

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Научная статья
УДК 539.422.52
DOI: 10.34759/vst-2022-3-246-252

МИКРОРАЗРУШЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ АМОРФНО-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА

Иван Владимирович Ушаков¹, Аюр Дашеевич Ошоров² ✉

^{1,2}Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия

¹ushakoviv@mail.ru

²oshorovayur@gmail.com ✉

Аннотация. Описана методика расчета коэффициента вязкости микроразрушения многослойного композиционного соединения *твердые металлические пленки — полимерный материал*. Вязкость микроразрушения определяется при анализе системы трещин, сформированной в условиях локального нагружения пирамидкой Виккерса многослойного композита. Обсуждены требования к расчетным формулам для различных случаев. Рассмотрена специфика его расчета для симметричных и несимметричных отпечатков от пирамидки Виккерса. Показано, что при использовании предложенных формул и алгоритмов метод выявления вязкости микроразрушения может быть использован для многослойных композиционных соединений.

Ключевые слова: микроразрушение композитов, многослойный композит, микроиндентирование композитов, вязкость микроразрушения

Для цитирования: Ушаков И.В., Ошоров А.Д. Микроразрушение многослойного композита на основе аморфно-нанокристаллического металлического сплава // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 3. С. 246-252. DOI: 10.34759/vst-2022-3-246-252

METALLURGY AND MATERIAL SCIENCE

Original article

MICRO-FRACTURE OF MULTILAYER COMPOSITES BASED ON AMORPHOUS-NANOCRYSTALLINE METAL ALLOY

Ivan V. Ushakov¹, Ayur D. Oshorov² ✉

^{1,2}National University of Science and Technology “MISIS”,
Moscow, Russia

¹ushakoviv@mail.ru

²oshorovayur@gmail.com ✉

Abstract

The properties of thin hard films with a thickness of about 30 μm deposited on a polymer coating take a significant effect on the operation properties of such composite compounds. At the same time, there are no reliable and generally accepted methods for revealing the mechanical properties of such composite compounds and their claddings, especially for the case of multilayer coatings. The mechanical tests method, which is rather sensitive to the properties of these materials, is required for the quality control of such coatings. A special method for micro-fracture viscosity at the local loading with the Vickers pyramid was tested earlier for the single-layer composite compound.

The presented study describes a new method for the micro-fracture viscosity coefficient computing of the multilayer composite compounds. The composite compound consists of the thin hard nano-crystalline metallic films and polymeric material. The micro-fracture viscosity of a multilayer composite is being determined by analyzing the features of the system of cracks formed under local loading by the Vickers pyramid. The authors show that the recommended formulas and algorithms for the micro-fracture viscosity determining may be employed for multilayer composites mechanical tests. It is demonstrated that the micro-fracture viscosity determining of the two-layer amorphous-nano-crystal film compounds may be applied to the multi-layer composite compounds with account for correction of the fracture micro-patterns analysis method and computational formulas.

Based on the experimental data, specificity of determining the coating micro-fracture viscosity of the multi-layer composite compounds is considered for the cases when local loading with the Vickers pyramid does not allow creating the standard pattern of cracks, united into symmetrical nested figures.

The article proposes the technique and formulas for micro-fracture viscosity calculation for the cases of linear and exponential dependence of the bulge height on loading on the indenter. Specifics of the micro-fracture viscosity coefficient calculating of multi-layer composite compounds when the bulge height depends non-monotonically on the loading on the indenter, which is the feature of many multilayer composite compounds is being considered separately.

Keywords: micro-fracture of composites, multilayer composite, microindentation of composites, microfracture viscosity

For citation: Ushakov I.V., Oshorov A.D. Micro-Fracture of Multilayer Composites Based on Amorphous-Nanocrystalline Metal Alloy. *Aerospace MAI Journal*, 2022, vol. 29, no. 3, pp. 246-252. DOI: 10.34759/vst-2022-3-246-252

Введение

Широкое применение композиционных материалов в авиационной промышленности [1–3] связано в первую очередь с появлением технологий создания композиционных соединений с хорошими механическими свойствами. По ряду характеристик композиционные материалы намного превосходят традиционные [4–7]. Мировой рынок композитов динамично развивается, высокие темпы развития определяются широким спектром их свойств [8–11]. Такие материалы широко используются в авиастроительстве за счет высоких прочностных характеристик и низкого удельного веса. Применение композиционных соединений существенно снижает вес конструкции, не снижая его прочность, что позволяет увеличить массу полезной нагрузки [12–15].

