

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА САМОСМАЗВАЩИТЕ СЕ КОМПОЗИТНИ АНТИФРИКЦИОННИ МАТЕРИАЛИ

**Юлика Симеонова, Меди Аструкова, Тинка Грозданова,
Людмила Динкова**

Институт за космически изследвания – БАН, София 1000, Московска №6

Ключови думи: антифрикционни композити, самосмазващ ефект, еко смазки

***Резюме.** Представени са съвременните тенденции при създаване на самосмазващи се композитни материали за приложение в аерокосмическата техника, тежкото машиностроене и уредостроене. Дадена е оценка на параметрите на триене и износване при високи нива на натоварване във въздух, вакуум или инертна среда, при ниски и високи температури, както и оценка на влиянието върху здравето на работещите и замърсяването на околната среда.*

TENDENCIES IN THE DEVELOPMENT OF SELF-LUBRICATING COMPOSITES ANTIFRICTIONAL MATERIALS

**Yulika Simeonova, Medi Astroukova, Tinka Grozdanova,
Lyudmila Dinkova**

Space Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1000, 6 Moskovska str.

Key words: antifrictional composites, self-lubricating effect, ecolubricant

***Abstract.** Modern tendencies for creating self-lubricating composite materials for aero-space technologies, heavy machinery applications and high precision industries are shown. For the friction parameters and wear characteristic at high stress levels is given evaluation in air, vacuum or inert atmosphere, at high and low temperatures, as well as the health influence of the exposed workers and the environment is made evaluation.*

В космическата техника трибосистемите работят в широк температурен диапазон от -200°C до $+1000^{\circ}\text{C}$, а трибопроцесите са извънредно сложни. Те зависят от много фактори действащи едновременно. При силно нагряване се променят якостните свойства на материалите, активизират се десорбцията и дифузията. Коефициентът на триене f при някои материали намалява (злато, сребро, мед, при някои бориди и карбиди) [1]. При желязото, никела, тантала триенето рязко нараства. При материалите MoS_2 , графит с желязо и др. са

характерни редки изменения на силата на триене при определени критични температури [2].

В космическата техника широко се използват титановите сплави, притежаващи добри якостни свойства при ниски температури. Интерес представляват никеловите и мангановите сплави.

В аерокосмическата техника, в тежкото машиностроене и уредостроене се използват самосмазващи се композитни антифрикционни материали, приложими в широк температурен интервал, при високи натоварвания във въздух, вакуум или инертна среда и екологично чисти - т.е. не оказващи вредно влияние върху обслужващия персонал и околната среда, което е съществен принос.

Тенденциите в развитието и създаването на самосмазващите се композитни антифрикционни материали условно подрежда материалите в две групи: многослойни - керамични и халкогениди и еднослойни.

Многослойни композитни антифрикционни материали

Няколкото примера на многослойни керамични материали включват:

1. керамично покритие със специален състав на хромоксид Cr_2O_3 , титанов диоксид TiO_2 , алуминиев оксид Al_2O_3 , волфрамов карбид WC и титанов карбид TiC , нанесено върху метален субстрат чрез плазмено впръскване. Подходящи за металния субстрат са титан и титановите сплави, железни сплави - такива като неръждаема стомана и високотемпературни материали като кобалт, никел, молибден или сплави на базата на хрома, и алуминий и алуминиеви сплави [3].

2. керамична смес на базата на силициев нитрид и алуминиев оксид, които се спичат и по този начин участват като антифрикционен и уплътняващ елемент в контакта на трибосистемата [4].

Голяма част от течните и прахообразни добавки, както и твърди абразивни частици, въпреки своите добри технически свойства, се разглеждат критично по отношение на вредност и токсичност. Някои автори [5] предлагат микрокерамична антифрикционна съставка от основни материали, нетоксични, която намалява триенето и износването, има висока химическа инертност и широк температурен обхват на приложимост. Предложена е и методика за производство на микрокерамична екологично чиста смазка.

Други многослойни композити

Интересен самосмазващ композитен материал е описан в [6] и [7], съответно през 2002г. и 2004г. Показан е метод за формиране на твърда тънка смазка. Нанасянето и става върху носещ елемент и върху повърхността на друг елемент, които са в механичен контакт, осъществяван при механична сила, ротация, вибрация, триене, както и при импулсно действащи сили. Смазващият прах съдържа молибденов дисулфид MoS_2 (60-80%), волфрамов сулфид WS_2 , борен нитрид BN , както и 10-30% добавка от антимонов оксид Sb_2O_3 , железен прах, цинков прах или сребърен прах срещу оксидация. Между елемента и смазката се формира междинен слой от поне един метал: сребро, мед, калай, цинк, злато или техните сплави [7]. Описаната твърда смазка е еднородна по дебелина и има отлична адхезия. Притежава висока износоустойчивост при натоварване и висока скорост. Приложима е в аерокосмически условия, в отбраната и във високоточните устройства.

