



ТЕРМОПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

РЕДЖИНАЛЬД ТАКЕР

По материалам журнала «Metal Finishing»

Перевод и литературная обработка ОЛЬГИ ХОРЕВОЙ

ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХРОМИРОВАНИЯ, А ТАКЖЕ ТЕХНОЛОГИЯ АНОДИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА ДАВНО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ И ЗАЩИТЕ РАЗЛИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ САМОЛЕТОВ, В ЧАСТНОСТИ ШАССИ. ОДНАКО ЛОПАТКИ В ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ОБЫЧНО ПОКРЫВАЮТСЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ТЕРМОСТОЙКИМИ СОСТАВАМИ. ТАКИЕ МАТЕРИАЛЫ, КАК ПРАВИЛО, НАНОСЯТСЯ ЭЛЕКТРОЛУЧЕВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ ПРИ ОСАЖДЕНИИ ИЗ ПАРОВОЙ ФАЗЫ (ЕВ/PVD). ТЕРМОПОКРЫТИЯ ОТЛИЧНО СПРАВЛЯЮТСЯ С ВЫСОКИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ, ПРЕВЫШАЮЩИМИ 1500 °С, ПРИ КОТОРЫХ РАБОТАЮТ СОВРЕМЕННЫЕ ТУРБИННЫЕ ДВИГАТЕЛИ.

Один из самых заметных специалистов в этой области – компания Chromalloy, осуществляющая качественный ремонт механизмов и являющаяся ведущим независимым поставщиком покрытий и усовершенствованных комплектующих для турбин, одобренных Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA). В основном реконструкции подвергаются турбинные лопатки и некоторые компоненты газотурбинных двигателей, используемые коммерческими авиакомпаниями и военными, а также системы, внедряемые в

промышленных отраслях, смежных с авиационной. Серийное производство коммерчески жизнеспособных алюминидных покрытий Chromalloy начала после того, как запатентовала ряд инновационных разработок, которые позволяют двигателям работать с удвоенной эффективностью при высоких температурах.

Рави Шанкар, директор отдела покрытий и технологических процессов компании, раскрывает свое видение того, почему именно эти термостойкие материалы с эффектом керамики подходят для современной авиации (рис. 1).



«Керамические покрытия по своей природе очень хрупкие. С помощью метода EB/PVD можно создавать микроструктуры, состоящие из керамических колонн с промежутками или порами между ними, что позволяет материалам выдерживать воздействие тепла, вырабатываемого при быстром вращении турбинных лопаток. Другие способы (например, нанесение порошковых или жидких ЛКМ) также обеспечивают необходимую пористость покрытий, но они подходят только для работы при низких или ограниченных температурных диапазонах. Другими словами, эти составы не выстояли бы в экстремальных условиях, создаваемых газотурбинными двигателями».

В этом смысле керамическую отделку можно было бы назвать «умной», зачислив подобные покрытия в категорию интеллектуальных. «По сути термостойкие ЛКМ используются для того, чтобы заставить температуру двигателя подниматься не так быстро: эта технология обманывает лопатки, которые «думают», что работают при невысокой температуре, – объясняет Раив Шанкар. – Применение термостойких материалов позволяет значительно увеличить рабочую температуру газотурбинных двигателей, тем самым минимизировав пагубное воздействие на металлические части».

Существенны и другие преимущества. Так, за счет подобных покрытий можно не только повысить общую эффективность установок, но и увеличить временные интервалы между капитальными ремонтами. Это позволяет инженерам и специалистам технических служб значительно экономить средства.

Chromalloy подтверждает свой вклад в последние инновационные разработки в данной области, при этом отказываясь нести ответственность за первые термостойкие материалы. Эта честь, по словам Раива Шанкара, принадлежит НАСА (Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического про-



ТЕХНОЛОГИЯ СОСТОИТ В СЛЕДУЮЩЕМ: ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПУЧОК РАСПЛАВЛЯЕТ НЕСКОЛЬКО КЕРАМИЧЕСКИХ СЛИТКОВ, КОТОРЫЕ, ИСПАРЯЯСЬ, КОНДЕНСИРУЮТСЯ НА ДЕТАЛИ. КОГДА ДЕТАЛЬ ПОВОРАЧИВАЕТСЯ НАД РАСПЛАВЛЕННЫМ СОСТАВОМ, НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗУЕТСЯ МИКРОСТРУКТУРА ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ КОЛОНН

странства), которое начало создавать подобные ЛКМ еще в 1970-х годах. В то время термопокрытия наносились методом плазменного напыления, считавшимся более традиционным. На сегодняшний день для большинства керамических покрытий используется именно эта технология. Однако сами инженеры, как правило, оставляют плазменное напыление для турбин, применяемых в энергетике, поскольку их лопатки вращаются на порядок медленнее, чем у авиационных газотурбинных двигателей. Меньшая скорость обуславливает меньшую центробежную силу (рис. 2).

