарів полімерної плівки при температурах	выше допустимой	$\begin{cases} \frac{d}{dt} n_{E_n}^+ = k_{E_n} (N_0 - n_{E_n}^+ - n_{E_1}^+ - n_r^+ - n_n^+) - k'_{gf} n_{E_n}^+ - \frac{\mu F'_{эс}}{L} n_{E_n}^+, & (7) \\ \frac{d}{dt} n_{E_e}^+ = k_{E_e} (N_t - n_{E_e}^+) - k'_{gf} n_{E_e}^+ - \frac{\mu F'_{эс}}{L} n_{E_e}^+, & (8) \\ \frac{d}{dt} N_t = k'_{gf} (n_{E_e}^+ + n_{E_n}^+), & (9) \\ N_t = n_r^+, & (10) \\ h_{ox}(t) = \frac{\eta \chi}{S} \int_0^t I(t) dt. & (11) \end{cases}$
		<p>В залежностях (7)-(11) використані наступні позначення: n_n^+ – концентрація позитивних іонів, утворюються в електроліті; k'_{gf} – темп термофлуктуаційного процесу розпаду макроіонів; $F'_{эс}$ – напруженість електричного поля в локальній області з електролітом; h_{ox} – товщина ростущої плівки окисла; η – ефективність току, т.е. частка загального току, витрачається на реакцію окислення; χ – число електронів необхідних для протікання реакції окислення; S – площа окисленої поверхності; $I(t)$ – імпульс сили току, протікаючого в ланці.</p>

Темпы протекания процессов туннельной ионизации, обусловленной переходами « E_g-E_n » (рис. 1 а) и « E_g-E_j » (рис. 1 б), определяются как

$$k'_{if} = \nu_0 \Delta T, \quad (12)$$

где $\nu_0 \cong 10^{16} \text{ c}^{-1}$ – частотный фактор; ΔT – изменение поверхностной температуры полимерной накладки.

Результаты расчетов темпов нагревания поверхностного слоя полимерной накладки, полученные по методике предложенной А.И Вольченко [3], представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов темпов нагревания поверхностного слоя полимерной накладки

$A_n, \text{ м}^2$	$\frac{\lambda_n, \text{ Дж}}{\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{°C}}$	$c_n, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	$m_n, \text{ кг}$	$\Delta T, \text{ °C}$	$l_n, \text{ м}$	$\frac{d\Delta t}{d\tau}, \frac{\text{°C}}{\text{с}}$
0,0276	1,45	1050	0,063	10	0,23	0,026
	1,45	1050		15		0,039
	1,45	1050		20		0,053
	0,7	1010		25		0,033
	0,7	1010		30		0,040
	0,7	1010		35		0,046
	0,45	970		40		0,035
	0,45	970		45		0,040
	0,45	970		50		0,044

В последней использованы следующие обозначения: A_n – площадь рабочей поверхности полимерной накладки; λ_n, c_n – коэффициент теплопроводности и теплоемкости материалов полимерной накладки; ΔT – изменение поверхностной температуры накладки; l_n – длина накладки; $\frac{d\Delta t}{d\tau}$ – темп нагревания поверхностного слоя полимерной накладки.

На основании вышеизложенного перейдем к рассмотрению природы электрического и теплового пробоя пленок контактов микровыступов трибосопряжения.

Природа электрического и электротеплового пробоя металлополимерных пленок пятен контактов микровыступов трибосопряжения. При рассмотрении электрического пробоя полимерных пленок контактов микровыступов накладки следует иметь в виду, что электрическая прочность зависит не только от материалов поверхностного слоя накладки, но и от геометрических параметров ее микровыступов. Остановимся на сквозном электрическом пробое полимерной пленки.

