

## **НОВИ САМОСМАЗВАЩИ СЕ АНТИФРИКЦИОННИ МАТЕРИАЛИ ЗА РАБОТА В ЕКСТРЕМНИ УСЛОВИЯ**

**Юлика Симеонова, Георги Сотиров, Меди Аструкова, Тинка Грозданова**

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

**Ключови думи:** композитни материали, сухо триене във вакуум, MMC смазки, космическа техника.

## **NEW SELF-LUBRICATING ANTIFRICTIONAL MATERIALS INTENDED TO OPERATE IN EXTREME CONDITIONS**

**Yulika Simeonova, Georgi Sotirov, Medi Asroukova, Tinka Grozdanova**

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

**Keywords:** composite materials, dry friction in vacuum, MMC lubricants, space equipment.

**Abstract:** New wear-resistant materials of the IPM class for the friction couples working in extreme conditions (raised load in the contact, great speed, dry friction in vacuum, including in space conditions) have been created.

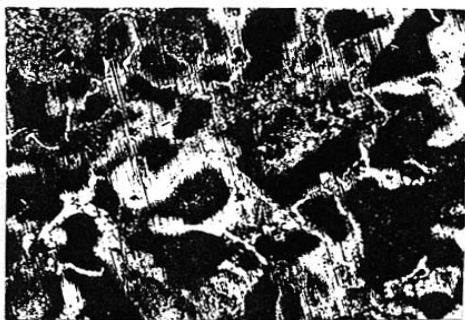
During the long research cooperation between IPM at NAN of Ukraine and SRI of BAS, a complex material study has been conducted to characterize materials by the most modern methods for analysis of the structure, phase structure, surface features and basic tribological parameters and characteristics in different friction modes in extreme conditions, including high vacuum. New generalized technical scientific information on the tribological properties and the materials properties of the IPM manifested during their operation at dry friction in vacuum and in air, in view of their practical use in space engineering, vacuum mechanical engineering and ground-based technologies.

### **Въведение**

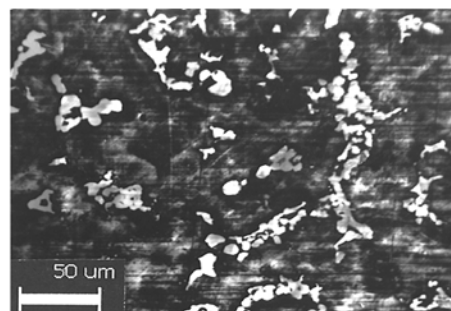
Разработените материали имат сложна хетерогенна структура, изградена от различни елементи и фази. Това са композити на медна основа, легирани с манган, никел, или калай, съдържащи фосфор и олово. Тяхната структура е показана на Фиг. 1-3. Общото в нея са глобулите на Pb и твърдата решетка от Cu<sub>3</sub>P.

Използваната технология е съобразена с изискванията за космическо използване на материалите. Съществена тяхна особеност е, че ролята на елементите в структурата им е строго диференцирана. Част от тях изпълнява ролята на матрица. Това са медта и нейните сплави. Останалите елементи, като Pb или MoS<sub>2</sub>, действат като смазка в трибоконтакта.

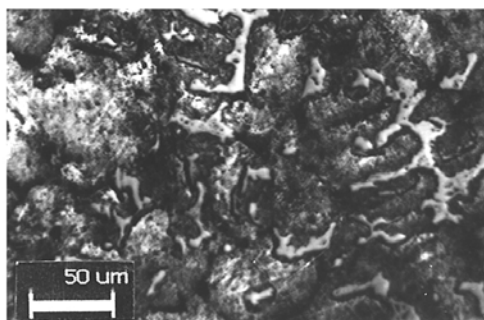
Основният технологичен принцип при създаването на тези композити е насочен към формиране на високохетерогенната структура, осигуряваща добри антифрикционни свойства и характеристики, като малък коефициент на триене, износоустойчивост, увеличено ниво на натоварване, адаптивност на триещата се повърхност.



Фиг. 1. Микроструктура на **ИПМ-301** /x 500/.

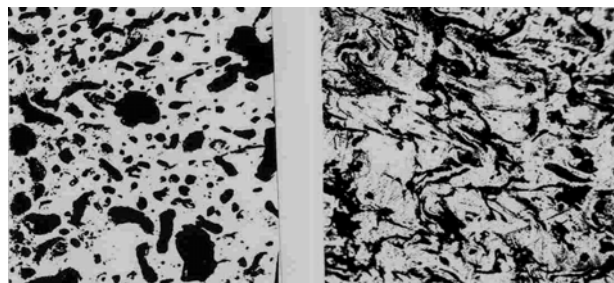


Фиг. 2. Микроструктура на **ИПМ-304** /x 300/



Фиг. 3. Микроструктура на **ИПМ-305** /x 300/.

