

УДК 621.732

Канд. техн. наук В. Л. Грешта

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ ГТД, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Рассмотрены подходы по обеспечению жаропрочности деталей газотурбинных двигателей, работающих в условиях высоких температур. Установлено, что наиболее оптимальные результаты получают формированием многослойных теплозащитных покрытий. Предложено разработать подходы к конструированию многослойных теплозащитных покрытий в зависимости от условий работы конкретной детали, что позволит повысить срок службы этих деталей и КПД двигателя в целом.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, жаропрочность, высокотемпературная коррозия, термозащитное покрытие, конструирование покрытия.

Введение

На сегодняшний день при создании авиационного двигателя нового поколения определяющим фактором является обеспечение работоспособности деталей газотурбинных двигателей (ГТД) в условиях высоких температур (1200 °С и выше) [1, 2]. Использование охлаждаемых лопаток с серийными покрытиями не может обеспечить их достаточного ресурса в таких условиях, а стандартные подходы к повышению жаропрочности таких изделий себя исчерпали [3]. Таким образом, необходимо искать способы защиты основного металла лопатки от превышения их рабочих температур. Одним из методов защиты деталей газотурбинных двигателей является нанесение многослойных теплозащитных покрытий (ТЗП), которые в отличие от жаростойких покрытий не только защищают поверхность лопатки от высокотемпературной коррозии, но и предотвращают разупрочнение материала рабочих лопаток в результате развития процессов ползучести [1]. В работе рассмотрены подходы по формированию теплозащитных покрытий и дальнейшего их применения в отечественном авиадвигателестроении (рис. 1).

Анализ исследований

Применение теплозащитных многослойных покрытий позволит решить проблему снижения температуры деталей ГТД в условиях высоких температур. Это связано с очень низкой теплопроводностью керамики (например ZrO_2) [3], что позволяет эффективно изолировать компоненты турбины двигателя от температур превышающих критические для конкретного жаропрочного сплава. Следовательно, это позволит либо уве-

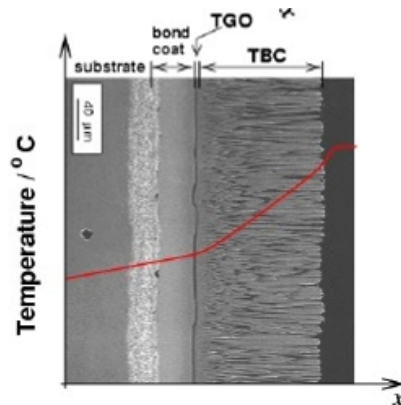


Рис. 1. Влияние теплозащитного покрытия на снижение температуры на поверхности металла основы лопатки ГТД [4]

личить время работы деталей ГТД при данных температурах, либо поднять температуру газа перед турбиной, что повысит коэффициент ее полезного действия. Однако при нанесении таких покрытий необходимо обеспечить высокую адгезию теплозащитного покрытия и материала лопатки, поэтому при их конструировании применяют нанесение нескольких слоев (керамического и металлического) которые обеспечивают защиту от газовой коррозии и хорошее сцепление материалов (рис. 2). В связи со значительным различием между коэффициентами термического линейного расширения керамики и жаропрочного сплава, что может приводить к скалыванию верхнего слоя, решение данной задачи является, весьма актуальным [5].

Принято считать, что в качестве верхнего слоя ТЗП целесообразно применять керамику на основе циркония, стабилизированного оксидом иттрия

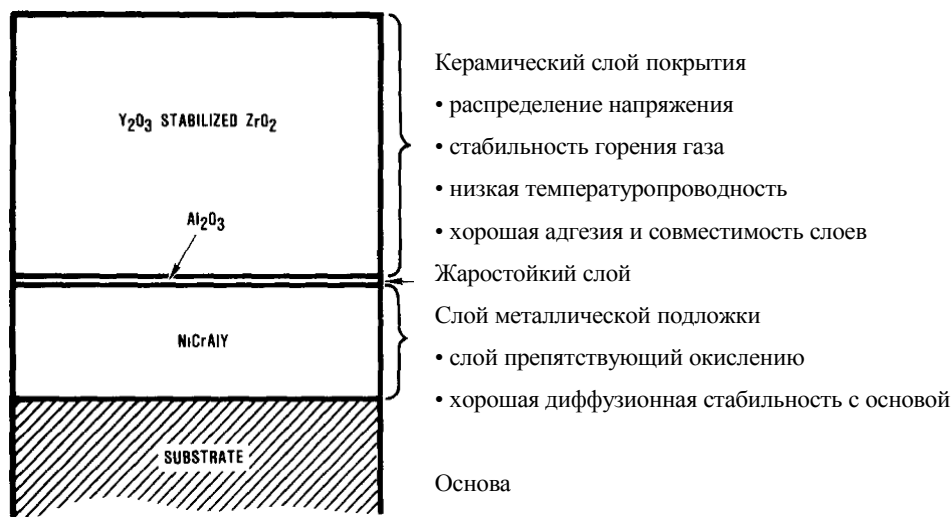


Рис. 2. Вариант конструкции теплозащитного покрытия [5, 6]

