



Рис.2. Деформационные кривые исходных полиэфинов (а), их смесей (б), а также полиэфинов (в) и смесей (г), содержащих УЦ.

Список литературы

1. Кнунянц, И.Л. Химическая энциклопедия: В 5 т. / И.Л. Кнунянц. – М.: Сов. энцикл.; Большая Рос. энцикл. – 1992.
2. Maik, H.F. Encyclopaedia of Polymer Science and Engineering 2nd ed. / H.F. Maik, N.M. Bikales, C.G. Overberger, G. Menges // John Wiley & Sons Inc., New York. – 1988. – Vol. 12.
3. Bikiaris, N. Effect of carboxylic end groups on thermooxidative stability of PET and PBT / N. Bikiaris, P. Karayannidis // Polymer Degradation and Stability. – 1999. – Vol. 63. – P. 213–218.
4. United States Patent 4165307A. S. Mizuno, T. Sugie /Isocyanate prepolymer and low molecular weight polybutylene terephthalate with reinforcing filler; heating, kneading, extruding. – 1979.
5. Шевченко, В. В. Влияние изоцианатных удлинительных цепей на молекулярную структуру и механические свойства полибутилтерефталата / В. В. Шевченко / Материалы. Технологии. Инструменты. – 2014. – Т.19. – №3. – С. 40-44.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ

¹Гусев В.М., ¹Буклаков А.Г., ²Мордынский В.Б., ²Спектор Н.О.

¹Российский Государственный университет нефти и газа им И.М. Губкина, Москва,

²Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН), г. Москва

gusevwm@vail.ru

Приведены экспериментальные данные по теплопроводности плазменных керамических покрытий из композиционных порошков на основе оксидов алюминия и циркония, плакированных никелем и алюминием. Измерения коэффициента теплопроводности проводили на оригинальном стенде, в основу которого положен метод электротепловой аналогии.

Для повышения ресурса работы лопаток газовых турбин, деталей форсированных дизелей, фурм и многих других деталей в первую очередь требуется создание надежной

теплозащиты. Например, современные жаропрочные сплавы на никелевой основе обеспечивают сравнительно кратковременную работу рабочих лопаток турбин при температуре 1000–1050 °С. Дальнейшее повышение работоспособности возможно за счет нанесения теплозащитных покрытий (ТЗП), снижающих тепловую напряженность деталей.

Создание ТЗП также является одной из самых актуальных проблем в современной технике газотермического напыления. При выборе материалов ТЗП и разработке их составов необходимо отметить, что теплопроводность напыленных покрытий на порядок ниже этих же материалов в компактном состоянии.

В данной работе приведены результаты исследований теплопроводности слоев, нанесенных методом плазменного напыления порошков оксида алюминия и двуоксида циркония, которые широко используются для создания ТЗП. Напыление производили плазматроном ПП-25 в смеси аргона с азотом на дистанции 100 мм.

Определение теплопроводности проводилось прибором ИТЛ-400 и оригинальным прибором, основанном на методе электротепловой аналогии. Прибором ИТЛ-400 измерения теплопроводности можно проводить в диапазоне температур от 20 до 400 °С, однако реальная погрешность измерений при этом существенно превышала указанные в паспорте 10%. Неоднократные измерения теплопроводности, проведенные на одном и том же образце, могли отличаться на 20% и более. Поэтому, теплопроводность покрытий определялись усреднением значений трех попыток, проводимых на каждом образце в диапазоне температур 50–400 °С. Определение теплопроводности при температурах от 400 до 650 °С проводили на созданном приборе. Контрольные измерения теплопроводности слюды, имеющей по литературным данным, стабильные значения в широком диапазоне температур (в большинстве источников теплопроводность мускавитной слюды оценивается равной 0,42 Вт/м °С), показали хорошую сходимость результатов, полученных на данной установке. Погрешность измерений не превышала 5%, поэтому теплопроводность определялась по одному результату измерения (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость теплопроводности покрытий от толщины и температуры испытаний

