

## Особености на трибологичните явления в Космоса

М. К. Кандева, Ю. М. Симеонова\*,  
Н. Т. Манолов, В. М. Пътов\*\*

Център по трибология към Технич. университет — София

\*Институт за космически изследвания, БАН

\*\*Институт по оптика, София

Трибологията е наука за граничните структури, състояния и свойства на материята, породени от пространствената ограниченост на телата.

Според най-общи представи светът е неизчерпаемо множество от крайни обекти, образувачи единна система благодарение на контактите между тях. При това на контакта трябва да се гледа не само като на взаимодействие между обектите, а и като на самостоятелно образувание със своя структура, субстрат, състояние и кинетика. Трибологията изучава комплексно контакта като обект (трето тяло) и като отношение.

Космическата трибология е съвременно направление, формиращо се на границата между интердисциплинарните науки трибология и космология. Тя изучава ново поколение трибосистеми, т. е. изследва закономерностите на трибологичните явления в условията на космическото пространство, възможностите за тяхното управление и пренасянето им в земни условия. Обект на космическата трибология и техника са процесите на сухо триене и смазване, на износване, повърхностните явления, проводимостта на контактните системи, херметичността на уплътненията и др.

В настоящата статия се анализират представите за процесите и факторите, определящи трибологичните явления, специфични за космическата среда.

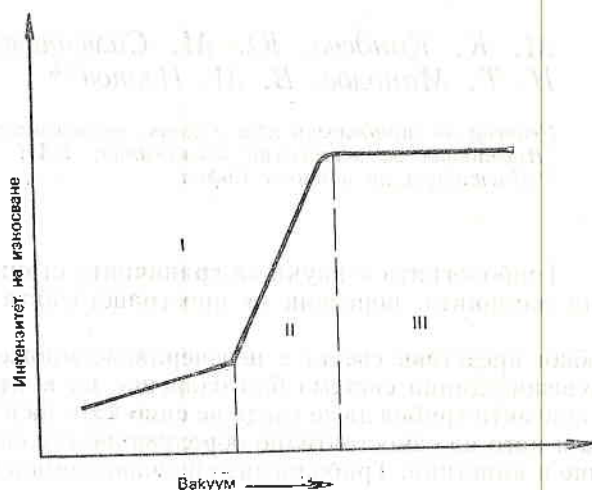
Характерните особености на този род явления и системи произтичат от необичайния комплекс от условия, в които те протичат: висок вакуум, радиация, топлинно натоварване, микрогравитация и др.

В земни условия трибопроцесите протичат в среда, наситена с кислород и водни пари. В Космоса плътността на средата намалява  $10^9$ — $10^{12}$  пъти, а влиянието на кислорода и влагата практически се изключва [1]. В резултат от износването и газовата десорбция окисните слоеве от повърхността се изчистват, а липсата на кислород затруднява тяхното възстановяване.

Адсорбционните структури се разрушават и физическият контакт между материалите се нарушава. Това води до оголване на повърхностите и до силно нарастване на адхезионната им активност, резултат от което са интензивното износване и задиране в контакта [2—4].

Отсъствието на конвективен толообмен при високия вакуум е причина за силно нагриване в контактната зона, вследствие на което се ускорява деструкцията на смазочните слоеве и десорбцията на газове, намалява механичната якост, подпомага се развитието на пластичната деформация, водещо до задиране и зацепване в контакта.

Процесите при триене във вакуум зависят чувствително от структурата на материалите. При въглеродните стомани например адхезията във вакуум е 1,5—2 пъти по-голяма от тази на въздух [3]. Триенето при сплавите също има своите специфични особености. Тук износването се определя главно от концентрацията на легиращите елементи [3—5].



Фиг.1. Изменение на интензитета на износване при увеличаване степента на вакуума [3]

На фиг. 1 е показана зависимостта на износването от степента на вакуума [3]. Наблюдават се три области. Първата е характерна за т. нар. „слабо разреждане на средата“ (до 10 Pa), при която окисният слой върху контактните повърхности има голямо значение (I). При втората (до 1 Pa) започва интензивно разрушаване и трудно възстановяване на окисния слой (II). При третата област е характерна т. нар. „адаптация на триещата се двойка“, при която интензитетът на износване не се променя (III). Съществува спор относно началото на тази област поради влиянието на собственото газоотделяне и на състава на остатъчната газова атмосфера; на състоянието на триещите се повърхности, на технологичната предистория на материалите и др.

