

МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ И КОСМОС

Маргарита Димитрова, Аделина Митева

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: maggy.pd@gmail.com; ad.miteva@gmail.com*

Ключови думи: *материали, космическо материалознание, нанотехнологии, перспективни материали, космическо пространство, метални сплави, функционално градиентни материали (FGM), приложения на материали*

Резюме: *Днес, без материалите и материалознанието, както и без космическите технологии, е невъзможна почти цялата човешка дейност, включително изследването и развитието на близкия и далечен космос. Тази статия предоставя кратък преглед на ролята на материалите и космическото материалознание в темата за космоса. Дадени са някои конкретни примери, както и материали с настоящи и възможни бъдещи приложения. Представени са и някои български разработки.*

MATERIALS SCIENCE AND SPACE

Margarita Dimitrova, Adelina Miteva

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: maggy.pd@gmail.com; ad.miteva@gmail.com*

Keywords: *materials, space materials science, nanotechnology, promising materials, outer space, metal alloys, functionally graded materials (FGM), applications of materials*

Abstract: *Today, without materials and materials science, as well as without space technologies, almost all human activity is impossible, including the exploration and development of near and far space. This article provides a brief overview of the role of materials science and space materials science in space topics. Some specific examples are provided, as well as material with current and possible future applications. Some Bulgarian developments are also presented.*

Въведение

Материалите наистина „задвигват“ нашето общество. Без материали всяка човешка дейност е практически невъзможна, в това число изследването и усвояването на космоса. От своя страна развитието на космонавтиката също води до развитие на техниката, технологиите и нови материали, което се основава на знанията за свойствата на материалите.

85% от откритията в историята на човечеството са направени въз основа на открития в областта на материалите.

В Българската академия на науките (БАН) има 10 научни направления, в които са включени 54 научни института. В направлението “Нанонауки, нови материали и технологии” са включени най-голям брой институти, единадесет на брой. И това е без да споменаваме, че във всички други направления и институти на БАН, учените също, в различна степен, се занимават с изучаване и изследване на материали. В нашия институт – ИКИТ-БАН, положението е също точно такава. В ИКИТ имаме секция “Космическо материалознание”.

Проектирането, създаването, изстрелването и експлоатацията на космическите апарати е невъзможно и немислимо без знанието и широкото използване на свойствата на материалите и резултатите от космическото материалознание. Космическото материалознание [1, 2] най-общо се занимава с експерименталното и теоретично изследване на процесите протичащи в материалите и елементите на оборудването на космическите апарати (КА) под влияние на

факторите на космическо пространство (ФКП); разработване на методи за увеличаване на издръжливостта и подобряване на свойствата на материалите и бордовите системи на КА към въздействието на ФКП; израстване на бездефектни кристали и получаване нови или с подобрени свойства вещества в безтегловност.

Развитието на космическата техника изисква нови материали, които трябва да издържат дълго време на тежките условия на работа в космоса (натоварванията по време на космическия полет, вибрационни натоварвания, големи температурни разлики, налягания, вакуум, радиация, метеорити, комети, астероиди и др.), както и да са устойчиви на повреди, да са леки, издръжливи, рентабилни, да имат високо съотношение на якост към тегло и висока корозионна устойчивост. По нататъшното усвояване на космоса и развитието на космическите технологии (изграждане на космически станции на Луната и експедиции до Марс) днес са с висш приоритет. Реализацията на такива огромни проекти изисква нови материали и технологии за по-ефективно преобразуване на химическата и слънчева енергия, за поддържане на живота на космонавтите и за защита на оборудването и хората в космическите системи.

Фактори, влияещи върху КА по време на експлоатацията им

Факторите на космическо пространство (ФКП), които оказват влияние върху свойствата и работата на КА, както и на материалите, от които са направени, по време на експлоатацията им са много и разнообразни [3]. Например ФКП са и различни на различните етапи от експлоатацията им.

По време на съхранение, транспортиране и подготовка за изстрелване:

- статични и динамични натоварвания,
- корозия,
- криогенни температури,
- изтичане на материали към компонентите на горивото.

При извеждане на орбита:

- вибрации,
- ударни и линейни претоварвания,
- аеродинамично нагряване,
- акустичен шум.

По време на орбиталния полет:

- вакуум,
- високи и криогенни температури,
- електромагнитно излъчване,
- корпусколярни потоци и микрометеорити,
- безтегловност и други фактори на космическото пространство.

В зоната на спускане и кацане:

- претоварвания,
- високи температури.

