

УДК 621.7937

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДАЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЕГМЕНТОВ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ ГТД

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.*,
ЛЮБУШКИН В.И.⁵, *мл.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.

⁵ 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: ValeriLub69@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-7636-2153.

Аннотация. *Цель.* На основе анализа жаростойкости высокотемпературных материалов разработать состав керамического композиционного материала (ККМ) для длительной работы (10000 часов) при температуре 800 - 1800°C и технологию его получения. *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.* На основе проведенных исследований получен высокотемпературный защитный материал типа окисел – окисел ($Al_2O_3+10\%Cr_2O_3$) и способ его получения в порошкообразном виде. *Научная новизна.* Разработан новый термозащитный композиционный материал для получения покрытий камер сгорания газотурбинных двигателей и определены его теплотехнические свойства. *Практическая значимость.* Разработанный новый ККМ был использован для формирования корковых деталей плазменным напылением при изготовлении сегментов жаровых труб ГТД.

Ключевые слова: плазменное напыление, теплозащитное покрытие, жаростойкость, камера сгорания, газотурбинный двигатель.

ПРО ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ВИДАЛЯЮТЬСЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СЕГМЕНТІВ ЖАРОВОЇ ТРУБИ ГТД

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.*
ЛЮБУШКІН В.І.⁵, *мл.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.](mailto: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.

⁵ 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. ValeriLub69@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-7636-2153.

Анотація. Мета. На основі аналізу жаростійкості високотемпературних матеріалів розробити склад керамічного композиційного матеріалу (ККМ) для довготривалої роботи (10000 годин) при температурі 800 - 1800°C і технологію його отримання. **Методика.** Жаростійкість покриттів визначали по загальноприйнятим методикам. Жаростійкість оцінювали по привісу зразка при його витримці при температурі 1000 °C на протязі 5 годин. Цикл повторяли 3 рази. **Результати.** На основі проведених досліджень отримано високотемпературний захисний матеріал типу окисел – окисел (Al₂O₃+10%Cr₂O₃) та спосіб його отримання в порошкоподібному виді. **Наукова новизна.** Розроблено новий термозахисний композиційний матеріал для отримання покриттів камер згоряння газотурбінних двигунів та визначені його теплотехнічні властивості. **Практична значимість.** Розроблений новий ККМ був використаний для формування коркових деталей плазмовим напиленням при виготовленні сегментів жарових труб ГТД.

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

ON THE USE OF MODELS THAT ARE DELETED IN THE MANUFACTURE OF FLAME TUBE GTE SEGMENTS

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.
LUBYSCHKIN V.I.⁵,

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.

⁵. 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: ValeriLub69@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-7636-2153.

Abstract. Purpose. Based on the analysis of high heat resistance material composition to develop ceramic composite material (CCM) for the long-Business (10000 hours) at 800 - 1800 ° C and the technology of its receipt. **Method.** Heat resistance coating was determined by conventional methods. Heat resistance evaluated for weight increase per sample at his aging at 1000 ° C for 5 hours. Repeated cycle 3 times. **Results.** Based on the studies received high temperature protective material type oxide - oxide (Al₂O₃ + 10% Sr₂O₃) and a way to get it in powder form. **Scientific novelty.** . A new thermal protected composite coatings for gas turbine engines cameras and by its thermal properties. **The practical significance.** A new CMC was used for the formation of cortical parts plasma coating in the manufacture of pipe segments flame GTD,

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

Введение

Сегменты жаровых труб газотурбинных двигателей работают в условиях высоких температур 800-1800 °C, а также при высокой скорости газового потока до 50 м/с. Такие условия требуют создания материалов способных выдерживать эти температуры. Это керамические композиционные материалы (ККМ). [1 – 4]. Предварительно были опробованы керамические композиционные материалы (ККМ) на основе системы оксид – оксид, позволяющие получить шпинели, обладающие термостойкостью выше, чем чистые окислы, а также

системы карбиды – оксиды, где оксиды стабилизировали термическую устойчивость карбида.

