

УДК 621.7937

РОЛЬ ПОДСЛОЕВ В ПОВЫШЕНИИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

ВАШКЕВИЧ Ф.Ф.¹, к.т.н, доцент,
СПИЛЬНЫЙ А.Я.², к.т.н, доцент,
ЗАГОРОДНИЙ А.Б.³, ассистент,
ЖУРАВЕЛЬ В.И.⁴, ст.н.с..

¹Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0003-0962-0890.

² Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 778-99-14, e-mail: anatolyspl@gmail.com., ORCID ID: 0000-0002-4931-9675.

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-4158-1740.

⁴ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-82, e-mail: Zhuravel,39@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-9501-5106.

Аннотация. Цель. На основе анализа жаростойкости двух термозащитных композиционных покрытий, состоящих из двух слоёв (первое покрытие: подслоя ПН70Ю30 + основное защитное покрытие $ZrO_2 + 10\% Ni$ и второе покрытие : подслоя $CoCrAlY$ + защитное покрытие $Al_2O_3+Cr_2O_3$) предложить лучшее для защиты камер сгорания газотурбинных двигателей . Покрытие наносить газотермическим напылением.**Методика.** Жаростойкость покрытий определяли по общепринятым методикам. Жаростойкость оценивали по привесу образца при его выдержке при температуре 1000 °С в течении 5 часов. Цикл повторяли в течении 3 раз.**Результаты.** Дан сравнительный анализ жаростойкости сплавов типа ЭП-648 и ЭИ-868, жаростойкости подслоев типа ПН70Ю30 и $CoCrAlY$, а также основного защитного покрытия типа $ZrO_2 + 10\%Ni$ и $Al_2O_3+Cr_2O_3$. Показано, что для защиты камер сгорания газотурбинных двигателей необходимо применять плазменное композиционное покрытие , состоящее из подслоя $CoCrAlY$ и основного покрытия шпинели $Al_2O_3+Cr_2O_3$. **Научная новизна.** Получены новые научные данные о применении термозащитных композиционных покрытий камер сгорания газотурбинных двигателей и определены теплотехнические свойства. **Практическая значимость.** Установлены и исследованы и опробованы новые материалы для термозащитных композиционных покрытий камер сгорания газотурбинных двигателей и даны рекомендации по внедрению теплозащитных покрытий в производство.

Ключевые слова: плазменное напыление, никелевый сплав, жаростойкость, камера сгорания, газотурбинный двигатель.

РОЛЬ ПІДСЛАВІВ В ПІДВИЩЕННІ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

ВАШКЕВИЧ Ф.Ф.¹, к.т.н, доцент,
СПІЛЬНИК А.Я.^{2*}, к.т.н, доцент,
ЗАГОРОДНИЙ О.Б.³, асистент.,
ЖУРАВЕЛЬ В.І.⁴, ст.н.с.

¹Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0003-0962-0890.

² Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 778-99-14, e-mail: anatolyspl@gmail.com., ORCID ID: 0000-0002-4931-9675.

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-4158-1740.

⁴ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-82, e-mail: Zhuravel,39@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-9501-5106.

Анотація. Мета. На основі аналізу жаростійкості двох термозахисних композиційних покриттів складених з двох шарів (перше покриття: підшар ПН70Ю30 + основне захисне покриття $ZrO_2 + 10\% Ni$ та друге покриття: підшар $CoCrAlY$ +

захисне покриття $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$) запропонувати краще для захисту камер згоряння газотурбінних двигунів. Нанесення покриття газотермічним напиленням. **Методика.** Жаростійкість покриттів визначали по загальноприйнятим методикам Жаростійкість оцінювали по привісу зразка при його витримці при температурі $1000\text{ }^\circ\text{C}$ на протязі 5 годин. Цикл повторяли 3 рази. **Результати.** Виконано порівняльний аналіз жаростійкості сплавів типу ЭП 648 та ЭИ 868, жаростійкості підшарів типу ПН70Ю30 та CoCrAlY , а також основного захисного покриття типу $\text{ZrO}_2 + 10\%\text{Ni}$ і $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$. Показано, що для захисту камер згоряння газотурбінних двигунів необхідно застосувати плазмове композиційне покриття з підшару CoCrAlY та основного покриття шпінелі $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$. **Наукова новизна.** Отримані нові наукові дані по використанню термозахисних композиційних покриттів камер згоряння газотурбінних двигунів та визначені теплозахисні властивості. **Практична значимість.** Встановлені і досліджені та випробувані нові матеріали для термозахисних композиційних покриттів камер згоряння газотурбінних двигунів та надані рекомендації по впровадженню покриттів в виробництво.