КА са подложени и на фактори като:

- газова и механична ерозия,
- радиационно въздействие,
- корозия,
- абразивно и адхезивно износване.

Основни изисквания към материалите на ракетите - носители и КА са:

- високи механични свойства,
- високи специфични механични свойства,
- топлозащитни и топлоизолиращи свойства,
- устойчивост на износване, нисък коефициент на триене,
- топлоустойчив,
- труднотопим,
- якост при ниска температура,
- термична стабилност,
- радиационна издръжливост,
- радиационно-защитни свойства,
- магнитни и електрични свойства,
- ниска аблация,
- запазване на оптичните свойства.

Основни материали, използвани при производството на ракети - носители и КА

Средно, при производството на ракети и КА (космически апарат/и), се използват около 100 марки стомани и сплави на Fe основа; 50 марки сплави на цветни метали и 300 марки пластмаси и полимерни композиционни материали.

Използваните метални материали са главно:

- Стомани – неръждаеми, топлоустойчиви, конструкционни;
- Сплави на цветни метали – алуминиеви, титанови, медни, циркониеви, ниобиеви, Mg;
- Псевдосплави – волфрам-мед, волфрам-сребро, берилий-алуминий, берилий-титан, мед-графит.

Използваните полимерни материали са основно:

- Композитни материали
 - - с полимерна матрица;
 - - с керамична матрица;
 - - въглерод-въглерод;
 - - с метална матрица;
- Керамични материали и покрития.

Според предназначението си всички материали за КА се разделят на две групи: конструктивни и функционални. Конструктивните материали са предназначени за производството на елементи, които възприемат механични натоварвания. Такива елементи осигуряват необходимата здравина на космическия апарат/кораб и поддържат конфигурацията му при работни условия и служат за монтиране на други елементи и възли върху тях, в резултат на което често се наричат носещи или силови конструктивни елементи. Като конструктивни материали най-често се използват метали, сплави и различни композитни материали.

С помощта на функционалните материали, с определени физични и химични свойства, на продуктите се придават необходимите експлоатационни характеристики и се решават различни технически и технологични проблеми. Обхватът на функционалните материали за КА е много широк. Те включват електрически материали, материали за микроелектроника и сензорни технологии, оптични материали, съединения и уплътнители, бои и лакове, специални покрития, нанесени върху повърхността на конструктивни материали и др.

Разновидност на функционалните материали са така наречените "интелигентни" материали, които могат да променят свойствата си в съответствие с промените в условията на работа. Например, интелигентните оптични материали могат да променят своята прозрачност в зависимост от осветеността, докато електрическите материали могат да променят своята проводимост и магнитни свойства, когато външните електрични и магнитни полета се променят. В някои случаи едни и същи материали могат да се използват както като конструктивни, така и като функционални. В допълнение, някои интелигентни материали в определени приложения очевидно трябва да се считат за конструктивни. Пример за това е използването на сплави с памет на формата за разполагане на антени на КА.

Наноматериалите, поради своите уникални свойства и разнообразие, намират и със сигурност ще продължат да намират разнообразни приложения във всички области на усвояването на космоса и направата на КА. Например днес осветлението в космоса и във всички КА е на основата на светодиоди. А съвременните светодиоди (LED), които са нанопроduct в чист вид, са направени на основата на полупроводникови хетероструктурни материали [4].

Полимери и полимерни нанокompозити – те са сред обещаващите материали за използване в космическите технологии. Възможността за създаване на леки полимерни нанокompозити с висока якост и топлоустойчивост, както и необходимите електрически, оптични и други характеристики ги прави подходящи за използване както като конструктивни, така и като функционални материали на космически кораби (КА).

Съвременната тенденция към миниатюризация на космическите апарати (виж табл. 1) допълнително стимулира внедряването на нанотехнологиите в космическите материали и технологии.

Полупроводниковите наноматериали и хетероструктури с квантови ями с техните приложения в конструирането на различни електрооптични устройства намират широко приложение в електрониката, използвана в КА. Промени в електрооптичните свойства на тези материали се предизвикват под въздействието на външно постоянно електрическо поле, т. нар. квантово размерен Щарк ефект (QCSE). QCSE е намерил практическо приложение в ултрабързата оптоелектроника, електро-абсорбционни модулатори, в областта на

телекомуникациите, както и в такива устройства, като соларни клетки, регулируеми полупроводникови лазери и т.н. [5].

