

УДК 621.793.620.172

DOI: 10.18372/0370-2197.4(97).16958

О. О. МІКОСЯНЧИК, В. Б. ШАМРАЙ

*Національний авіаційний університет, Україна***ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ ПОКРИТТЯМИ**

Робота присвячена вирішенню науково-технічної проблеми підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин шляхом використання композиційних покриттів. Обґрунтовано, що серед способів нанесення композиційних покриттів найпоширенішим, найдешевшим і найпростішим є метод електроіскрового легування. Запропоновано основні принципи нанесення композиційних покриттів. Реалізація принципів базується на аналізі конструктивних особливостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин, складу композиційних матеріалів, використанні статистичних і математичних методів експериментальних досліджень. Для вирішення проблеми забезпечення надійності та підвищення зносостійкості та експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин наведено структурну схему дослідження, яка включає: актуальність проблеми дослідження; постановку мети і завдань дослідження та шляхи їх вирішення; аналіз існуючих методів нанесення композиційних покриттів; вибір композиційних матеріалів і способу нанесення покриття, що дозволить вирішити поставлену задачу. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин шляхом нанесення композиційних покриттів дозволило вирішити проблему забезпечення їх строку служби, який не поступається строку служби нових деталей.

Ключові слова: композиційні покриття, електроіскрове легування, деталі сільськогосподарської техніки, зносостійкість, робочих органів сільськогосподарських машин, експлуатаційні властивості.

Вступ та постановка задач дослідження. Сільськогосподарська техніка – складна технічна система, яка складається з багатьох вузлів, агрегатів і окремих деталей, надійність яких впливає на безпеку їх роботи. Ефективність використання сільськогосподарської техніки (СХТ) обмежена встановленими ресурсами та строками служби. Основною причиною втрати працездатності деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин (СХМ) є зношування (80-90% від спільної кількості відмов). Зносостійкість - важлива експлуатаційна характеристикою деталей СХТ та робочих органів СХМ, яка лімітує термін їх служби. Одна з причин недостатньої зносостійкості деталей СХТ і робочих органів СХМ пов'язана з обмеженим використанням при їх виготовленні і ремонті зносостійких матеріалів, технологій зміцнення і захисних покриттів. Найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення зносостійкості деталей СХТ та робочих

органів СХМ є нанесення на їх робочі поверхні композиційних покриттів (КП), перевагами яких є висока міцність, жорсткість і зносостійкість. Композиційні покриття по їх призначенню і використанню розділяють на зносостійкі, антифрикційні, фрикційні, корозійностійкі, спеціальні [1-5]. Композиційні покриття приймають на себе частину функціональних властивостей робочих поверхонь деталей СХТ та робочих органів СХМ (зносостійкість, контактну міцність і т.д.) і тим самим забезпечують виготовлення деталей і робочих органів із менш дефіцитних і більш дешевих матеріалів. Існує достатньо багато методів нанесення КП, кожен з яких може служити темою окремого дослідження [6-10]. Більшість методів нанесення покриттів альтернативні. Велике значення має правильний вибір досить простих і доступних способів нанесення КП. Розробці способів відновлення деталей композиційними покриттями для забезпечення надійності та підвищення ресурсу ЗХТ і СХМ присвячені роботи К.А. Ющенко, Ю.С. Борисова, Ю.С. Харламова, Б.А. Ляшенка, Є.К. Посвятенка, М.І. Черновола, Є.К. Солових, В.В. Ауліна та інших вчених [1-3, 6, 7, 10].

Обґрунтований пошук і розробка високопродуктивних і простих в експлуатації технологій відновлення і зміцнення деталей СХТ та робочих органів СХМ для досягнення високих показників їх надійності є актуальною проблемою. Вирішення цієї проблеми вимагає впровадження в практику перспективних процесів зміцнення, відновлення, ремонту та підвищення надійності деталей СХТ та робочих органів СХМ, що базуються на дослідженнях в області нанесення композиційних покриттів.

Аналіз останніх публікацій з даної проблеми. Проведений аналіз попередніх патентно-інформаційних досліджень [1-4, 11-13] свідчить, що довговічність деталей СХТ та робочих органів СХМ, які експлуатуються в складних умовах знаходиться в прямій залежності від здатності протистояти корозійно-механічному зносу їх робочих поверхонь. Найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей СХТ та робочих органів СХМ є формування композиційних покриттів різними технологічними способами їх нанесення.