Для развития сквозного пробоя требуется высокая локальная напряженность электрического поля в трибосопряжении. Это связано с тем, что плотность полимерного слоя накладки велика и длина пробегов ионов мала. Следовательно, для того, чтобы ион набрал достаточную кинетическую энергию согласно выражения $mV^2/2 = Eq l$ (m – масса иона; V – скорость иона; q – заряд иона; l – длина пробега) нужна высокая напряженность электрического поля. Вместе с тем, на рабочих поверхностях металлополимерных пар имеются слои адсорбированных молекул. Из окружающей среды, т.е. из скоростных токов омывающего воздуха на фрикцион-

ные поверхности трибосопряжения адсорбируются молекулы азота, кислорода, углекислого газа, воды и так далее. Так, например, где адсорбируются молекулы воды и углекислого газа, образуется угольная кислота. Иначе говоря, на поверхности полимерной накладки появляются участки с повышенной концентрацией ионов. Таким образом, вероятность ионизации молекул на поверхности полимерной накладки становится выше, а электропрочность снижается.

При нахождении рабочей поверхности полимерной накладки в электрическом поле при электротермомеханическом трении трибосопряжения, часть энергии электрического поля рассеивается в поверхностном слое накладки из-за диэлектрических потерь, что ведет к его нагреванию. Повышение температуры поверхностного слоя накладки по сравнению с окружающей средой ведет к отводу теплоты. Дальнейшее развитие процессов зависит от соотношения темпов нагревания и охлаждения поверхностного слоя накладки. На рис. 2 приведены зависимости мощностей тепловыделения (кривая 1) и теплоотвода (кривая 2) от температуры слоя полимерной накладки. Как видно из рис. 2 в области температур от точки *a* до точки *b* мощность отвода теплоты не превышает мощности тепловыделения, поэтому наблюдается повышение температуры. В точке *b* происходит выравнивание мощностей P_b , когда наступает термостабилизационное состояние обода фрикционного металлического элемента [4]. Указанное состояние наблюдается в том случае, когда поверхностный слой накладки находится в зоне температур выше допустимой для ее материалов.

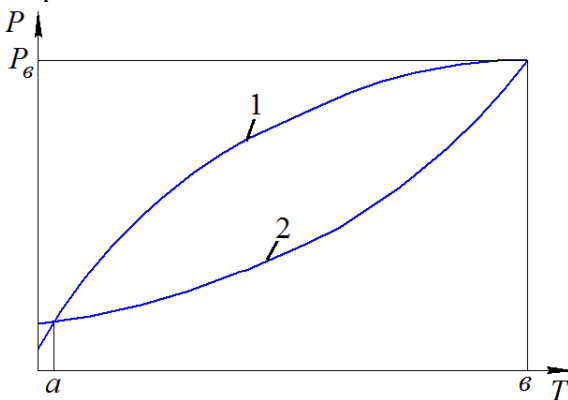


Рис. 2 Зависимость мощности выделения теплоты (кривая 1) и мощности отвода теплоты (кривая 2) от температуры слоя полимерной накладки

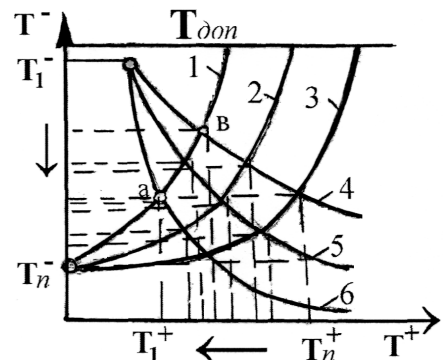


Рис. 3 Взаимосвязь между скоростями тепловыделения и теплоотвода в металлополимерных парах трения в зависимости от температур их нагревания и охлаждения

На рис. 3 приведены графики скоростей тепловыделения (кривые 1-3) и теплоотвода (кривые 4-6) при различных температурах нагревания ($T_1^+ \dots T_n^+$) и охлаждения ($T_1^- \dots T_n^-$) металлополимерных пар трения (диаграмма Вольченко) при температурах ниже допустимых для материалов полимерной накладки.