Температура, °С	50	150	250	350	450	550	650
Al ₂ O ₃ 0,3мм	1,15	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,45
Al ₂ O ₃ 0,6мм	1,50	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
ZrO ₂ 0,3мм	0,45	0,55	0,60	0,60	0,65	0,70	0,70
ZrO ₂ 0,6мм	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,95
Слюда 0,6мм	0,40	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

Из приведенных данных видно, что теплопроводность напыленного оксида алюминия в 25–30 раз меньше компактного материала, имеющего теплопроводность 37 Вт/м °С. Снижение теплопроводности напыленной двуокиси циркония, по сравнению с компактной фазой существенно меньше. С 2 Вт/ м °С оно снижается только в 5–3 раз. Объяснить это явление можно тем, что на теплофизические характеристики материалов в первую очередь влияет их структура. Все покрытия можно рассматривать как композиционные материалы, содержащие кроме основного компонента еще и поры. Металлографические исследования показали, что покрытия из Al₂O₃ имеют 17–21% пор, а пористость покрытия из ZrO₂ составляет 8–10%. В подтверждение такого вывода могут служить результаты сравнения влияния толщины покрытий на их теплопроводность. Условия формирования нижних (более близких к подложке) и верхних слоев покрытий существенно отличаются. Компактный материал подложки обеспечивает интенсивный отвод тепла из зоны контакта с напыляемой частицей, это уменьшает время нахождения ее в жидком или пластичном состоянии и отрицательно сказывается на времени деформации при ударе. По мере увели-

чения толщины покрытия происходит термическая активация напыляемой поверхности и уменьшение теплопередачи от расплавленной капли в подложку. В результате увеличивается степень деформации частиц и снижение пористости слоя.

Рассматривая эффективность работы ТЗП целесообразно оценивать их тепловое сопротивление, которое прямо пропорционально их толщине и обратно пропорционально его теплопроводности Δ/λ . Эту величину можно расценивать как коэффициент эффективности ($K_{эф}$), величина (табл. 2) которого получена обработкой данных таблицы 1.

Таблица 2. Коэффициент эффективности использования теплозащитных покрытий

Температура, °С	50	150	250	350	450	550	650
AL ₂ O ₃ 0,3мм	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21
AL ₂ O ₃ 0,6мм	0,40	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32
ZrO ₂ 0,3мм	0,67	0,55	0,50	0,50	0,46	0,43	0,43
ZrO ₂ 0,6мм	0,86	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,63

Из данных таблицы 2 видно, что эффективность работы покрытий увеличивается с ростом их толщины, несмотря на некоторое увеличение теплопроводности слоев, однако при использовании покрытий из двуоксида циркония темпы роста $K_{эф}$ не так заметны, как на покрытиях из оксида алюминия. В исследованном диапазоне температур $K_{эф}$ покрытий из ZrO₂ в два раза больше, чем из AL₂O₃.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант 15-0800375).

Список литературы

1. Абрамов Н.В. Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин. – М.: Машиностроение, 1993.- 336 с.
2. Материалы в машиностроении, т.5. Неметаллические материалы. Справочник под ред. Попова В.А.- М. Машиностроение, 1968.-544 с.
3. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. -М.: Мир, 1968.-464 с.
4. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта в зоне разъемных и неразъемных соединений. -М.: Энергия, 1971.-216 с.
5. Васильев Л.Л., Фрейдман Ю.Е. Теплофизические свойства плохих проводников тепла. - М.:Наука, 1967. -260с.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АМПЛИТУДНО-УГЛОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

Баев А. Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь
baev@iaph.bas-net.by*

Неразрушающий контроль (НК) физико-механических свойств поверхности, включая структуру, прочность и глубину упрочняющего слоя, износостойкость и др., является актуальной задачей современного промышленного производства. Один из эффективных методов НК основан на зондировании исследуемого объекта упругими волнами ультразвукового диапазона, параметры которых (скорость, затухание и др.) хорошо коррелируют с указанными свойствами. В частности, это касается задачи определения глубины h упрочненного поверхностного слоя (УПС) по данным скорости поверхностной волны