

ВЛИЯНИЕ НА КОСМИЧЕСКАТА СРЕДА ВЪРХУ СВОЙСТВАТА НА МАТЕРИАЛИТЕ

Юлика Симеонова, Меди Аструкова, Тинка Грозданова, Людмила Динкова

Институт за космически изследвания - Българска академия на науките
e-mail: JSimeonova@space.bas.bg

INFLUENCE OF SPACE ENVIRONMENT ON MATERIALS PROPERTIES

Yulika Simeonova, Medi Astroukova, Tinka Grozdanova, Lyudmila Dinkova

Space Research Institute - Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: JSimeonova@space.bas.bg

Ключови думи: космически материали, вакуум, температурни въздействия, радиация

Резюме: Космическата среда се характеризира с комплексното въздействие на редица фактори: вакуум, радиация, температурно влияние с цикличен характер, микрогравитация и други. Триещите се възли (лагери, шарнири, направляващи, уплътнители, скенери) и др. елементи на космическата техника работят в екстремни условия. Например, фрикционните възли на силовите системи, независимо от топлинната си защита, се нагряват до 500-1000°C, а други елементи работят при ниски температури, достигащи -200°C. В условията на космическия вакуум и радиация междупланетният прах полепва върху повърхността на материалите и влошава техните оптични, топлинни, емисионни и фрикционни свойства.

Успехите, постигнати в изследването и усвояването на Космоса, са свързани и с решаването на редица проблеми при избора и използването на материалите (метали, сплави, композити и други) в космическата и ракетната техника, свързани с въздействието на ниски или високи температури, радиация (интензивни потоци електрони, йони, неутрони), вакуум, микрогравитация и други. В резултат настъпват промени или повреждане (damage). Те са свързани със структурни изменения на макро и микро ниво, с промяна на физическите и механичните им параметри, като еластичност, якост, чупливост и други, които са съществени за надеждността и срока на експлоатация в Космоса [1, 4].

Влияние на циклично изменящите се температури

Процесите, протичащи в космическата среда при силно нагряване или охлаждане на материалите са извънредно сложни, зависят от множество фактори, действащи едновременно.

Опитът показва, че при силното охлаждане твърдостта и крехкостта нарастват. В металите възникват квантови ефекти, променящи значително физикомеханичните им свойства, които са пряко свързани със структурата. Съществен проблем в космическата техника е използването на смазочни материали в широкия температурен обхват от -200 до + 500°C.

За космически цели широко се използват титановите сплави, притежаващи високи якостни свойства при **ниските температури**. Интерес представляват още никеловите и мангановите сплави, както и медните (медта при охлаждане не намалява своята пластичност, а при някои от нейните сплави тя дори нараства). Характерно е и това, че при избора на материалите строго се спазва изискването при минимална маса да се постига необходимата якост, като се отчита, че тя при двусно натоварване е по-голяма и якостните свойства нарастват при понижаване на температурата [2].

Като основни конструкционни материали в космическата и ракетната техника се използват и сплавите на Al, неръждаемата стомана, композитните материали. М. Кларен и К. Форман доказват, че **алуминиевата сплав „2219-T81”**, като материал за експлоатация при ниски температури притежава забележителни свойства. При нея с намаляване на температурата до 20K пределът на якост и провлачане и коефициентът на еластичност при натоварване монотонно нарастват [3]. Наблюдава се

и значително ограничаване на пукнатините по повърхността, както и слабото изменение на деформацията по отношение на якостта в температурния интервал до 20K. Това обуславя константното съотношение между максималните стойности на параметрите якост и провлаченост.

Същите автори [2,3] провеждат експерименти и със студеновалцованата „**стомана 310**”, където в интервала от стайна температура до 20K пределът на якост при различно натоварване нараства. По същия начин стоманата се държи и по отношение на параметрите провлачване и еластичност. Максималните значения на якостта и провлачането се наблюдават при температурите 293 и 197K. Болшинството неръждаеми стомани имат много малка линейна част в диаграмата на деформация.

Титановите сплави, като „**Ti-5Al-2,5Sn**”, са едни от най-добрите сред редица материали [3]. Те широко се прилагат при ниски температури. При тях якостта и еластичността при различно натоварване нарастват с понижаване на температурата.