Метою роботи є з'ясування можливостей підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкості, корозійної стійкості) деталей СХТ та робочих органів СХМ композиційними покриттями. Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені наступні завдання:

- обґрунтована доцільність зміцнення і відновлення деталей СХТ та робочих органів СХМ композиційними покриттями;
- досліджений вплив фізико-механічних властивостей КП на експлуатаційні властивості деталей СХТ та робочих органів СХМ.

Результати вирішення основних завдань. Проведений аналіз методів формування КП визначив наступні чинники: конструкція деталі; вид матеріалу деталі, склад КМ; поєднання процесів відновлення (виготовлення) деталі і отримання покриття; економічна доцільність. При цьому, найчастіше використовуються технологічні процеси (ТП): пресування, прокатка, плазмове напилення, комбіновані методи, наприклад, плазмове напилення з подальшим ущільненням і інші [1-2, 6-8, 11-13]. Обґрунтовано, що серед способів нанесення КП найбільш поширений, найдешевший і найпростіший метод електроіскрового легування (рис. 1) [1-2, 6-8, 11-15].

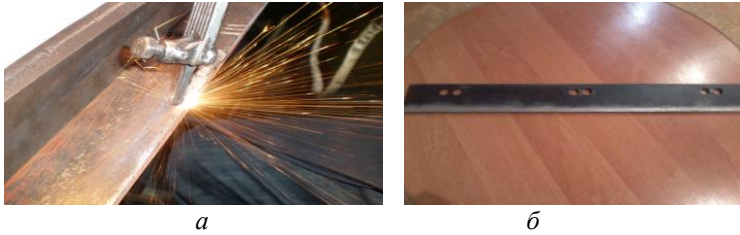


Рис. 1. Процес нанесення КП методом електроіскрового легування (а) на ножі СХМ (б)

В якості матеріалу покриття використовували карбід вольфраму з кобальтом WC – (6...8)% Co. Час нанесення композиційного покриття на установці для електроіскрового легування «Елітрон-22» представлений в табл. 1, а режими нанесення покриття методом ЕІЛ в табл. 2 і 3.

Таблиця 1

Час нанесення КП із карбиду вольфраму з кобальтом методом ЕІЛ на установці Елітрон -22

| Режим обробки (C=300 мкФ) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------|-----|-------|-----|-------|-------|---------|-------|-------|---------|
| Час обробки, хв | 2-8 | 1,5-5 | 1-4 | 1-3,5 | 0,5-3 | 0,5-2,5 | 0,4-2 | 0,3-2 | 0,3-1,5 |

Таблиця 2

Режими нанесення композиційного покриття WC – (6...8)%Co методом ЕІЛ

| Найменування характеристики | Значення | |
|--|----------------|---------------|
| | Режим 1 | Режим 2 |
| Напруга живлення, частотою 50 Гц, В | 220±10-15% | 220±10% |
| Потужність при номінальній напрузі мережі, кВА | не більше 0,25 | не більше 4,5 |
| Кількість технологічних режимів | 9 × 2 | 12 + 2 |
| Частота вібрації електрода вібратора, Гц | 220...500 | 100±10 |
| Продуктивність на найпотужнішому режимі, см ² /хв | не менше 6 | не менше 10 |
| Товщина покриття, мм | 0,01...0,08 | <0,25 |
| Шорсткість поверхні (R _a) покриття, мкм | 3,2-12,5 | 3,2-80 |

Таблиця 3

Величина робочого струму за різних режимів установки Елітрон – 22

| Номер режиму | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------|--------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Величина струму, А | при C=150мкВ | 0,4-0,5 | 0,4-0,5 | 0,5-0,6 | 0,50-0,6 | 0,6-0,7 | 0,8-0,9 | 0,9-1,0 | 1,0-1,1 | 1,1-1,2 |
| | При C=300мкВ | 1,0-1,2 | 1,2-1,4 | 1,6-2,0 | 2,0-2,2 | 2,2-2,4 | 2,4-2,6 | 2,6-2,8 | 2,8-3,2 | 3,0-3,4 |

Важливою умовою подальшої працездатності зміцнених і відновлених КП деталей СХТ та робочих органів СХМ. є узгодженість термомеханічних характеристик композиційного матеріалу (КМ) і матеріалу деталі. Показано, що матеріал деталі повинен мати мінімальну різницю коефіцієнтів термічного розширення в порівнянні з матеріалом покриття, забезпечити максимальну з ним експлуатаційну сумісність. Вирішення проблеми регулювання сумісності компонентів в КП дає в повному обсязі використовувати триботехнічні

властивості покриттів. Одним з підходів вибору матеріалу КП є встановлення зв'язків у системі «експлуатація-матеріал», а з позиції технології - в умовному трикутнику «склад-структура-властивість» [16, 17].

