

<https://doi.org/10.15407/knit2022.01.043>

УДК 620.22:629.7.023.224

**І. О. ГУСАРОВА<sup>1</sup>**, нач. відділу, д-р. техн. наук

E-mail: info@yuzhnoye.com

**О. М. ПОТАПОВ<sup>1</sup>**, нач. комплексу нових матеріалів і перспективних технологій, канд. техн. наук,

акад. Міжнарод. Акад. астронавтики, акад. Акад. технол. наук, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки

**Б. М. ГОРЕЛОВ<sup>2</sup>**, зав. відділу, д-р фіз.-мат. наук

**Т. А. МАНЬКО<sup>3</sup>**, проф., д-р техн. наук, проф.

**Г. О. ФРОЛОВ<sup>4</sup>**, зав. відділу, д-р техн. наук

<sup>1</sup> Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»,  
вул. Криворізька 3, Дніпро, Україна, 49008

<sup>2</sup> Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка Національної академії наук України  
вул. Генерала Наумова 17, Київ, Україна, 03164

<sup>3</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
Пр. Гагаріна 72, Дніпро, Україна, 49000

<sup>4</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України  
вул. Кржижановського Київ-142, Україна, 03680

## КОМПОЗИЦІЙНІ ТЕРМОСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

Запропоновано принципову схему композиційного матеріалу для термостійкого багатофункціонального покриття, що забезпечує радіонепомітність і тепловий захист частин ракет. З метою вибору матеріалів термостійкої матриці досліджено кремнійорганічне сполучне КО-08К, неорганічне сполучне НС-1А та жаростійку мастику НЕОМІД-ТИТАН. На основі аналізу результатів термодесорбційної спектроскопії кремнійорганічного сполучного і мастики НЕОМІД-ТИТАН з термостійкими наповнювачами встановлено, що найбільш ефективно знижує термодеструкцію наповнення матриці перлітом і оксидом алюмінію. Ефективність обраних композицій за високої швидкості зміння температури оцінювали методом теплового удару. Встановлено, що на зразках на основі кремнійорганічного сполучного з наповнювачами не вдалося забезпечити необхідну термостійкість матеріалу; мастику НЕОМІД-ТИТАН можна використовувати у разі наповнення 2 % оксиду алюмінію; алюмосилікатне сполучне НС-1А — у разі наповнення 5 % оксиду алюмінію і 10 % муліту.

Обрані матеріали було випробувано у струмені газодинамічного пальника. Результати підтвердили необхідність армування матриці термостійкими тканинами для підвищення її міцності та ерозійної стійкості. Як термостійкі радіопрозорі армувальні тканинні наповнювачі використано термостійку кремнеземну тканину КТ-11 і кремнеземну термостійку стрічку ЛКА-1200.

Термоерозійні випробування армованих зразків у струмені газодинамічного пальника показали, що мінімальне лінійне винесення отримано на зразках з матрицею на основі мастики НЕОМІД-ТИТАН, армованих тканиною КТ-11 (зовнішній шар) і стрічкою ЛКА-1200, що дозволяє використовувати зазначені матеріали для створення багатофункціонального покриття.

**Ключові слова:** композиційний матеріал, багатофункціональне покриття, матриця, наповнювач.

Цитування: Гусарова І. О., Потапов О. М., Горелов Б. М., Манько Т. А., Фролов Г. О. Композиційні термостійкі матеріали для багатофункціонального покриття. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1 (134). С. 43—50. <https://doi.org/10.15407/knit2022.01.043>

## ВСТУП

Використання ефективних гіперзвукових виробів ракетної техніки передбачає вирішення проблем їхньої радіолокаційної непомітності і теплового захисту під час проходження атмосферних шарів. Перспективним є створення покриттів, які виконують багато функцій і забезпечують комплексний захист частин ракет.

Таке багатофункціональне покриття повинне бути стійким до винесення і зберігати свої функції у робочому діапазоні температур 650...1350 °С. Вимоги щодо високої термостійкості при мінімально можливій вазі і радінепомітності у заданому частотному інтервалі значно обмежують клас матеріалів, які можна використовувати для створення багатофункціональних покриттів [2, 3, 5, 6]. Такі матеріали і технологія нанесення покриття на поверхню літального апарата потребують розроблення.

**Метою роботи** є розроблення модельного багатофункціонального покриття, що має високу термостійкість, і технології його нанесення.