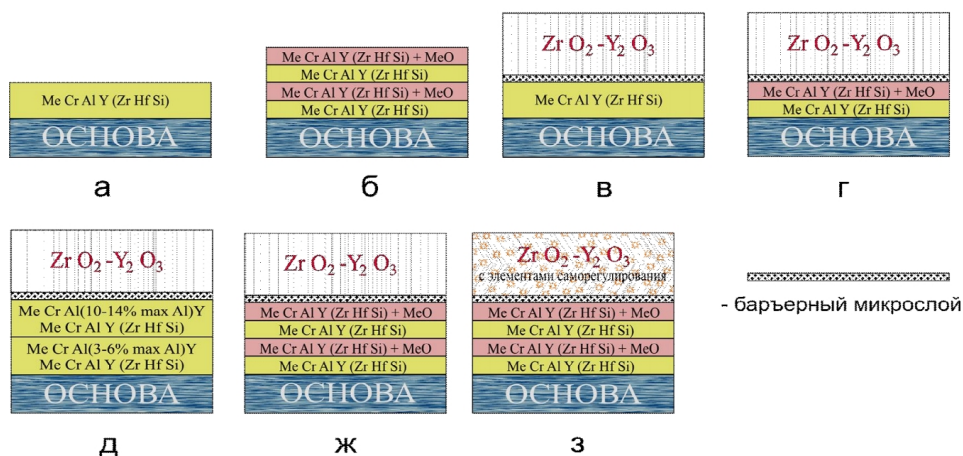


Рис. 3. Схемы жаропрочных и теплозащитных покрытий, получаемых электронно-лучевым осаждением [11]

(ZrO₂·Y₂O₃) [1, 2], а в качестве нижнего подслоя рекомендуется использовать жаростойкий материал. Нанесение керамического слоя позволяет обеспечить снижение температуры на поверхности металла детали, а жаростойкий слой обеспечивает защиту поверхности от высокотемпературной коррозии (керамика этого не обеспечивает) и повышает адгезию материалов (рис. 3).

На сегодня, наиболее исследованными считаются такие виды покрытий разработанные различными исследователями [8]:

1. Разработанное в ВВИА им. Жуковского двухслойное покрытие: первый слой – хромоалитирование; второй слой – ZrO₂·Y₂O₃.

2. Разработанное в ИЭС им. Патона трехслойное покрытие: первый слой – Me-Cr-Al-Y; второй слой – Me-Co-Cr-Al-Y; третий слой – ZrO₂·Y₂O₃.

3. Разработанное в НПО ВИАМ трехслойное покрытие: первый слой – Me-Ni-Cr-Al-Y; второй слой – Me-Ni-Cr-Al-Y + ZrO₂·Y₂O₃; третий слой – ZrO₂·Y₂O₃ (разработчик).

Использование различных технологий формирования структуры керамического слоя позволяет обеспечить необходимый уровень термической стойкости внешнего слоя в зависимости от условий работы [9] в процессе быстрого изменения температур на поверхности деталей ГТД в совокупности с жаростойким подслоем. Электронно-лучевое напыление позволяет сформировать столбчатую структуру керамического слоя (рис. 4), газотермическое напыление – слоистопористую, а различными видами термообработки можно сформировать трещиноватую структуру [10].

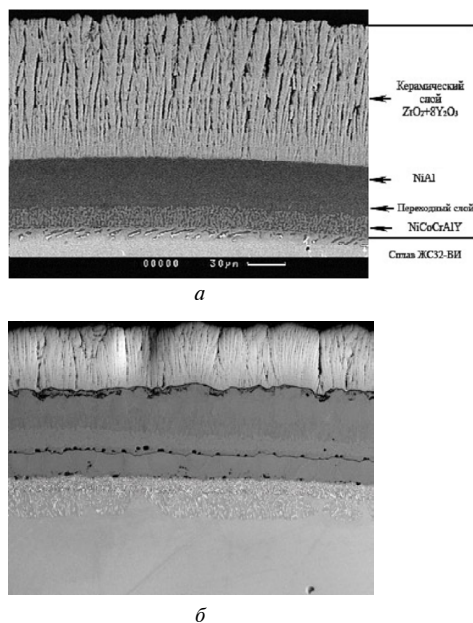


Рис. 4. Варианты структур теплозащитных покрытий: *a* – конденсационное термобарьерное покрытие типа ГТПБ-2 [12, 13], *б* – комплексное теплозащитное покрытие (цементация+ ГЦА+ВСДП-3+ВСДП-16+ZrO₂+Y₂O₃), полученное термодиффузионным насыщением углерода, газовым циркуляционным алитированием, ионно-плазменным и электронно-лучевым напылениями

Также необходимо учитывать, что жаростойкий подслоя также можно формировать различными методами, что в свою очередь будет влиять как на прочность связи, так и на уровень защитных свойств покрытия и сопротивление механической усталости [6].

