

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИ ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРАТА  
НА САМОСМАЗВАЩИТЕ СЕ КОМПОЗИТНИ МАТЕРИАЛИ  
ПРИ РАБОТА ВЪВ ВАКУУМ**

**Тинка Грозданова**

*Институт за космически и слънчево-земни изследвания - Българска академия на науките  
e-mail: tinka\_gr@abv.bg*

**Ключови думи:** Самосмазващи се композитни материали, вакуум

**Резюме:** В статията са разгледани самосмазващи се композитни материали на медна основа, изпитани в условията на сухо триене във вакуум.

**PHYSICO-CHEMICAL CHANGES IN THE STRUCTURE  
OF SELF-LUBRICATING COMPOSITE MATERIALS  
OPERATING UNDER VACUUM CONDITIONS**

**Tinka Grozdanova**

*Space and Solar-Terrestrial Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: tinka\_gr@abv.bg*

**Keywords:** Self-lubricating materials, vacuum conditions

**Abstract:** Copper matrix composite materials alloyed with metals and phosphorous and containing globular inclusions of lead are considered. During the friction process, lead acts as solid lubricant. The disadvantage of these materials is that lead's high toxicity makes them inapplicable according to ecological requirements. This necessitates replacing lead by other solid lubricants and in particular by molybdenum disulfide.

Основният проблем, който трябва да се преодолее при работата на трибомеханизмите в екстремни условия, е повишаването на противозадиращата устойчивост на материалите. Зацепването на елементите и блокирането на механизмите се предхожда от образуването на бразди, дупки и разтопяване на триещите се повърхности. Проявяването на тези ефекти значително се стимулира при работа на трибовъзлите във вакуум.

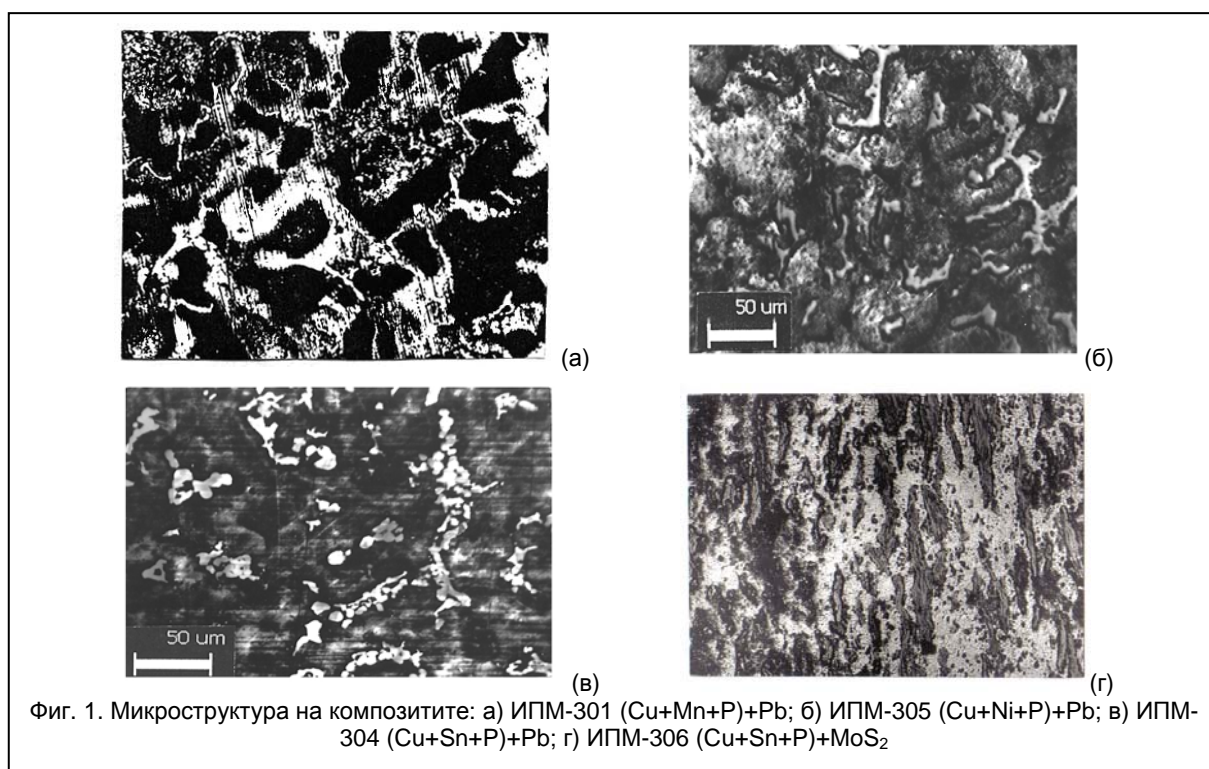
В условията на дълбок вакуум ( $10^{-4} - 10^{-12}$  Pa), при отсъствието на конвекционно топлоотдаване се получава интензивно нагряване на материалите в трибоконтakta и на целия възел. Високата температура от 150 до 1500°C предизвиква деструкция на смазващите слоеве, на адсорбционните покрития, намалява здравината на материала и подпомага развитието на пластичната деформация в него. Всичко това води до силно увеличение на коефициента на триене, възникване на задиране и образуване на студена заварка [1].