Розроблюване покриття має виконувати декілька функцій. Однією з основних вимог до його зовнішнього шару є висока термостійкість, оскільки максимальна температура 1350 °С діє на окремі елементи ракети протягом 30 с на початковому відрізку траєкторії і 20 с перед закінченням роботи виробу. Не менш важливим є узгодження хвильового опору матеріалу з повітрям для зменшення відбиття падаючого електромагнітного випромінювання.

Принципова схема багатофункціонального покриття складається з трьох шарів різного призначення (рис. 1):

- перший (зовнішній) шар забезпечує термостійкість покриття та узгодження хвильового

1. Узгоджувальний шар
2. Поглинальний шар
3. Теплоізоляційний шар (залежно від умов експлуатації)
Силова оболонка корпусу

Рис. 1. Принципова схема багатофункціонального покриття

опору матеріалу з повітрям і призначений для зменшення відбиття падаючого електромагнітного випромінювання;

- другий шар використовують для ослаблення електромагнітного випромінювання у широкому частотному діапазоні, він забезпечує поглинання енергії радіохвиль і містить поглинальні компоненти з градієнтним розподілом концентрацій, водночас є теплоізоляційним;

- третій шар — теплоізоляційний — вводять залежно від умов експлуатації.

Під час розроблення складнопрофільних виробів технологічним рішенням нанесення покриттів є напилення. Проте згідно з експериментальними дослідженнями встановлено, що необхідні фізико-механічні властивості радіопоглинального покриття забезпечує лише армування термостійкої матриці термостійкими радіопрозорими волокнами [1].

Залежно від умов роботи виробу додатково вводять теплоізоляційний шар, для якого доцільно застосовувати відомі теплозахисні матеріали, що наносять напиленням.

## ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТЕРМОСТІЙКОЇ МАТРИЦІ

З урахуванням доступності на ринку України для експериментальних досліджень щодо створення багатофункціональних покриттів обрано такі термостійкі сполучні:

- *кремнійорганічне сполучне КО-08К* — однорідний розчин поліметилфенілсілоксанової смоли в толуолі, термостійкий при температурі 500...700 °С, має гарну адгезію до сталі, титану, кераміки, скла і міді;

- жаростійку склеювальну *мастику НЕО-МІД-ТИТАН* (зарубіжного виробництва) — універсальну термостійку мастику для склеювання різних поверхонь, дерева, бетону, цегли, натурального і штучного каменю, облицювання печей і камінів. Витримує перепад температур від –50 °С до 1500 °С (короткочасно);

- *сполучне НС-1А* (зарубіжного виробництва) — високотемпературний алюмосилікатний клей на водній основі. Температура використання — до 1500 °С (короткочасно).

Досліджувані сполучні працюють при температурах понад 1000 °С короткочасно. Їхню тер-