Визначено, що для ефективного вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей деталей СХТ та робочих органів СХМ композиційними покриттями дослідження слід представити у вигляді структурної схеми (рис. 2).



Рис. 2. Структурна схема досліджень

Структурна схема дослідження включає: обґрунтування актуальності проблеми досліджень, визначення мети, постановку завдань і шляхів їх вирішення; аналіз існуючих методів формування композиційних покриттів та вибір складу композиційного матеріалу.

Запропоновано основні принципи підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин, що відображають функціональні, матеріально-технічні та технологічні аспекти їх зміцнення шляхом нанесення композиційних покриттів. Реалізація запропонованих принципів базується на аналізі конструктивних особливостей деталей сільськогосподарської техніки і робочих органів сільськогосподарських машин та складу композиційного матеріалу. Запропоновано розрахункову схему

взаємозв'язку параметрів нанесення композиційних покриттів з його фізико-механічними властивостями.

На основі результатів дослідження зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин із композиційними покриттями обґрунтовано доцільність використання методу електроіскрового легування для нанесення покриттів. У роботі проведені дослідження зносостійкості при випробуванні на абразивне зношування дослідних зразків із КП (табл. 4). Приклади робочих органів сільськогосподарських машин із композиційними покриттями представлені на рис. 3.

Таблиця 4

Показники зносостійкості при випробуванні на абразивне зношування дослідних зразків із КП

| Вид покриття | Товщина шару, мкм | Відносна зносостійкість, при довжині пробігу, м | | |
|--------------------------|-------------------|---|------|------|
| Без покриття | – | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Дифузійне хромування | 17 | 3,58 | 2,29 | 1,95 |
| Електроіскрове легування | 50-65 | 7,5 | 6,8 | 5,3 |

При розрахунках приймалося: $\gamma_{Fe} = 7,8 \text{ г/см}^3$, $\gamma_{Cr_7C_3} = 6,62 \text{ г/см}^3$



Рис. 3. Приклади робочих органів сільськогосподарських машин із композиційними покриттями (а - ж)

Висновки. На основі результатів проведених досліджень показана ефективність нанесення композиційних покриттів для підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин. Обґрунтовано, що серед способів нанесення композиційних покриттів найбільш поширеним, найдешевшим і найпростішим є метод електроіскрового легування.

Запропоновано основні принципи підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин, що відображають функціональні, матеріально-технічні та технологічні аспекти їх зміцнення шляхом нанесення композиційних покриттів. Реалізація запропонованих принципів базується на аналізі конструктивних особливостей деталей сільськогосподарської техніки і робочих органів сільськогосподарських машин та складу композиційного матеріалу.

Для вирішення проблеми підвищення зносостійкості, експлуатаційних властивостей та збільшення строку служби деталей сільськогосподарської

техніки та робочих органів сільськогосподарських машин представлено структурну схему дослідження, що включає: обґрунтування актуальності проблеми досліджень, визначення мети, постановку завдань і шляхів їх вирішення; аналіз існуючих методів формування композиційних покриттів та вибір складу композиційного матеріалу. Запропоновано розрахункову схему взаємозв'язку параметрів нанесення композиційних покриттів з його фізико-механічними властивостями.

