

УДК 621.793.7

*Шорінов О. В., Пургіна С. М., Ставиченко В. Г.*

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». Україна, м. Харків

## **ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛО- ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ КОМПОЗИТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЮВАННЯ**

*Запропоновано новий метод розв'язання задачі підвищення тепло- і електропровідності полімерного композитного матеріалу, який засновано на використанні металізованих вуглецевих волокон. Реалізація запропонованого рішення виконується методом холодного газодинамічного напилювання. Аналіз результатів досліджень дозволить удосконалити технологію напилення металевих частинок на вуглецеве волокно, а також побудувати математичну модель для вибору технологічних параметрів процесу напилення для створення матеріалу з заданими електричними і тепловими характеристиками.*

*Ключові слова:* тепло- і електропровідність; композитний матеріал; холодне газодинамічне напилювання; параметри процесу напилювання.

## Вступ

Композитні матеріали досить широко застосовуються в різних галузях техніки завдяки своїм високим характеристикам міцності при малій щільності, а також ряду інших унікальних властивостей. Однією з основних переваг композита є можливість у широких діапазонах варіювати його властивостями шляхом вибору матеріалу арматури і матриці, а також схеми армування. Отримання електропровідної композитної конструкції дозволить суттєво розширити можливості застосування цього матеріалу як в елементах авіаційної та ракетно-космічної техніці так і інших галузях науки і техніки, що робить актуальним проведення досліджень.

Основною ідеєю роботи є використання технології холодного напилення зі спеціально підібраними параметрами процесу, що забезпечить отримання однорідного покриття вуглецевих волокон при збереженні їх початкових міцнісних властивостей та створення на його підставі композитних конструкцій з підвищеною тепло та електропровідністю.

На даний час технологія холодного напилювання металевих частинок на різні за своїм складом і властивостями матеріали отримала деякий розвиток. Але авторам роботи невідомі дослідження пов'язані з напилюванням металевих частинок на надтонкі вуглецеві волокна та подальшого використання цих волокон в якості наповнювача для полімерних композитних матеріалів.

## Постановка задачі

Мета роботи: створення авіаційних композитних конструкцій з підвищеною тепло та електропровідністю мінімальної маси.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проведення випробувань по визначенню електричних, теплових, міцнісних, втомних, адгезійних та інших характеристик.

2. Побудувати математичну модель, що відображає залежності характеристик струмопровідного матеріалу від параметрів напилювання.

3. Розробити методику проектування композитної конструкції з необхідної тепло та електропровідністю при відповідних експлуатаційних вимогах.

4. Провести аналіз на підставі експериментальних та чисельних результатів та дати рекомендації щодо параметрів напилювання, схеми армування та відсоткового вмісту часток, що напилюються, для розрахунку та виготовлення композитної конструкції з заданими характеристиками. Наприклад, обшивки крила літака, що забезпечує зняття статичного заряду та обледеніння.

Очікується, що використання запропонованого методу напилювання дозволить отримати компо-

зитний матеріал з новими властивостями. Зокрема очікується підвищення електропровідності матеріалу до 100 разів при збереженні його високої міцності.

## Стан досліджень і розробок за тематикою

Створення електропровідного матеріалу методом напилення не є новим. Поверхневий шар на виріб з металевого сплаву наноситься газополуменевим або плазмовим способом, шляхом наплавлення частинок металевих порошків на підкладку [1, 2]. Але при напилюванні металевих частинок гарячим способом цілісність композитної підкладки на основі полімерного сполучного порушується, крім того скляні волокна плавляться, органічні і вуглецеві при температурі вище 400°C стають хімічно активними, окислюються і міцність полімерної основи волокна знижується [3, 4]. Для плазмового способу напилювання потрібні спеціальні камери, що робить такий процес енергоємним і обмеженим за розміром зони напилювання. Таким чином, застосування гарячих способів напилювання в більшості обмежено для композитних виробів.

У разі, коли необхідно зберегти властивості міцності композиту і підвищити його електро- і теплопровідні характеристики раціонально використовувати холодне напилювання електропровідних частинок [5–8]. Зчеплення частинок з підкладкою відбувається за рахунок пластичного деформування ударом об підкладку попередньо розігнаних частинок порошку. Технологія холодного напилювання покриттів із заданими властивостями і обладнання для його здійснення на даний момент в країнах Європи і США знаходиться тільки на стадії розробки.

Вченими цієї роботи раніше проводились дослідження як теоретичні, так і експериментальні зі створення теплопровідних композитних конструкцій з спрямованою електропровідністю у вигляді формотворного оснащення та переносної термоковдри для ремонту без демонтажу дефектної авіаційної панелі обшивки повітряного судна [9]. Методика розрахунку резистивного елемента (металевого або вуглецевий ниткоподібний) використовувалась при проектуванні цього оснащення для забезпечення необхідного теплового режиму та необхідних конструктивних параметрів [10].