Ключові слова: плазмове напилення, жаростійкість нікелевий сплав, камери згоряння, газотурбінний двигун.

THE ROLE OF SUBLAYER IN IMPROVEMENT THE THERMAL CHARACTERISTICS OF PLASMA COATINGS

VASHEKEVICH F.F.¹, Ph.D., Associate Professor,
SPILNIK A.Y., Ph.D.², Associate Professor,
ZAGORODNY O.B.³, Assistant,
ZURAVEL V.I.⁴, Ph.D.⁴, Associate Professor.

¹Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: : 0000-0003-0962-0890.

². Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 778-99-14, e-mail: anatolyspl@gmail.com., ORCID ID:; 0000-0002-4931-9675..

³. Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-4158-1740.

⁴. Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel.+38 (0562) 46-98-82, e-mail: Zhuravel,39@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-9501-5106.

Abstract. Purpose. Based on the analysis of thermally protected heat resistance of composite coating composed of two layers (first layer: underlayer ПН70Ю30 + basic protective coating $\text{ZrO}_2 + 10\% \text{Ni}$ and second layer: underlayer CoCrAlY + protective coating $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$) offer for better protection to the combustion chambers of gas turbine engines. Coating by gasthermal spraying. **Method.** Heat resistance of the coating was determined by conventional methods. Heat resistance was evaluated by weight increase per sample at his aging at $1000\text{ }^\circ\text{C}$ for 5 hours. The cycle was repeated 3 times. **Results.** A comparative analysis of heat resistance alloys ЭП 648 and ЭИ 868, heat resistance and sublayers type ПН70Ю30 and CoCrAlY , and main type of protective coating was done $\text{ZrO}_2 + 10\%\text{Ni}$ і $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$. It is shown that to protect the combustion chambers of gas turbine engines it is necessary to use plasma composition coating sublayer CoCrAlY and basic coating spinel $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$. **Scientific innovation.** Obtained new scientific data on the use of composite coatings termal protective combustion chambers and turbine engines by heat-shielding properties. **The practical significance.** Identified and studied, tested a new materials for composite coatings for termal protective combustion chambers of gas turbine engines and provided recommendations for propagation in the coating industry.

Key words: plasma spraying, heat resistance, alpaca, combustion chamber, gas turbine engine.

Введение

При повышении температуры в камере сгорания газотурбинного двигателя до $1700\text{ }^\circ\text{C}$ остро стал вопрос о выборе как материала подслоя так и основного термобарьерного покрытия[1-15]. Существующий в настоящее время подслоя из сплава на основе никель-алюминия марки ПН70Ю30 для температур $1700\text{ }^\circ\text{C}$ непригоден, потому что уже начиння с температуры $1200\text{ }^\circ\text{C}$ этот подслоя окисляется с образованием сложного окисла NiAl_2O_4 . Его образование сопровождается изменением объёма покрытия и его отслоением, а это приводит к окислению основного защитного термостойкого покрытия. Кроме того никель-алюминиевый сплав AlNi является очень хрупким интерметаллидным

соединением, что приводит к образованию трещин при знакопеременных нагрузках. Используемый в настоящее время жаростойкий композит который применяют в качестве защитного слоя – это композит из $\text{ZrO}_2 + 10\% \text{Ni}$ хорошо работает до температур $1200\text{ }^\circ\text{C}$. С повышением температуры металлическая составляющая начинает окисляться, что приводит к выходу из строя всего покрытия. Подслоя, который способен выдержать нагрев до $1400\text{ }^\circ\text{C}$ и выше разработан на основе CoCrAlY из сплава ПКХ27Ю7С3И производства НПП «Элтехмаш» г. Винница. В качестве жаростойкой керамики была апробована термостойкая шпинель $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Cr}_2\text{O}_3$, способная выдерживать температуры до $1700\text{ }^\circ\text{C}$.

