

## **СПЕЦИФИЧНИ ЯВЛЕНИЯ В ТРИБОМАТЕРИАЛИТЕ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ В КОСМИЧЕСКИ УСЛОВИЯ**

**Тинка Грозданова**

*Институт за космически и слънчево-земни изследвания – Българска академия на науките*  
*e-mail: [tinka\\_gr@abv.bg](mailto:tinka_gr@abv.bg)*

**Ключови думи:** *трибопроцеси, вакуум, космически условия*

**Резюме:** *В статията са разгледани трибологичните проблеми и явления, протичащи в някои материали при използването им във вакуум.*

## **SPECIFIC EFFECTS IN TRIBOMATERIALS OPERATING UNDER SPACE CONDITIONS**

**Tinka Grozdanova**

*Space and Solar-Terrestrial Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences*  
*e-mail: [tinka\\_gr@abv.bg](mailto:tinka_gr@abv.bg)*

**Key words:** *materials, vacuum, space tribology*

**Abstract:** *This paper analyzes the tribological problems arising in vacuum usage of various materials.*

Процесите триене и износване протичат при взаимодействие между повърхностите на телата, затова състоянието и структурата на повърхността оказва решаващо влияние върху формирането на силите на триене и механизмите на износване.

Представите за трибологичните процеси на въздух се свеждат до това, че се извършва разрушаване на микронеравностите, а продуктът от износването в контактната зона е подложен на по-нататъшна деформация и диспергиране. Под влияние на въздушната атмосфера на повърхността на металите се образуват окиси, адсорбционни слоеве от влага, газ и други замърсявания. Успоредно с това в практиката се прилагат допълнително смазки с цел намаляване на триенето и износването на детайлите.

Космическите условия се характеризират с отсъствие на окисляваща атмосфера, влияние на вакуума, сублимация, силно изпарение на смазочните материали, термични въздействия, лъчения, безтегловност, удари на микроскопични метеоритни частици и др.

Вакуумът в космически условия представлява силно разрежена среда с концентрация на газовите частици, изменяща се в много широки граници. Тази среда фактически не съдържа кислород, водни пари и други газове. Плътноста ѝ е силно намалена ( $10^9 - 10^{12}$  пъти) в сравнение с тази в земни условия. Космическата техника функционира най-често във вакуум, определен от стойностите  $10^{-3} - 10^{-12}$  Pa [4].

При триенето на въздух повърхностните окиси действат като защитен слой, който се разрушава под действие на силата на триене (нормална и тангенциална), на температурата и на деформационните процеси в мястото на трибоконтакта. Но под действието на кислорода този слой се възстановява и запазва защитните си свойства при налягане по-голямо или равно на 1 Pa [1].

В условията на вакуум газовата среда рязко се променя, нарушава се динамичното равновесие между нея и адсорбционните слоеве, протича тяхната десорбция, а образуването на окисни слоеве силно се възпрепятства.

Износването на защитните повърхностни слоеве при триенето във вакуум води до тяхното необратимо премахване и до нарастване силата на адхезия. Получава се сухо триене и

в контакт влизат атомно-чисти повърхности. При тези обстоятелства трибологичните процеси засягат не само микрогеометрията на повърхността, но и основно нейното физико-химическо състояние.

С нарастването на адхезията се получава пренос на материалите в трибоконтакта, силно увеличаване на коефициента на триене и катастрофално износване на материала (Фиг. 1). Образуват се здрави съединения, големината на които нараства с увеличение броя на контактните цикли [2].