Выводы

Таким образом, необходимо разработать подходы к конструированию многослойных теплозащитных покрытий в зависимости от назначения детали ГТД и конкретных условий ее работы. Это позволит повысить КПД двигателя и увеличить ресурс работы деталей. Причем необходимо учитывать не только состав и толщину покрытия, но и технологию его нанесения на поверхность детали, т.к. это значительно влияет на поведение ТЗП в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Жерздев С. В. Теплозащитные покрытия для лопаток турбин авиационных двигателей (обзор) / С. В. Жерздев, Ю. А. Тамарин. – М.: ВИАМ, 1990. – 128 с.
2. Будиновский С. А. Современное состояние и основные тенденции развития высокотемпературных теплозащитных покрытий для рабочих лопаток турбин авиационных ГТД /

3. С. А. Будиновский, С. А. Мубояджян, А. М. Гаямов // *Авиационная промышленность*, 2008. – № 4. – С. 33–37.
4. Pettit F. S. Coatings for High Temperature Applications / F. S. Pettit, G. W. Goward // *Applied Science Publishers*, 1983. – P. 341–359.
5. Татарин Ю. Л. Электронно-лучевая технология нанесения теплозащитных покрытий / Ю. Л. Татарин, Е. Б. Качанов // *Новые технологические процессы и надежность ГТД*. – 2008. – ЦИАМ. – Вып. 7. – С. 144–158.
6. Thomas E. Strangman Metallurgical and protective coatings thermal barrier coatings for turbine airfoils / Thomas E. Strangman // *Thin solid films*, 1985. – 127. – P. 93–105.
7. Чубаров Д. А. Новые керамические материалы для теплозащитных покрытий рабочих лопаток ГТД / Д. А. Чубаров, П. В. Матвеев // *Авиационные материалы и технологии*, 2013. – № 4. – С. 43–46.
8. Срабатываемые, износостойкие и теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины, компрессора и камеры сгорания ГТД / [В. А. Барвинок, И. Л. Шитарев, В. И. Богданович и др.] // *Вестник СГАУ*. – 2009. – № 3–1(19). – С. 11–29.
9. Каблов Е. Н. Теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД / Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян // *Металлы*, 2012. – № 1. – С. 5–13.
10. Каблов Е. Н. Защитные покрытия лопаток турбин перспективных / Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян // *ГТГ*, 2001. – №3 (12). – С. 30–32.
11. Современные теплозащитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей и оборудование для их получения / [Н. И. Гречанюк, П. П. Кучеренко, И. Н. Гречанюк и др.] // *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. – Луцьк, 2011. – Вип. № 31. – С. 92–99.
12. Влияние защитных покрытий на механические свойства жаропрочного сплава ЖС32-ВИ / [К. Ю. Яковчук, Ю. Э. Рудой, Е. В. Оноприенко, В. Г. Мальшева] // *Проблемы прочности*, 2010. – № 3. – С. 151–163.
13. Вакуумная плазменная технология высоких энергий (метод ВПТВЭ) для нанесения покрытий и ионной обработки поверхности [Электронный ресурс]. Режим доступа http://viam.ru/ion_plasma_coatings

Поступила в редакцию 11.06.2015

Грешта В.Л. Застосування керамічних покриттів для захисту деталей ГТД, що працюють в умовах екстремально високих температур

Розглянуто підходи до забезпечення жароміцності деталей газотурбінних двигунів, що працюють в умовах високих температур. Встановлено, що найбільш оптимальні результати отримують формуванням багатошарових теплозахисних покриттів. Запропоновано розробити підходи до конструювання багатошарових теплозахисних покриттів залежно від умов роботи конкретної деталі, що дозволить підвищити як термін служби цих деталей, так і ККД двигуна в цілому.

Ключові слова: газотурбінний двигун, жароміцність, високотемпературна корозія, термозахисне покриття, конструювання покриття.

Greshta V. Application of ceramic coatings for protection of GTE work in conditions of extremely high temperatures

Approaches for ensuring heat resistant parts of gas turbine engines operating at high temperatures are considered. It was found that the optimal results are obtained by forming a multilayer thermal protective coatings. It is proposed to develop approaches for designing parts multi-layer thermal barrier coatings, depending on the operating conditions of the specific parts, which will increase both the life service of these parts and engine efficiency as a whole.

Key words: gas turbine engine, heat resistance, high temperature corrosion, heat protective coating, coating designing.