Цель

Основная цель исследований – методом сравнения определить пригодность для подслоя $CoCrAlY$ и для основного теплозащитного покрытия шпинели $Al_2O_3 Cr_2O_3$ на сплавах ЭП648, ЭИ868.

Методика

Жаростойкость покрытий определяли по общепринятым методикам. Жаростойкость оценивали по привесу образца при его выдержке при температуре $1000\text{ }^\circ\text{C}$ в течении 5 часов. Цикл повторяли на протяжении 3 раз.

Результаты

Результаты исследования жаростойкости подслоя представлены в табл.1.

Таблица 1.

Результаты исследования жаростойкости 1-го слоя (подслоя) при формировании защитного двухслойного покрытия для камер сгорания ГТД*/ The study of heat resistance of the 1st layer (sub-layer) in the formation of two-layer protective coatings for turbine engine combustion chambers

№ п / п	Основной материал и № образца	Материал 1-го слоя	Привес образцов, мг	Жаростойкость $\Delta g'_{\tau}$, мг/см ²	
		Площадь напыления, см ²			
1	ЭП 648 №3	$CoCrAlY$	111,20	3,57	
			5,85	0,19	
	ЭП 648 №4		31,1	4,35	0,14
		ПН70Ю30	182,15	6,90	5,54
2	ЭИ 868 №6		32,8	4,80	0,20
		$CoCrAlY$	132,85	4,30	4,05
	ЭИ 868 №10		32,8	200,20	5,58
		ПН70Ю30	7,80	5,60	0,28
			35,87	5,60	0,20

* Примечание. Температура среды испытания $1000\pm 2,^\circ\text{C}$, время испытания 5 часов.

На рис. 1 представлена динамика изменения массы образца после испытаний на жаростойкость.

Анализ табличных (табл.1) и графических данных, представленных на рис.1, показывает, что увеличение количества термоциклов испытания для всех материалов подслоев приводит к уменьшению привеса образцов, а следовательно, и к повышению жаростойкости. При сравнении подслоя ПН70Ю30 и $CoCrAlY$ замечено, что жаростойкость $CoCrAlY$ выше на 25...30%. Это соотношение справедливо для всех материалов основы ЭП-648 и ЭИ-868. В табл.2 приведены значения жаростойкости сплавов ЭП-648 и ЭИ-868 при одинаковых условиях нагрева,

из которых видно, что жаростойкость их меняется $0,15...1,2\text{ мг/см}^2$

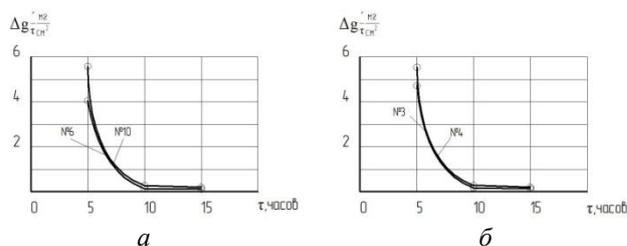


Рис.1 Динамика изменения массы образца с подслоями в зависимости от количества термоциклов испытания (термоцикл 5 часов); а - основа сплав ЭП-648; б - основа сплав ЭИ-868. Из них: № 3 и № 6 подслоя $CoCrAlY$, а № 4 и № 10 подслоя ПН70Ю30./ Changed dynamics of fire-proof compounds with underlayes sample from a dependence quantity trials thermal cycle (thermal cycles 5 hours); а - basic alloy ЭП-648; б - basic alloy ЭИ-868. From those: № 3 and № 6 underlayer $CoCrAlY$, and № 4 and № 10 underlayer ПН70Ю30.

