

## ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**С. А. Филатов, Г. С. Кучинский, А. А. Гункевич, П. Н. Кумейша,  
Е. В. Батырев, Н. А. Дмитракович**

*Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

В настоящее время проблема создания и оптимизации высокотемпературных теплозащитных материалов продолжает оставаться в центре внимания исследователей. Основы проектирования средств тепловой защиты, систематизированные в [1], позволяют успешно создавать образцы теплозащитных материалов, предназначенные для практического использования в подразделениях МЧС Республики Беларусь, на основе анализа теплофизических и оптических характеристик, как самих материалов, так и их компонентов.

Целью работы стала разработка методик анализа теплофизических характеристик теплозащитных материалов предназначенных для использования в качестве защитных покрытий пожарных костюмов, предназначенных для многократного использования в условиях воздействия интенсивных радиационных потоков ИК-излучения.

Экспериментальные исследования проводились с использованием современных теплозащитных материалов, таких как «Номекс» (DuPont, «Оксалон» («Химволокно», Беларусь), «Арселон» (Беларусь). Анализ структуры материалов проводился с использованием автоматизированного цифрового дериватографа Q-1200D, дифференциального сканирующего калориметра DSC-2D, ИК-фурье спектрометра Nicolet Nexus, автоматизированного цифрового измерителя теплопроводности Lambda 400CD. Структура поверхности материалов исследовалась с помощью металлографического микроскопа и электронного микроскопа Carl Zeiss Supra 55.

Типичный объект исследования – образцы теплозащитных материалов типа «Арселон», представляющих многослойную композицию на основе стеклоткани с защитным отражающим слоем, сформированном на слое эластичного связующего. Именно оптические характеристики отражающего слоя в значительной степени определяют величину теплового потока, формирующего распределение поле температур в исследуемом образце. На рис. 1. приведен характерный спектр одного из образцов материала, анализ которого показывает, что в ИК-области материал поглощает более 85 % падающего излучения. Отличительной особенностью применяемого покрытия является практическая неизменность оптических характеристик, в то время, как большинство импортных материалов демонстрируют значительную деградацию в процессе эксплуатации.