Список літератури

1. Покрyтия и их использование в технике. «Прочность материалов и конструкций», под ред. В.Т. Троценко К.: Академперіодика, 2006. С. 981-1074.
2. М.И. Черновол Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: Учеб. пособие. К.: Вища школа, 1992. 79 с.
3. Черновол, Ф.И. Златопольский, Л.А. Лопата. Современные материалы для восстановления и упрочнения деталей машин: Учебн. пособие. Кировоград: 1994. 83 с.
4. Yoshil Tatsuо, Saito Yasuyuki, Onishi Hisao, Shinagawa Imati, Fukui Kiyoshi. Специальная высоковязкая холоднокатаная сталь для ножей сенокосилок. Сумитомо киндзоку-Sumitomo Metals. 1990. № 5. С. 71-75.
5. Kovtun V.A., Pleskachevsky Y.M., Zhirnov E.A., Shalobalov M.O. Band materials with coating based on composite powder systems. World Congress et exhibition "Powder Metallurgy-2004". (Vienna, Austria, 2004). V. 5, pp. 87-92.
6. К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.Н. Корж Інженерія поверхні. Київ: Наукова думка, 2007. 559 с.
7. Ю.А. Харламов, Н.А. Будагянц Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. Луганск: 2003, Том 1. 495 с.
8. А.Н. Шоев Научкоемкие технологии нанесения покрытий. Научкоемкие технологии в машиностроении. 2012, № 11. С. 27-33.
9. Патент №130155 Україна: В22F 7/00, С23С 30/00. Спосіб нанесення покриття з композиційного матеріалу на деталі машин. Бюл. № 22. 6 с.
10. Канарчук В.С., Посвятенко Е.К., Лопата Л.А., Шляхи удосконалення методів інженерії поверхні деталей машин. Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn robocznych samojedznych, 2000, P. 20-23.
11. Б.А. Ляшенко, Л.А. Лопата, Е.К. Соловых, А.Е. Соловых Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники интегрированными технологиями упрочняющих покрытий. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград: 2011. Вип. 41, Ч.2. С. 73-79.
12. Денисов П.И., Зуев Д.Б., Логинов В.Г. Совершенствование технологии производства ножей для кукурузоуборочных комбайнов. Теор. и прикл. пробл. развития научоемк. и малоотходн. технолог. обраб. мат. давлением: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. (30 мая – 1 июня, 1991. Винниц. политехн. ин-т. Винница). Винница: 1991. С. 40.
13. Bartecsek Roman, Mamule Zdenek Повышение качества лемехов плугов. Zvyleni kvalily plunovych capali. Nove smory tvaleni: Sb. Kont. (Ostravice, 22-24 Kvet., 1990). Ostrave: 1990. С. 218-224.
14. Пат. 2119414 Способ и устройство для электроискрового нанесения покрытий, В23Н 9/00. Оpubл. 27.09.98. БИ №27.
15. Пат. 2146581. Устройство для электроискрового легирования. В23Н 9/00. Оpubл. 20.03.2000. БИ №8.
16. Сорока Е.Б. Пути повышения самоорганизации системы основа-покрытие. Прочность материалов и элементов конструкций: Труды международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика НАН Украины Г.С. Писаренко, (28-30 сентября 2010 г. Киев). Киев: 2011. С. 561-573.
17. Материал "подложка-покрытие" с позиций системного анализа. Composition "substrate-coating" from the position of system analysis. Metalurgija (Zagreb). 2012. 51, №3. С. 387.

O. O. MIKOSIANCHYK, V. B. SHAMRAI

INCREASING THE PERFORMANCE PROPERTIES OF AGRICULTURAL EQUIPMENT PARTS WITH COMPOSITE COATINGS

The work is devoted to the solution of the scientific and technical problem of ensuring the reliability of the details of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines by using composite coatings. It is substantiated that among the methods of applying composite coatings, the method of electrospark alloying is the most common, the cheapest and the simplest.

Based on the results of the conducted research, the effectiveness of applying composite coatings to increase the wear resistance of parts of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines is shown. The main principles of improving the operational properties of parts of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines are proposed, reflecting the functional, material, technical and technological aspects of their strengthening by applying composite coatings. The implementation of the proposed principles is based on the analysis of the structural features of the details of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines and the composition of the composite material and the method of applying the coating, which will allow solving the task..

To solve the problem of increasing wear resistance, operational properties and increasing the service life of parts of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines, a structural scheme of research is presented, which includes: substantiating the relevance of the research problem, defining the goal, setting tasks and ways to solve them; analysis of existing methods of forming composite coatings and selection of the composition of the composite material. A calculation scheme for the relationship between the parameters of composite coating application and its physical and mechanical properties is proposed.

Based on the results of the research on the wear resistance of parts of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines with composite coatings, the feasibility of using the electrospark alloying method for applying composite coatings is substantiated. Increasing the wear resistance and operational properties of parts of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines by applying composite coatings has made it possible to solve the problem of ensuring their service life, which is not inferior to the service life of new parts.

Keywords: details of agricultural machinery and working bodies of agricultural machines, composite coatings, performance properties, wear resistance, electrospark alloying, composite materials.

