

УДК 621.89

Є. М. Лисіков, д. т. н., проф.;

В. В. Ткач

## ОБЛАСТЬ ДІЇ НАПРУЖЕНОСТІ СИЛОВОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ В УМОВАХ НАЯВНОСТІ МАСТИЛЬНОЇ ПЛІВКИ

*Розглянуто питання визначення напруженості силового поля поверхні тертя, тобто на якій відстані поверхнева енергія металу ще здатна розщепити міцелярні утворення в моторному мастилї й, переборюючи енергію теплового руху й зовнішні сили впливу, зафіксувати молекули. Це дає можливість визначити товщину полімолекулярного мастильного шару на поверхнях тертя ДВЗ.*

### Вступ

Вивчаючи адсорбційний процес молекул поверхнево-активних речовин на твердих поверхнях, виявлено необхідність дослідження механізму їх взаємодії між собою, що дозволить глибше пізнати процеси формування полімолекулярних шарів, їх товщину та структуру, для чого необхідно визначити напруженість силового поля поверхні тертя.

Відповідно до сучасних уявлень структури металу у вигляді іонної ґратки, зануреної в електронний газ, для дослідження щільності поверхневої енергії скористаємося найвідомішою моделлю однорідного фону для поверхні металу (модель желе). Така модель використовується для визначення локальної щільності потенціалу, при цьому опис властивості поверхні металу можна розглядати як одномірну модель [1, 2]. Стосовно металів дискретні іонні кістяки замінюються рівномірним позитивним зарядженим фоном, який характеризується щільністю заряду, рівною усередненому в просторі розподілу іонного заряду. Така спрощена модель застосована до однієї мікроскодинки, розташованої на поверхні тертя (рис. 1) [2].

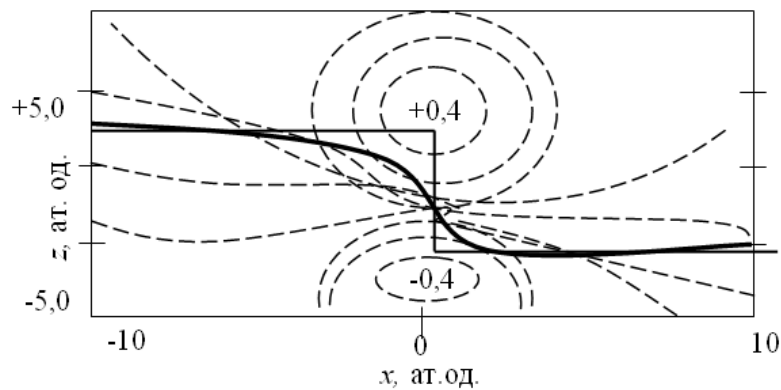


Рис. 1. Електростатичний потенціал поблизу сходитки в моделі желе (згладжена електронна «поверхня» вказана жирною суцільною лінією)

Відповідно до цієї моделі (рис. 1) максимальна щільність поверхневого електронного газу належить області виступу з позитивним фоном, а щільність розподілу негативного заряду на порядок менша.

Вищевикладену фізичну картину щільності розподілу електронів можна застосувати до поверхні тертя. Тоді можна припустити, що розподіл нерівностей має періодичний характер, цьому сприяють багато методів обробки металу (точіння, стругання, фрезерування тощо).

На первісному етапі роботи пари тертя (процес приробляння) відбувається згладжування (зріз) нерівностей, тому з певними допущеннями можна припустити, що поверхні тертя двигунів внутрішнього згоряння мають вигляд, зображений на рис. 2.

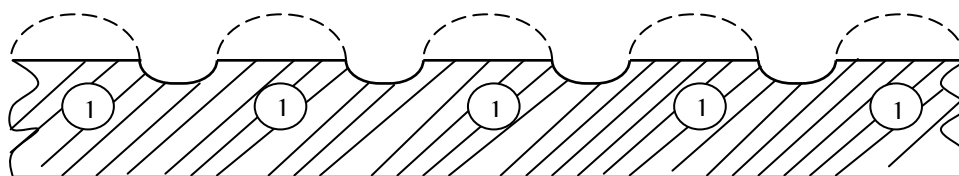


Рис. 2. Схема поверхні тертя після приробляння (сталій режим роботи поверхонь тертя): 1 — мікроступи

Припускаємо, що мікроскопічні нерівності набувають вигляд субмікроскопічних сходинок (рис. 2), які можуть бути адекватні сходам желе, тобто зрізана частина їх завдяки прироблянню (пластифікуванню тощо) має вигляд, як на рис. 3.