Един от съвременните начини за решаване на тези проблеми представлява използването на самосмазващи се композитни материали на основата на медта. Такива материали са разработени в Института по проблеми на материалознанието към Националната Академия на Науките в Украйна, с който ИКСИ има дългогодишно сътрудничество. Тези нови антифрикционни материали носят общото название ИПМ и характерното за тях е, че притежават високохетерогенна структура, а съставните компоненти имат строго определени функции. Разработени са на медна основа, легирана с фосфор, никел и калай. Съдържат изолирани глобуларни образувания на оловото, което практически не взаимодейства с медта. Основен технологичен принцип при създаването им е постигане на структура, осигуряваща оптимизираните параметри: нисък коефициент на триене, висока износоустойчивост, голяма товароносимост и защита срещу образуване на центрове на зацепване и задиране в контакта при работа в условия на сухо триене във вакуум. Медта и нейните сплави изграждат носещата матрица, а оловото изпълнява антифрикционните функции.

ИПМ-301 е първият материал, изследван комплексно и изпитан в симулирани условия в Лабораторията за вакуумни изследвания в Института за Космически Изследвания (сега ИКСИ) при БАН. Той е приложен в трибовъзлите на космическия радиометър „P-400“, включен в международния проект „ПРИРОДА“.

Съставът на материала включва мед, фосфор, манган и олово. Получен е чрез леене и притежава твърдост 95 НВ. Изследването на структурата чрез дифракция с бързи електрони (80 KeV) показва, че тя представлява суперпозиция на трите кубични решетки на медта, мангана и оловото [2], като решетката на медта е базисна, а решетката на оловото е най-голяма.

Легирането с манган и фосфор подобрява механичните свойства. Манганът образува с медта твърд разтвор и повишава якостта. Фосфорът образува твърда фаза  $Cu_3P$ , която се разполага по границите на зърната на твърдия разтвор във вид на разкъсана мрежа и подобрява износоустойчивостта на композита. Тази структура ограничава пластичната деформация в повърхностния слой (Фиг. 1а).



ИПМ-305 е материал, съставен от мед, фосфор, никел и олово. Получен е чрез прахова металургия и има твърдост 100 НВ. Легирането с никел и фосфор повишава неговите механични свойства. Никелът играе роля за увеличаване на якостта и корозионноустойчивостта, а фосфорът образува с медта твърда фаза, която повишава износоустойчивостта. Микроструктурата е изградена от твърдите разтвори на никела и частично на фосфора. Останалата част фосфор образува твърдите фази  $Cu_3P$  и  $Ni_3P$ , разпределени във вид на разкъсана мрежа по границите на зърната на твърдите разтвори. По този начин се повишава якостта на материала, без да се намалява пластичността [3,4], (Фиг. 1б).

ИПМ-304 е композитен материал, включващ мед, фосфор, калай и олово. Технологиата на неговото получаване е аналогична с тази на ИПМ-305. Притежава твърдост 150 НВ. Тук също е спазена характерната технологична особеност на този тип материали за дефиниране функциите на неговите компоненти. Микроструктурата е изградена от твърдите разтвори на калая и частично на фосфора в медта. Останалият фосфор образува фазата  $Cu_3P$ , която, във вид на разкъсана мрежа, е разположена около зърната на твърдите разтвори. Легирането с калай подобрява механичните и антифрикционни свойства на композита. Фазата  $Cu_3P$  го оякчава и намалява пластичната деформация при сухото триене. Този материал притежава едновременно якост и пластичност, което позволява на повърхностния слой да се деформира допълнително при нарастване натоварването в контакта, (Фиг. 1в).

При сухото триене във вакуум тези физически и механични качества на материалите ИПМ способстват за намаляване на тяхното износване. Но значително подобрените им

антифрикционни свойства се дължат на включеното в състава им олово. В следствие на повишената температура в контакта, на разликите между коефициентите на дифузия и термично разширение на матрицата и на оловото, както и на пластичната деформация, в повърхностния слой на материала протича процес на дифузия на олово по посока на триенето [2]. Това се потвърждава от анализа на елементния състав на този слой, извършен по метода на електронната Оже-спектроскопия. Експериментите показват, че оловото в тази област е в метално (редуцирано) състояние.

