

УДК 621.7937

## РОЛЬ ПОДСЛОЕВ В ПОВЫШЕНИИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

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

<sup>1</sup>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: 0000-0003-0962-0890.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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.<sup>1</sup>, к.т.н, доцент,  
СПІЛЬНИК А.Я.<sup>2\*</sup>, к.т.н, доцент,  
ЗАГОРОДНИЙ О.Б.<sup>3</sup>, асистент.,  
ЖУРАВЕЛЬ В.І.<sup>4</sup>, ст.н.с.

<sup>1</sup>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: 0000-0003-0962-0890.

<sup>2</sup> 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](mailto:anatolyspl@gmail.com)., ORCID ID: 0000-0002-4931-9675.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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 °С 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  $\text{CoCrAlY}$ , 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  $\text{CoCrAlY}$  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.<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Professor,  
 SPILNIK A.Y., Ph.D.<sup>2</sup>, Associate Professor,  
 ZAGORODNY O.B.<sup>3</sup>, Assistant,  
 ZURAVEL V.I.<sup>4</sup>, Ph.D.<sup>4</sup>, Associate Professor.

<sup>1</sup>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: : 0000-0003-0962-0890.

<sup>2</sup>. 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..

<sup>3</sup>. 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.

<sup>4</sup>. 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  $\text{CoCrAlY}$  + 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 °С 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  $\text{CoCrAlY}$ , 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  $\text{CoCrAlY}$  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 °С остро стал вопрос о выборе как материала подслоя так и основного термобарьерного покрытия[1-15]. Существующий в настоящее время подслои из сплава на основе никель-алюминия марки ПН70Ю30 для температур 1700 °С непригоден, потому что уже начиная с температуры 1200 °С этот подслои окисляется с образованием сложного окисла  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$ . Его образование сопровождается изменением объема покрытия и его отслоением, а это приводит к окислению основного защитного термостойкого покрытия. Кроме того никель-алюминиевый сплав  $\text{AlNi}$  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 °С. С повышением температуры металлическая составляющая начинает окисляться, что приводит к выходу из строя всего покрытия. Подслои, который способен выдержать нагрев до 1400 °С и выше разработан на основе  $\text{CoCrAlY}$  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 °С.

**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 °С 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 <sup>2</sup>	
		Площадь напыления, см <sup>2</sup>			
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
			132,85	4,05	
	$CoCrAlY$		4,30	0,14	
			32,8	4,00	0,12
	ЭИ 868 №10		200,20	5,58	
		ПН70Ю30	7,80	0,28	
		35,87	5,60	0,20	

\* Примечание. Температура среды испытания 1000±2,°С, 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 мг/см<sup>2</sup>

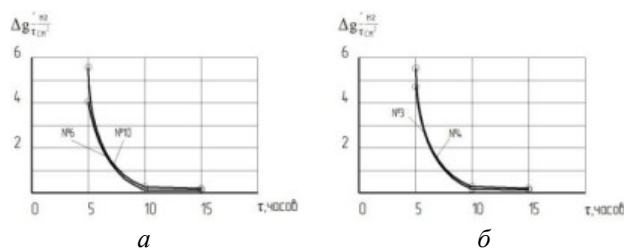


Рис.1 Динамика изменения массы образца с подслоями в зависимости от количества термоциклов испытания (термоцикл 5 часов); а - основа сплав ЭП-648; б - основа сплав ЭИ-868. Из них: № 3 и № 6 подслоя  $CoCrAlY$ , а № 4 и № 10 подслоя ПН70Ю30./ *Changed dynamics of fire-proof compounds with underlayers sample from a dependence quantity trials thermal cycle (thermal cycles 5 hours); a - 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 <sup>2</sup>	Температура среды испытания, °С	Время испытания, час	Привес образцов, мг	Жаростойкость $\Delta g'_\tau$ , мг/см <sup>2</sup>
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 мг/см<sup>2</sup>. Самой высокой жаростойкостью обладает сплав ЭИ-868. Подслоем из кобальтового сплава на сплаве ЭИ-868 обладает также высокой жаростойкостью до 0,12 мг/см<sup>2</sup>, 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 $\Delta g'_{\tau}$ , мг/см <sup>2</sup>
		Площадь напыления, см <sup>2</sup>			
1	ЭП 648 №13,12	CoCrAlY	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	109,6	3,61
		30,37		0	0
		ПН70Ю30		164,8	5,41
		30,48	ZrO <sub>2</sub> + 10%Ni	41,0	1,34
				20,0	0,66
2	ЭИ 868 №15,14	CoCrAlY	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93,1	2,94
		31,68		0	0
		ПН70Ю30		158,5	5,09
		31,13	ZrO <sub>2</sub> + 10%Ni	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 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZrO<sub>2</sub> + 10 % Ni нанесенных на различные подслои можно отметить повышение жаростойкости Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на 15...20 %. Такая зависимость характерна для защитных покрытий из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 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 ZrO<sub>2</sub>-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 ZrO<sub>2</sub> // 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](http://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 scephleniya 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. *Povy'shenie 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..](http://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...](http://www.dissercat.com/.../zakonomernosti-formiro...)
6. L.I.Dexyart', A.M.Virnik, A.I.Murav'ev i dr. *Rol' texnologii v povy'shenii 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..](http://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..](http://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?](http://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](http://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](http://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..](http://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](http://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](http://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...](http://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..](http://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).