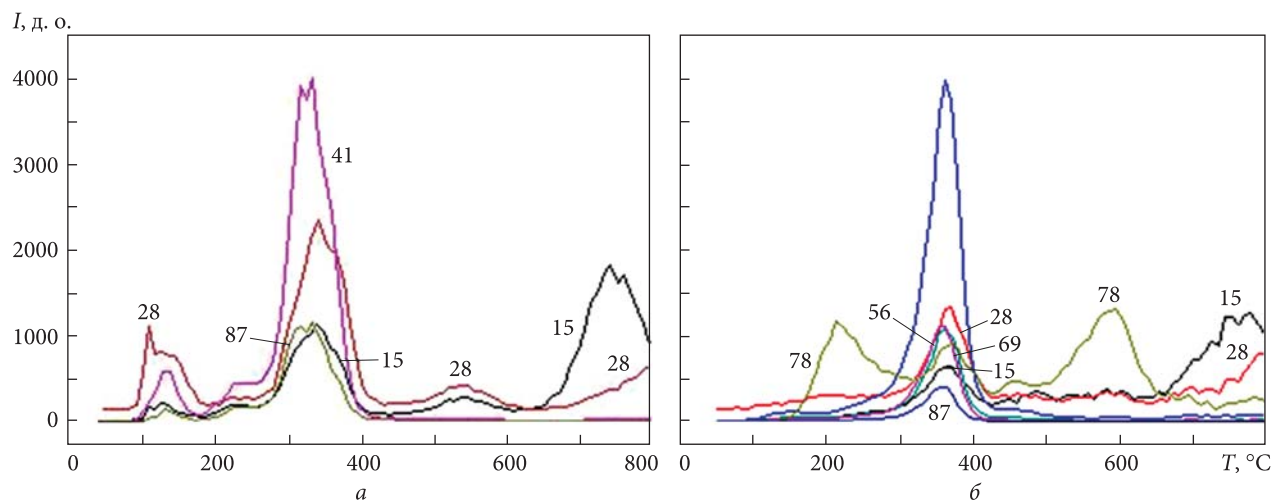


Рис. 2. Термодесорбційні криві продуктів термічної деструкції зразків на основі кремнійорганічного сполучного КО-08К: а — зразок КО-08К, б — зразок КО-08К, наповнений 5 % перліту і 5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$

мостійкість можна підвищити введенням спеціальних наповнювачів: перліту (основні компоненти — діоксид кремнію і оксид алюмінію), оксиду алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , муліту (має непостійний хімічний склад від  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  до  $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ), карбіду кремнію  $\text{SiC}$ , маршаліту (основний компонент  $\text{SiO}_2$ ).

Вибір наповнювачів, що підвищують термостійкість матриці, здійснено на основі експериментальних досліджень.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінювання ефективності використання наведених вище наповнювачів здійснювали за кількістю летких продуктів, які виділяються внаслідок швидкого підвищення температури, методом термодесорбційної спектрометрії. Температурні інтервали виділення продуктів термічного руйнування встановлювали методом термопрограмованої десорбції з мас-спектрометричною реєстрацією летких продуктів.

Для мас-спектрометричного аналізу зразки масою порядку 1 мг уміщували за тиску до 0.1 Па у кварцево-молібденову трубку, вмонтовану в нагрівач, з програмованою зміною температури в інтервалі від +25 до +800 °С. Швидкість змінення температури не перевищувала 8 К/хв. З трубки продукти розкладу зразків надходили до

вхідної системи однополюсного мас-аналізатора МХ 7304А.

Результати досліджень отримано у вигляді спектрів термодесорбції (термодесорбційних кривих) легких компонентів, що виділяються під час нагрівання зразків. На рис. 2 наведено термодесорбційні криві продуктів термічної деструкції кремнійорганічного сполучного КО-08К у початковому стані і з термостійкими наповнювачами.

Згідно з аналізом термодесорбційних кривих встановлено, що під час використання кремнійорганічного сполучного КО-08К виділення продуктів деструкції відбувається у трьох інтервалах температур: у низькотемпературному інтервалі температур від 100 до 180 °С максимальне виділення пов'язане з виходом вуглекислого газу ( $\text{CO}$ ); у інтервалі температур 270...400 °С спостерігається найбільш інтенсивне виділення продуктів термодеструкції, пов'язане з виділенням сполук  $\text{COCH}$ ,  $\text{SiCH}$  (41),  $\text{COCHCO}$ ,  $\text{CSiCHCO}$  (69), і у високотемпературному інтервалі від 670 до 800 °С виділяються  $\text{CO}$  (28) і  $\text{CH}_3$  (15).

На основі проведених досліджень кремнійорганічного сполучного, де як наповнювач застосовували перліт, оксид алюмінію, карбід кремнію, муліт при концентрації 5 % кожного наповнювача в різних поєднаннях, можна зробити

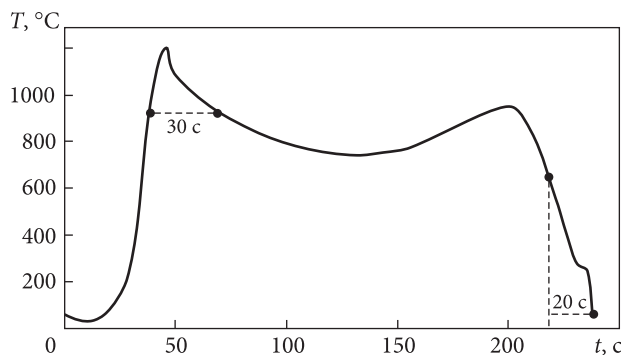


Рис. 3. Графік залежності температури поверхні від часу експлуатації

висновок, що наповнення кремнійорганічного полімеру 5 % перліту і 5 % оксиду алюмінію найбільш ефективно знижує термодеструкцію і виділення летких продуктів.