Образуването на равномерен и стабилен оловен слой на повърхността зависи от структурните промени и режима на триене. Този слой дефинира антифрикционните параметри на композита, неговата адаптивност в процеса на триене и ефекта на самосмазване.

С увеличаването на скоростта на триене и големината на товара температурата в контакта се покачва и количеството на оловната смазка нараства. При по-леките режими на работа (товар 2N) снабдяването на повърхността с олово се отнася към процеса на дифузия. При по-тежките режими (товар 10N) обогатяването с олово е по-интензивно и неговото количество е по-голямо. Това се дължи както на повишената температура (до 170°C), така и на избутване на оловото към повърхността под действието на товара. На фиг. 2 е показан разрез на контакта на трибодвойка „композитен материал-стомана“, където оловото от глобуларно състояние се разтича и постъпва в контактната междина, образувайки слоя-смазка. Снимка на повърхността е показана на фиг. 3.



Фиг. 2. Разрез на контакта на трибодвойка „стомана-самосмазващ се композитен материал на медна основа“



Фиг. 3. Микроскопско изображение на повърхността на самосмазващ се композитен материал след сухо триене във вакуум

Използването на олово не се препоръчва поради неговата токсичност. В екологично отношение това го прави неприложимо, както в земни, така и в космически условия. Разработени са други твърдетелни смазки и много успешна се явява замаяната на оловото с молибденов дисулфид. Така е получен материалът ИПМ-306, в който са запазени останалите елементи на ИПМ-304, (Фиг. 1г).

Молибденовият дисулфид представлява прах с оловно-сив цвят, който се дисоциира във вакуум при температура 1600°C, има твърдост 20 НВ, топлопроводимост 0,13 W/(m.°C) при 40°C и 0,19 W/(m.°C) при 430°C, коефициент на триене 0,03-0,06. На въздух запазва смазочните си свойства в много широк диапазон – от криогенни температури до 400°C [1], а в среда, бедна на кислород – и до повисоки температури.

Твърдетелните самосмазващи се материали, съдържащи молибденов дисулфид, представляват неорганични слоисти прахобразни смазки и са получили най-широко разпространение. Те притежават високи смазващи свойства, обусловени от слоистия кристален строеж със силно

изразена анизотропия на механичните свойства в две перпендикулярни посоки, а също така и добра адхезия към материали.

Изследването на материала ИПМ-306 показва, че той притежава още по-добри трибопоказатели. При едни и същи условия при сухо триене във вакуум при средно тежки режими на натоварване се получава коефициент на триене на порядък по-малък в сравнение с другите материали от този тип. Интензитетът на износване се движи също в много ниски граници [5].

За обяснение на повишените смазващи свойства на слоистите вещества служи теорията за интеркалацията [1]. При внедряване на атоми или молекули на вещества (интеркаланти) между плоскостите на слоистите твърди тела се образуват химически съединения. Разстоянието между плоскостите на слоистите вещества се увеличава, което води до отслабване на Ван-дер-Ваалсовите сили (до намаляване на междуплоскостната енергия на връзката). Получава се по-леко плъзгане на едната атомна плоскост по другата.

По този начин могат да се получат и разработят твърдотелни смазки и самосмазващи се антифрикционни материали със зададени свойства и с повишена износоустойчивост, нисък коефициент на триене и висока твароспособност. Прилагането им във вакуум осигурява безотказна работа на механизмите и дълъг срок на експлоатация.

### **Литература:**

1. Д р о з д о в, Ю. Н., В. Г. П а в л о в, В. Н. П у ч к о в. Трение и износ в экстремальных условиях. Москва. Машиностроение, 1986.
2. С и м е о н о в а, Ю. М. Изследване на нови материали и покрития с подобрени антифрикционни свойства за космическо приложение. Хабилитационен труд Ст.н.с. I ст., София, 2004.
3. К о л е с н и ч е н к о, Л. Ф., О. И. Ф у щ и ч, А. Д. П а н а с ю к и др. Контактное взаимодействие структурных составляющих композиционных антифрикционных материалов на основе меди. Порошковая металлургия, №4, 1984, 82.
4. Ф у щ и ч, О. И., А. Д. П а н а с ю к и др. Межфазное взаимодействие структурных составляющих антифрикционных композиционных материалов на основе меди. Адгезия расплавов и пайка материалов, 13, 1984, 61.
5. С и м е о н о в а, Ю., Г. С о т и р о в, М. А с т р у к о в а, Т. Г р о з д а н о в а. Нови самосмазващи се антифрикционни материали за работа в екстремни условия. SENS 2009, Fifth Scientific Conference with International Participation, 2-4 Nov., 2009, Sofia, Bulgaria. Proceedings, 293.