Таблица 2

Результаты исследования на жаростойкость основного материала камеры сгорания ГТД/ The results of the heat resistance of the main turbine engine combustion chamber material

№ п / п	Основной материал и №-образца	Площадь, см ²	Температура среды испытания, $^\circ\text{C}$	Время испытания, час	Привес образцов, мг	Жаростойкость $\Delta g'_{\tau}$, мг/см ²
1	ЭП 648 №18	37,1	1000 ± 2	5	27,2	0,65
					13,1	0,35
					4,4	0,12
2	ЭИ 868 №20	31,70	1000 ± 2	5	38,25	1,21
					17,1	0,54
					5,7	0,18

Жаростойкость сплава основы влияет на жаростойкость подслоя нанесенного на соответствующий сплав и колеблется в пределах $0,12...0,2\text{ мг/см}^2$. Самой высокой жаростойкостью обладает сплав ЭИ-868. Подслоем из кобальтового сплава на сплаве ЭИ-868 обладает также высокой жаростойкостью до $0,12\text{ мг/см}^2$, т.е. в 1,7 раза выше по сравнению с подслоем из никельалюминиевого сплава на той же основе.

Результаты исследования жаростойких покрытий из шпинели $Al_2O_3+Cr_2O_3$ и $ZrO_2 + 10\% Ni$ при различных подслоях ($CoCrAlY$ и ПН70Ю30) представлены на табл.3.

Таблица 3

Результаты исследования жаростойкости защитных покрытий с подслоями для камеры сгорания ГТД*/ The results of the heat resistance of protective coatings research with underlayers for GTE* combustion chambers

№ п / п	Основной материал и № образца	Материал 1-го слоя	Материал защитного покрытия	При-вес образцов, мг	Жаростойкость $\Delta g'z$, мг/см ²
		Площадь напыления, см ²			
1	ЭП 648 №13,12	CoCrAlY	Al ₂ O ₃ + Cr ₂ O ₃	109,6	3,61
		30,37		0	0
		ПН70Ю30		164,8	5,41
		30,48	ZrO ₂ + 10%Ni	41,0	1,34
				20,0	0,66
2	ЭИ 868 №15,14	CoCrAlY	Al ₂ O ₃ + Cr ₂ O ₃	93,1	2,94
		31,68		0	0
		ПН70Ю30	ZrO ₂ + 10%Ni	158,5	5,09
		31,13		42,0	1,35
				21,0	0,67

*Примечание. Температура среды испытания 1000±2,°С, время испытания 5 часов.

Анализ данных по жаростойкости защитных покрытий с подслоями для камеры сгорания ГТД (см

табл. 3) показал, что применение защитных покрытий позволяет существенно повысить жаростойкость композиции (основа, подслои, покрытие).

При сравнении защитных покрытий Al₂O₃+Cr₂O₃ и ZrO₂ + 10 % Ni нанесенных на различные подслои можно отметить повышение жаростойкости Al₂O₃+Cr₂O₃ на 15...20 %. Такая зависимость характерна для защитных покрытий из Al₂O₃+Cr₂O₃ нанесенных на подслои из CoCrAlY по сравнению с ПН70Ю30.

Научная новизна

Получены новые научные данные о применении термозащитных композиционных покрытий камер сгорания газотурбинных двигателей.

Практическая значимость

Установлены, исследованы и опробованы новые материалы для термозащитных композиционных покрытий камер сгорания газотурбинных двигателей.