Під час дослідження зразків на основі термостійкої мастики НЕОМІД-ТИТАН, наповненої наведеними вище термостійкими наповнювачами, спостерігається кореляція з результатами аналізу термодесорбційних кривих кремнійорганічного сполучного з домішками  $Al_2O_3$  і перліту. Найбільш ефективно знижує термодеструкцію і виділення летких продуктів мастики НЕОМІД-ТИТАН її наповнення 2 %  $Al_2O_3$  і 2...15 % перліту. Це зменшує виділення води в інтервалі температур від 50 до 250 °C. Крім того, наповнювач підвищує термостійкість композиції за рахунок зміщення основної смуги розкладання сполучного на 70 °C у бік підвищення температур і знижує виділення продуктів розкладання.

Ефективність обраних композицій на основі кремнійорганічного сполучного і мастики НЕОМІД-ТИТАН з термостійкими наповнювачами за високої швидкості змінення температури оцінювали методом теплового удару. Зразки композитів вміщували у кварцову трубку з прямокутним вирізом, яку вводили в циліндричну камеру печі СУОЛ 1100, розігрітої до потрібної температури.

Композити на основі кремнійорганічного сполучного, наповненого 5 % перліту і різним вмістом  $Al_2O_3$ , вміщували в камеру печі, нагріту до температури 650 °C, на 7 хв. Після введення

зразків у піч вони спалахували, а після виймання з печі — ставали чорними і розсипалися.

Отже, на зразках на основі кремнійорганічного сполучного КО-08 К з наповнювачами не вдалося отримати необхідну термостійкість матеріалу під час нагрівання до максимальної температури 650 °C, тому для подальших робіт його не використовували.

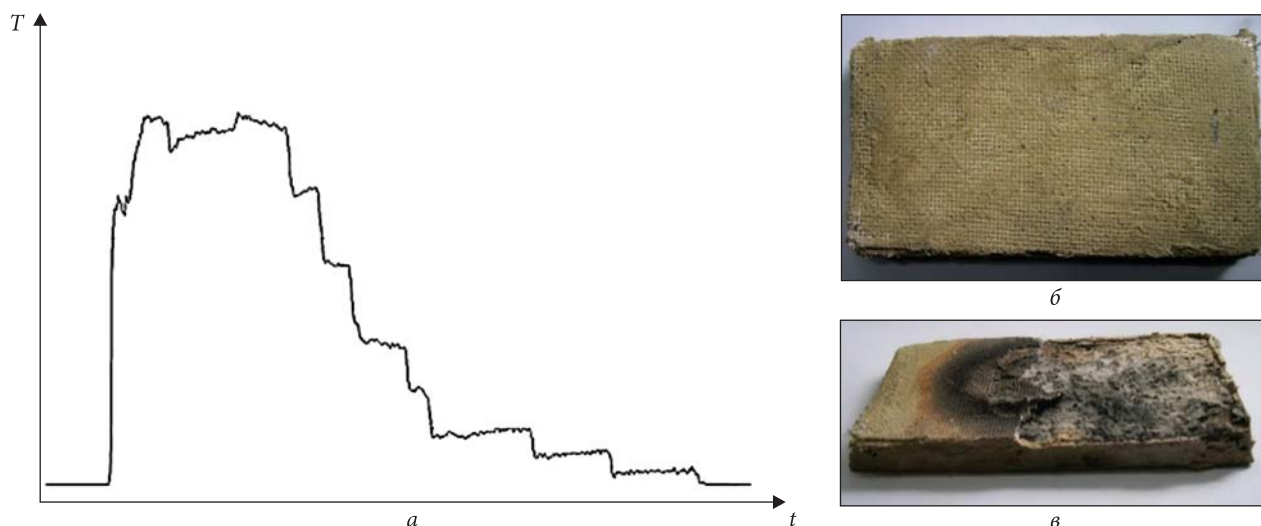
Термостійкість зразків на основі мастики НЕОМІД-ТИТАН також досліджували методом теплового удару у початковому стані і після наповнення оксидом алюмінію в діапазоні концентрацій 1.5...5 %, перлітом — у діапазоні концентрацій 5...10 %, мулітом — у діапазоні концентрацій 2.2...10 %, карбідом кремнію — 10 %. Під час виготовлення зразків як розчинники використовували метилсіліканат і алюмосиліканат калію.