Композитни материали с висока износоустойчивост са получени чрез смесване на карбон с висока якост на опън в една метална матрица. Нанасянето на

метала става чрез електролиза върху нарязани карбонови слоеве и уплътняване на получения композитен материал термично и с налягане. Алтернативно композитът може да бъде формиран и уплътнен чрез прахово-металургични методи. Например, доста ползотворно е добавянето на молибденов сулфид, като това става преди уплътняването термично и под налягане [8].

Твърда смазка на основата на съединение с формулата MeX_n (метал/неметал) представлява друг многослоен композитен материал [9], където металът Me е молибден, волфрам, ниобий, или тантал, а неметалът X_n - сяра, селен или телур. Това съединение осигурява слоеве с дебелина от 5nm до 1000 nm, които в общия случай са 2 и са от метал или сплав, разделени от междинни по-тънки слоеве от друг материал със същата формула, в която $2 < n < 4$.

Случай на суха смазка и многослоен композитен материал описват в [10]. Слой от карбон е с дебелина между 10nm и 10 μ m и със структура наподобяваща диамантена кристална структура. Във вакуум и в нормални атмосферни условия тя представлява отлична суха смазка, характеризираща се с нисък коефициент на триене $f \approx 0,01$ до 0,1 и висока износоустойчивост. Авторите описват и междинен слой, наречен среден, с квазиаморфна структура, съдържаща титанов оксикарид, подобряващ адхезията.

Композитна структура, разновидност на многослойните композитни материали, е показана в [11]. Отнася се за редуване на твърд и мек материали с технологичен процес на изготвяне за лагерна структура. Твърдият метал се вкарва металургично към базовия метал чрез бързо топене на предварително определена прахообразна твърда смес. Топенето се осъществява с лазер, или подобен високоинтензивен и концентриран източник. Дупки, формирани между изолираните области на кристализирал твърд метал, са примесени със стопилка от един мек метал. След кристализация на разтопения мек метал получената композитна структура представлява композитната носеща лагерна повърхност. Работа [12] разглежда ламинатна структура от слоеве мек и по-твърд материал. Предложеният вариант е мед-калай.

Халкогениди

Чрез прахова металургия се създават самосмазващи се композитни материали с твърда смазка от халкогенидите на редица метали - Mo, W, Nb, Ta. Използват се три различни технологични метода с нагряване до 1315,5 $^{\circ}$ C, като при единия от тях нагретият метал се пресова [13]. Получават се композити с отлични трибологични свойства, работещи при високо натоварване и широк температурен диапазон от - 251,1 $^{\circ}$ C до + 1315,5 $^{\circ}$ C, широко приложими в космическите технологии. В [13], авторите описват плъзгащ се елемент, който притежава нисък коефициент на триене и износване и представлява впръскан слой желязна сплав, съдържаща повече от 2%, и по-малко от стехиохимичното количество, базирано на FeS_2 към S. Един количествен пример: прах от FeS , плазмено впръскан върху периферната повърхност на излято желязно бутало съставено от 3,5% карбон, Si - 2,6%, Mn - 0,6% и Fe, формиращ шуплесто впръскан слой с дебелина 0,1mm. Твърдостта на впръскания слой е 500.

Еднослойни композитни антифрикционни материали

Пример за твърд самосмазващ се еднослоен композитен материал е описан в [15]. Материалът съдържа 60-80% Cr_2O_3 , диспергиран в една метална решетка от сплав, съдържаща Cr и поне 50% Ni, Cr, или смес от Ni и Cr. Той съдържа още 5-20%

метален флуорид от I-ва и II-ра група метали или от групата на редкоземните метали, като Ag, Au, Pt, Pd, Rh и Cu. Този композит е с намалено износване и има по-малка окислителна способност от композитите, съдържащи хромов карбид. Той е лесно приложим при плазмено нанасяне. Може да се грундира и да се полира със силициево карбиден абразив. Използва се в много широк температурен обхват от -185°C до около $+900^{\circ}\text{C}$.

