

## Някои особености на процесите триене и износване във вакуум

*Юлика Симеонова, Тинка Грозданова,  
Людмила Динкова*

*Институт за космически изследвания, БАН*

Научният прогрес е неразривно свързан с потребностите на практиката и това в пълна степен се отнася за изследването на процесите триене и смазване във вакуум.

Първите изследвания на триенето във вакуум са свързани с името на Шарлоте Якоб (1912 г.), а първата техническа задача в тази област — с експлоатацията на рентгеновите тръби с въртящ се анод (1936 г.).

През 1930 г. Шоу и Леви провеждат експерименти за определяне на коефициента на триене във вакуум при различни трибодвойки от едноименни и разноименни метали [1]. Кофин развива идеята, че способността на металите да образуват сплави тук е от решаващо значение, а Мак-Лин прави класификация на някои материали по тяхната склонност към образуване на студена заварка при триенето във вакуум. През 1965 г. Бакли и Джонсън изучават фрикционните и адхезионните свойства на някои материали в свръхвисок вакуум [2].

Същественото развитие на тези изследвания е свързано с потребностите на космическата техника за осигуряване работата на различни задвижващи механизми, устройства за въртене на антени, приспособления за отваряне и затваряне на илюминатори, и слънчеви батерии, самоходни космически обекти и др. Усвояването на Космоса, кацането на други планети, придвижването по тях, строителството на различни съоразения, изследването на грунта и др. изискват решаването на задачи, засягащи експлоатацията на трибовъзли, подложени на натоварване в условията на вакуум [3]. Всички те са свързани с решаването на проблеми, произтичащи от специфичните особености на процесите триене и износване във вакуум.

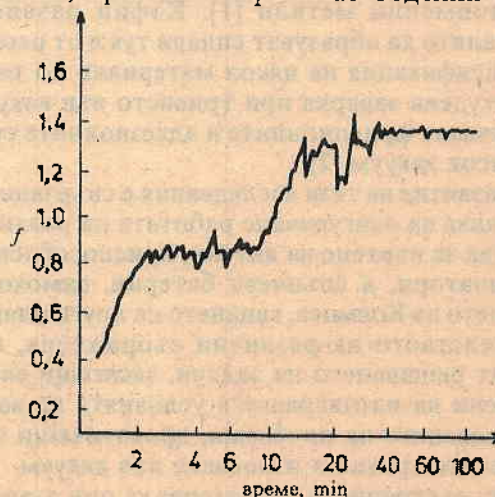
Както е известно, състоянието на материала при взаимодействието на повърхностите се определя от сложна съвкупност от механични, физико-



химични и други процеси, протичащи в тънкия повърхностен слой. Една от съществените особености на триенето във вакуум е, че процесите засягат не само микрогеометрията на повърхността, а и нейното физикохимическо състояние, определяно от присъствието на защитни окисни слоеве и адсорбционни структури, или от състоянието ѝ като изчистена, химически активна повърхност. Затова процесите на взаимодействие във вакуум се разглеждат в два етапа: 1) разрушаване и премахване на окисните слоеве и 2) работа при непосредствен (ювенилен) контакт. По тази причина от значение е степента на разреденост на работната среда (вакуума) и особено частното налягане на активните компоненти на остатъчния газ в нея, а налягането в системата се разглежда като параметър, оказващ влияние върху състоянието в контакта.

За оценка на вакуумните условия А.Силин въвежда като параметър отношението между времето на единичния контакт и времето, необходимо за изменение на състоянието на повърхността под влияние на средата [4]. Първото се определя от режима на трибопроцеса и в частност от скоростта на триене, а второто — от времето, необходимо за образуване на окисни и други вторични структури. Според Силин вакуумните условия настъпват тогава, когато това отношение стане по-малко от единица.

Зависимостта на коефициента на триене от времетраенето на процеса дава известна представа за настъпващите промени върху повърхността при триенето във вакуум. На фиг.1 е показана тази зависимост, получена при сухо триене във вакуум  $10^{-4}$  Pa със скорост 0,25 m/s с трибодвойка, съставена от „образец“ — стомана 40X (ГОСТ), и индентор от закалена стомана 45 (HRC 50), по методиката, описана в [5]. Нейният начален етап се характеризира със сравнително ниска стойност на коефициента на триене, докато не бъде разрушен повърхностният окисен слой. След това той нараства, съответствайки на етапа на взаимодействие между изчистените метални повърхности, при които протичат отделни процеси на микро-