Интересни резултати притежават **слоистите композитни материали**, като съдържащите бор-алуминий [3]. Благодарение на ниското съотношение между топлопроводимост и модула на еластичност тяхното използване води до намаляване на загубите при охлаждане в условията на температурен градиент. Тези композитни материали са едни от най-разработените за целите на космическата и ракетна техника [3]. Те притежават висока специфична якост и електропроводимост в съчетание и с конструктивна устойчивост. Факторът, който ги ограничава е значителната им топлопроводимост. Слоистите композитни материали са перспективни при ниските температури и затова, че ограничават и задържат развитието на повърхностните пукнатини.

При **силното нагряване** якостните свойства на материалите също се променят, активизират се адсорбционните и дифузионните процеси, променящи параметрите на повърхностните им слоеве. Така например, при нагряване коефициентът на триене при някои от тях намалява. При триенето на графит по различни метали коефициентът на триене монотонно намалява до 1000°C. Това се наблюдава и при някои бориди и карбиди. Но при Fe, Ni, Ta силата на триене рязко нараства. При MoS₂, PbO, графит, Fe и други са характерни резките изменения на коефициента на триене при определени критични температури, свързани със значителните структурни изменения [7].

При нагряване на материалите със слоиста структура Ван-дер Ваалсовите връзки значително отслабват. Това подпомага самоориентирането на структурните блокове в триещите се слоеве и стимулира самосмазващото действие, добре изразено при графита, борния нитрид и др. [8, 9, 10].

При високите температури смазочните свойства на материалите зависят от размякването, от структурните изменения и дифузията, които увеличават адхезията. Явленията са сложни и не еднозначни, затова високотемпературните смазки се създават предимно по експериментален път.

Силното нагряване променя формата и размерите на телата в различна степен в зависимост от свойствата на материалите. Това предизвиква изменения в конструкциите, в контактните междини и деформации, водещи до заклинване в трибосистемите и до блокиране на движението в механизмите.

Влияние на радиацията

За космическата среда са характерни електромагнитното излъчване с много широк спектър, потоците частици с голям енергиен диапазон и йонизираните газове с повишена химическа активност. Материалите, работещи в Космоса, изпитват тяхното комплексно въздействие.

Нивото на радиационното влияние върху металите и сплавите основно зависи от тяхната структура, от типа и енергията на бомбардиращите частици, интензивността на потока, продължителността на облъчването и др. Под процес на радиационно влияние / повреждане / се разбира цялата съвкупност от физически явления произтичащи в материалите от момента на попадане на бомбардиращите частици до измененията в структурата [4]. В общия случай бомбардиращите частици са бързи електрони, йони, неутрони, γ - кванти и др. и попадайки в кристалната решетка на метала встъпват в еластични и нееластични взаимодействия с атомните ядра и предизвикват първично избити атоми и стъпаловидни изменения в кристалната решетка както и образуване на нови химични елементи респ. изменения в свойствата на материала [5]. Авторите групират радиационното влияние /повреждане/ на материалите както следва:

- радиационна високотемпературна и нискотемпературна трошливост и крехкост;
- физически и химически разпращавания;
- измененията по якост и пластичност;
- изменения на електропроводимостта;
- изменение в обема, известно като радиационно набъбване и др.

За намаляване ефекта на разпрашаване и увеличаване якостта и пластичността, автори [5,6] предлагат експериментално потвърдената радиационно издръжлива сплав марка 03X20H45M4БРЦ и стомана марка 1X18NiOT, а за отслабване на радиационното набъбване положителни са резултатите, докладвани при използване на хром-никелови сплави като ЧС-42П и ЧС-43П с 45% никел.

Облъчването стимулира химическата, адсорбционната и каталитичната активност на повърхностите. Експериментите показват, че при сухо триене на две облъчвани стоманени повърхности износването намалява до 1,5 пъти. При различни покрития облъчването с бързи електрони води до повишаване на износоустойчивостта до 4 - 6 пъти. Бомбардировката с електрони при металите предизвиква електронна емисия, топлинно и рентгеново лъчение, различни структурни дефекти. Дефектите са най-големи при облъчването с неутрони, при което промените в твърдостта, якостта, относителното удължаване на материалите са значителни. Експерименти показват влошаване на антифрикционните свойства на материалите при дози на облъчване около 10^{18} неутр./см², но и подобряване при по-високи дози.