Цель

Основная цель исследований – на основе анализа жаростойкости разработать технологию получения керамического композиционного материала (ККМ) для длительной работы (10000 часов) при температуре 800 - 1800°C при изготовлении корковых деталей.

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-х раз.

Результаты

Механическое перемешивание компонентов керамических композиционных материалов не позволило достичь равномерного распределения их в смеси и в покрытии. Более перспективными явились золь-гель технологии в которых исходными компонентами были окислы соответствующих металлов, металлы в растворе осаждались в виде оксидов на порошках из карбидов или боридов с использованием окислительно-восстановительных реакций.

В лаборатории плазмотехнологии разработана технология получения керамического композиционного материала (ККМ) для длительной работы (10000 часов) при температуре 800-1800°С. Она состоит из следующих последовательно выполняемых операций :

- приготовление новых порошковых композиций из тугоплавких материалов;
- изготовление удаляемых моделей деталей ;
- плазменное напыление порошковых материалов на удаляемые модели деталей ;
- удаление моделей из напыленных деталей;
- спекание полученных деталей из ККМ;
- механическая сборка деталей из ККМ для эксплуатации.

Для получения корковой детали по модели был выбран композиционный керамический порошок $Al_2O_3+10\%Cr_2O_3$, который был напылен на предварительно изготовленную модель по стандартным режимам работы плазменной установки. (Сила тока – 392-395 А, напряжение 70-72 В, расход плазмообразующих газов азот/аргон 15/15, расход порошка 50 г/мин, КПД – 91%).

Модели деталей для напыления изготавливали из стали, алюминия и керамики. В лаборатории опробовали два варианта моделей: 1-й вариант – модели изготовленные из стали (рис.1) и 2-й вариант - модели изготовленные из алюминиевого сплава (рис.2).

По первому варианту модель изготавливалась разъемной и после получения покрытия нужной толщины (4,5-5,0 мм) модель-оправка удалялась и оставалась корковая деталь.

По второму варианту модель изготавливали цельной из алюминиевого сплава, а корковую деталь получали после напыления вытравливанием алюминия с последующей механической обработкой шлифованием.

Надо отдать предпочтение второму варианту, т.к. в этом случае боковые поверхности с радиусом R3 запыляются полностью не образуя пустот.

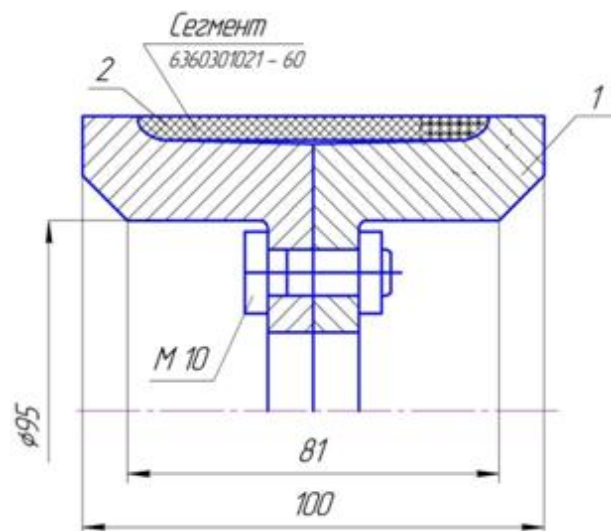


Рис.1. Общий вид модели из стали для получения корковых деталей путём напыления, 1 – модель, 2-напыленное покрытие. / Fig.1. General view of the model of the steel for the cortical parts by spraying 1 - model 2-sprayed coating.

По второму варианту модель изготавливали цельной из алюминиевого сплава, а корковую деталь получали после напыления вытравливанием алюминия с последующей механической обработкой шлифованием.

Надо отдать предпочтение второму варианту, т.к. в этом случае боковые поверхности с радиусом R3 запыляются полностью не образуя пустот.