Таким чином, результати, які отримані раніше дають обґрунтування для створення нових композитних конструкцій на основі вуглецевого волокна з напилюванням, який може володіти заданою теплопровідністю не тільки на поверхні, а також по всьому об'єму або на певній глибині композиту, є інноваційною і перспективною розробкою.

### Підхід, методи та засоби досліджень

Рішення поставлених в роботі завдань відбуваються шляхом експериментальних і теоретичних досліджень в області електрофізики, теплообміну та механіки композитних матеріалів. Для отримання достатньої експериментальної бази, що є необхідною для побудови математичної моделі буде проведено низку експериментальних досліджень з метою визначення електричних та теплових властивостей, а також властивостей міцності матеріалів на основі вуглецевих волокон з напиленням металевим покриттям. Спираючись на зазначену базу під час виконання роботи передбачається синтез нової математичної моделі, яка пов'яже прогнозовані характеристики матеріалу, з параметрами покриття, об'ємним вмістом цих волокон у шарі композитного матеріалу та структурою композита. На основі цієї моделі буде побудовано узагальнену методику вибору параметрів напилювання для створення композитною конструкції із заданими електричними та теплофізичними властивостями.

В рамках даної роботи застосовується метод холодного напилювання, який придатний до створення надтонкого металевого покриття на вуглецевих волокнах.

Наукову новизну роботи також становить запропонована математична модель, яку створюється на основі синтезу існуючих моделей процесу напилювання та механіки КМ.

Експериментальні дослідження виконуються добре відпрацьованими методами. Дослідження теплових характеристик здійснюватиметься за результатами обробки вимірювань температурних полів за поверхнями композитного виробу з використанням термографії. Визначення електричних параметрів відбувається за допомогою вимірювача RLC. Оцінка характеристик композитного матеріалу проводиться за результатами механічних випробувань зразків на розтяг–стиск, зсув і т.д. з використанням тензометрії. Адгезійна міцність композита визначається за результатами випробування на міжшаровий зсув зразків.

### Очікувані результати

При виконанні роботи очікується отримання наступних результатів:

1. Технологія напилювання металевих частинок на вуглецеві волокна, що забезпечує високу міцність з'єднання покриття з підкладкою при незначному пошкодженні армуючого матеріалу, і збереження його міцнісних властивостей. Дана технологія заснована на холодному напилюванні дрібнодисперсної порошкоподібної речовини, що дозволить уникнути небажаних теплових ефектів, які

викликають зміну структури і властивостей армуючого матеріалу в процесі нанесення покриття.

2. Узагальнена математична модель буде складатися з двох підмоделей: мікроструктурної і макроструктурної.

Мікроструктурна модель призначена для опису властивостей композиту на рівні волокна і матриці з метою визначення раціональних параметрів напилення, таких як склад речовини порошку, товщина покриття, а також об'ємний вміст армуючого матеріалу в композиті для отримання необхідних електричних, теплофізичних і механічних характеристик моношару за різними напрямками. Пропонована модель буде враховувати також температурний напружений стан, викликаний ударною взаємодією частинок речовини, що напилюється, з підкладкою, який здатен вплинути на механічні характеристики композитного матеріалу.

Макроструктурна модель призначена для опису властивостей складноармованих композитних матеріалів та конструкцій з них в залежності від властивостей моношарів і схеми армування, і буде забезпечувати можливості вибору оптимальної структури композитної конструкції для отримання необхідних її характеристик.

### Висновки

Композитні матеріали у великому обсязі використовуються в авіаційній техніці, тому що поєднують малу вагу і високі міцнісні характеристики. Це співвідношення дозволяє зробити силову конструкцію легше і тим самим зменшити її вартість. Розробка нового електропровідного композитного матеріалу з збереженими: низькою щільністю, високими питомими характеристиками міцності, корозійної стійкістю, дозволяє вирішити проблеми відведення–підведення тепла, передачі електричного струму, зняття статичного заряду, екранування, замість традиційних металевих матеріалів.

Подальші наукові розробки будуть пов'язані з впровадженням цього матеріалу у галузях, де потрібні оновлені характеристики електро- і теплопровідного матеріалу.

### Література

- [1] Galedari S. A. Advanced Microscopic Study of Suspension Plasma-Sprayed Zirconia Coatings with Different Microstructures / S. A. Galedari, M. S. Jazi, F. Azarmi, X. Tangpong, Y. Huang // Applied Ceramic Technology. – 2015. – Т. 12, № 6. – С. 78–92.
- [2] Albers W. M. Effects of Compression and Filler Particle Coating on the Electrical Conductivity of Thermoplastic Elastomer Composites / W. M. Albers, M. Karttunen, L. Wikström, T. Vilkmann // Journal of Electronic Materials. – 2013. – Т. 42. – С. 2983–2989.