Выводы

Из условия максимальной жаростойкости определен состав композиционного термостойкого покрытия для защиты камеры сгорания газотурбинного двигателя. Это двухслойное композиционное покрытие, состоящее из подслоя материал ПКХ27Ю7С3И и основного защитного покрытия – шпинели Al₂O₃+Cr₂O₃. При этом материалом основы может быть жаростойкий сплав типа ЭП-648 или ЭИ-868.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- В.П.Лялякин, Н.Н.Литовченко., А.С.Саблуков, В.И.Денисов, В.Н.Соковцева. Физическая сущность и условия сцепления частиц металлического порошка с подложкой при газотермическом напылении //Технология металлов.-2006.-№5.С. 36-44.
- В.Г.Пейчев, С.Ю.Плинер. Повышение прочности керамики из диоксида циркония за счет эвтектидного распада твердых растворов в системе ZrO₂-MgO// Огнеупоры.-1987.-2.-С 30-31.
- Ю.С.Борисов, А.Л.Борисова. Плазменно-порошковые покрытия.-К.: Техника, 1986.-223с.
- С.С.Бартенёв, С.В.Невзоров. Некоторые технические характеристики плазменно-напыленной ZrO₂ // Неорганические материалы.-1977.- С.2187-2190.
- А.Ф.Гордеев. Подготовка поверхности под напыление //Технология металлов.-2000.№6.-С 22-27.
- Л.И.Дехтярь, А.М.Вирник, А.И.Муравьев и др. Роль технологии в повышении качества плазменно-напыленной двуокиси циркония // Теория и практика газотермического нанесения покрытий.-Рига :Зинатие.-1980.-С.19-22
- Б.М.Захаров, М.Г.Трофимов. Влияние степени расплавления двуокиси циркония на её адгезию при плазменном нанесении покрытий // Порошковая металлургия.-1970.-№3.-С51-56.
- Ю.С.Елисеев,Н.В.Абрамов,В.В.Крымов. Химико-термическая обработка и защитные покрытия в авиадвигателестроении.-М.:Высшая школа, 1999.-256 с.
- V.S.Stubican, J.R.Hellman. Phase Equilibria in some Zirconia System, Science and Technology of Zirconia, vol. 3, 1981, p. 25. arxiv.org/pdf/cond-mat/0002185
- Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов, С.П.Сидоренко, Е.Н.Ардатовская. Газотермические покрытия из порошковых материалов.Справочник. Киев, Наукова думка, 1987. с. 543.
- Г.Г.Максимович, В.Ф.Шатинский, В.И.Копылов. Физикохимические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями. Киев, Наукова думка, 1983. с. 35-72.
- А.Хасуй ,О.Моригаки. Наплавка и напыление.-М.:Машиностроение, 1985.-237с.
- Химушкин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы, М.: Металлургия, 1969, 596с.
- В.В.Кудинов.Плазменные покрытия.-М.:Наука, 1977.-270с.
- Большаков В.І., Веселова.С.І., Загородній О.Б. Вплив відпалу на фазовий склад ущільнювального покриття на основі АФС (алюмофосфатної сполуки) // Металознавство та термічна обробка металів. Науковий вісник.№4 (71) Дніпропетровськ, 2015. с 20-26.

