

СЪСТОЯНИЕ НА КОНТАКТНАТА ЗОНА ПРИ ТРИЕНЕ НА МЕТАЛИ И СПЛАВИ ВЪВ ВАКУУМ

Тинка Грозданова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: tinka_gr@abv.bg*

Ключови думи: *Трибология, сухо триене във вакуум, метали.*

Резюме: *В статията са представени резултатите от трибологично изследване на състоянието и свойствата на метални повърхности при сухо триене във вакуум. Разгледани са механичните и физико-химични изменения в структурата на материалите. Изследвана е промяната на коефициента на триене в зависимост времетраенето на изпитанието и степента на вакуума.*

STATE OF CONTACT AREA ON METALS AND ALLOYS BY FRICTION IN A VACUUM

Tinka Grozdanova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tinka_gr@abv.bg*

Keywords: *Tribology, dry friction in vacuum, metals.*

Abstract: *The paper presents the status and properties of metal surfaces by dry friction in vacuum. We examined the physical and chemical changes in the structure of material atoms. The dependance of the friction coefficient on environment parameters is presented.*

1. Увод

В космическата апаратура се използват различни задвижващи механизми, които функционират в екстремни условия, и елементите им са свързани в плъзгащо или въртливо движение. Поражда се триене между метали като резултат от съчетанието на различни видове взаимодействия на механични, физични, химични, електрически и други процеси. То се обуславя от явленията, протичащи в повърхностите и по границата на допир на материалите в контактната зона.

2. Изложение

След механичната обработка на детайлите, външните повърхностни слоеве на металите са деформирани и се отличават с асиметрия на техния строеж, съответно и на свойствата им [1, 2]. Силите на свързване на атомите, молекулите и йоните са различни и атомите (молекулите и йоните) не могат да заемат положение, съответстващо на минималната стойност на енергия. В процеса на триене, под влияние на деформацията и изменението на температурата на тези слоеве, вътрешната енергия е по-голяма, отколкото тази в обема на метала [2].

Триенето има молекулярно-механичен характер. В местата на фактически контакт действат сили на молекулярно привличане, които се проявяват на разстояния, многократно превишаващи междуатомното разстояние в кристалната решетка, и се увеличават с повишаване на температурата. При наличие или отсъствие на прослойка между двете

повърхности (влага, замърсявания, смазочен материал), молекулярните сили предизвикват адхезия в контактните участъци. Тя е възможна между метали и окисни покрития. Адхезията се обуславя едновременно и от действието на електро-статични сили [3].

Силата на трене зависи от физико-механичните свойства на повърхностните слоеве и вида на материала, и се обуславя от дължината на триещата повърхност, налягането, продължителността на контакта, скоростта на движение и т. н.

Характерът на триенето се изразява със закона на Кулон:

$$F = A + \mu N,$$

където:

F е сила на триене,

A е константа, характеризираща способността на триещите се тела към взаимно сцепление,

N е нормална реакция

μ е коефициент на пропорционалност [4].

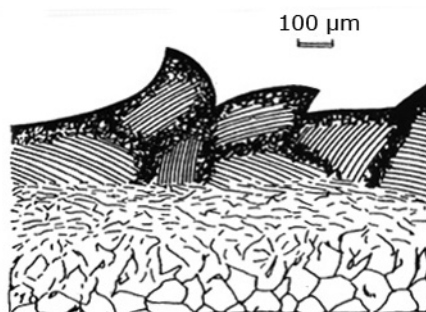
Съществена особеност на външното триене представлява дискретността на механичния контакт между триещите се повърхности. Дори и добре шлифовани, повърхностите на металите притежават грапавост. При допир, под влияние на нормален товар, в първоначален контакт влизат двойките издатини с най-голяма височина. С увеличение на натоварването в контакт влизат все нови двойки противостоящи издатини, притежаващи по-малки височини. В началото те се деформират гъвкаво, а след това пластично.

Ако контактуват повърхности на тела с различна твърдост, то издатините на по-твърдата повърхност се внедряват в издатините на по-меката повърхност. При това издатините на спрегнатата повърхност се размазват и изменят формата си. В този случай върху свойствата на контакта влияе микрогеометрията на по-твърдото тяло и механичните свойства на по-мекото.

При внедряването на единичните издатини на по-твърдия метал, в по-мекия се образуват допирни петна. Премествайки се постъпателно, те изтласкват материала, и предизвикват пораждање на сили на сцепление (адхезия, химични връзки, взаимна дифузия и др.). Материалът се отмества и придвижва в плъзгаща се неравност, оставяйки неповреден, а образуваните се от повърхностните покрития съединения, т.н. единични мостчета, непрекъснато се разрушават и формират отново.