В процеса на триене Pb излиза на повърхността и образува тънък слой. Настъпва ефект на самосмазване в контакта, осигуряващ надеждна и продължителна експлоатация при тежки режими на работа, адаптирайки повърхността на триене към него. Тази наша хипотеза беше успешно доказана при работата на материала **ИПМ-301** в космически условия на станцията «МИР» в продължение на 5 години (1996 – 2001) [1].



Фиг. 4. Повърхностна структура на материала **ИПМ-301** преди и след сухо триене във вакуум (тъмните глобули са **Pb**) /x 200/

Тази специфична структура предпазва триещата се повърхност от нарастващата адхезия при сухото триене във вакуум.

Легирането на медта с Mn, Sn или Ni подобрява механичните свойства на материалите. Те образуват с Cu твърди разтвори, увеличаващи якостта на матрицата, което повишава способността за натоварване в контакта при сухото триене. Твърдата фаза  $Cu_3P$  ограничава нарастващата пластична деформация в зоната на контакта и пречи за образуването на центрове на задиране и зацепване [2].

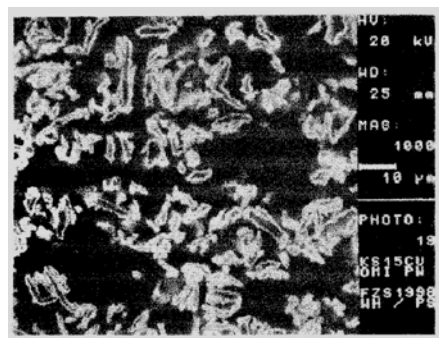
Оловото е ефективна смазка, но основен негов недостатък е токсичността, която го прави неприложим в екологично отношение. По тази причина забраната за използване на Pb в световен мащаб е предстояща, особено в космическите изследвания. Затова съществува стремеж оловото да бъде заменено с други ефективни твърдотелни смазки.

В това отношение интерес представлява използването на молибденовия дисулфид  $MoS_2$ . Неговата слоиста структура обуславя свойствата му на ефективна смазка при триенето във въздух и особено във вакуум [3,4]. Затова в структурата на материала **ИПМ-304** оловото беше заменено с  $MoS_2$  при запазване на останалите елементи в нея.

ESA-ESTEC–Холандия разработи интересен антифрикционния материал **KS15**, който е изграден от частици  $\text{MoS}_2$ , покрити електролитно с тънък слой **Cu**, а след това запресовани в медна матрица [5]. Материалът **KS15** има високи трибопоказатели, но не гарантира дълготрайност при продължително триене. Практиката показва, че антифрикционните свойства на композита значително се подобряват след враждането на  $\text{MoS}_2$  в неговата структура – Фиг. 5.



Фиг. 5. Микроструктура на **ИПМ-306** /x 300/



Фиг. 6. Микроструктура на **KS15** /x 300/

### Експериментални резултати

Получените резултати убедително показват, че материалите **ИПМ** притежават антифрикционни свойства, осигуряващи висока стабилност и надеждност на триещите механизми при продължителна работа, включително в космически условия.

В таблица 1 са показани обобщените стойности на основните трибопараметри при сухо триене на три от материалите при различни режими на триене, както и параметрите на материала **LB9** (Glacier BS1400LB4-C) [6,7] за сравнение.

Таблица 1

Материали	Режим на сухо триене	Коефициент на триене	Интензитет на износване, $[\text{mm}^3/\text{N.m}]$
<b>ИПМ-301</b>	<u>Товар 2N</u> Скорост 0,2 m/s	0,23	$5 \cdot 10^{-5}$
	Скорост 1,0 m/s	0,21	$2 \cdot 10^{-5}$
<b>ИПМ-304</b>	<u>Товар 2N</u> Скорост 0,2 m/s	0,22	$2 \cdot 10^{-5}$
	Скорост 1,0 m/s	0,12	$8 \cdot 10^{-6}$
	<u>Скорост 0,2 m/s</u> Товар 10N Товар 20N	0,15 0,19	$6 \cdot 10^{-6}$ $1 \cdot 10^{-5}$
<b>ИПМ-305</b>	<u>Товар 2N</u> Скорост 0,2 m/s	0,23	$5 \cdot 10^{-5}$
	Скорост 1,0 m/s	0,19	$4 \cdot 10^{-5}$
<b>LB9</b> (Glacier)	<u>Товар 10N</u> Скорост 0,2 m/s	0,21	$5 \cdot 10^{-5}$
	<u>Товар 2N</u> Скорост 0,2 m/s	0,18	$1 \cdot 10^{-5}$

От посочените данни се вижда, че материалите **ИПМ** и **LB9** по трибологични показатели са сравними. Материалът **LB9** широко се използва в космическата техника в чужбина., но при тежките режими на триене **ИПМ-304** го превъзхожда, издържайки 10 пъти по-голям товар при едни и същи трибопараметри.