Таблица 1. Миниатюризация на космическите апарати [6]

Наименование	Маса, kg
Миниспътник	500 – 100
Микроспътник	100 – 10
Наноспътник	10 – 1
Пикоспътник	под 1

В днешно време функционално градиентните материали (FGM) представляват голям фундаментален и експериментален интерес. Това се дължи главно на тяхното значение като действащи и потенциални приложения като материали и устройства. Основната сфера на използване на FGM са материали и устройства, работещи в екстремни условия (големи градиенти на температура, механично натоварване и др.), като аерокосмическата област. FGM притежават много високо съпротивление на топлинния градиент, което ги прави подходящи за термична защита на космически превозни средства, за използване в конструкции и материали за корпуси на КА, компоненти на ракетни двигатели и са обещаващи в по-широки области на аерокосмическата индустрия [7, 8].

Например космическата совалка използва керамични плочки като термична защита от топлината, генерирана при повторното влизане в земната атмосфера. Въпреки това, тези плочки са склонни към напукване на повърхността на плочките поради разликите в коефициентите на топлинно разширение. FGM, изработен от керамика и метал, може да осигури термична защита и способност за носене на натоварване в един материал, като по този начин елиминира проблема с напуканите плочки, открити на космическата совалка.

Сплави, използвани в космическата техника и в КА

Металните сплави са основните конструктивни материали използвани в създаването на продукти за ракетната и космическа техника. Металните сплави са по-устойчиви на радиационно увреждане от много други твърди вещества. Специалните стомани са много използвани за КА. Те са по-устойчиви на вибрации и на топлина, по-евтини са и са от голямо значение за структурата на изстрелвания КА. Недостатъкът е, че са по-тежки от алуминия. Повишаването на изискванията към свойствата на авиационните материали и КА, доведе до бързото развитие на техниката и технологията на производство на леките сплави. Към конструктивните леки сплави, използвани в техниката на летателните апарати, се отнасят сплавите на основата на метали, чиято плътност е по-ниска от тази на желязото. Това са алуминиевите, магнезиевите, берилиевите и титановите сплави, металните композити.



Фиг. 1. Международната космическа станция (МКС), маса ~ 400 т
размер ~ 100 m

Структурната обшивка на всички модули на Международната космическа станция (виж Фиг. 1) е изградена от алуминиевите сплави AA7075 или AA2219.

Изучаването на космоса и необходимостта от нови материали, които да издържат на условията в открития космос, без да губят функционалността си, доведе до създаването на нов

вид алуминиев композит в нашата секция “Космическо Материалознание” към Институт за космически изследвания и технологии – БАН [9, 10]. Това е материал на алуминиева основа, а именно - високояка алуминиева сплав В95 (7075) с количествена добавка на ултрадисперсен диамантен прах /УДДП/ и волфрам /W/. Високояката алуминиева сплав В95 (7075), наред с алуминиевите сплави от сериите 7xxx и 2xxx, са най-използваните и разпространени сплави, които се използват за производството на високояки конструкции, работещи в екстремални условия.

Най-перспективните в момента метални сплави за потенциални приложения във всички области, включително и в космическата, са сплавите с висока ентропия (НЕА) [11 и цитираната там литература]. Те притежават превъзходни механични, термични и окислителни свойства, надвишаващи тези на конвенционалните сплави. НЕА имат изключителна якост, сравнима с някои метални стъкла, а и с тази на структурната керамика, което се дължи на простите твърди разтвори, които образуват. В допълнение към високата якост, всички НЕА се характеризират с висока твърдост в отлято и отгрявано състояние. Идеята за НЕАs заема едно от централните места в съвременното материалознание. Засега няма причина да се твърди, че НЕАs ще заменят традиционните сплави във всяка индустрия. Всички налични данни и тенденции показват, че бързото развитие на този клас материали ще продължи и през следващите десетилетия.

Ситуация в момента и изводи

Изучаването на космоса винаги е било силно политизирано, но винаги свързано с материалите. Достатъчно е да си припомним първия изкуствен спътник на Земята (направен от алуминиева сплав), първия полет на човек в космоса, стъпването на човек на луната, изпращането на човек в космоса от Китай и т.н. Но МКС (Международната Космическа Станция) бележи реално сътрудничество в космоса, заради получаването на резултати в космоса. На МКС бяха получени ценни знания за поведението на някои материали в космоса, в това число и за алуминиевата сплав, описана по-горе. Но засега, през 2024 г. РФ ще напусне МКС. Това безусловно изглежда като разпадане на международното сътрудничество или в него ще има пауза. Но в него могат да се включат новите космически страни – Китай, Индия или Япония.