3. Експериментални резултати

В случай на сухо триене (без смазки и окисни покрития), при плъзгане с малки скорости и налягания, се получава интензивна деформация на повърхностните обеми на метала, обусловена от атермична пластичност. Възникват метални връзки, които се деформират и разрушават; отделят се частици от метала, или прилепват по повърхността му. При вакуум, повисок от $1,3 \cdot 10^{-3}$ Pa, тези явления могат да възникнат и при триене при въртене [4]. Този процес води до свързване на материалите и зависи от тяхното съчетаване, от техните механични и физични свойства, якост, граница на провлачване, твърдост, тип кристална решетка, електронен строеж и т.н. В [4] той е наречен свързване от I род. Строежът на повърхността в този случай има вида, показан на фиг.1.



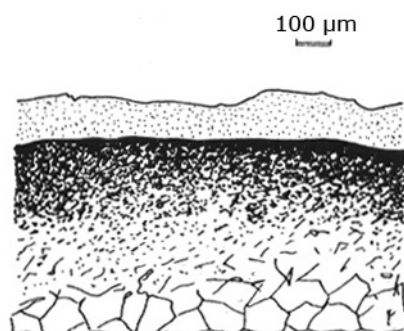
Фиг. 1. Строеж на повърхностните слоеве при свързване от I род [4].

В случай на сухо триене при плъзгане с големи скорости на относително преместване и значителни частични налягания, обуславящи висок градиент и нарастване на температурата в повърхностните слоеве на метала, възниква т.н. свързване от II род. Формирането на метални

връзки е обусловено от нагряване, размекване и деформиране на материала, и е съпроводено с появата на пукнатини, наслоявания, пренос на метал и отделяне на частици от триещата повърхност. Отделянето на топлина стимулира образуването на ювенилни участъци и доближаване на контактуващите повърхнини на разстояние, съизмеримо с междуатомните радиуси.

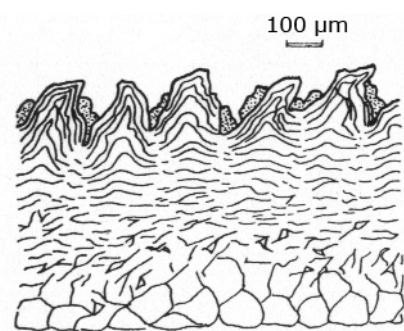
Термичната пластичност намалява здравината на материала и води до отвърщане, разтопяване, образуване на рекристализационни структури, закаляване и вторично закаляване.

Този вид свързване зависи от термо-физичните свойства на материала: топлоустойчивост, топлоемкост и топлопроводимост. То е характерно за закалени стомани със изразена термична пластичност. Строежът на повърхността в този случай е показан на фиг.2.



Фиг. 2. Строеж на повърхностните слоеве при свързване от II род [4].

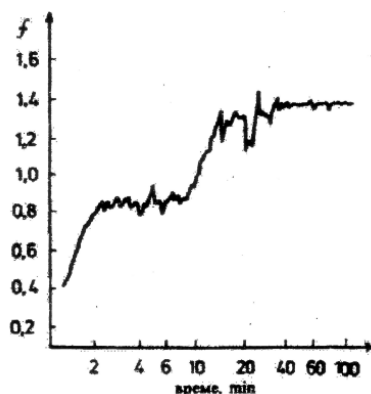
В случай на триене при плъзгане с много малки възвратно-постъпателни движения и динамично натоварване възниква т.н. фретинг-процес. При него триещите се повърхности се разрушават с придружаващо рязко нарастване на интензитета на окисление или рязко свързване. Процесът на свързване се предизвиква от динамичния характер на натоварването, при което градиентите на деформация и температура в контакта рязко се увеличават. Този процес може да възникне при различни материали, в условията на сухо триене и при наличие на смазка, а понякога и при неработещи възли и съединения. Строежът на повърхността в случай на сухо триене във вакуум с рязко свързване е показан на фиг.3.



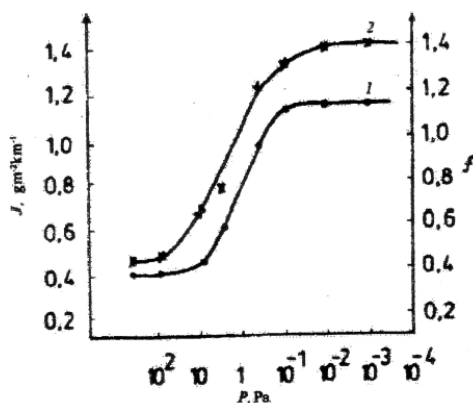
Фиг. 3. Строеж на повърхностните слоеве при фретинг-процес с рязко свързване [4].

Центровете на съединяване се образуват в местата на фактическия допир, в дискретни точки. Интензивността с която се извършва това и кинетиката на развитие на този процес зависят от натоварването, температурата, физико-химичните свойства на обкръжаващата среда, както и от физичните, химичните, механичните и структурните свойства на материалите.