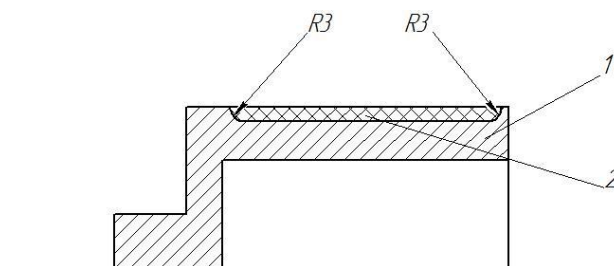


Рис.2. Общий вид модели из алюминиевого сплава (1) с напыленным слоем (2). / Fig.2. General view of the model from aluminum alloy (1) with the deposited layer (2).

Свойства керамического композиционного материала (ККМ), $Al_2O_3+10\%Cr_2O_3$ приведены в табл.1. Прочность определяли при сжатии и термостойкость при нагревании 800-1800°С.

Анализ табличных данных показывает, что прочность и термостойкость ККМ после отжига значительно повышаются.

Общий вид напыленной заготовки из ККМ $Al_2O_3+10\%Cr_2O_3$ с толщиной стенки 4,5 мм до механической обработки представлены на рис.3.

Таблица 1

Свойства керамического композиционного плазменного покрытия / The properties of the ceramic composite plasma coatings

Состав покрытия	Прочность при сжатии, кгс/мм ²		Термостойкость, 1800 - 800°C (циклы)	
	До отжига	После отжига	До отжига	После отжига
Al ₂ O ₃ + 10% Cr ₂ O ₃	12,1	131,1	2550	11200



Рис.3. Общий вид корковой детали на алюминиевой модели. / Figure 3. General view of the cortical parts on the aluminum model.

Таким образом доказана возможность изготовления корковой детали на модели из алюминиевого сплава с использованием разработанного материала ККМ Al₂O₃+10% Cr₂O₃.

Научная новизна

Разработан новый термозащитный композиционный материал для получения покрытий камер сгорания газотурбинных двигателей и определены его теплотехнические свойства.

Практическая значимость

Разработанный новый ККМ был использован для формирования корковых деталей плазменным напылением при изготовлении сегментов жаровых труб ГТД, детали проходят промышленные испытания в условиях ОАО «Мотор Сич».

Выводы

Из условия максимальной жаростойкости определен состав керамического композиционного термостойкого материала для защиты камеры сгорания газотурбинного двигателя и разработана технология плазменного напыления на металлическую модель с получением корковой детали.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. В.Г.Пейчев, С.Ю.Плинер. Повышение прочности керамики из диоксида циркония за счет эвтектоидного распада твердых растворов в системе ZrO₂-MgO// Огнеупоры.-1987.-2.-С 30-31.
3. А.А.Ковалевский. Изготовление технологической оснастки с применением метода плазменного напыления. Рига ЛатНИИНТИ, 1979.
4. О.В.Зайцев. Розробка матеріалів для захисту деталей авіаційних двигунів від високотемпературної ерозії. Дис. на здобуття ст. к.т.н., Дніпропетровськ, 2008.

REFERENCES

1. V.P.Lyalyakin, N.N.Litovchenko., A.S.Sablukov, V.I.Denisov, V.N.Sokovceva. *Fizicheskaya sushhnost' i usloviya scephleniya chastic metallichesкого порошка s podlozhkoj pri gazotermicheskom napylenii* [The physical nature and conditions of adhesion of the metal powder particles with a substrate during thermal spraying]//Технологија металлов.-2006.-№5.С. 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 tverdy'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]// Огнеупоры'.-1987.-2.-С 30-31.
3. А.А.Kovalevskyy. *Yzhotovlenye tekhnologicheskoy osnastki s pryemeneniyem metoda plazmennoho napyleniya*. Ryha LatNYINTY, 1979.
4. O.V.Zaytsev. *Rozrobka materialiv dlya zakhystu detaley aviatsiynykh dvyhuniv vid vysokotemperaturnoyi eroziyi*. Dys. na zdobuttya st. k.t.n., Dnipropetrovs'k, 2008.

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