Данная задача является актуальной для современной аэрокосмической промышленности Российской Федерации, где на данный момент ведутся работы по импортозамещению композиционных материалов.

Для разработки новых композиционных материалов и определения режимов их эксплуатации требуется уметь проводить корректные измерения механических свойств. Ввиду специфики композитов традиционные методы механических испытаний, разработанные для традиционных материалов, могут показывать некорректные результаты [16, 17].

В [18, 19] разработан метод механических испытаний для поверхностных покрытий, которые являются слишком тонкими для традицион-

ных методов механических испытаний; здесь также предложены формулы, позволяющие проводить расчет микротвердости и вязкости микро-разрушения на основе экспериментальных изменений. Твердость пленки находится по формуле, в которой учитываются ее толщина, микротвердость композитного соединения и микротвердость подложки, на которой установлена пленка.

Также известен метод [20] выявления вязкости микро-разрушения тонких твердых пленок на полимерной подложке. Суть метода заключается в формировании симметричных микрокартин, образованных трещинами. Микротрещины формируют специфические фигуры в виде вложенных квадратов в месте воздействия пирамидки Виккерса. По этому методу рассчитывают коэффициент вязкости микро-разрушения покрытия [20].

Однако данный метод предназначен для исследования материалов, имеющих однослойное покрытие, в то время как многие композиционные соединения являются многослойными либо состоят из нескольких материалов, расположенных в определенном порядке (или случайным образом) [18]. В работе [19] проведены испытания двухслойных композиционных соединений: две твердые плёнки разделены полимерным материалом и размещены на полимерной подложке. Результаты показали, что в условиях локального нагружения возможно формирование систем трещин в виде вложенных квадратов, однако количество таких трещин существенно меньше, чем в [16, 17]. Применение для таких материалов метода механических испытаний, предложенного в [16, 17], будет давать существенные погрешности. Следовательно, для разработки метода механических испытаний, позволяющего выявлять вязкость микро-разрушения двухслойных композиционных соединений *твердые пленки – полимерная прослойка и полимерное основание* требуются дополнительные исследования.

Таким образом, исследование специфики микро-разрушения и разработка специализированного метода механического испытания является целью данной работы.

Методика эксперимента

Исследование проводилось на аморфном сплаве марки 82К3ХСР. Для формирования нанокристаллической структуры аморфный сплав подвергали изотермическому отжигу. На основе нанокристаллических металлических пленок со-

здавали двухслойный композит с полимером марки HB BODY PRO F 211. Аморфно-нанокристаллические пленки склеивали с помощью данного полимера, а далее образцы склеивали с металлическим основанием. Методика создания двухслойного композитного соединения описана в работе [19]. Механические испытания проводили на твердомере ПМТ-3, в качестве индентора использовали пирамидку Виккерса.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

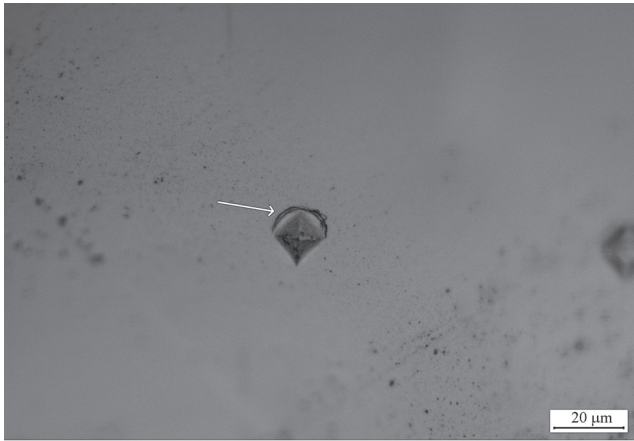
Экспериментально установлены закономерности разрушения двухслойного композиционного соединения. При нагрузках до 1 Н вокруг отпечатка микротрещины практически не возникают. При увеличении нагрузок фиксируется возникновение радиальных микротрещин (рис. а) и микротрещин в виде полуколец, опоясывающих отпечаток (рис. б); микротрещин в виде вложенных квадратов (характерных для однослойного композиционного соединения) не возникало. Таким образом, стандартная методика определения вязкости микро-разрушения [17] оказывается непригодной.