Йонизиращите лъчения предизвикват химически превръщания, изменения в структурата и във физикохимичните свойства. При полимерите, използвани за уплътнители в херметизиращите системи, особено агресивно е действието на ултравиолетовото лъчение, предизвикващо образуване на мрежи от пукнатини по повърхността.

Влияние на вакуума

Вакуумът в космически условия е силно разрежена среда с концентрация на газовите частици, изменяща се в много широки граници : от $2,7 \cdot 10^{-19}$ см⁻³ (при земната повърхност) до единица [9] и по-малко в междוזвездното пространство. На практика тази среда е лишена от кислород и водни пари. Космическата техника обикновено функционира във вакуум, определян със стойностите $10^{-3} - 10^{-12}$ Pa.

Тук редица физикомеханични и физикохимични процеси протичат нетрадиционно. Така например, триенето, износването и смазването значително се отличават от аналогичните в земни условия. В процеса на триене контактуващите повърхности се изчистват от окисните слоеве, а отсъствието на кислорода затруднява тяхното възстановяване. Това променя характера на физическия контакт, води до силно нарастване на силата на адхезия, до интензивно износване и образуване на центрове на зацепване и студена заварка в контакта. Триенето във вакуум протича при по-висока температура, тъй като при него отсъства традиционното смазване.

Процесите при триенето във вакуум зависят много чувствително от структурата на материалите [5]. При сплавите триенето има своите специфични особености в сравнение с чистите метали. При въглеродните стомани адхезията във вакуум е 1,5 – 2 пъти по-голяма от тази при триенето във въздух. Тук характерът на износването много силно зависи от състава и концентрацията на легиращите елементи.

Особеностите при работата на триещите се механизми в Космоса поставят остро нуждата от създаване и използване на нови материали и покрития с подобрени антифрикционни свойства. Ниският коефициент на триене тук означава стабилна експлоатация и икономия на енергия, която при работа на космическа орбита е силно ограничена. Високата износоустойчивост на материалите означава продължителна и надеждна работа, което е основно изискване при космическата техника.

Протичащите в космическата среда процеси са сложни, зависят от множество фактори, едновременно действащи. В симулирани земни условия тяхното комплексно възпроизвеждане на практика е невъзможно. По тази причина само експериментите в космически условия могат да дадат достоверна информация за промените, настъпващи в материалите след продължителен престой и работа в тези специфични условия. Това обуславя и нашия интерес към възможността за провеждане на подобни експерименти (Проект SURE АО-2006 на Европейската Космическа Агенция).

Литература

1. Механические свойства конструкционных материалов при низких температурах, сб. науч. трудов под ред. Фридляндера И.М., Металургия, 1983.
2. 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 двусного растяжения, доклад от сб. науч. трудов под ред. Фридляндера И.М., Металургия, 1983, стр.59.
3. К е й с е н М.Б. Композиционные материалы для конструкций, работающих при низких температурах, докл. от сб. науч. трудов под ред. Фридляндера И.М. Металургия, 1983, стр.70.
4. 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.

5. П а р ш и н А. М. Радиационная повреждаемость конструкционных материалов и пути ее ослабления, УДК 669.018.86, Общество "Знания", Ленинград, 1985.
6. П л е с к а ч е в с к и й Ю. М. и авт. Введение в радиационное материаловедение полимерных композитов, Минск "Навука" і Тэхніка", 1991.
7. К а н а р ч у к В. Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям, К., Наукова думка, 1986.
8. С и л и н А., Трение и его роль в развитии науки, М., Наука, 1983.
9. С и л и н А., Трение и износ, т. 1, № 1, 1980.
10. Б о д у е н Ф. П., Д. Трейбор, Трение и смазка твердых тел, пер. с англ., М., Машиностроение, 1986.
11. Н у с и н о в М. Д., Воздействие и моделирование космического вакуума, М., Машиностроение, 1982.