При температурах $T_1 \dots T_n$ (ниже допустимой температуры для материалов полимерной накладки) графики $Q_+(T)$ и $Q_-(T)$ пересекаются в n - ом количестве точек. Точка их пересечения *a* соответствует медленному течению химической реакции на пятнах контактов микровыступов полимерной накладки при температуре T_1 .

При повышении T_i^+ кривые нагревания 1 – 3 смещаются вправо из-за увеличения времени нагревания. Аналогичным образом смещаются кривые охлаждения 4 – 6, но при этом уменьшалось T_i с увеличением времени охлаждения. Точка пересечения кривой 1 с кривой 4 указывает на то, что химическая экзотермическая реакция в подповерхностных слоях полимерной накладки самоускоряется – выделение теплоты приводит к повышению T , что в свою очередь, увеличивается скорость тепловыделения – возникает тепловой разряд.

При попадании в зону температур выше допустимой для материалов полимерной накладки наблюдаются структурно-деструкционные процессы в поверхностном и подповерхностном ее слоя, что способствует возникновению микроэлектрохимических конденсаторов. Это обстоятельство способствует росту количества пространственных и объемных зарядов. Последние в значительной степени поляризуются и в таких условиях заряды называют «идеально поляризованными», а соответствующие электроды (пятна контактов металлических микровыступов трибосопряжения) в образовавшихся заданных электролитных системах и определенных пределах потенциалов – поляризованными. Их природа такая, что при поляризации электрода на нем не происходят фарадеевские процессы, которые связаны с массопереносом через границу раздела фаз, которая является полностью блокирующей для процессов переноса зарядов, что возможно на блокирующем и нейтральном контактах. На указанных контактах формируется импульс напряжения с достаточно крутым фронтом на электродах с большой кривизной при электротермомеханическом трении трибосопряжения. При этом происходит пробой пленки полимера на пятне контакта электрода, обусловленный образованием в приэлектродной области и электролита объемного заряда, препятствующего развитию разряда в электролите и одновременно способствующего развитию разряда в пленке пятна контакта микровыступа [5].

На рис. 4 показана зависимость электропрочности пленки полимерной накладки от температуры при электрическом и электротепловом пробое. Кривые 1 и 2 уподоблены до термогравиметрической кривой полимера, выражающей изменение массы образца от температуры. Электропрочность кривой 2 выше, поскольку температура T_2 отвечает допустимой температуре термодеструкции материалов полимерной накладки (для материалов накладки ФК-24А указанная температура равна 390°C). При этом термодеструкцию поверхностного слоя полимерной накладки необходимо рассматривать при температуре фазового перехода первого рода. Указанный переход отличается от фазового перехода в простых термодинамических системах тем, что он не обладает обратимостью фаз.

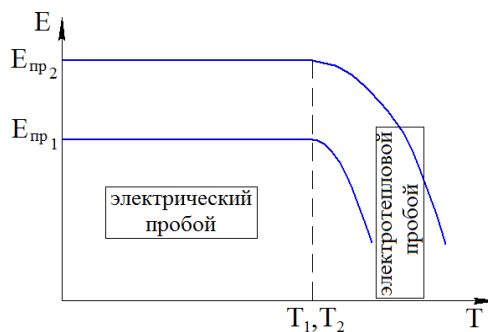


Рис. 4 Зависимость электропрочности пленки полимерной накладки от температуры при электрическом и электротепловом пробое (кривые 1 и 2, соответственно, при твердом и жидком состоянии поверхности накладки)

Выводы. Таким образом, раскрыт механизм электротермического пробоя пленок полимерных накладок в металлополимерных трибосопряжениях и оценена их электропрочность. Следующим элементом подлежащем электрическому пробую является металлическая пленка.