Referenses

1. Pokrytyia y ykh yspolzovanye v tekhnike. «Prochnost materyalov y konstruktsyi», pod red. V.T. Troshchenko K.: Akademperryodyka, 2006.S. 981-1074.
2. M.Y. Chernovol Uprochnenye y vosstanovlenye detalei mashyn kompozytsyonnykh pokrytyami: Ucheb. posobye. K.: Vyshcha shkola, 1992. 79 s.
3. Chernovol, F.Y. Zlatopolskyi, L.A. Lopata. Sovremennye materyaly dlia vosstanovleniya y uprochneniya detalei mashyn: Uchebn. posobye. Kyrovohrad: 1994. 83 s.
4. Yoshil Tatsuo, Saito Yasuyuki, Onishi Hisao, Shinagawa Imati, Fukui Kiyoshi. Spetsyalnaia vysokoviazkaia kholodnokatanaiia stal dlia nozhei senokosylok. Cumyতোমো কয়ডকু-Sumitomo Metals. 1990. № 5. S. 71-75.
5. Kovtun V.A., Pleskachevsky Y.M., Zhirnov E.A., Shalobalov M.O. Band materials with coating based on composite powder systems. World Congress et exhibition “Powder Metallurgy-2004”. (Vienna, Austria, 2004). V. 5, pp. 87-92.
6. K.A. Yushchenko, Yu.S. Borysov, V.D. Kuznetsov, V.N. Korzh Inzheneriia poverkhni. Kyiv: Naukova dumka, 2007. 559 s.
7. Yu.A. Kharlamov, N.A. Budahiants Osnovy tekhnolohyy vosstanovleniya y uprochneniya detalei mashyn. Luhansk: 2003, Tom 1. 495 s.

8. A.N. SHoiev Naukoemkie tekhnologii naneseniya pokrytij. Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii. 2012, № 11. S. 27-33.
9. Patent №130155 Ukraïna: B22F 7/00, C23C 30/00. Sposib nanesennya pokryttya z kompozitsijnogo materialu na detali mashin. Byul. № 22. 6 s.
10. Kanarchuk V.Ie., Posviatenko E.K., Lopata L.A., Shliakhy udoskonalennia metodiv inzhenerii poverkhni detalei mashyn. Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn robocznych samojezdnych, 2000, P. 20-23.
11. B.A. Liashenko, L.A. Lopata, E.K. Solovykh, A.E. Solovykh Povyshenye dolhovechnosti bystroyznashyvaemykh detalei rabochykh orhanov selskokhoziaistvennoi tekhniky yntehyrovannymy tekhnolohiyamy uprochniaiushchykh pokrytyi. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Kirovohrad: 2011. Vyp. 41, Ch.2. S. 73-79.
12. Denysov P.Y., Zuev D.B., Lohynov V.H. Sovershenstvovanye tekhnolohyy proyzvodstva nozhei dlia kukuruzouborochnykh kombainov. Teor. y prykl. probl. razvytyia naukoemk. y malootkhodn. tekhnoloh. obrab. mat. davlenym: Tez. dokl. Resp. nauch.-tekhn. konf. (30 maïa – 1 yunïa, 1991. Vynnyts. polytekh. yn-t. Vynnytsa). Vynnytsa: 1991. S. 40.
13. Bartecek Roman, Mamule Zdenek Povyshenye kachestva lemehov pluhov. Zvyleni kvalily plunovykh capali. Nove smory tvaleni: Sb. Kont. (Ostravice, 22-24 Kvet., 1990). Ostrave: 1990. C. 218-224.
14. Pat. 2119414 Sposob y ustroïstvo dlia elektroyskrovoho naneseniya pokrytyi, V23N 9/00. Opubl. 27.09.98. BY №27.
15. Pat. 2146581. Ustroïstvo dlia elektroyskrovoho lehyrovanyia. V23N 9/00. Opubl. 20.03.2000. BY №8.
16. Soroka E.B. Puty povysheniia samoorhanyzatsyy systemy osnova-pokrytye. Prochnost materyalov y elementov konstruktsyi: Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy, posviashchennoi 100-letiyu so dnia rozhdeniia akademyka NAN Ukrany H.S. Pysarenko, (28-30 sentiabria 2010 h. Kyev). Kyev: 2011. S. 561-573.
17. Materyal "podlozhka-pokrytye" s pozytsyi systemnoho analiza. Composition "substrate-coating" from the position of system analysis. Metalurgija (Zagreb). 2012. 51, №3. S. 387.

Mikosianchyk Oksana Oleksandrivna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: oksana.mikos@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2438-1333>.

Vitaliy Borusovich Shamrai - graduate student of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: 2825003@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1746-5213>.

Мікосянчик Оксана Олександрівна – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: oksana.mikos@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2438-1333>.

Шамрай Віталій Борисович – аспірант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: 2825003@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1746-5213>.