Твърда тънка смазка, незамърсяваща околната среда, е описана от авторите в [16], които използват смес от борна киселина и молибденов дисулфид с полимерна връзка, съдържаща силиконов полимер и епоксидна смола. Борната киселина и съставките, свързани с нея, могат да бъдат ефективно използвани като неорганични смазващи съставки в твърдата тънка смазка вместо графит. По този начин се избягва галваничната корозия, предизвикана от графита. Борната киселина, съдържаща твърда тънка смазка, осигурява добро смазване на частите при ракетостроенето, в аеронавтиката и космоса и в тежкото машиностроене, където има високи натоварвания без галванична корозия и не излагаща работещия персонал и околната среда на оловни или други замърсявания. В добавка, тя икономисва труд. Спестява и енергия, което се дължи на значително по-ниската използвана температура - от около $232,2^{\circ}\text{C}$ в сравнение с $537,7^{\circ}\text{C}$, когато се използва керамична смазка с две покрития, например.

Изводи

Проследявайки тенденциите в развитието и създаването на съвременните самосмазващи се композитни антифрикционни материали приложими в аерокосмически условия, могат да се формулират следните изводи:

1. Независимо от вида на композита (керамичен, халкогениден или друг) постига се подчертано увеличение на износоустойчивостта и издръжливостта при натоварване и якост на опън [7, 8, 15], както и нисък коефициент на триене [7].

2. В зависимост от технологичните методи, например при прахова металургия, могат да се получават самосмазващи се композитни антифрикционни материали работещи в много широк температурен обхват (от $-251,1^{\circ}\text{C}$ до $+1315,5^{\circ}\text{C}$) [13, 15, 16].

3. Отхвърлянето на метали като оловото и заместването им с нетоксични материали дава възможност за предпазване на работещия персонал и на околната среда от вредно за здравето замърсяване.

4. При еднослойните самосмазващи се композитни антифрикционни материали [15, 16] се осъществява намаляване на себестойността на продукта по отношение на труд и енергия, поради нанасяне само на едно покритие.

5. Общ недостатък на разгледаните случаи е това, че те са постигнати чрез използване на многокомпонентни системи, което значително оскъпява крайния продукт.

Литература:

1. Кандева М.К., Ю.М. Симеонова и др., Особенности на трибологичните явления в Космоса, Аерокосмически изследвания в България, кн. 8, стр.33, 1991.

2. Канарчук, В.Е, Адаптация материалов к динамическим воздействиям, Киев, Наукова думка, 151-174, 1986.
3. Stanley S. Orkin et al., Ceramic bearings, Pat. № 3,711,171, Jan.16,1973.
4. Hans-Jurgen Comans et al., Ceramic sliding element with Aluminium oxide and silicon nitride members, Pat. № 4,728,582, Mar. 1, 1988.
5. Meisel, Werner, Mikrokeramisches Gleitcompound als Zusatz rheo-logischer Stabilisatoren, Reibwertminderer., Pat. DE 198 56 045 1998.
6. Yong Jin Jee, et al., Method for forming solid film lubricant, Pub.: № US 2002/0183209 A1, Dec.5, 2002.
7. Yong Jin Jee, et al., Method for forming solid film lubricant, Pat. № US 6,815,400 B2, Nov.9, 2004.
8. Bordon J.P.G et al., Composite Bearing Materials, US Pat. № 3,623,981, Nov.30, 1971.
9. Nordbakke M., F. Heutling, Feststoffschmierschicht, Verfahren zur Herstellung und deren Verwendung, Pat. DE 196 40 663 C2, Apr.4, 1998.
10. Dimigen H., H. Hubsch, Dry lubricated bearing, Pat. № 4 828 728, Germany, 1989.
11. Gunes M., I. Ecer, Composite bearing structurem of alternating hard and soft metal, and process for making the same, US Pat. № 4,474,861, Oct. 2, 1984.
12. Mahrus D, A. Carubelli, Multilayer plain bearing, Pat. № 5 056 936, Saolo Paolo, Brazil, 1991.
13. Van Wyk Jan William, High strength, self lubricating composite materials, Amplicant BOEING, Pat. № DE 206 0432, 1972.
14. Yoshikatsu Nakamura , Sliding member, US Pat. № 3,853,602 Dec.10, 1974.
15. Dellacorte Chr. et al., Self – Lubricating Composite containing Chromium Oxide, US Pat. № 5,866,518 Feb.2,1999.
16. Howard L. Novak, Environmentally Compatible Solid Film Lubricant, US Pat. № 5,958,847 Sep.28, 1999.