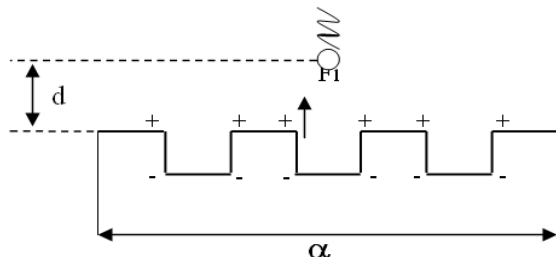


Рис. 3. Модель желе стосовно до ділянки поверхні тертя при взаємодії з молекулою присадки (диполем)

Розглянемо механізм формування адсорбційного шару, оскільки фізичні процеси цього механізму допоможуть встановити площу ділянки поверхні тертя, на якій є «вільна» поверхнева енергія. Якщо припустити, що моношар молекул ПАР формується, згідно з А. С. Ахматовим, з одиночних молекул і димерів, то їх молекули, наближаючись до кристалічного зерна, піддаються дії силового поля поверхні тертя. На заключному етапі формування моношару молекулами

присадки залишаються вільні ділянки на поверхні тертя, величину яких можна прийняти рівною площі молекули, що виконує теплові коливання. За типову молекулу присадки можна взяти ниткоподібну молекулу, в якій «посадка» на поверхню тертя, в цьому виконанні, відбувається карбоксильною групою. Тоді завдяки «вільній» поверхневій енергії такої ділянки відбувається адсорбція присадки, тобто можна думати, що площа поверхні тертя, що приймає участь своєю поверхневою енергією дорівнює площі молекул присадки з урахуванням її теплових коливань, як ротаційних (ізомеру), так і зворотньо-поступальних.

Тоді площу «вільної» поверхневої енергії металу можна визначити як горизонтальну проекцію молекули присадки.

Згідно з [3], площа поперечного перерізу, що займає одна молекула дорівнює  $20,5 \text{ \AA}^2$ .

Розглянемо другий варіант адсорбції молекул присадки, коли вона складається з димера. Як зазначається у [3], енергія взаємодії карбоксильної групи з поверхнею приблизно вдвічі вища енергії взаємодії карбоксилів у димерах. Однак такий варіант формування мастильного шару, очевидно, належить до моношару, тому що подальше формування відбувається за рахунок димерів у природному стані. Тоді квадроупільна група димера під впливом поверхневої енергії піддається деформації й димер розділяється на дві молекули [3].

Стосовно такого варіанта адсорбції молекул присадки проекція площі на поверхню тертя змінюється в більшу сторону.

Слід зауважити, що проекції молекул можуть збільшуватися при підвищенні температури, а крім цього існує відстань між двома молекулами (вуглеводними радикалами) і його величина становить близько  $4 \text{ \AA}^2$ .

Якщо враховувати цей фактор, то площа поверхні енергії металу, що впливає на одну молекулу, значно збільшується. Якщо розглядати залежність лінійного тиску від площі однієї молекули [3], то її величина (площа) у мономолекулярному шарі становить від  $20,5 \text{ \AA}^2$  до  $27 \text{ \AA}^2$ .

На основі описаної фізики процесу формування поверхневої енергії металу й механізму формування структури адсорбційного шару молекул присадки на поверхні тертя можна побудувати загальну фізичну модель взаємодії молекул з поверхнею тертя. При цьому присадку, адсорбовану на поверхні тертя можна вважати полярним діелектриком.

Відповідно до основних закономірностей електростатики [4—7] потенційну енергію молекули присадки в моторному мастилі можна визначити з формули

$$W = -PE, \tag{1}$$

де  $P$  — дипольний момент присадки;  $E$  — напруженість електростатичного поля в цій точці.

На першому етапі визначимо напруженість поля поверхні тертя у функції відстані (рис. 3). При цьому припускаємо, що площа поверхні тертя, яка формує поверхневу енергію, дорівнює площі

молекули присадки ( $S_{cp} = 23 \text{ \AA}^2$ ). Тоді розрахункова схема для визначення напруженості поля поверхні тертя в точках перпендикулярно до її площини буде мати вигляд як на рис. 4.