В работе [19] была предложена следующая формула для определения коэффициента вязкости микро-разрушения для двухслойных композиционных соединений:

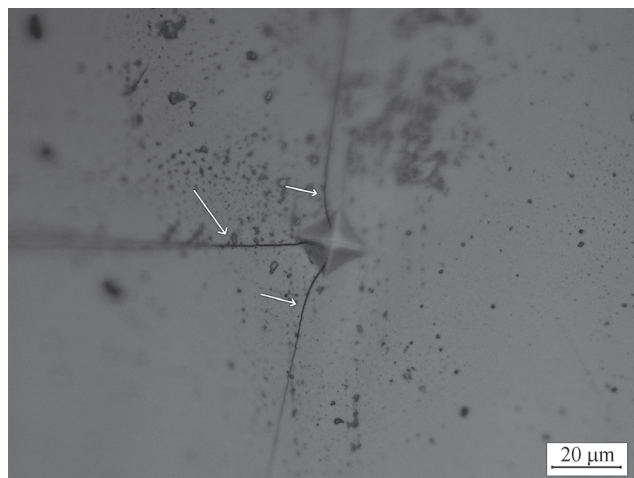
$$\psi_B = A \frac{24,5d^2}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1)$$

где A — работа, совершаемая индентором; d — диаметр отпечатка; l_i — длина трещин.

Однако данная формула была приведена без анализа некоторых явлений, сопровождающих процесс формирования отпечатка. Не были подробно описаны действия по определению работы, совершаемой индентором. В [19] предлагается уточнить расчет коэффициентов, входящих в формулу (1). Работа, совершаемая индентором при вдавливании, определяется как $A = Fs \cos \alpha$, где F — сила вдавливания; s — глубина вдавливания индентора; α — угол между ними. В случае когда они направлены в одну сторону, α равен 0. Отметим, что для композиционных соединений, включающих в себя прочные твердые пленки, расположенные под углом к горизонтальной поверхности, возможна ситуация, когда результирующая сил составляет угол α с направлением перемещения пирамидки. В данном



а)



б)

Характерные разновидности систем трещин при микроиндентировании пирамидкой Виккерса: а — трещины в виде полукольца, опоясывающего отпечаток; б — радиальные трещины

случае сила вдавливания F является некоторой функцией глубины вдавливания. Для случая линейной зависимости $F = ks$, где k — коэффициент пропорциональности, равный отношению приращения силы вдавливания к глубине вдавливания, за которое произошло это приращение $k = \Delta F / \Delta s$. Тогда $dA = ksds$, а работа будет равна

$$A = k \int_{s_1}^{s_2} s ds = \frac{1}{2} k (s_2^2 - s_1^2) = \frac{1}{2} ks_2^2.$$

Индентирование двухслойных и многослойных композиционных соединений имеет определенные особенности. В частности, для ряда композитов очень трудно или невозможно получить симметричные отпечатки. В этой связи методи-

ка механических испытаний требует учета симметрии при расчете величины x .

В случае индентирования пирамидкой Виккерса и формирования симметричного отпечатка в виде квадрата для расчета микротвердости материала используют диагональ отпечатка. Из геометрических расчетов выразим глубину вдавливания:

$$s = \frac{d}{2\sqrt{2}\text{tg}\left(\frac{\lambda}{2}\right)} = \frac{d}{2\sqrt{2}\text{tg}(68^\circ)} = \frac{d}{7,00060279}.$$

При индентировании пирамидкой Виккерса и образовании симметричного отпечатка в виде квадрата, глубина вдавливания будет меньше ее диагонали в ~ 7 раз, а в случае индентирования пирамидкой Виккерса и формирования несимметричного отпечатка в формуле (2) стоит взять большую величину диагонали.