В отличие от напыления метод EB/PVD, применяемый для защиты быстро вращающихся турбинных лопаток, приобрел популярность, как только инженеры осознали его преимущества. Сама технология состоит в следующем: электронно-лучевой пучок расплавляет несколько керамических слитков, которые, испаряясь, конденсируются на детали. Когда деталь поворачивается над расплавленным составом, на ее поверхности образуется микроструктура из керамических колонн (аналогично структуре зубной щетки). В связи с этим пока металлическая подложка в газотурбинном двигателе расширяется и охлаждается, керамические колонны также расширяются и сокращаются, не образуя при этом трещин. «Так как покрытия наносятся при очень высокой температуре, их адгезия имеет

химическую природу, более сильную, нежели у покрытий, образованных при плазменном напылении, – поясняет Раив Шанкар. – И благодаря повышенной плотности каждой керамической колонны обеспечивается хорошая износоустойчивость, позволяющая детали выдерживать большие скорости вращения лопаток».

В целом метод плазменного напыления заметно отличается от EB/PVD. В первом случае специалисты плавят керамический порошок (с использованием плазменной пушки), который затем распыляют по поверхности деталей. Во многом это похоже на работу с красками органического происхождения: проводится наращивание пористых слоев, пока покрытие наносится на металлические подложки, что и обеспечивает механическое скрепление. Именно из-за этого, по словам Раива Шанкара, у материалов снижается устойчивость к эрозии и циклическим температурным перепадам, что, по крайней мере в аэрокосмической промышленности, ограничивает их использование для защиты турбинных лопаток.

Разработки следующего поколения

Chromalloy сумела преодолеть трудности, связанные с применением покрытий в гражданской и военной авиации, и теперь намерена сосредоточиться на следующей задаче – газотурбинных двигателях завтрашнего дня, работа-

Рисунок 1.
Лопатка газотурбинного авиационного двигателя с термopокpытием

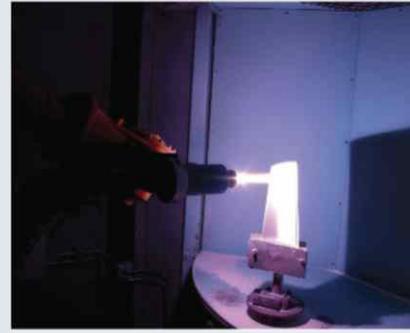


Рисунок 2.
Роботизированная установка наносит термopокpытие методом плазменного напыления

Рисунок 3.
Лопатка газотурбинного авиационного двигателя с покрытием Low K RT-35

ющих при еще более высоких температурах. Производители не скрывают, что их целью будет повышение температуры газа: это позволило бы создавать двигатели с большей мощностью.

По этой причине компания активно инвестирует в одно из своих новейших изобретений – запатентованный материал Low K RT-35. Это покрытие с низкой теплопроводностью обеспечивает оптимальную изоляцию при той же толщине слоя, а также позволяет турбинным лопаткам не перегреваться при высоких температурах работы двигателя (рис. 3).

Как отмечают представители Chromalloy, новый материал стал результатом многолетних испытаний, которые завершились сертификацией покрытия для двигателей, используемых в гражданской и военной авиации. Оно было разработано для решения конкретной задачи. Когда в газотурбинных установках нового поколения увеличивается температура, одновременно с этим ухудшается работа деталей, покрытых обычным термостойким составом. Кроме того, исследователи обнаружили, что оплавление поверхности уменьшает действие защитного слоя. В результате этого возникает дополнительная нагрузка при изменении объема из-за фазового превращения при более высоких температурах. В связи с этим Chromalloy и ряд других разработчиков представили новые материалы, снижающие теплопроводность и более эффективно предотвращающие нагревание отдельных компонентов.

