



СТЪКЛОВЪГЛЕРОДНИ ПОКРИТИЯ ВЪРХУ ТИТАНОВИ СПЛАВИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЯ В КОСМИЧЕСКИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Димитър Теодосиев, Анна Бузекова-Пенкова
dteod@space.bas.bg; a_bouzekova@space.bas.bg

*Институт за космически изследвания и технологии,
Българска Академия на Науките
София 1113, ул. “Акад. Георги Бончев”, блок 1,
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** титанови сплави, стъкловъглеродни покрития, космически експерименти*

***Резюме:** Титановите сплави са основни материали, използвани в многобройните космически проекти, с цел решаване на сложни научни и приложни задачи, при изследване на околоземното пространство. Условиата в открития космос налагат специфични технологични изисквания към материалите, от които са изработени космическите ракети, спътници, орбитални станции и научната апаратура, монтирана върху тях. В тази работа са представени и дискутирани резултати от проведени научни експерименти, с използване на елементи от титанови сплави, с покрития от стъкловъглерод, в спътникови прибори, за измерване на постоянни и променливи електрични полета. Анализа на представените резултати от проведен технологичен експеримент на борда на Международната Космическа Станция (МКС), за изследване влиянието на продължителния престой на стъкловъглеродни покрития в открития космос, върху техните механични и физико-химични характеристики, доказват техните изключителни качества и възможности за приложения при работа в екстремни условия, свързани с висок вакуум, резки температурни промени, потоци електрони и йони с висока енергия, галактичните космични лъчи, микрометеорити и други.*

УВОД

От началото на космическата ера и до днес, като основен метод за измерване на постоянни и променливи електрични полета в околоземната плазма, се е утвърдил методът на двойната сонда, при който се измерва диференциалната потенциална разлика, между две отдалечени в пространството точки. Теорията на двойната сонда и особеностите на нейното използване, за измервания в космическата плазма, са описани в работите [1-4]. Един от основните фактори, влияещи върху точността на измерванията на електрични полета по този метод, се явява избора на материал за изработването им и качествата на работните повърхности на чувствителните елементи на сондите. Вариациите на функцията на отделителната работа за електроните по повърхностите на всяка сонда, влияе по сложен начин върху големината на колектирания ток, особено в случаите на нехомогенна плазма, каквато е йоносферно-магнитосферната плазма, и е особено съществено за експерименти на борда на въртящи се спътници. Разликите в плаващите потенциали за отделните сонди, по отношение на околната плазма, може да доведе до допълнителни електрически сигнали, многократно

превишаващи изследваните естествени такива. Този факт определя необходимостта от максимална идентичност на физико-химични и геометрични характеристики на чувствителните елементи на сондите.

Развитието на техниките и методите за измерване на постоянни и променливи електрични полета в йоносферно-магнитосферната плазма, предполага разработването и прилагането на различни технологии и материали, за изработване на сонди. Основно изискване към тези материали, е необходимостта да се осигури висока точност и чувствителност на измерванията. Точността на измерванията на електрични полета, по метода на двойната сонда, се определя от вариациите на функцията на отделителната работа за електроните, от точка в точка, по повърхността на сферичните сонди, при облъчването им със слънчева радиация в открития космос. Вариациите на отделителната работа за електроните по повърхностите на образци със стъкло-въглеродни (СВ) покрития, или от монолитен стъкло-въглерод, са с най-висока стойност, около 5 eV. Това се дължи на по - малката фотоемисия, в сравнение с другите използвани по-рано материали, като сребро, злато, аквадаг и др. [5 - 8].

По оригинална българска технология [9], са изработени и успешно използвани, сферични сензори с покритие от стъкловъглерод на работните им повърхности, в научни експерименти за измерване на постоянни и променливи електрични полета, от борда на на спътниците Interkosmos-24-Active, Interkosmos-25-APEX, and INTERBALL-2 satellites, and on the Magion-2, Magion-3, Magion-4 and Magion-5 subsatellites, както и на МКС [8, 10, 11, 12].

