

## **МЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ УДАР**

**Валиев Р.Р.**

*Руководитель – к.т.н., доцент Ильинкова Т.А.*

КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань

e-mail: malis.kai@rambler.ru

В работе проводились испытания теплозащитных покрытий (ТЗП) на термический удар, для определения термостойкости и долговечности покрытий. Испытания проводилось на установке с газовым нагревом [1]. Каждый цикл установки «нагрев-охлаждение» осуществлялся за одну минуту: в стадии нагрева горелка за 30 секунд нагревает образец до температуры 1230 – 1270<sup>0</sup>С, в стадии охлаждения горелка уходит в сторону и над образцом на 30 секунд оказывается подвижное сопло с охлаждающим воздухом, при котором образец охлаждается до температуры 100 – 170<sup>0</sup>С. Регистрация температуры поверхности образца в стадии нагрева осуществлялась с помощью высокотемпературного пирометра «Кристалл». Регистрация температуры с обратной поверхности образца осуществлялась постоянно как в стадии нагрева, так и в стадии охлаждения, с помощью термопар и программы «PowerGraf».

По значениям температуры образца в стадии нагрева во время испытания, рассчитали температурный градиент.

Установлено, что в процессе испытания в большинстве неразрушенных образцах, имеющих различную толщину керамического слоя, происходит постепенное увеличение температурного градиента. Увеличение градиента наблюдается, как в рабочем режиме, так и в стационарном режиме.

Данное явление, очевидно, можно объяснить процессами постепенного накопления микрповреждений в виде микротрещин, пор, расширением газов в замкнутой пористости, что в конечном итоге приводит к снижению теплопроводности керамического слоя и увеличению температурного градиента. При данном кратковременном цикле испытания процессы спекания еще не происходят, но идет облагораживание структуры только на поверхности керамики. Полностью эти процессы можно увидеть на образцах, которые прошли испытания более 5000 и 6000 циклов.

Образцы, которые разрушились при испытаниях достаточно быстро, наоборот, показывают уменьшение температурного градиента.

Скорее всего, уменьшение градиента температуры связано с возникновением поперечных магистральных трещин в ТЗП, что приводит к увеличению теплопроводности ТЗП.

По результатам изучения характера разрушения образцов можно сказать, что в большинстве случаев типы разрушения покрытия не отличаются от описанных в литературе [2]. Частичное отслоение покрытия происходит по

границе «керамика - подслоя» (ЧОК-1). Основной причиной при таком разрушении является рост оксидной пленки (ТГО) на поверхности подслоя. Более жесткая по свойствам оксидная пленка, чем подслон и керамика создает дополнительные напряжения. Возникающие напряжения при испытаниях в стадии нагрева и охлаждения между подслоем и основой тоже приводят к частичным отслоениям у края образца (ЧОК-2). Для образцов с толщиной керамического слоя 150 – 500 мкм характерно слоистое частичное расслоение покрытия (ЧРК), которое идет по поверхностям микрослоев керамического слоя. При толщинах более 750 мкм происходит полное отслоение керамического слоя по границе «керамика - подслон» (ПОК-1).

Рис.1 Механизмы разрушения ТЗП [2]

Таким образом, основными видами разрушения ТЗП при испытаниях на термический удар является частичное отслоение покрытия на границе: «подслон – основа» (ЧОК-2) или «керамика – подслон» (ЧОК-1), частичное расслоение керамики (ЧРК). Характерным видом разрушения ТЗП с большой толщиной керамического слоя является полное отслоение керамического слоя без подслоя (ПОК-1) или по границам образца частично с подслоем (ПОК-2), которое не наблюдалось в работе [2].

Образцы, которые выдержали 1000, 5000 и 6000 циклов без разрушения, тоже подвергались разносторонним исследованиям. И исследование микроструктуры покрытия у этих образцов после наработки 1000, 5000, 6000 циклов показало, что идет рост оксидной пленки, в основном алюминия, на поверхности подслоя, который и служит причиной разрушения по механизмам ЧОК – 1 и ПОК – 1.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ильинкова Т.А., Ильинков А.В., Валиев Р.Р., Шигапов А.И.* Исследование теплозащитных покрытий в условиях термического удара // Труды 8-й международной конференции. Пленки и покрытия. – 2007. СПб.: Изд – во Политехнического ун – та, 2007. – С. 231-233.
2. *Абосделл А.М.М.* Разработка высокоресурсных плазменных теплозащитных покрытий на основе оксида циркония для камер сгорания ГТД // диссертационная работа. Казань, 2007. – с. 98-104.