В момента на възникване на задиране в зоната на трибоконтakta се наблюдава рязко повишаване на коефициента на триене. Това може да се види от едно наше измерване [5] на коефициента на триене и интензитета на износване на трибодвойка от стомана 40X (ГОСТ) и закалена стомана 45 (HRc 50). На фиг.4 и фиг.5 са представени графиките, получени при сухо триене във вакуум и възвратно-постъпателно движение със скорост 0,25 m/s. Вижда се резкият скок на стойността на коефициента на триене 10 min след началото на изследването.



Фиг. 4. Зависимост на коефициента на триене от времетраенето на процеса



Фиг. 5. Зависимост на интензитета на износване (1) и на коефициента на триене (2) от степента на вакуума

Износването на материалите при работа във вакуум има етапен характер. До известна стойност на налягането окисното покритие все още запазва своето действие. В този период се наблюдава слабо износване и нисък коефициент на триене. След това настъпва интензивно разрушаване на окисното покритие, като същевременно образуването му силно се затруднява. Следва стръмно нарастване на износването и на коефициента на триене. При висока степен на разреденост и ниско налягане на заобикалящата среда, в диаграмата се установява хоризонтален участък, в който започва област на сцепление и спиране на движението.

При триене във вакуум на метални повърхности, изчистени от окисни и други покрития, взаимното привличане на атомите между триещите се тела е достатъчно за настъпване на контактно заваряване [6]. Трибодвойки от Pb - Cu, Al - Cu, Zn - Cu, Al - Ag, Cu - Fe, Mg - Al, Mg - Cu, Mg - Ti са способни на пълно заваряване; частично - Cu - Ag, Zn - Fe, Zn - Ti, Al - Ti, Ag - Cu, Fe - Ti, Al - Fe, Al - Ni; ограничено - Ag - Zr, Pt - Fe, Ag - Fe, Mg - Fe, Cd - Zr.

Поведението на сплавите в тези условия има специфични особености. Различията в характера на разрушаване на съединените детайли зависи от концентрацията на легиращите елементи в сплавите. Ако тяхната концентрация е по-ниска от границата на разтворимост в основния метал, се проявява дълбочинно издълбаване; в противен случай то не се наблюдава. Интензивността на съединяване се определя от броя електрони, внесени от един или друг елемент в общия електронен състав [6].

В случай на триене на въглеродни стомани във вакуум адхезията е два пъти по-голяма, отколкото при триене на въздух. Увелечението на адхезионната компонента може да доведе до едновременно силно нарастване на деформационната компонента и намаляване устойчивостта на материала.

4. Заключение

В условията на висок вакуум триенето на метални повърхности се съпровожда от появата на дълбоки бразди, срязвания, надрасквания, напластявания и разтопяване на материал, което е признак за възникване на задиране. Освен повишаването на коефициента на триене, в механизмите възникват динамични процеси и нараства вибро-акустичната активност.

При контактуване на чисти метални повърхности, при наличието на ювенилен контакт, даже в случай на невисоки контактни температури и термично деформационно заздравяване на материала, се образуват възли на съединяване. Те могат да имат по - голяма здравина от основния материал, намиращ се в дълбочина [7]. Разрушаването на повърхността се извършва в по-слабия метал. Настъпва задиране и се наблюдава повишено износване, което има адхезионен характер.

Износоустойчивостта на сплавите зависи от тяхната структура, тъй като всяка от структурните съставки притежава различни свойства [8]. Доближаването на триещите се повърхности на разстояние, осигуряващо междуатомно взаимодействие, води до взаимна дифузия на атоми и електронен обмен между атомите на контактуващите тела. Когато делът на свободни електрони в триещите се повърхнини е голям, триенето и износването са минимални.

Литература:

1. М а н о л о в, Н., М. К а н д е в а, Обща трибология, София, 2004 г., Издателска къща „Св.Иван Рилски“.
2. К р а г е л с к и й, И. В., и др., Трение, изнашивание и смазка, Москва, „Машиностроение“, 1978г.
3. Г а р к у н о в, Д. Н., Триботехника, Москва, „Машиностроение“, 1989г.
4. К о с т е ц к и й, Б. И., Надежность и долговечность машин, Киев, „Техника“, 1975г.
5. С и м е о н о в а, Ю., М. А с т р у к о в а, Т. Г р о з д а н о в а, Л. Д и н к о в а, Характерни особености на трибологичните процеси във висок вакуум, Научно-технологична конференция „КОНТАКТ – 97“, Доклади, София, 1997г., 144 – 149.
6. К а н а р ч у к, В. Е., Адаптация материалов к динамическим воздействиям, Киев, „Наукова думка“, 1986г.
7. Д р о з д о в, Ю. Н. и др., Трение и износ в экстремальных условиях, Москва, „Машиностроение“, 1986г.
8. Д е н и с о в а, Н. Е., Н. С. Ш о р и н, И. Н. Г о н т а р ь, Н. И. В о л ч и х и н а, Н. С. Ш о р и н а, Триботехническое материаловедение и триботехнология, Издательство Пензенского государственного университета, Пенза, 2006 г.