Зразки вміщували у піч СУОЛ, нагріту до температури 1050 °C. Кварцова трубка зі зразками перебувала у печі протягом 5...8 с, потім через 20...25 с температуру печі знижували до 850...880 °C, а через 6–7 хв піч знову нагрівали до 1000...1020 °C. Після цього зразки витягували з печі. Температурний режим під час випробувань максимально наближений до умов експлуатації (рис. 3).

За результатами проведених випробувань встановлено, що зразок сполучного, що перебуває в початковому стані, після нагрівання за заданим режимом сильно деформувався. Уведення термостійких наповнювачів зменшило його деформацію. Мінімальну зміну об'єму і форми має зразок з мастикою НЕОМІД-ТИТАН, наповненою 2 % оксиду алюмінію.

Зразки на основі високотемпературного неорганічного сполучного НС-1А досліджено без наповнення і наповненими 5 % оксиду алюмінію і 10 % муліту.

Зразки нагрівали в камері печі за температурним режимом, що моделює експлуатаційний (рис. 3). Після вилучення матеріал зберіг цілісність і механічну міцність. Проте на поверхні з'явилися численні здуття, що свідчить про пороутворення всередині зразків. Зразки на основі сполучного НС-1А, наповнені 5 % оксиду алюмінію і 10 % муліту, мають найменший ступінь



**Рис. 4.** Результати випробувань зразків з матрицею на основі мастики НЕОМІД-ТИТАН: *a* — графік змінення температури під час дослідження (максимальна температура — 1300 °С); *б, в* — зовнішній вигляд зразків до і після випробувань

деформації і перспективні для застосування як матриці багатофункціонального покриття.

Проведені випробування зразків досліджуваних високотемпературних сполучних з визначення термостійкості методом теплового удару показали:

- на зразках на основі кремнійорганічного сполучного з наповнювачами не вдалося забезпечити необхідну термостійкість матеріалу;
- мастику НЕОМІД-ТИТАН можна використовувати у разі наповнення 2 % оксиду алюмінію;
- у композитах на основі високотемпературного алюмосилікатного сполучного НС-1А найбільшу термостійкість показали зразки, наповнені 5 % оксиду алюмінію і 10 % муліту.

На основі проведених експериментальних досліджень показано, що для матриці багатофункціонального покриття перспективним є використання жаростійкої мастики НЕОМІД-ТИТАН і високотемпературного алюмосилікатного сполучного НС-1А з термостійкими наповнювачами. Обрані матеріали було випробувано у струмені газодинамічного пальника ГВО-2 з діаметром критичного перерізу сопла 11 мм, що працює на паливній парі гас — повітря на універсальному термоструминному

стенді (УТС) ІПМ НАН України. Максимальна температура газового потоку становила 1250 °С. Усі зразки сполучного зруйнувалися під час випробувань.

Результати випробувань підтвердили правильність висновків про необхідність армування матриці термостійкими тканинами або стрічками з високотемпературних керамічних радіопрозорих волокон для підвищення її міцності та ерозійної стійкості [4].

Наступну серію експериментів проводили на зразках композиційних матеріалів, що містять матрицю з жаростійкої мастики НЕОМІД-ТИТАН або високотемпературного алюмосилікатного сполучного НС-1А, армовану радіопрозорими термостійкими тканинами.

Як термостійкі радіопрозорі армувальні тканини наповнювачі для експериментальних досліджень використовували такі доступні на ринку України матеріали:

- термостійку кремнеземну тканину КТ-11, яка характеризується низькою теплопровідністю, високою стійкістю до теплових ударів, є електроізолятором за підвищених температур, тривало експлуатується без зміни властивостей при температурах 1000...1200 °С і короткочасно — при температурі до 1700 °С;

- кремнеземну термостійку стрічку ЛКА-1200, яка має такі характеристики: коефіцієнт теплопровідності при температурі 500 °С становить 0.15 Вт/(м·К), а при 1000 °С — 0.24 Вт/(м·К), питомий електричний опір —  $10^{17}...10^{18}$  Ом·см (20 °С), діелектрична проникність — 3.7; може довго працювати при температурах до 1000 °С і короткочасно — при температурах 1200 °С.

Під час виготовлення зразків зовнішній термостійкий шар покриття армовано тканиною КТ-11, а внутрішній теплоізоляційний шар — кремнеземною стрічкою ЛКА-1200. Загальна товщина зразків становить 9.9...10 мм. Як сполучне використовували мастику НЕОМІД-ТИТАН і високотемпературне алюмосилікатне сполучне НС-1А.