В космическата техника трибосистемите работят в широк температурен диапазон от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+1000^{\circ}\text{C}$ . Трибопроцесите, протичащи на „горещо“ са извънредно сложни. Те зависят от много фактори, действащи едновременно. При силно нагриване се променят якостните свойства на материалите, активизират се десорбцията и дифузията, които променят

състоянието на повърхностните слоеве. Коефициентът на триене  $f$  при някои материали намалява при нагряване. Например при триенето на графит по различни метали  $f$  монотонно намалява до  $1000^{\circ}$  С. Тази тенденция се проявява при златото, среброто, медта и при някои бориди и карбиди. При желязото, никела, тантала триенето рязко нараства при нагряване. За редица материали като  $PbO$ ,  $MoS_2$ , графит с желязо и др. [3] са характерни резки изменения на силата на триене при определени критични температури. Всички тези особености са свързани с протичането на повърхностни явления, зависещи от физико-химичните свойства на трибосистемата и средата, от състоянието на повърхостния слой и др. Нагряването често води до структурни изменения, които влияят върху кинетиката на триенето и износването. В телата със слоеста структура ван-дер-ваалсовите сили отслабват. Това облекчава самоориентирането на структурните блокове в третото тяло, стимулиращо самосмазващото действие [1, 5, 6]. При високи температури смазващите свойства на материалите зависят от „размекването“, от структурните изменения и от дифузията — явления, способстващи адхезията. Тези явления са толкова сложни, че високотемпературните смазки и до днес се създават по емпиричен път [5, 6].

Трибологичните явления при силно охладените тела много се различават от тези при нормални условия. Твърдостта и крехкостта нарастват. При металите възникват квантови ефекти, променящи съществено физико-механичните свойства, пряко свързани със структурата [3, 5—8]. Адхезията и тук играе съществена роля при отсъствие на окисление и нарастване на повърхостната енергия. Анизотропната структура се запазва, което обуславя възможността от самосмазване. Това е особено добре изразено при полимерите с оглед на някои космически приложения. Но при тях е нужна известна предпазливост, защото полимерите са особено чувствителни към температурния фактор [9, 10].

В космическата техника широко се използват титанови сплави, притежаващи добри якостни свойства при ниски температури. Интерес представляват никеловите и мангановите сплави. Медта при охлаждане не намалява своята пластичност.

Съществен проблем в космическата техника са смазочните материали, особено що се касае до широкия температурен диапазон и температурната цикличност. Затова възможностите за изследователско търсене тук са големи.

За космическата среда са характерни електромагнитните лъчения с широк енергичен спектър и повишената химическа активност на йонизираните газове. Космическите обекти изпитват тяхното комплексно въздействие. Облъчването стимулира химическата, адсорбционната и каталитичната активност на повърността. Експериментите показват, че при сухото триене на две облъчени стоманени тела износването намалява до 1,5 пъти [3]. При материалите с различни покрития облъчването с бързи електрони повишава износоустойчивостта 6 пъти. Електронната бомбардировка при металите предизвиква вторична електронна емисия, топлинно и рентгеново лъчение, различни дефекти.

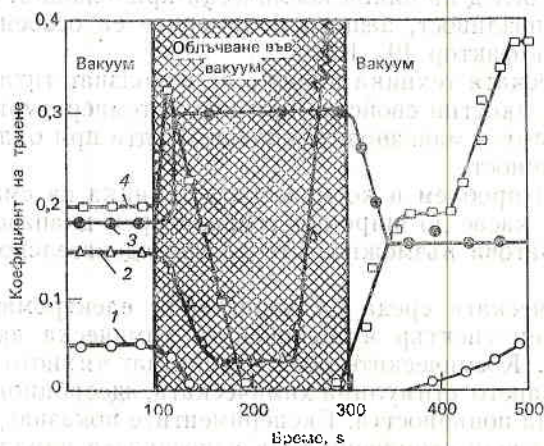
Радиационните дефекти са най-големи при облъчване с неутрони, при което твърдостта, якостта и други свойства се променят [3, 4]. Експерименталните резултати [11, 12] показват влошаване на антифрикционните свойства при дози на облъчване  $10^{18}$  неутрона на  $1\text{ cm}^2$  и подобряване при високи дози. Особено агресивно е действието на далечния ултравиолет. Много чувствителни към радиацията са полимерите [3]. Под действие на йо-



низиращи лъчения в тях възникват химически превръщания, изменения в структурата и във физико-химичните свойства. На повърхността се образува мрежа от нуклатини, нараства склонността им към сцепване [3, 6].

Значително е влиянието на газовата среда (аргон, натриеви пари и др.) в условията на радиация. Обща закономерност е повишаването на износостойчивостта с увеличаване коефициента на триене при илъгане.

Независимо от това, че третото тяло по своята природа е граничен обект, за него също са характерни екстремални състояния (свръхслабо триене, свръхниско контактно налягане, свръхвисока или свръхниска контактна проводимост) [1, 13—17]. Свръхслабото триене се наблюдава в условия на свръхвисок вакуум при интензивно облъчване на една от триещите се повърхности с поток ускорени частици (електрони, йони) с доза до  $10^{12}$  erg/g, при които коефициентът на триене  $f$  намалява 100 пъти, достигайки стойности при течно триене [1, 13, 15]. Откриването и изследването на това не-обичайно явление наруши обикновените представи за триенето, че то главно зависи от свойствата на повърхностните слоеве на твърдите тела с дебелина от порядъка на неравностите, т. е. няколко  $\mu\text{m}$ . Оказва се, че триенето е много фин процес и при определени условия протича в граничен слой с дебелина няколко атомни диаметъра, или хилядни части от височината на микронеравностите. Вторият важен извод е, че ролята на адхезионното взаимодействие е решаваща, особено при големи натоварвания. На фиг. 2 е представено изменението на коефициента на триене  $f$  при облъчване на различни смазочни материали, използвани в техниката [1].