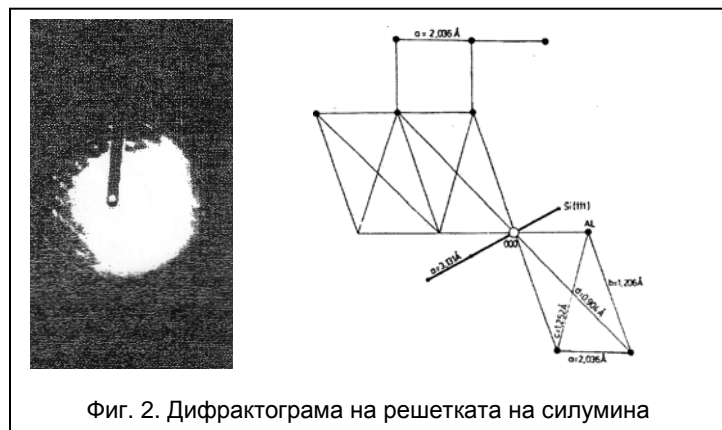
Във вакуум характерът на топлообмена с окръжаващата среда се изменя вследствие отсъствието на конвекционно топлоотдаване. В процеса на триене това води до силно нарастване на температурата в контакта. Проявява се увеличаване на пластичната деформация, ускоряване на деструкцията на повърхностните слоеве, засилване на десорбцията от повърхността и активизиране на дифузията от обема навън [1].

Характерна особеност на вакуумната трибология представляват процесите на газопоглъщане и газоотделяне в зоната на контакта. С разрушаването на повърхностните структури механичните и топлинни въздействия предизвикват образуването на дислокации, засилване на химическата активност на триещите се материали, и увеличаване на газообмена със средата. При налягане, близко до атмосферното (нисък вакуум), процесът включва поглъщане на газовете и образуване предимно на окиси. При висок вакуум (налягане  $< 10^{-1}$  Pa) вследствие високата температура и силната пластична деформация се наблюдава отделяне на газове [2,3,4]. Съпоставянето на динамиката на газообмен с динамиката на изменение на трибологичните показатели и със структурно-морфологичните особености на триещите се повърхности дава възможност за оценка на самите трибопроцеси.

Като основни конструкционни материали в космическата и ракетната техника се използват сплавите на алуминий, неръждаема стомана и композитни материали. Опитът показва, че при ниски температури твърдостта и крехкостта на материалите нарастват [7]. В металите възникват квантови ефекти, променящи значително физико-химичните им свойства, които са пряко свързани със структурата. Но Мак-Кларън и Форман доказват, че алуминиевата сплав „2219-T81“, като материал за използване при ниски температури притежава забележителни свойства [6]. При нея с намаляване на температурата до 20 K границата на

якост и провлачване и коефициентът на еластичност при натоварване монотонно нарастват.

Изследването на сплави от типа Al-Si за триботехнически цели във вакуум обаче показва, че тяхното приложение е неуместно [4]. Материалите от типа силумин (Al,Si,C) и бронз (Cu,Sn,C) съдържат графит, който при триенето във вакуум няма свойства на твърда смазка поради своята летливост и е неефективен в отсъствието на влага. При изследване структурата на силумин с помощта на трансмисионен електронен



Фиг. 2. Дифрактограма на решетката на силумина

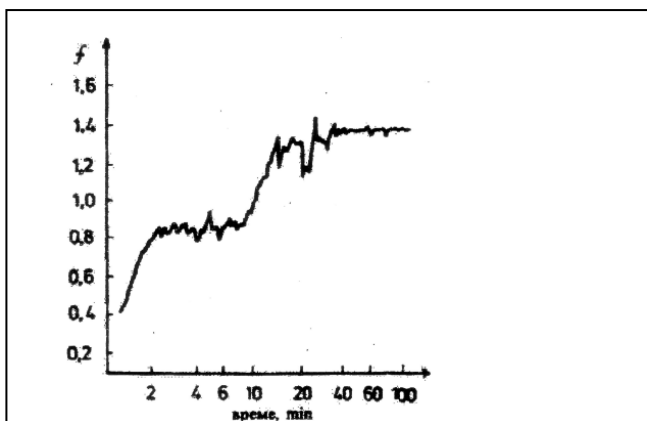
микроскоп е установено, че решетката на алуминия не е деформирана, а атомите на силиция образуват свръхструктура по всички металографски повърхнини, т.е. силицият не е свързан с алуминиевата решетка, (Фиг. 2). Наличието на свободни атоми силиций и въглерод могат да образуват силициев карбид, тетраедрите на който действат като абразив [4,5].