Приложение на стъкловъглеродни покрития върху титанови сплави, за изработване елементи на сензори за измерване на постоянни и променливи електрични полета в околоземната плазма.

Стъкловъглерод

Стъкловъглеродът, като новосъздадена стъклообразна форма на въглерода, се характеризира с висока химическа чистота, висока корозионна устойчивост, непроницаемост за газове и течности, висока твърдост, ниска плътност, много добри повърхностни качества по отношение на полиране, много добра устойчивост на термични удари, добра електропроводимост, изотропност на физическите и химическите свойства. Така например, тяхното относително тегло, според типа въглерод, се изменя в границите от 1.5 - 2.2 g/cm³, и техните модули на еластичност са между 4 - 35 GPa. Стъкловъглеродът има много хомогенна повърхност, със средна грапавина от 3.3 nm, докато другите метални материали имат средна грапавост по-висок от 3.3 nm.

Стъкловъглеродни покрития върху титанови сплави

Точността на измерваните постоянни (DC) и променливи (AC) електрични полета зависи освен от качествата на работната повърхност на чувствителните елементи на сензорите, която в тези случаи е от стъкловъглерод, но и от тяхната конструкция, вида на носещите щанги на които са монтирани, разстоянието им от корпуса на спътника, базата на измерване /разстоянието между сензорите в една двойка/ и от характеристиките на електронния измервателен блок, където се обработват сигналите. По тези причини, в ИКИТ – БАН е разработена и приложена технология за нанасяне на покрития от стъкловъглерод върху, титаниева сплав: Ti, Al 6% и W 4%. Това е един перспективен вариант за подобряване на някои от известните качества на титановите сплави, при използването им като конструкционни материали, за изработване на елементи или детайли, за използване при работа в открития космос, от борда на спътници или междупланетни станции. Предварителните предпоставки за

използването на такава технология, се съдържат в оригиналната и ефективна комбинация на качествата на двата материала [12].

На фиг.1 е показан моноблок на електрически датчик (ЕД) със сферичен чувствителен елемент (ЧЕ), разработен за измерване на постоянни и променливи електрични полета от борда на спътниците “Компас” и “Предвесник-Е” [12]. Сферичния чувствителен елемент е монтиран между 2 тънки симетриращи електроди (СЕ), изработени от титанова сплав и покрити със стъкловъглерод и е изолиран от тях.



Фиг. 1 образци на сферични сензори от графит, покрити със стъкловъглерод, за измерване на постоянни и променливи електрични полета, от борда на космически апарати в околосемната плазма.

Повърхността на сферичните сензори са покрити със стъклообразен въглерод, представляващ електрически проводящо въглеродно стъкло [9]. По тези свои характеристики стъкловъглеродните покрития предъзхождат останалите известни материали, като в сравнение с монолитния стъкловъглерод, неговото получаване и коригиране на характеристиките му, е много по-лесно и икономично.

Като преимущества на предлаганите от нас датчици с покритие от стъкловъглерод, в сравнение с тези, изготвени от монолитен стъкловъглерод, може да бъдат посочени следните качества:

- Възможност за изработване на датчици с такова покритие, имащи по-сложна форма, а не само сферична.
- Използване на различни материали за изработването на датчиците, преди покриването им със стъкловъглерод. Такива могат да бъдат различни видове керамика, графит, някои метални сплави.
- В зависимост от използвания материал за изработване на датчика, преди покриването му със стъкловъглерод, времето и разходите за покриване и изработване на датчика са различни. Те са няколко пъти по-ниски от тези при използването на монолитен СВ.
- Поради самия характер на получаване на СВ покритието – последователно нанасяне на микронни слоеве, е възможно регенерирането, възстановяването на характеристиките на покритието на такива датчици, след продължителен престой и в резултат на стареене на качествата на покритието. Това е невъзможно при монолитния СВ.