Развитието на съвременното общество е немислимо без широкомащабното използване на космическите технологии. Космическата технология също играе огромна роля във фундаменталните научни изследвания. Съвременни постижения в космическото материалознание и резултатите от бъдещите изследвания в тази област със сигурност ще се превърнат в солидна основа за по-нататъшно усъвършенстване на космическите технологии.

През този век световната общност се стреми да реализира редица големи космически проекти, включително пилотиран полет до Марс, полет на група автоматични космически кораби до Юпитер с кацане на някои от неговите спътници, строителство на дългосрочно обитаеми бази на Луната. Последното трябва да играе важна роля не само в извършването на фундаментални изследвания, но също така и в развитието на минералните ресурси на Луната. Планира се създаването на големи енергийни и производствени комплекси в околоземни орбити.

Успехът на текущите космически програми и изпълнението на перспективните проекти до голяма степен зависят от надеждността и експлоатационен живот на КА. Много от КА, които в момента са в процес на разработка трябва да функционират безупречно в продължение на 15–20 години, а за някои перспективни продукти на космическите технологии, например, като слънчеви космически електроцентрали, трябва да се гарантира тяхната рентабилност да бъде 25–30 години.

От решаващо значение за осигуряване на дългосрочната работа на КА играе издръжливостта на материалите, използвани при създаването им и елементите на оборудването към ефектите на околното пространство. Съгласно експертните оценки повече от половината повреди и неизправности в работата на КА са резултат от неблагоприятни въздействия на околната пространствена среда.

Космическото материалознание, възникнало като самостоятелно научно направление преди половин век, продължава динамично да се развива и обогатява, опирайки се на най-новите постижения във всички научни области. Без развитие на космическото материалознание няма прогрес. Специалистите професионалисти в областта на космическото материалознание винаги ще имат работа и ще са ценни кадри за всяка страна.

Постиганията на космическото материалознание и въвеждането на нови материали дават основание да се твърди, че ракетите и космическите кораби и апарати в близко бъдеще ще стават все по-леки, по-надеждни и по-многофункционални.

Литература:

1. Акишин, А. И. Космическое материаловедение. - М: НИИЯФ МГУ, 2007.
2. Пашаев, А. М., А. Х. Джанахмедов и Т. Г. Джаббаров. Авиационное материаловедение. Баку: Апострофф, ISBN 978-9952-404-12-8, 2016.
3. Miteva, A. M., Z. K. Karagiozova, A. Ciski and G. Cieślak. The environmental conditions in the neighbourhood and on the surface of the international space station: part one, Science. Business. Society. 3(3), 2018, pp. 111–114.
4. Miteva, A. and V. Stoyanova. The semiconductor heterostructures in LEDs (light-emitting diodes) – space applications, Proceedings of the Tenth Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology, Safety” (SES’2014), ISSN 1313-3888, 2015, pp. 489–496.
5. Miteva, A. On the main application properties of the Quantum Confined Stark Effect, International Virtual Journal “Machines, Technologies, Materials”, ISSN 1313-0226, 8(4), 2014, pp. 19–22.
6. Мардиросян, Г. Въведение в космонавтиката. Академично издателство “Проф. Марин Дринов”, София, 2012. ISBN 978-954-322-519-4
7. Miteva, A. An overview of the functionally graded materials, International Virtual Journal “Machines, Technologies, Materials”; Publisher: Scientific-technical union of mechanical engineering; ISSN 1313-0226, Year VIII, Issue 3, 2014, pp. 13–16.
8. Bouzekova – Penkova, A., A. Miteva. Aluminium-based functionally graded material, Proceedings of the fourth national conference with international participation “Material science, hydro- and aerodynamics and national security’2014”, 23-24 October 2014, Sofia, ISSN 1313-8308; 2014, pp. 145–151.
9. Bouzekova-Penkova, A., M. Datcheva, R. Iankov. Mechanical properties of the enhanced with nanodiamond and tungsten strengthened aluminium alloy being exposed in the Outer space, International Journal “NDT Days”, II (4), 2019, pp. 396–401.
10. Bouzekova-Penkova, A., P. Tzvetkov. Investigation of outer space influence on structural properties of strengthened 7075 aluminum alloy. Experiments onboard the International Space Station (ISS), Comptes rendus de l’Académie bulgare des Sciences, 72(7), 2019, pp. 939–946.
11. Митева, А. Високоентропийни сплави – представа, свойства, потенциал, Материали от Годишна университетска научна конференция на НБУ „Васил Левски“, проведена от 30 юни до 1 юли 2022 г. в гр. Велико Търново, 2022; Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски“; научно направление „Технически науки“; ISSN 2367-7481; 2022, с. 1453–1459.