В случаите на триене на въглеродни стомани във вакуум се получава стойност на адхезията два пъти по-голяма, отколкото на въздух [8]. Увеличаването на адхезионната компонента води до силно нарастване на деформационната компонента. При степен на вакуума  $10^{-4}$  Pa, възвратно-постъпателно движение със скорост 0,25 m/s на трибодвойка от стомана 40X и закалена стомана 45 (HRC 50) е установено, че след около 15 мин. от началото на процеса на триене се наблюдава микрозадиране и рязко увеличение на коефициента на триене. За

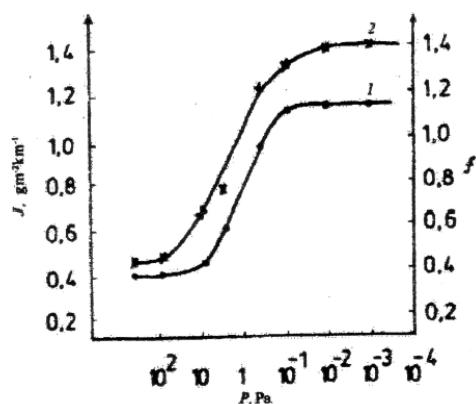


Фиг. 1. Център на задиране върху триеща се повърхност на елементите на трибодвойка след сухо триене във вакуум

настъпването на тези явления голямо значение имат както времетраенето на процеса, така и степента на вакуума, (Фиг.3, Фиг.4).



Фиг. 3. Зависимост на коефициента на триене от времетраенето на процеса



Фиг. 4. Зависимост на интензитета на износване (1) и на коефициента на триене (2) от степента на вакуума

В резултат на много експерименти и изследвания е установено, че при триенето на сплави във вакуум се проявяват особености, различни от тези при чистите метали [5]. Различията се определят и зависят от легиращите елементи. Процесите на задиране и разрушаване тук се обясняват с електронната теория на сплавите. След разтварянето на елементи с голям брой валентни електрони в решетката на основния метал се получава постепенно увеличаване на свободните електрони. В зависимост от степента на тяхната концентрация енергията им нараства и се получава насищане на металните връзки. При доближаване на триещите се повърхности на разстояние, осигуряващо междоатомно взаимодействие, както е в случая на ювенилен контакт, се осъществява взаимна дифузия на атоми и електронен обмен между контактуващите тела.

За предотвратяване на това явление са разработени различни видове покрития върху стоманата, като едно от най-сполучливите е борирането. Чрез термодифузионна обработка на стоманата с преходните метали цирконий, ванадий, титан, молибден и др. преди нейното бориране се осъществяват няколко подобряващи

ефекта едновременно. От една страна тези добавени елементи изпълняват ролята на електрони на желязото в системата „Желязо – Преходен метал – Бор“, създават металоподобни връзки, пречат за образуването на боридни вериги и ковалентни връзки в съединенията от типа „Метал – Бор“ [9,10]. В резултат на това пластичните свойства на покритието се подобряват, а те са пряко свързани с адхезията. От друга страна боридният слой е с повишена износоустойчивост, намалена крехкост и се предотвратява появата на микропукнатини, което е характерно за боридните стомани по принцип.

В областта на ниските температури интересни резултати са получени при изследване на слоистите композитни материали, като например съдържащите Бор-алуминий [7]. Благодарение на ниското съотношение между топлопроводимост и модула на еластичност тяхното използване води до намаляване на загубите при охлаждане в условия на температурен градиент. Тези композитни материали са едни от най-използваните за целите на космическата и ракетна техника [11].

Титановите сплави от типа „Ti-5Al-2,5Sn“ са едни от най-добрите сред редица материали според Кейсен [11]. При тях якостта и еластичността при различно натоварване нарастват с понижаване на температурата.

Космическата среда се характеризира още с електро-магнитно излъчване с много широк спектър, потоци частици с голям енергиен диапазон и йонизирани газове с повишена химическа активност. Материалите, използвани в Космоса, са подложени на тяхното комплексно въздействие.

Степента на радиационното влияние върху металите и сплавите зависи най-вече от тяхната структура, от типа и енергията на бомбардиращите частици, интензивността на потока, продължителността на облъчването и т.н. В общия случай бомбардиращите частици са бързи електрони, йони, неутрони и гама-кванти. Попадайки в кристалната решетка на метала, те встъпват в еластични и нееластични взаимодействия с атомните ядра, предизвикват първично-избити атоми, стъпаловидни изменения в кристалната решетка, както и образуване на нови

химически елементи. Това закономерно води до изменение на свойствата на материалите [12, 13].