Список литературы

1. Закревский В. А. Электрическое разрушение тонких полимерных пленок / В.А. Закревский, Н.Т. Сударь. – Физика твердого тела, том 47, вып. 5, 2005. – С. 931-936.
2. Закревский В. А. Ионизационный механизм электрического разрушения (пробоя) полимерных диэлектрических пленок / В.А. Закревский, Н.Т. Сударь. – Физика твердого тела, том 55, вып. 7, 2013. – С. 1298-1303.
3. Контактно-импульсное взаимодействие материалов типа «металл-металл» и «полимер-полимер» в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко, С.И. Крыштопа, Д.Ю. Журавлев, Н.М. Стебелецкая // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку. – 2013. - №5(2). – С.29 – 41.
4. Киндрачук М. В. Явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения (диплом открытия №444) / М.В. Киндрачук, А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко, Д. А. Вольченко. – Заявитель: Национальный авиационный университет (Украина). Приоритет открытия: 31 декабря 1970 г.
5. Воробьев А. А. Закономерность пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения (диплом открытия №107) / А. А. Воробьев, П. А. Воробьев, А. Т. Чеников. – Заявитель: Научно-исследовательский институт высоких напряжений Томского политехнического университета (Россия). Приоритет открытия: 14 декабря 1961г.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2014

*О. І. ВОЛЬЧЕНКО, В. С. СКРИПНИК, М. Я. ДЖАВАДОВ, І. О. БЕКІШ,
Я. В. КУРИЛЯК*

ІОНІЗАЦІЙНИЙ МЕТОД ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОГО РУЙНУВАННЯ (ПРОБОЮ) ПЛІВОК ПОЛІМЕРНИХ НАКЛАДОК В МЕТАЛОПОЛІМЕРНОМУ ТРИБОСПРЯЖЕННІ (частина перша)

Запропоновані стадії іонізаційного методу електротермічного руйнування (пробою) плівок полімерних накладок, що знаходяться в збудженому стані, і наведена оцінка методу стосовно металлополімерних трибосопряжень.

Ключові слова: іонізаційний метод, електротермічний пробій, плівка полімеру, металлополімерні мікростави, трибосопряження, трибосистема.

*O. I. VOLCHENKO, V. S. SKRYPNYK, M. Ya. DZHAVADOV, I. O. BEKISH,
Ya. V. KURYLIAK*

**IONIZATION METHOD OF ELECTRICAL-THERMAL
DESTRUCTION (BRAKEDOWN) OF POLYMER FILMS OF
PADS IN METAL-POLYMER TRIBOCONJUGATE
(part one)**

We've proposed phase of ionization method of electrical-thermal destruction (breakdown) of polymer films of pads that are in an excited state, and we've given estimation of method of metal-polymer triboconjugate. The durability of metal-polymer friction pairs of triboconjugate dependents largely on the durability of the polymer film lining in the electric field during electro-thermal-mechanical friction. The purpose of the work is evaluation of ionization method of electrical-thermal destruction (breakdown) of polymer films linings in metal friction units. We have considered the following questions: energy levels of the charges in their ionization; analytical description of the processes that accompany ionization of charges; the nature of electrical and electrical-thermal breakdown of metal-polymer films of spots contacts of micropoints of triboconjugate.

Keywords: ionization method electrical-thermal breakdown, polymer film, metal-polymer micropoints, triboconjugate, tribosystem.

Вольченко Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 03422 72 71 47, E-mail: mechmach@nung.edu.ua.

Скрыпник Василий Степанович – канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 03422 72 71 58, E-mail: bzhd@nung.edu.ua.

Джавадов Максим Ягуб оглы – генеральный директор промышленной компании «АСНАФ», член-корреспондент Азербайджанской инженерной академии, ул. Пушкина, 241, г. Баку, Азербайджан, AZ1010, тел.: +99412 493 60 00, E-mail: asnaf@asnafgroup.az.

Бекиш Ирина Орестовна – канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 03422 72 71 65, E-mail: ikg@nung.edu.ua.

Курыляк Ярослав Васильевич – аспирант, преподаватель высшей категории, Коломыйский политехнический колледж Национального университета «Львовская политехника», ул. Чехова, 20, г. Коломыя, Ивано-Франковская обл., Украина, 78200, тел.: +38 03433 2 08 05, E-mail: office@kpk-lp.com.ua.