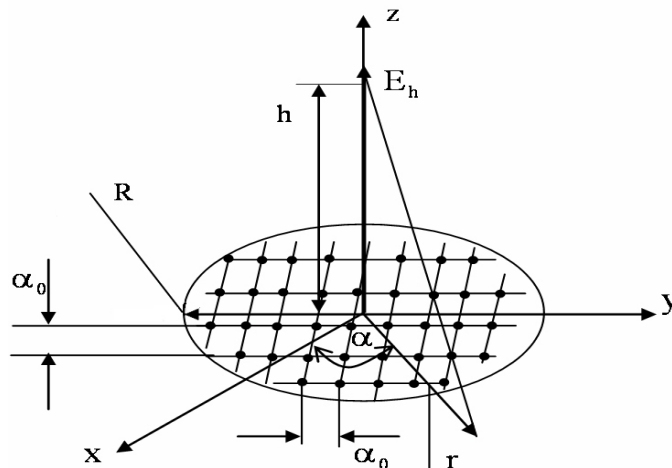


Рис. 4. Мікроділянка поля поверхні тертя  
 $\alpha_0$  — міжатомна відстань кристалічної решітки металу (для заліза  $\alpha_0 = 2,4 \text{ \AA}$ )

Припустимо, що з молекулою присадки взаємодіють позитивні заряди поверхні тертя, тільки розташовані над її проекцією й розмірами центра нехтуємо. Площа одного вічка  $\alpha_0^2$ . Кількість сходів желе, що беруть участь у формуванні поверхневої енергії поверхні тертя

$$n = \frac{S_M}{\alpha_0^2} = \frac{2,3}{2,4^2} \approx 4. \quad (2)$$

Величина заряду однієї сходинок:  $g_i = 2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .

Повний заряд поверхні  $2 \cdot 10^{-19} \cdot 4 = 8 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ . Відповідно до моделі желе величина позитивного заряду в центрі сходинок (рис. 1) становить +0,4, тоді повний заряд поверхні тертя, що забезпечує поверхневу енергію, становить

$$Q = 0,4 \cdot 8 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Потенціал на відстані  $h$  від поверхні визначимо з формули [5]

$$\phi(h) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s} \int \frac{\sigma dx dy}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}}, \quad (3)$$

де  $\sigma = \frac{Q}{S}$ ;  $\sigma$  — поверхнева щільність заряду на проекції площі.

Вектор напруженості такого поля, спрямований перпендикулярно площі (див. рис. 4), дорівнює

$$E_h = -\frac{d\phi}{dh} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0\epsilon_s} \frac{Q}{R^2} \left( 1 - \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right). \quad (4)$$

Якщо  $h > \alpha$ , то

$$\frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R^2}{h^2}}} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{R^2}{h^2}. \quad (5)$$

Напруженість поля мікроділянки поверхні тертя

$$E_h = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s} \frac{Q}{h^2}. \quad (6)$$

## Висновки

1. Розроблено фізико-математичну модель формування локального електростатичного поля в мастильній плівці під впливом силового поля поверхні тертя. Така модель враховує поляризацію молекул присадки моторних мастил обумовлену ефектами орієнтаційної і спонтанної поляризації.

2. Отримана аналітична залежність поширення локального електростатичного поля в мастильній плівці, яка дозволяє установити потенційну енергію молекул присадки з урахуванням зміни діелектричної проникності по товщині мастильної плівки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зенгуил Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. — М. : Мир, 1990. — 536 с.
2. Ленч Н. В. Теорія неоднорідного електронного газу / Н. В. Ленч. — М. : Мир, 1987. — 432 с.
3. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. — М. : Физмалит, 1963. — 472 с.
4. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм / А. Н. Матвеев. — М. : Вища школа, 1985. — 463 с.
5. Савельев И. В. Электромагнетизм. Хвилі. Оптика : курс загальної фізики / И. В. Савельев. — К : Головна редакція фізико-математичної літератури, 1982. — 496 с.
6. Парселл Э. Электричество и магнетизм / Э. Парселл. ; пер. з англ.; під ред. А. І. Школярів і А. О. Вайсенберга, [2-е изд. испр.]. — М. : Наука. Головна редакція фізико-математичної літератури, 1983. — 416 с.
7. Астахов А. В. Электромагнитное поле. Курс физики : учеб. пособие / А. В. Астахов. ; под ред. Ю. М. Широкова. — М. : Наука, 1980. — 359 с.
8. Белянин П. Н. Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем / П. Н. Белянин, Ж. С. Черненко. — М. : Машиностроение, 1964. — 294 с.
9. Кок І. В. Пробій рідких електроізоляційних матеріалів / І. В. Кок. — М. : Енергія, 1967. — 263 с.
10. Повышение ресурса технических систем путем использования П42 электрических и магнитных полей : монография / [Е. Е. Александров, И. А. Кравец, Е. Н. Лысиков и др.]. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. — 544 с.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 10.09.09  
Рекомендована до друку 20.10.09

**Лисіков Євген Миколайович** — професор, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Харківської Академії внутрішніх військ МВС України;

**Ткач В'ячеслав Володимирович** — викладач кафедри тактико-спеціальної підготовки.  
Донецький юридичний інститут Луганського Державного університету внутрішніх справ