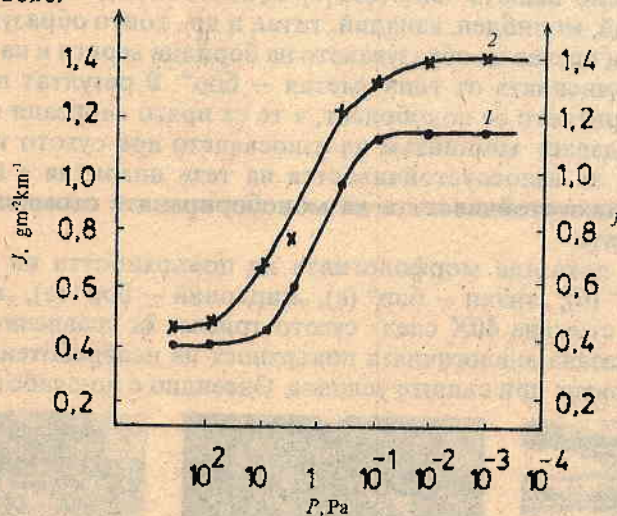


Фиг.1. Зависимост на коефициента на триене от времетраенето на процеса при триене във висок вакуум



зацепване и процеси на локални структурни промени. След този етап настъпва т.нар. претриване в контакта, при което коефициентът на триене относително се стабилизира. Времето, необходимо за стабилизация, зависи от множество фактори и се определя експериментално.

Друга характерна особеност на триенето и износването във вакуум е свързана с т.нар. прагов интервал на налягането, предизвикан от изменението на количеството на кислорода в остатъчния газ, при което се променя кинетиката на окислителните и адсорбционните процеси. На фиг.2 е показана зависимостта на интензитета на износване  $J$  от налягането (степената на вакуума) — кривата 1 при горната трибодвойка и при указания триборежим. Праговият интервал на налягането —  $10-10^{-1}$  Pa е добре изразен с характерното стръмно нарастване на износването. Разположението на този интервал зависи от скоростта на триене и при по-малките скорости се измества към по-високите стойности на налягането. Влиянието на скоростта на триене върху износването е свързано с температурата в контакта, определяща химическата активност на повърхностите, дифузията, образуването на нови фази, десорбцията, състоянието и дебелината на окисните слоеве.



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

Характерът на изменението на коефициента на триене в зависимост от налягането е сходен с характера на изменение на износването, но преходният интервал на налягането тук е по-слабо изразен — фиг.2, крива 2. При по-високите скорости на триене стабилизацията на коефициента настъпва при по-висок вакуум в сравнение с кривата на износване. Тук, разбира се, от съществено значение са свойствата на самите материали и настъпващите структурни изменения на повърхностния слой, а също така и неговото газоотделяне в условията на вакуума.

Въглеродните стомани в изследвания вид не представляват интерес за непосредствено приложение в Космоса, поради тяхната склонност към

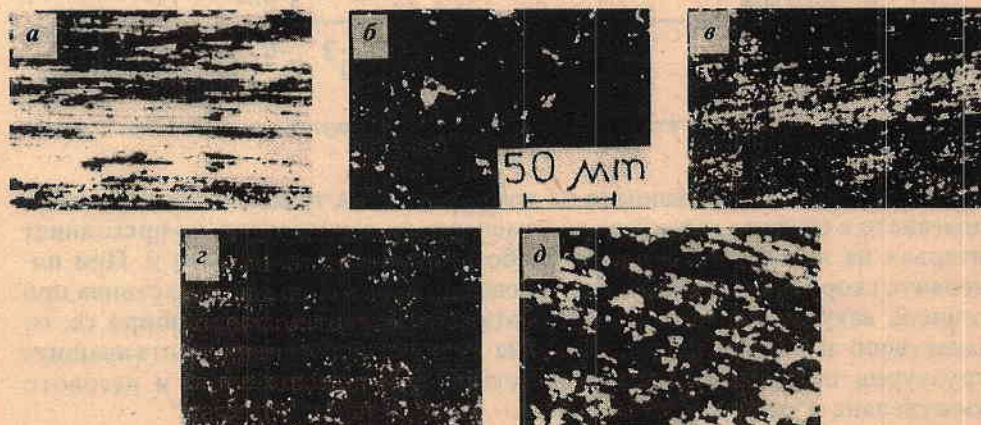


образуване на студена заварка при сухото триене във вакуум. Но между различните хетерогенни сплави те са най-удобни за подобни изследвания [3]. Поради сравнително простия си химически състав не затрудняват интерпретацията на опитните резултати, а техните закономерности и особености при триенето, и износването във вакуум в голяма степен могат да бъдат отнесени към широк кръг легирани стомани.