Явленията, които се протичат в трибоматериалите при тяхната експлоатация в космически условия, обуславят тяхното изменение и в най-общия случай водят до увреждане, което се изразява в:

1. Радиационна нискотемпературна и високотемпературна трошливост и крехкост.
2. Физически и химически разпрашавания.
3. Изменения в якостта и пластичността.
4. Изменения в електропроводимостта.
5. Изменения в обема, известно още като радиационно набъбване, и др.

Радиационното облъчване стимулира химическата, адсорбционната и каталитичната активност на повърхнините. Резултати от експерименти показват, че при сухо триене във вакуум на две облъчвани стоманени повърхности износването намалява до 1,5 пъти [4,14]. При различни покрития облъчването с бързи електрони води до повишаване на износоустойчивостта 4-6 пъти. Бомбардировката с електрони при металите предизвиква електронна емисия, топлинно и рентгеново лъчение. Структурните дефекти са най-големи при облъчване с неутрони, при което промените в твърдостта, якостта, и еластичността са значителни.

В космическата среда протичат процеси, които са много сложни, зависят от множество фактори, действащи едновременно. В симулирани земни условия тяхното цялостно възпроизвеждане е невъзможно. По тази причина само експериментите, проведени в реални космически условия могат да дадат достоверна информация за промените, настъпващи в материалите след престой и експлоатация в Космоса.

#### Литература:

1. Д р о з д о в, Ю. Н., В. Г. П а в л о в, В. Н. П у ч к о в. Трение и износ в экстремальных условиях. Москва, Машиностроение, 1986.
2. К р а г е л ь с к и й, И. В., И. М. Л о м б а р с к и й, А. А. Г у с л я к о в, Г. И. Т р о я н о в с к а я, В. Ф. У д о в е н к о. Трение и износ в вакууме. Москва, Машиностроение, 1973.
3. С и л и н, А. А. Трение в космическом вакууме. Трение и износ, 1, №1, 1989.
4. С и м е о н о в а, Ю. М. Изследване на нови материали и покрития с подобрени антифрикционни свойства за космическо приложение. Хабилизационен труд за получаване на научно звание Ст.н.с. I ст., 2004, София.
5. Г р о з д а н о в а, Т. Развитие на триботехническите материали за работа във вакуум. 26-th International Scientific Conference, Sozopol, Bulgaria, 13-16 Sept., 2010. Proceedings, 612.
6. М а к-К л а р е н, С. В., К. Ф о р м а н. Свойства материалов для авиокосмической техники при низких температурах в условиях двуосного растяжения. Доклад. Сб. Научных трудов под ред. Фидляндера, И.М. Металлургия, 1983, 59.
7. 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. Влияние на космическата среда върху трибологичните свойства на материалите. Proceedings of the Common Science Technical Session BULTRIB 2007, Oct. 2007, Sofia, Bulgaria.
8. Л о б а р с к и й, И., М. П л а т н и к. Металлофизика трения, Москва, Металлургия, 1976.
9. В о й н о в, Б. Износостойкие сплавы и покрытия. Москва, Машиностроение, 1980.
10. Н а ч и н к о в, А. Д., А. Ф. З а х а р о в а, Н. Г. Н е ф е д о в. Исследование антифрикционных свойств хромоборированных и борированных дифузионных покрытий на сталях ШХ 15, 4Н13, Р 18. Защитные покрытия материалов, 8, 1974, 132.
11. К е й с е н, М. Б. Композиционные материалы для конструкций, работающих на низких температурах. Сб. Научных трудов под ред. Фридляндера И.М. Москва, Металлургия, 1983, 70.
12. И б р а г и м о в, Ш. Ш., В. В. К и р с а н о в. Радиационные повреждения металлов и сплавов. Энергоатомиздат, Москва, 1985.
13. П а р ш и н, А. М. Радиационная повреждаемость конструкционных материалов и пути ее ослабления. УДК 669.018.86. Общество „Знания“, Ленинград, 1985.
14. Н у с и м о в, М. Д. Воздействие и моделирование космического вакуума. Москва, Машиностроение, 1982.