Фиг. 2. Зависимост на коефициента на триене от времето при работа във вакуум със и без облъчване при различни материали [1, 13]  
1 — MoS<sub>2</sub>; 2 — графит; 3 — ПТФЕ; 4 — полиетилен

Ефектът „газонепроницаема контактна хлабина“ означава непроницаемост на контактните хлабини с няколко порядъка по-големи от размерите на молекулите на протичащия газ, при условие че падът на налягането в краищата на контактната зона е по-голям от една критична стойност, характерна за всяко контактно съединение [16].

Спецификата на космическата среда със своето комплексно въздействие е уникална. Тя дава възможност за провеждане на редица нетрадиционни изследвания и за практическо използване на тънки физически ефекти. Чрез радиационни въздействия може да се повиши ефективността на твърдите смазки, да се разработят нови методи за управление на повърхностните свойства на определени материали.

Борбата срещу слепването на андрогенните уплътнители и срещу тяхното старесне в открития Космос доведе до създаването на нов клас материали — антифрикционни еластомери. Те се характеризират с малък коефициент на триене, голяма износоустойчивост, хидрофобни свойства и повишена съпротивляемост срещу въздействието на средата. Всичко това осигурява надеждна херметичност при космическите обекти.

Трибологичните явления в космическата техника са сложни и многообразни. Тяхното комплексно изследване и практическо усвояване изключва частно-научния подход и изисква обединяване усилията на триболози и специалисти в областта на космическите изследвания. Доказателство за това е повишеният научен интерес към проблемите на космическата трибология [17], широко дискутирани на Петия конгрес по трибология, състоял се през юни 1989 г. в Хелзинки [18].

## Л и т е р а т у р а

1. С и л и н, А. А. Триене в космическом вакууме. — Триене и износ, 1, 1989, № 1.
2. Триене, изнашивание и смазка. Справочник (под ред. И. В. Крагельского). Кн. 1. М., Машиностр., 1978, 338—374.
3. К а н а р ч у к, В. Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям. Киев, Наукова думка, 1986, 151—174.
4. Д р о з д о в, Ю. Н., В. Г. П а в л о в, В. П. П у ч к о в. Триене и износ в экстремальных условиях. Справочник. М., Машиностр., 1986, 51—61.
5. Б о у д е н, Ф. Н., Д. Т е й б о р. Триене и смазка твердых тел (пер. с англ.). М., Машиностр., 1986.
6. С и л и н, А. А. Триене и его роль в развитии науки. М., Наука, 1983.
7. К е м у р д ж и а н и др. Автоматические станции для изучения поверхностного покрова Луны. М., Машиностр., 1976.
8. К р а г е л ь с к и й, И. В. и др. Триене и износ в вакууме. М., Машиностр., 1973, с. 215.
9. В и н о г р а д о в, В. Г. и др. О трении полимеров в сверхвысоком вакууме, при температурах до 10 К. — Докл. АН СССР, 1971.
10. Б е л ы й, В. А. и др. Триене и износ материалов на основе полимеров. Минск, Наука и техника, 1976.
11. К е л и, Б. Радиационное повреждение твердых тел. М., Атомиздат, 1979, с. 347.
12. Л ю б а р с к и й, И. М., Л. С. П а л а т и н к. Металлофизика трения. М., Металлург., 1976, 107—121.
13. С и л и н, А. А. и др. Эффект аномально низкого трения в вакууме при бомбардировке полиэтилена потоками быстрых атомов и молекул некоторых элементов. — Докл. АН СССР, 1969, № 6.
14. М а н о л о в, Н. Т. Концепция за развитието на трибологията в НРБ до 2000-ата година. С., Техника, 1978.
15. С и л и н, А. А. Триене и мы. М., Наука, 1987.
16. М а н о л о в, Н. Т. Пневмо-гидравлически метод в трибологията. Докт. дисертация. С., ВМЕИ „Ленин“, 1984.
17. Д ж о с т, П. Мировые достижения в области трибологии. — Триене и износ, 1980, № 1.
18. Космическа и вакуумна трибология. — В: Материали на Петия конгрес по трибология „ЕВРОТРИБО“, Хелзинки, 1989.

## Some peculiarities of the tribological phenomena in space

*M. K. Kandeova, Y. M. Simeonova, N. T. Manolov,  
V. M. Patov*

### (S u m m a r y)

The present paper represents a brief analysis of works concerning the influence of some basic environmental factors determining the nature of the processes friction, wear and lubrication in space. The effect of vacuum, particles fluxes and radiation, high and very low temperatures is discussed, as well as the phenomenon of anomalously low friction in the process of solid state objects contacts under ultrahigh vacuum in the presence of particles radiation.