За космически приложения перспективни са въглеродните стомани, подложени на термохимическа обработка за създаване на подходящи покрития [6]. Чрез тях съществено се подобряват антифрикционните свойства на повърхността. Много подходящо за целта е термодифузионното борирание на ниско- и средновъглеродните стомани, чрез което се повишават микротвърдостта, термичната, антикорозионната и противозадиращата устойчивост. Боридните слоеве върху стоманата не образуват студена заварка в контакта, затова са подходящи за сухото триене във висок вакуум.

Нашият опит показва, че износоустойчивостта на борираните стомани може съществено да се подобри чрез въвеждане на междинен метал с предварителна дифузионна обработка на стоманата преди нейното борирание. Съгласно нашата хипотеза [7], за целта са подходящи преходните метали: цирконий, молибден, ванадий, титан и др., които образуват металоподобни връзки и пречат на образуването на боридни вериги и на ковалентни връзки при съединенията от типа „метал — бор“. В резултат пластичните свойства на покритието се подобряват, а те са пряко свързани с адхезията, която е преобладаващ механизъм на износването при сухото триене. Това обяснява факта, че износоустойчивостта на тези покрития е по-голяма в сравнение с износоустойчивостта на моноборираните стомани и особено на необработените.

На фиг.3 е показана морфологията на повърхността на покритията „ванадий — бор“ (б), „титан — бор“ (в), „цирконий — бор“ (г), „молибден — бор“ (д) върху стомана 40X след сухото триене. За сравнение на същата фигура (а) е показана аналогичната повърхност на необработената стомана 40X след сухо триене при същите условия. Очевидно е по-слабото износване



Фиг.3. Микрофотографии на триещата повърхност след сухо триене на стомана 40X преди нейната обработка и след термодифузионното и борирание с различни междинни преходни метали



(светлите участъци) при комбинираните боридни покрития в сравнение с необработената повърхност, както и зависимостта на вида на износването от междинния метал. При съпоставяне площта на следите от износване най-благоприятни са покритията „цирконий — бор“ и „ванадий — бор“. Макар и малко по-неблагоприятни по този показател, покритията „титан — бор“ и „молибден — бор“ по своите трибологични параметри са подходящи за сухо триене [8]. Тази особеност при сухото триене на въздух е в сила и при сухото триене във вакуум. Трибологичните изпитания на тези материали показват тяхната приложимост в условията на висок вакуум и респективно в Космоса.

#### Литература

1. Shaw, P., E. Leavy. Friction of dry solids in Vacuo. — Phil Mag., 10, 1930.
2. Buckley, D. H., R. L. Johnson. Influence of crystal structure on friction characteristics of rare-earth and related metals in vacuum to  $10^{-10}$  mm of Hg. — ASLE Trans., 8, 1965, No 2.
3. Крагельский, И. В. и др. Трение и износ в вакууме. М., Машиностроение, 1973.
4. Силян, А. А. Метод оценки влияния окружающей среды на процессы внешнего трения и износа. — В: „Научные принципы и новые методы испытания материалов для узлов трения“. М., Наука, 1968.
5. Simeonova, Ju., K. Danev, E. Assenova. Method of tribological parameters study under dry friction and high vacuum conditions. — J.Balkan Trib.Assoc., 1, 1995, No 2, p. 161.
6. Войнов, Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия. М., Машиностроение, 1980.
7. Gidikova, N., Ju. Simeonova, D. Petkova. Antifriction coatings produced by high temperature diffusion treatment. — Mat. Sci. Eng., Let. A 184, 1994, L1.
8. Gidikova, N., R. Kovacheva, Ju. Simeonova. Titanium- and Molybdenum-boride composite coatings on steels. — Pract.Metallogr., 33, 1996, No 3, p. 154.

Постъпила на 25.III.1997г.

### Some peculiarities of the processes friction and wearing out in vacuum

*Yulika Simeonova, Tinka Grozdanova,  
Lyudmila Dinkova*

#### (Summary)

The peculiarities of the processes friction and wearing out in vacuum in carbon steels and their antifriction covers have been studied. The dependence of the friction coefficient on duration of process, and vacuum intensity, as well as the dependence of wear out intensity on vacuum intensity have been established. A threshold pressure interval has been observed where friction and wear out coefficient increase greatly has been observed. The morphology of the friction surface of non-processed lowcarbon-content steel, and its cover, following thermodiffusive saturation with borium and metallization with different transitive metals has been shown. The obvious favorable effect of the cover on the wear out resistance of the friction surface has been verified.