Термоерозійні випробування армованих зразків проводили також у струмені газодинамічного пальника ГВО-2 на стенді УТС ІПМ НАН України. Кут обтікання зразків потоком становив 30°, що відповідає умовам експлуатації матеріалу. Поточні термодинамічні параметри потоку встановлювали так, щоб моделювати залежність температури поверхні від часу під час експлуатації, як наведено на рис. 3.

Результати експериментальних досліджень показали, що мінімальне лінійне винесення — 1.5 мм (9.67 г) отримано на зразках з матрицею на основі мастики НЕОМІД-ТИТАН.

Графік зміни температури у процесі випробувань і зовнішній вигляд зразків подано на рис. 4.

За результатами випробувань у струмені газодинамічного пальника ГВО-2 на стенді УТС ІПМ НАН України встановлено, що термоерозій-

зійна стійкість композиційного матеріалу з матрицею на основі мастики НЕОМІД-ТИТАН, армованого тканиною КТ-11 (зовнішній шар) і стрічкою ЛКА-1200, дозволяє використовувати зазначені матеріали для створення багатофункціонального покриття.

## ВИСНОВКИ

На основі теоретичного аналізу в роботі показано, що термостійке багатофункціональне покриття має складатися із зовнішнього термостійкого шару, що забезпечує узгодження хвильового опору матеріалу з повітрям, та внутрішнього теплоізоляційного, що поглинає електромагнітне випромінювання в заданому частотному діапазоні. Залежно від умов експлуатації можуть вводити додатковий теплоізоляційний шар.

Перспективним є розроблення композиційного багатошарового покриття на основі термостійкої матриці з функціональними домішками армованої тканинами або стрічками з високотемпературних керамічних радіопрозорих волокон.

На основі експериментальних досліджень для матриці багатошарового покриття рекомендовано використовувати неорганічне сполучне НЕОМІД-ТИТАН. Мас-спектрометричним аналізом і випробуваннями на тепловий удар доведено, що термостійкість матриці ефективно підвищує введення 2 % оксиду алюмінію.

За результатами випробувань на термоерозійну стійкість встановлено доцільність застосування як армувальних наповнювачів кремнеземної тканини КТ-11 (зовнішній шар) і стрічки ЛКА-1200.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гусарова І. А., Потапов А. М., Манько Т. А., Фальченко Ю. В., Петрушинец Л. В., Фролов Г. А., Солнцев В. П. Проблеми створення теплозахисту повертаємих апаратів. *Технол. системи*. 2017. № 4(81). С. 47–55.
2. Звонко А. А. Можливості застосування існуючих радіопоглинаючих покриттів до бойових частин ракет. *Військово-технічний зб.* 2012. 7. С. 29–32.
3. Николайчук Г., Иванов В., Яковлев С. Радиопоглощающие материалы на основе наноструктур. *Новые технол. Сер. Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. 2010. № 1. С. 92–95.
4. Потапов А. М. Оценка возможности создания напыляемого неуносимого покрытия для ракетной техники. *Космич. техника. Ракетное вооружение*. 2015. Вып. 3 (110). С. 39–46.
5. Симбиркина А. Н., Гусарова И. А., Пронцевич О. А., Пронцевич Е. В. *Многофункциональные покрытия для ракетной техники*. Материали VII міжнар. конф. «Космические технологии: настоящее и будущее», 21–24 травня 2019 р. Дніпро: ДП «КБ «Південне», 2019. С. 91.
6. Lutsev L. V., Yakovlev S. V., Zvonareva T. K., Alexeyev A. G., Starostin A. P., Kozyrev S. V. Microwave Properties of Granular Amorphous Carbon Films with Cobalt Nanoparticles. *J. Appl. Phys.* 2005. 97, № 10. С. 47–53.