Получените експериментални резултати от изследването на **ИПМ-306** са много насърчителни. В таблица 2 са дадени получените обобщени данни за композитите **ИПМ-306** и **ИПМ-304**. Първият по състав повтаря композита **ИПМ-304**, но Pb е заменено с  $\text{MoS}_2$ . Трибологичните измервания на двата материала са извършени при еднакви условия на сухо триене във вакуум  $1 \cdot 10^{-5}$  mbar при средно тежки режими на натоварване.

Таблица 2

Материали	Коефициент на триене	Интензитет на износване [ $\text{mm}^3/\text{N.m}$ ]
ИПМ - 306 ( $\text{MoS}_2$ )	0,050 - 0,062	$< 1.10^{-6}$
ИПМ - 304 (Pb)	0,15 - 0,18	$6.10^{-6} - 1.10^{-5}$

Проведеното комплексното изследване на материалите **ИПМ** дава основание да се твърди, че получените резултати отговарят на изискванията за космическо приложение, съгласно международните норми. Според тях те са подходящи за лагери, шарнири и винтовгаечни предавки със степен на износване по-малка от  $10^{-5}$  и коефициент на триене  $F \leq 0,25$ .

При експлоатация в земни условия плъзгащи лагери от **ИПМ-301** и стомана, според съвременните изисквания за надеждност, осигуряват работен ресурс от 500 до 1200 часа при работа в екстремни условия с коефициент на триене около 0,10, интензитет на износване не повече от  $8.10^{-3}$   $\mu\text{m}$  при скорост на плъзгане 1,2 – 2,0 m/s и товар 5 МПа.

При работа в земни условия при трибодвойки от **ИПМ-306** и стомана 45 се достигат коефициент на триене 0,10 и интензитет на износване  $(3 - 8).10^{-3}$   $\mu\text{m}$  при налягане 0,1 МПа и скорост на плъзгане 1,2 – 2,0 m/s. При въртливо движение със скорост 1,2 – 2,0 m/s срокът на експлоатация на лагерите достига 480 – 1520 часа. [8].

### Заклучение

1. При съвместната изследователска работа на учени и специалисти от ИПМ при НАН на Украйна и ИКИ при БАН е създаден нов клас високоефективни самосмазващи се композитни материали за сухо триене във вакуум и въздух.

2. Опитът показва, че тези материали могат да работят ефективно в среди без смазка, кислород и влага при отсъствие на задиране, зацепване и пренос на материал в трибоконтакта при сухото триене.

3. В класа материали **ИПМ** е създаден самосмазващ се композитен материал с екологично съобразен антифрикционен компонент, подходящ за експлоатация в космически и в земни условия.

### Благодарности

Изказваме нашата искрена благодарност на акад. А. Г. Косторнов, д-р О. И. Фушчич и на н. с. Т. М. Чевичелова за плодотворното сътрудничество и активното участие в провежданите научни изследвания.

Благодарим на Европейската Комисия за предоставеното ни финансиране по Контракт No. HPRI –CT – 1999-00024 – User II-49 – 2002.

### Литература:

- Yuga A. I., T. M. Chevichelova, Yu. M. Simeonova, T. G. Nazarsky. Application of a New Antifrication Material at Tribological Junctions of Space Research Equipment, Proceedings of 2<sup>nd</sup> World Tribology Congress, Vienna, 2001, Session "TRIBOLOGY IN EXTREME SITUATIONS", 734.
- Simeonova Yu. Study of new materials and coatings with improved antifricational properties for space applications, Work of Habilitation, IKI-BAS, Sofia, 2004.
- Savage R. H. Jour. Appl. Phys., v. 19, No 1, 1948
- Bussel M. E. Chemistry Department at Washington University, <http://chem.www.edu/dept.shtm>, 2006.
- Pambaguia L., A. Merstallinger. Self-lubricating copper matrix composite with high contents of lubricants, Proc. 2<sup>nd</sup> World Tribology Congress, 2001, Vienna, Austria
- Simeonova Yu., G. Sotirov. Study of the parameters of new antifrication materials under dry friction vacuum conditions, Report, BAS, ARC-Seibersdorf, Austria, ARC-W-0136, 2 -30, (Data Bank of the European Major Research Infrastructure - AMTT), 2002.
- Simeonova Yu., G. Sotirov. Triboparameters of New Antifricational Materials under Dry Friction Vacuum Conditions for Space Applications, Proceedings of the Int. Conference on Recent Advances in Space Technologies, Istanbul, Turkey, 2003, 567-569.
- Косторнов А. Г., О. И. Фушчич, Т. М. Чевичелова, Ю. М. Симеонова, А. Д. Костенко. Закономерности трения, износа и целенаправленного синтеза поверхностей трения композиционных самосмазывающихся материалов, Порошковая металлургия, № 3/4, 2007, 11-19.