- По-лесно удовлетворяване изисквания от страна на потребителя по отношение на форма и размери на датчика, докато при тези от монолитен СВ, задължително де изработва скъпо струваща и точна матрица, която позволява изготвянето на един определен по форма и размери датчик.

За оценка и доказване на възможностите за използване на детайли от титанови сплави, със стъкловъглеродно покритие, в бъдещи космически спънкови експерименти, както и на борда на орбитални станции, бяха проведени основните видове предварителни изпитвания на използваните титаниеви материали, като изпитване на опън, тестване за твърдост, изследване на напрежението при двуосево огъване на образци, както на ударни и вибрационни изпитания, с пробни образци от титаниева сплав, в сертифицирани лаборатории. Получените резултати показаха, че изпитваната сплав отговаря на изискванията за материали, използвани в конструкционни елементи от научна апаратура, за изследване параметрите на открития космос, от борда на ракети, спътници и орбитални станции. Проведените температурни изпитания в широки граници от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$ с образци от титанова сплав с покритие от стъкловъглерод, показаха че материала може успешно да бъде използван и за работа в условия на екстремни резки температурни промени.

От горе описаните изисквания, бяха осъществени технологични експерименти на борда на МКС, за изследване влиянието на открития космос върху стъкловъглеродни покрития, нанесени върху графит, каквата технология е използвана при изработването на сферичните сонди, от същия материал, за измерване на постоянни и променливи електрични полета, в околоземната плазма [8, 10, 13, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от изследвания на физико-химичните характеристики на графитни материали, както и на титанови сплави, покрити със стъкловъглерод, използвани при изработването на елементи от датчици за измерване на постоянни и променливи електрични полета, в околоземната плазма, от борда на спътници и орбитални станции и реалното им използване в космически експерименти, доказват изключителните качества и перспективност на използвания метод за нанасяне на покрития от стъкловъглерод, за използване в космическите изследвания, като намира приложения и в медицината, за изработване на елементи за импланти в човешкия организъм.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работата е с финансова подкрепа на Фонд научни изследвания по проект № КП-06-Н27/2, 08.12.2018 г.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Fahleson U., Theory of electric field measurements conducted in the magnetosphere with electric probes, *Space Sci.Rev.*, v.7, p.238, 1967.
- [2] Boyd R.L., Measurement of electric field in the ionosphere and magnetosphere, *Space Sci.Rev.*, v.7, p.230, 1967.
- [3] Fahleson U.V., M.C. Kelly and F.S. Mozer, Investigation of the operation of a DC electric field detector, *Planet.Space Sci.*, v.18, pp.1551-1561, 1970.
- [4] Mozer F.S., Analyses of techniques for measuring DC and AC electric fields in the magnetosphere, *Space Sci.Rev.*, v.14, No2, p.272, 1973.
- [5] Teodosiev D., N. Isaev., Physicochemical Properties of Probes for Measuring Electric Fields in the Near-Earth Plasma, *Chem. Phys. Reports*, vol. 19(6), p. 1165-1175, 2001.