REFERENCES

1. V.P.Lyalyakin, N.N.Litovchenko., A.S.Sablukov, V.I.Denisov, V.N.Sokovceva. *Fiziseskaya sushhnost' i usloviya scepheniya chastic metallicheskogo poroshka s podlozhkoj pri gazotermicheskom napy'lenii* [The physical nature and conditions of adhesion of the metal powder particles with a substrate during thermal spraying]//*Texnologiya metallov.*-2006.-№5.S. 36-44.
Available at: <http://hvof.org/theory/gptstructure/>.
2. V.G.Pejchev, S.Yu.Pliner. *Povyshenie prochnosti keramiki iz dioksida cirkoniya za schet e'vtektoidnogo raspada tverd'x rastvorov v sisteme ZrO2-MgO* [Increasing the strength of ceramics from zirconium dioxide by eutectoid decomposition of solid solutions in the system ZrO2-MgO]// *Ogneupory'.*-1987.-2.-S 30-31.
Available at: www.dissercat.com/.../ogneupory-na-osnove-si..
3. Yu.S.Borisov. A.L.Borisova. *Plazmenno-poroshkovy'e pokry'tiya.*[Plasma-powder coatings]-K.: Tekhnika, 1986.-223s.
Available at: <http://tpz.vntu.edu.ua/files/8C.pdf>
4. S.S.Bartenyov, S.V.Nevzorov. *Nekotory'e texnicheskie xarakteristiki plazmenno-napy'lennoj ZrO2* [Some technical characteristics of plasma sprayed ZrO2]// *Neorganicheskie materialy'.*-1977.- S.2187-2190.
Available at: <https://acawk.com/.../izvestiya-an-sssr-neorgani..>
5. A.F.Gordeev.*Podgotovka poverxnosti pod napy'lenie* [Surface preparation for spraying]//*Texnologiya metallov.*-2000.№6.-S 22-27.
Available at: www.dissercat.com/.../zakonomernosti-formiro...
6. L.I.Dextyar', A.M.Virnik, A.I.Murav'ev i dr. *Rol' texnologii v povyshenii kachestva plazmenno-napy'lennoj dnuokisi cirkoniya* [The role of technology in improving the quality of plasma-sprayed zirconia]// *Teoriya i praktika gazotermicheskogo naneseniya pokry'tij.* [Theory and practice of thermal coating]-Riga :Zinatie.-1980.-S.19-22.
Available at: www.dissercat.com/.../povyshenie-dolgovechn..
7. B.M.Zaharov, M.G.Trofimov. *Vliyanie stepeni rasplavleniya dnuokisi cirkoniya na eyo adgeziyu pri plazmennom nanesenii pokry'tij* [Effect of the degree of melting of zirconium dioxide on its adhesion during plasma coating]// *Poroshkovaya metallurgiya.*-1970.-№3.-S51-56.
Available at: www.dissercat.com/.../tehnologiya-polucheni..
8. Yu.S.Eliseev,N.V.Abramov,V.V.Kry'mov. *Ximiko-termicheskaya obrabotka i zashhitny'e pokry'tiya v aviadvigatelestroenii.* [Chemical heat treatment and protective coatings in aircraft engine]-M.:Vy'sshaya shkola, 1999.-256 s.
Available at: webirbis.mubint.ru/.../cgiirbis_64.exe?
9. V.S.Stubican, J.R.Hellman. Phase Equilibria in some Zirconia System, *Science and Technology of Zirconia*, vol. 3, 1981, p. 25.
Available at: arxiv.org/pdf/cond-mat/0002185
10. Yu.S.Borisov, Yu.A.Xarlamov, S.P.Sidorenko, E.N.Ardatovskaya. *Gazotermicheskie pokry'tiya iz poroshkovix materialov.*Spravochnik. [Thermal coatings from powder materials] Kiev, Naukova dumka, 1987. s. 543.
Available at: www.dissercat.com/.../formirovanie-struktury-i.
11. G.G.Maksimovich, V.F.Shatinskij, V.I.Kopy'lov. *Fizikoximicheskie processy' pri plazmennom napy'lenii i razrushenii materialov s pokry'tiyami.*[Physicochemical processes during plasma spraying and destruction of materials with coverings] Kiev, Naukova dumka, 1983. s. 35-72.
Available at: www.dissercat.com/.../povyshenie-ekspluatatsio..
12. A.Xasuj ,O.Morigaki. *Naplavka i napy'lenie.*[Surfacing and spraying]-M.: Mashinostroenie, 1985.-237s.
Available at: tekhnosfera.com/povyshenie-dolgovechnosti-p.13
13. Khymushkyn F.F. *Zharoprochnye staly y splavy,* [Refractory steel and alloys]M.: Metallurhyya, 1969, 596s.
Available at: irbis.nirhtu.ru/.../cgiirbis_64.dll
14. V.V.Kudinov. *Plazmennyy'e pokry'tiya.* [Plasma coatings] -M.:Nauka, 1977.-270s.
Available at: www.dissercat.com/.../poluchenie-intermetallic...
15. Bolshakov V.I., Veselova.S.I.,Zahorodnii O.B. *Vplyv vidpalu na fazovyi sklad ushchilniuvalnoho pokryttia na osnovi AFS (aliumofosfatnoi spoluky)* [Effect of annealing on phase structure sealing coating based on ABC (aluminum phosphate compounds)]// *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv.* Naukovyi visnyk. [Metallurgy and heat treatment of metals. Scientific Journal]№4(71) Dnipropetrovsk, 2015. s 20-26.
Available at: cyberleninka.ru/.../nauchnaya-shkola-doktora-t..

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. Г. Г. Шломчаком (Украина); д-ром. техн. наук, проф. Г. Д. Сухомлиным (Украина).