Состав Low K RT-35, наносимый электролучевым напылением при осаждении из паровой фазы, успешно прошел летные испытания, которые организовала одна азиатская авиакомпания. По словам Раива Шанкара, вначале тестированию подвергли пробные образцы с покрытием, которое продемонстрировало высокую устойчивость к нагреванию и обеспечило более надежную защиту от эрозии и циклических изменений температуры. (Другие самолеты со специальным составом, защищающим турбинные лопатки, продолжают эксплуатироваться без каких-либо негативных последствий.)

В итоге материал Low K RT-35 был сертифицирован FAA в прошлом году для использования на лопатках газотурбинного двигателя PW4000, работающего под высоким давлением. Сертификацию провели после серии испытаний, подтвердивших высокую термостабильность покрытия (на 50% выше обычной), устойчивость к циклическим изменениям температуры, отличную стойкость к оплавлению. Более того, Low K RT-35 поднимал уровень коррозионной стойкости нижнего слоя покрытия, тем самым продлевая срок службы двигателя.

Следующей задачей компании стало развитие производства материалов, в состав которых входят композиты. Раив Шанкар отмечает, что некоторые поставщики оригинального оборудования пытались внедрять композиты в различные компоненты газотурбинных двигателей для повышения их эффективности. В этих случаях Chromalloy способна предоставить клиентам покрытия для экспериментальных целей. Однако представители компании признают, что подобные разработки еще не достигли того уровня, чтобы «запускать их в тираж».

Таким образом, в настоящее время Chromalloy остается верна стратегии, которая гарантировала фирме успех, и продолжает сотрудничать с поставщиками и заказчиками оригинального оборудования для гражданской авиации и других промышленных сегментов, чтобы удовлетворить как текущие, так и завтрашние потребности рынка. «Поскольку производители газотурбинных установок увеличивают рабочие температуры, чтобы добиться большей мощности и лучших показателей, – считает Шанкар, – потребность в новых покрытиях будет только расти».

Партнеры по НИОКР

Chromalloy собирается искать возможности для создания совместных предприятий и стратегических партнерств как внутри, так и вне традиционной цепочки поставок. Одна из таких возможностей появилась в 2011 году, когда компания подписала договор с Центром современного производства, частной фирмой, состоящей из нескольких коммерческих объединений и лучших научно-исследовательских университетов штата Вирджиния (США).

Первоочередные задачи центра – это развитие новых технологий и выведение разработок научных лабораторий на рынок. Все коммерческие объединения задействованы в различных отраслях промышленности и действуют под патронажем таких гигантов, как Rolls-Royce (также поставщик газотурбинных двигателей), Canon Virginia, Northrop Grumman Shipbuilding, Siemens и Sandvik.

Тем не менее Chromalloy продолжает проводить самостоятельные исследования. Наряду с новыми методами подготовки поверхности, которым уделяется пристальное внимание, компания изучает возможность создания деталей для газотурбинных двигателей. ■

Эксперты в области
**АНТИКОРРОЗИОННЫХ И
ТЕРМОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ**



www.certa.ru

Термостойкая эмаль «ЦЕРТА®» до 750° С
16 цветов

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ ЦВЕТНЫЕ ЭМАЛИ, ЛАКИ
КО-08, КО-815, КО-075, КО-85, КО-84, КО-811, КО-814, КО-813
КО-822, КО-828, КО-835, КО-42,

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ОРГАНОСИЛИКАТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ
ОС-11-07, ОС-12-01, ОС-51-03, ОС-52-20, ОС-74-01, ОС-82-03

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ЦИНКОНАПОЛНЕННЫЕ ЭМАЛИ «ЭКОЦИН®»

АТМОСФЕРСТОЙКИЕ ФАСАДНЫЕ ЭМАЛИ
ОС-12-03, КО-174, КО-198

КУЗНЕЧНЫЕ КРАСКИ
«ЦЕРТА-ПЛАСТЪ», «ЦЕРТА-ПАТИНА»
(золото, зелень, медь, серебро, бронза)

СОПОЛИМЕРЫ
Стирол-акриловый «SAS-150»
Силикон-акриловый «SAS-200»



ЗАО «НПП «Снегирь»