## REFERENCE

1. Husarova I. A., Potapov A. M., Manko T. A., Falchenko Y. V., Petrushinets L. V., Frolov G. A., Solntsev V. P. (2017). Problems of Creating Thermal Protection Of Reentry Vehicles. *Technology Systems*, № 4 (81), 47–55 [in Russian].
2. Zvonko A. A. (2012). Possibility Of Using Existing Radio-absorbing Coating Of Missile Warheads. *Military Technical Collection*, 7, 29–32 [in Ukrainian].
3. Nikolaychuk G., Ivanov V., Yakovlev C. (2010). Radio-absorbing materials based on nanostructures. *New Technologies. Ser. Electronics: Science, Technology, Business*, № 1, 92–95 [in Russian].
4. Potapov A. M. (2015). Assessment of the Possibility of Creating a Sprayed Non-wearable Coating for Rocket Technology. *Space technology. Rocket armament*, № 3 (110), 39–46 [in Russian].
5. Simbirkina A. N., Husarova I. A., Prontsevich O. A., Prontsevich E. V. (2019). *Multifunctional Coating for Rocket Technology*. Materials VII inter. conf. «Space technologies: present and future», 21–24 May 2019. Dnipro: Yuzhnoye SDO, 91 [in Russian].
6. Lutsev L. V., Yakovlev S. V., Zvonareva T. K., Alexeyev A. G., Starostin A. P., Kozyrev S. V. (2005). Microwave Properties of Granular Amorphous Carbon Films with Cobalt Nanoparticles. *J. Appl. Phys.*, 97, № 10, 47–53.

Стаття надійшла до редакції 25.08.2021

Received 25.08.2021

Після доопрацювання 10.01.2022

Revised 10.01.2022

Прийнято до друку 24.01.2022

Accepted 24.01.2022

I. O. Husarova<sup>1</sup>, Dr. Sci. in Tech., Head of the Department of Physical Methods of Control of Materials and Structures  
E-mail: info@yuzhnoye.com

O. M. Potapov<sup>1</sup>, Dr. Sci. in Tech., Head of the Department of New Materials and Advanced Technologies, Acad. of the International Academy of Astronautics, Acad. of the Academy of Technical Sciences, Laureate of the State Awards in Science and Technology of Ukraine

B. M. Gorelov<sup>2</sup>, Dr. Sci. in Phys.&Math., Head of the Department

T. A. Manko<sup>3</sup>, Dr. Sci. in Tech., Prof. of the Department of Production Technology of the Faculty of Physics and Technology

G. O. Frolov<sup>4</sup>, Dr. Sci. in Tech., Head of the Department

<sup>1</sup> Yangel Yuzhnoye State Design Office

3, Krivorizka Str., Dnipro, 49008 Ukraine.

<sup>2</sup> Chuiko Institute of Surface Chemistry

17, Generala Naumova Str., Kyiv, 03164 Ukraine

<sup>3</sup> Oles Honchar Dnipro National University

72, Gagarina Str., Dnipro, 49000 Ukraine

<sup>4</sup> Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine

3, Krzhizhanovsky Str, Kyiv-142, 03680 Ukraine

## COMPOSITE HEAT-RESISTANT MATERIALS FOR MULTIFUNCTIONAL COATING

A schematic diagram of composite material for a heat-resistant multifunctional coating providing radio invisibility and thermal protection of parts of missiles is proposed.

Organosilicon binder KO-08K, inorganic binder HC-1A, and heat-resistant mastic NEOMID-TITANIUM were researched to select the materials of the heat-resistant matrix. Based on the analysis of the results of thermal desorption spectrometry of organosilicon binder and mastic NEOMID-TITANIUM with heat-resistant fillers, it was found that the thermal destruction is most effectively reduced by the matrix filler with perlite and aluminum. The efficiency of the selected composites at a high rate of temperature change was evaluated by the heat stroke method. It was revealed that samples based on the organosilicon binder with fillers failed to provide the required heat resistance of the material: NEOMID-TITANIUM mastic can be used in case of filling with 2 % of aluminum and aluminum-silicate binder HC-1A in the case of filling with 5 % aluminum and 10 % mullite.

Selected materials were tested in a jet of a gas-dynamic burner. The results confirmed the need to reinforce the matrix with heat-resistant fabrics to increase its strength and erosion resistance. Heat-resistant silica fabric KT-11 and silica heat-resistant tape LKA-1200 were used as heat-resistant radio-transparent reinforcing fabric fillers.

Thermo-erosion tests of reinforced samples in the jet of a gas-dynamic burner showed that the minimum linear removal was obtained on samples with a matrix based on NEOMID-TITANIUM mastic, which was reinforced with KT-11 fabric (outer layer) and LKA-1200 tape, which allows using these materials to create the multifunctional coating.

**Keywords:** composite material, multifunctional coating, matrix, filler.