При линейной зависимости силы (меняется от 0 до F_{\max}) от глубины вдавливания (от 0 до x_2) получаем

$$A = \frac{1}{2} \frac{F_{\max}}{x_2} s_2^2 = \frac{F_{\max} s_2}{2},$$

и, соответственно, работу можно определить следующим образом:

$$A = \frac{F_{\max} \frac{d}{7}}{2} = \frac{F_{\max} d}{14}. \quad (2)$$

В формулу (1) для определения ψ_B — коэффициента вязкости микроразрушения для двухслойных композиционных соединений — подставляем формулу (2):

$$\psi_B = \frac{F_{\max} d}{14} \cdot \frac{24,5d^2}{\sum_{i=1}^n l_i} = 1,75 \frac{Fd^3}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (3)$$

Из экспоненциальной зависимости силы от глубины вдавливания $F = e^s$ следует, что $dA = e^s ds$. В окончательном виде работа будет равна

$$A = \int_{s_1}^{s_2} e^s ds = e^{s_2} - e^{s_1} = e^{s_2} - 1 = e^{\frac{d}{7}} - 1.$$

Далее рассчитанную работу при экспоненциальной зависимости силы от глубины вдавливания подставляем в формулу (1):

$$\Psi_B = \left(e^{\frac{d}{7}} - 1 \right) \frac{24,5d^2}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (4)$$

Для сложных зависимостей глубины вдавливания от силы, действующей на индентор, рекомендуется использовать устройство, позволяющее в автоматическом режиме записывать информацию о глубине вдавливания индентора и силе вдавливания, при этом проводить расчет численным методом, например, по приведенному алгоритму:

$$A = \sum_{i=1}^N F_i \Delta s_i,$$

где $s_i = \frac{s}{N} = \text{const}$.

Для $i \geq 1$ должно выполняться условие

$$\frac{F_i}{F_{i-1}} \in \{a, b\},$$

где шаг Δx_i и коэффициенты a и b подбираются по стандартной методике таким образом, чтобы повысить точность расчета. Например, коэффициенты могут быть $a = 0,9$ и $b = 1,1$ для некоторого шага Δs_i .

Выполнение критерия $\frac{F_i}{F_{i-1}} \in \{a, b\}$ позволяет исключить возможность скачкообразного изменения силы F между точками s_{i-1} и s_i , что может негативно сказаться на точности. Если критерий $\frac{F_i}{F_{i-1}} \in \{a, b\}$ не выполняется, шаг s_i следует сократить, например, вдвое.

Выводы

1. Исследована специфика микроразрушения внешней тонкой аморфно-нанокристаллической пленки многослойного композиционного соединения. Показано, что метод определения вязкости микроразрушения двухслойных соединений *аморфно-нанокристаллическая металлическая пленка – полимер* может быть использован для многослойных композиционных соединений, с учетом коррекции метода анализа микрокартин разрушения и расчетных формул.

2. На основании экспериментальных данных рассмотрена специфика определения вязкости микроразрушения покрытия многослойных композиционных соединений в тех случаях, когда локальное нагружение пирамидкой Виккерса не позволяет создать стандартную картину из трещин, объединенных в симметричные вложенные фигуры.

3. Предложена методика и формулы расчета коэффициента вязкости микроразрушения для случаев линейной и экспоненциальной зависимости глубины вдавливания от нагрузки на индентор. Отдельно рассматривается специфика расчета коэффициента вязкости микроразрушения многослойных композиционных соединений, когда глубина вдавливания немонотонно зависит от нагрузки на индентор, что является особенностью многих многослойных композиционных соединений.

Список источников

1. Букичев Ю.С., Богданова Л.М., Спиринов М.Г., Шершнев В.А., Шилов Г.В., Джардималиева Г.И. Композиционные материалы на основе эпоксидной матрицы и наночастиц диоксида титана (IV): получение, микроструктура и свойства // Вестник Московского авиационного института. 2021. Т. 28. № 2. С. 224–237. DOI: 10.34759/vst-2021-2-224-237
2. Тудупова А.Н., Стрижиус В.Е., Бобрович А.В. Расчетно-экспериментальная оценка ресурсных характеристик композитных панелей крыла самолета транспортной категории // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 4. С. 21–29. DOI: 10.34759/vst-2020-4-21-29
3. Бохоева Л.А., Балданов А.Б., Чермошенцева А.С. Разработка оптимальной конструкции многослойной консоли крыла беспилотного летательного аппарата с экспериментальным подтверждением // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 1. С. 65–75. DOI: 10.34759/vst-2020-1-65-75
4. Shinkin V.N. Springback coefficient of round steel beam under elastoplastic torsion // CIS Iron and Steel Review. 2018. Vol. 15. No. 1, pp. 23–27. DOI: 10.17580/cisisr.2018.01.05
5. Shinkin V.N. Simple analytical dependence of elastic modulus on high temperatures for some steels and alloys // CIS Iron and Steel Review. 2018. Vol. 15. No. 1, pp. 32–38. DOI: http://dx.doi.org/10.17580/cisisr.2018.01.07
6. Lawn B.R., Marshall D.B. Hardness, Toughness, and Brittleness: An Indentation Analysis // Journal of the American Ceramic Society. 2010. Vol. 62. No. 7–8, pp. 347–350. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1979.tb19075.x