- [6] Maynard N.C., E.A. Bielecki, H.F. Burdick, Instrumentation for vector electric field measurements from DE-B, Space Sci. Instr., v.5, p. 523, 1981.
- [7] Shawhan S. D., D. A. Gurnet, D.L. Odem, The plasma wave and quasy-static electric field instrument (PWI) for DINAMICS EXPLORER-A, Space Sci. Instr., v.5, p.535, 1981.
- [8] Teodosiev D., G. Stanev, G. Galev, S. Neichev, P. Pushchaev, Spherical probes for measurements of electric fields on the INTERBALL-2 satellite in the IESP-2M instrument, Cosmic Research, v.38 (6), pp. 574-578, 2000.
- [9] Теодосиев Д.К., И.Д.Печеняков, Й.С.Георгиев, П.А.Петров, Р.П.Добрев, Р.В.Вълков, Г.А.Станев, Метод за импрегниране и покриване на порьозни огнеупорни материали със стъкловъглерод, Авторско свидетелство № 31847, МКП С 04 35/84, 1982г.
- [10] Бузекова - Пенкова Анна, Румен Недков, Георги Станев, Станислав Климов, Валерий Грушин, Юлиан Караджов, Димитър Теодосиев (2017) Технологичен експеримент „Обстановка“ на борда на Международната космическа станция, Списание на БАН 5/2017, научен раздел, стр. 22 - 26, ISSN 0007-3989
- [11] Neychev S., A. Buzekova, G. Galev, Z. Zhekov, I. Ivanov, R. Nedkov, P. Gramatikov, G. Stanev, D. Teodosiev, L. Todorieva, S. Klimov, L. Belyakova, A. Belikova, V. Grushin, D. Novikov, V. Myagkih, A. Anev, N. Baruh, A. Boneva, D. Buchvarov, O. Lapshina, V. Osipov, Measuring the potential of the body of ISS: Apparatus and first results, Proceedings on SES 2013, ISSN 1313 – 3888, стр. 15-23, 2014.
- [12] Теодосиев Д., Б. Бойчев, Г. Галев, Вл. Бойчев, Метод и реализация на датчикова част на прибори за измерване на квазипостоянни и променливи електрични полета от борда на микроспътници Компас, Предвесник-Е и Магион, Сборник доклади от Юбилейна научна сесия “110 години Въздухоплаване в България” 25-26.04.2002 г. ВНБУ “Георги Бенковски”, том 2. стр. 358 – 371, 2002.
- [13] Teodosiev Dimitar, Anna Bouzekova – Penkova, Korneli Grigorov, Rumen Nedkov, Georgi Stanev, Peter Tzvetkov, Boyko Tsyntsarski, Angelina Kosateva, Stanislav Klimov, Valery Grushin (2021) Structural and mechanical properties of glass-carbon coatings after an extended stay on the international space station, Comptes rendus de l’Academie bulgare des Sciences, Vol 74, No 2, pp. 197 - 206, ISSN 1310–1331,
- [14] Stanev G., M. Petrunova, D. Teodosiev, I. Kutiev, K. Serafimov, S. Chapkunov, V. Chmyrev, N. Isaev, P. Pushchaev, I. Pimenov and S. Bilichenko, An instrument for DC electric field and AC electric and magnetic field measurements aboard “IntercosmosBulgaria-1300” satellite, Adv.Space Res., v.2, No7, pp.43-47, 1983.

GLASS CARBON COATINGS ON TITANIUM ALLOYS FOR USES IN SPACE RESEARCH

Dimitar Teodosiev, Anna Bouzekova-Penkova
dteod@space.bas.bg; a_bouzekova@space.bas.bg

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
Sofia 1113, str. “Akd. Georgy Bonchev” bl.1,
BULGARIA

Key words: *Titanium alloys, glass carbon coatings, space experiments*

Abstract: *Titanium alloys are the main materials used in numerous space projects to solve complex scientific and applied problems in the study of outer space. Space conditions impose specific technological requirements on the materials from which space rockets, satellites, orbital stations and the scientific equipment mounted on them are made. This paper presents and discusses the results of scientific experiments, using elements of titanium alloys, coated with glass and carbon, in satellite instruments, for measuring constant and alternating electric fields. The analysis of the presented results of a technological experiment conducted on board the International Space Station (ISS) to study the impact of prolonged stay of glass-carbon coatings in outer space on their mechanical and physico-chemical characteristics, prove their exceptional qualities and applications. in extreme conditions associated with high vacuum, sudden changes in temperature, fluxes of electrons and high-energy ions, galactic cosmic rays, micrometeorites and others.*