- [3] Ханчич О. А. Наночастицы и надмолекулярная структура полимера / О. А. Ханчич, С. А. Кузнецова // Cloud of science. – 2013. – № 1. – С. 30–32.
- [4] Prichard T. D. Comparison of flocculated and dispersed single-wall carbon nanotube-based coatings using nonionic surfactants / T. D. Prichard, B. D. Vogt // Polymer Engineering and Science. – 2013. – Т. 53, № 1. – С. 213–320.
- [5] MacDonald D. Effect of Nozzle Material on Downstream Lateral Injection Cold Spray Performance / D. MacDonald, S. Leblanc-Robert, R. Fernández, A. Farjam, B. Jodoin // Thermal Spray Technology. – 2015. – Т. 25, № 5. – С. 1–9.
- [6] Helfritsch D. J. Electromagnetic interference shielding by cold spray particle deposition / D. J. Helfritsch // Fundamentals and applications. – 2015. – № 3. – С. 315–326.
- [7] Giraud D. Polymer metallization using cold spray: Application to aluminum coating of polyamide / D. Giraud, F. Borit, V. Guipont // International thermal spray conference ITSC 2012. – 2012. – С. 265–270.
- [8] Affi J. Fabrication of Aluminum Coating onto CFRP Substrate by Cold Spray / J. Affi, H. Okazaki, M. Yamada, M. Fukumoto // Materials Transactions. – 2015. – № 9. – С. 1759–1763.
- [9] Смовзюк Л. В. Исследование влияния параметров расслоения на несущую способность панелей из композиционных материалов / Л. В. Смовзюк // Вопросы проектирования и производства. – 2010. – Вып. 1. – С. 58–68.
- [10] Пургина С. М. Подогреваемая формообразующая оснастка регламентированного качества для изготовления композиционных изделий / С. М. Пургина // Вопросы проектирования и производства. – 2010. – Вып. 1. – С. 74–78.

*Shorinov O. V., Purgina S. M., Stavichenko V. G.*

National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute. Ukraine, Kharkov

#### COLD SPRAY FOR IMPROVEMENT OF ELECTRO- AND HEAT CONDUCTIVITY OF AVIATION COMPOSITE CONSTRUCTION

*A new approach for improvement of electro- and heat conductivity of polymeric composite material is proposed that is based on the use of metalized carbon fibers. Implementation of the proposed solution is realized by a cold spraying. Test results analysis will make it possible to improve spraying technology and to build a mathematical model for determination of spraying process parameters to be used for production of material with targeted electrical and thermal characteristics.*

*Keywords:* electro- and heat conductivity; composite material; cold spraying; deposition process parameters.

#### References

- [1] Galedari S. A. Advanced Microscopic Study of Suspension Plasma-Sprayed Zirconia Coatings with Different Microstructures / S. A. Galedari, M. S. Jazi, F. Azarmi, X. Tangpong, Y. Huang // Applied Ceramic Technology. – 2015. – Т. 12, № 6. – С. 78–92.
- [2] Albers W. M. Effects of Compression and Filler Particle Coating on the Electrical Conductivity of Thermoplastic Elastomer Composites / W. M. Albers, M. Karttunen, L. Wikström, T. Vilkman // Journal of Electronic Materials. – 2013. – Т. 42. – С. 2983–2989.
- [3] Khanchich O. A. Nanopowders and submicroscopic structure of polymer / O. A. Khanchich, S. A. Kuznetsova // Cloud of science. – 2013. – № 1. – С. 30–32.
- [4] Prichard T. D. Comparison of flocculated and dispersed single-wall carbon nanotube-based coatings using nonionic surfactants / T. D. Prichard, B. D. Vogt // Polymer Engineering and Science. – 2013. – Т. 53, № 1. – С. 213–320.
- [5] MacDonald D. Effect of Nozzle Material on Downstream Lateral Injection Cold Spray Performance / D. MacDonald, S. Leblanc-Robert, R. Fernández, A. Farjam, B. Jodoin // Thermal Spray Technology. – 2015. – Т. 25, № 5. – С. 1–9.
- [6] Helfritsch D. J. Electromagnetic interference shielding by cold spray particle deposition / D. J. Helfritsch // Fundamentals and applications. – 2015. – № 3. – С. 315–326.
- [7] Giraud D. Polymer metallization using cold spray: Application to aluminum coating of polyamide / D. Giraud, F. Borit, V. Guipont // International thermal spray conference ITSC 2012. – 2012. – С. 265–270.

- [8] Affi J. Fabrication of Aluminum Coating onto CFRP Substrate by Cold Spray / J. Affi, H. Okazaki, M. Yamada, M. Fukumoto // Materials Transactions. – 2015. – № 9. – С. 1759–1763.
- [9] Smovziuk L. V. Investigation of the effect of the layer separation parameters on the composite panel strength / L. V. Smovziuk // Issues of design and manufacture of flying vehicles. – 2010. – V. 1. – P. 58–68.
- [10] Purgina S. M. Specified quality heated shape-generating molding tools for composite product manufacturing / S. M. Purgina // Issues of design and manufacture of flying vehicles. – 2010. – V. 1. – P. 74–78.