7. Zok F.W., Collier V.E., Begley M.R. Coating recession effects in ceramic composite strength // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 2021. Vol. 156: 104608. DOI: 10.1016/j.jmps.2021.104608
8. Bannykh O.A., Sheftel E.N., Krikunov A.I., Kaputkin D.E., Usmanova G.Sh. Thin film soft magnetic Fe-Zr-Al-N-O alloys // *Materials Science Forum*. 2001. Vols. 373-376, pp. 777-780. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.373-376.777
9. Капуткин Д.Е. Изменение структуры субмикрористаллических электроосажденных многослойных материалов Fe-Ni при термической и химико-термической обработках // *Металлы*. 2007. № 1. С. 83-86.
10. Nie J., Wang J., Gou S., Zhu Y., Fan J. Technological development and engineering applications of novel steel-concrete composite structures // *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2019. Vol. 13. No. 11. DOI: 10.1007/s11709-019-0514-x
11. Wang J., Li L., Lin P., Wang J. Effect of TiC particle size on the microstructure and tensile properties of TiCp/Ti6Al4V composites fabricated by laser melting deposition // *Optics & Laser Technology*. 2018. Vol. 105, pp. 195-206. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.03.009
12. Zhou K., Sun H., Enos R., Zhang D., Tang J. Harnessing deep learning for physics-informed prediction of composite strength with microstructural uncertainties // *Computational Materials Science*. 2021. Vol. 197: 110663. DOI: 10.1016/j.commatsci.2021.110663
13. Коноваленко И.С., Шилько Е.В., Овчаренко В.Е., Псахье С.Г. Исследование структурных факторов, обеспечивающих повышение механических свойств поверхностных слоев, модифицированных импульсным электронно-пучковым облучением // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2019. Т. 21. № 1. С. 93-107. DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.1-93-107
14. Новиков Е.В., Лахно А.В., Шаманов Р.С. Влияние структуры на прочностные характеристики композиционных материалов и изделий машиностроения // *Международный технико-экономический журнал*. 2018. № 5. С. 66-71.
15. Соколова С.В. Повышение физико-термических свойств жаростойких композитов // *Новые материалы и технологии в машиностроении*. 2019. № 29. С. 142-145.
16. Ушаков И.В., Сафронов И.С. Способ определения пластических характеристик пленок многокомпонентных аморфно-нанокристаллических металлических сплавов. Патент RU 2494039 С1. Бюл. № 27, 27.09.2013.
17. Ушаков И.В., Батомункуев А.Ю. Способ определения коэффициента вязкости микроразрушения тонких пленок из многокомпонентных аморфно-нанокристаллических металлических сплавов (варианты). Патент RU 2561788 С1. Бюл. № 25, 10.09.2015.
18. Ushakov I.V., Oshorov A.D. Viscosity of microdestruction of multilayer composite and method of its revealing // *Materials Science Forum*. 2022. Vol. 1052, pp. 110-115. DOI: 10.4028/p-5q4060
19. Ушаков И.В., Ошоров А.Д. Физические закономерности деформирования и разрушения двухслойного композиционного соединения полимер – нанокристаллическая металлическая пленка в условиях локального нагружения пирамидкой Виккерса // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2021. Т. 11. № 4. С. 95–107. DOI: 10.21869/2223-1528-2021-11-4-95-1076
20. Jönsson B., Hogmark S. Hardness measurements of thin films // *Thin Solid Films*. 1984. Vol. 114. No. 3, pp. 257-269. DOI: 10.1016/0040-6090(84)90123-8

References

1. Bukichev Y.S., Bogdanova L.M., Spirin M.G., Shershnev V.A., Shilov G.V., Dzhardimalieva G.I. Composite materials based on epoxy matrix and titanium dioxide (IV) nanoparticles: synthesis, microstructure and properties. *Aerospace MAI Journal*, 2021, vol. 28, no. 2, pp. 224-237. DOI: 10.34759/vst-2021-2-224-237
2. Tudupova A.N., Strizhius V.E., Bobrovich A.V. Computational and experimental evaluation of fatigue life characteristics of the transport category aircraft composite wing panels. *Aerospace MAI Journal*, 2020, vol. 27, no. 4, pp. 21-29. DOI: 10.34759/vst-2020-4-21-29
3. Bokhoeva L.A., Baldanov A.B., Chermoshentseva A.S. Optimal structure of multi-layer wing console of unmanned aerial vehicle with experimental validation. *Aerospace MAI Journal*, 2020, vol. 27, no. 1, pp. 65-75. DOI: 10.34759/vst-2020-1-65-75
4. Shinkin V.N. Springback coefficient of round steel beam under elastoplastic torsion, *CIS Iron and Steel Review*, 2018, vol. 15, no. 1, pp. 23-27. DOI: 10.17580/cisisr.2018.01.05
5. Shinkin V.N. Simple analytical dependence of elastic modulus on high temperatures for some steels and alloys. *CIS Iron and Steel Review*, 2018, vol. 15, no. 1, pp. 32-38. DOI: http://dx.doi.org/10.17580/cisisr.2018.01.07
6. Lawn B.R., Marshall D.B. Hardness, Toughness, and Brittleness: An Indentation Analysis. *Journal of the American Ceramic Society*, 2010, vol. 62, no. 7-8, pp. 347-350. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1979.tb19075.x
7. Zok F.W., Collier V.E., Begley M.R. Coating recession effects in ceramic composite strength. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2021, vol. 156: 104608. DOI: 10.1016/j.jmps.2021.104608

8. Bannykh O.A., Sheftel E.N., Krikunov A.I., Kaputkin D.E., Usmanova G.Sh. Thin film soft magnetic Fe-Zr-Al-N-O alloys. *Materials Science Forum*, 2001, vols. 373-376, pp. 777-780. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.373-376.777
9. Kaputkin D.E. *Metally*, 2007, no. 1, pp. 83-86.
10. Nie J., Wang J., Gou S., Zhu Y., Fan J. Technological development and engineering applications of novel steel-concrete composite structures. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 2019, vol. 13, no. 11. DOI: 10.1007/s11709-019-0514-x
11. Wang J., Li L., Lin P., Wang J. Effect of TiC particle size on the microstructure and tensile properties of TiCp/Ti6Al4V composites fabricated by laser melting deposition. *Optics & Laser Technology*, 2018, vol. 105, pp. 195-206. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.03.009
12. Zhou K., Sun H., Enos R., Zhang D., Tang J. Harnessing deep learning for physics-informed prediction of composite strength with microstructural uncertainties. *Computational Materials Science*, 2021, vol. 197: 110663. DOI: 10.1016/j.commatsci.2021.110663
13. Konovalenko I.S., Shil'ko E.V., Ovcharenko V.E., Psakh'e S.G. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 93-107. DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.1-93-107
14. Novikov E.V., Lakhno A.V., Shamanov R.S. *Mezhdunarodnyi tekhniko-ekonomicheskii zhurnal*, 2018, no. 5, pp. 66-71.
15. Sokolova S.V. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii*, 2019, no. 29, pp. 142-145.
16. Ushakov I.V., Safronov I.S.. *Patent RU 2494039 C1*, 27.09.2013.
17. Ushakov I.V., Batomunkuev A.Yu. *Patent RU 2561788 C1*, 10.09.2015.
18. Ushakov I.V., Oshorov A.D. Viscosity of microdestruction of multilayer composite and method of its revealing. *Materials Science Forum*, 2022, vol. 1052, pp. 110-115. DOI: 10.4028/p-5q4060
19. Ushakov I.V., Oshorov A.D. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 95-107. DOI: 10.21869/2223-1528-2021-11-4-95-1076
20. Jönsson B., Hogmark S. Hardness measurements of thin films. *Thin Solid Films*, 1984, vol. 114, no. 3, pp. 257-269. DOI: 10.1016/0040-6090(84)90123-8

Статья поступила в редакцию 20.05.2022; одобрена после рецензирования 25.05.2022; принята к публикации 28.06.2022.

The article was submitted on 20.05.2022; approved after reviewing on 25.05.2022; accepted for publication on 28.06.2022.