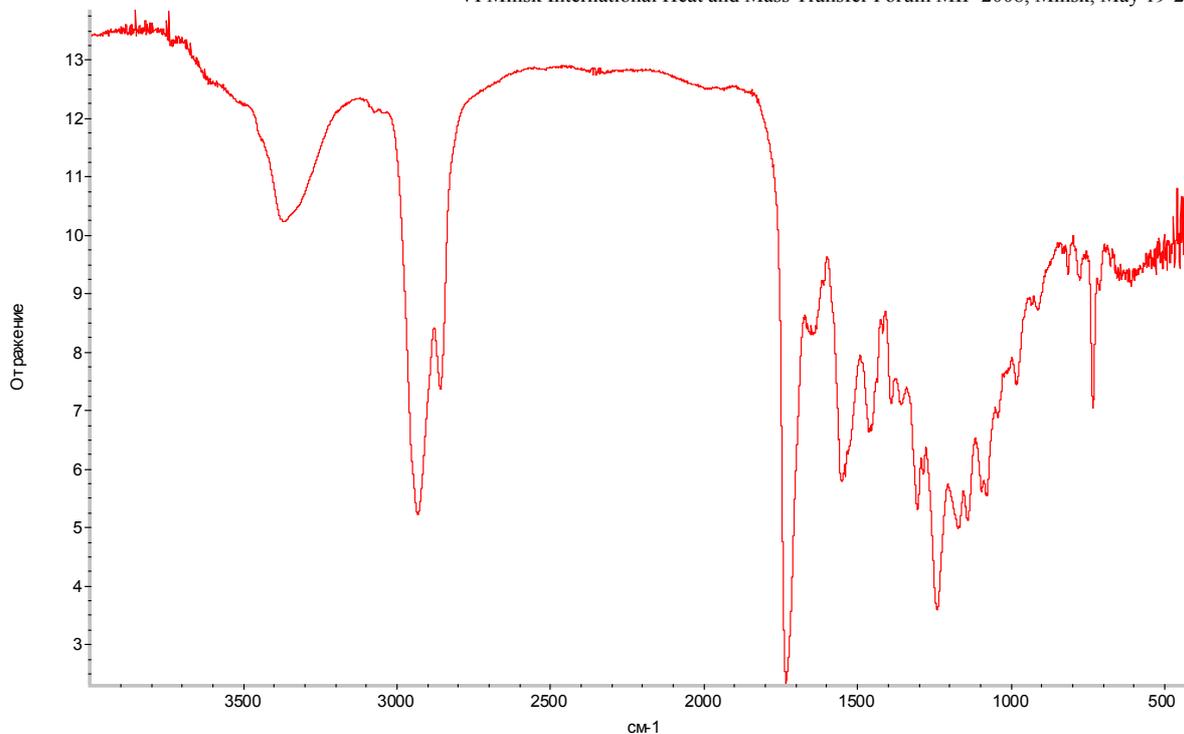


Рис.1. Спектр отражения поверхности теплозащитного материала (полоса поглощения в области  $2800-3000\text{ см}^{-1}$  связана с наличием функциональных групп органического происхождения)

Область применимости исследуемых материалов определялась по характерным температурам при проведении термического анализа, рис. 2.

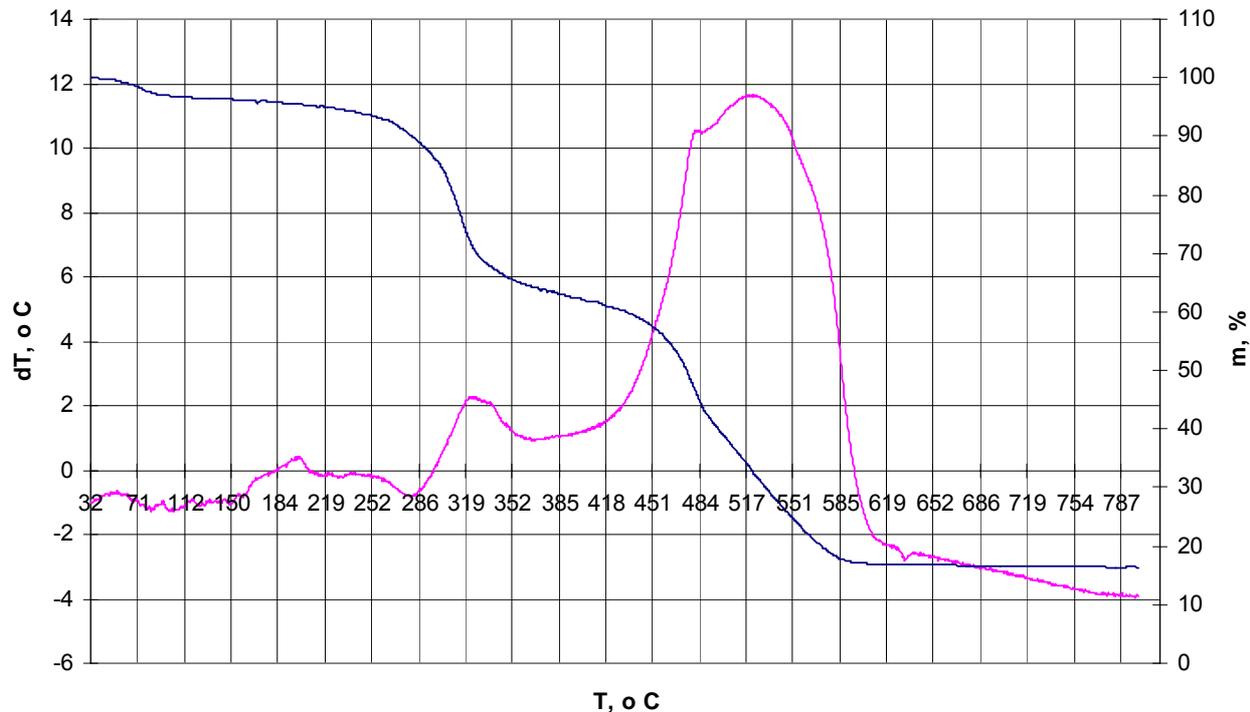


Рис. 2. Характерная дериватограмма теплозащитного материала типа «Арселон».

Изменение массы образца при нагреве до температур  $150-250^{\circ}\text{C}$  связано с испарением связанной воды и завершением полимеризации образца ( $290-340^{\circ}\text{C}$ ). При росте температуры

выше 385°C начинается окисление образца, горение которого развивается при температурах выше 480°C.

Полученные характеристики, а так же результаты измерений теплопроводности многослойного теплозащитного материала (рис. 3) и всех его компонентов, позволило создать и верифицировать численную модель образца в условиях интенсивных воздействий в средах моделирования QuickField и Fluent.

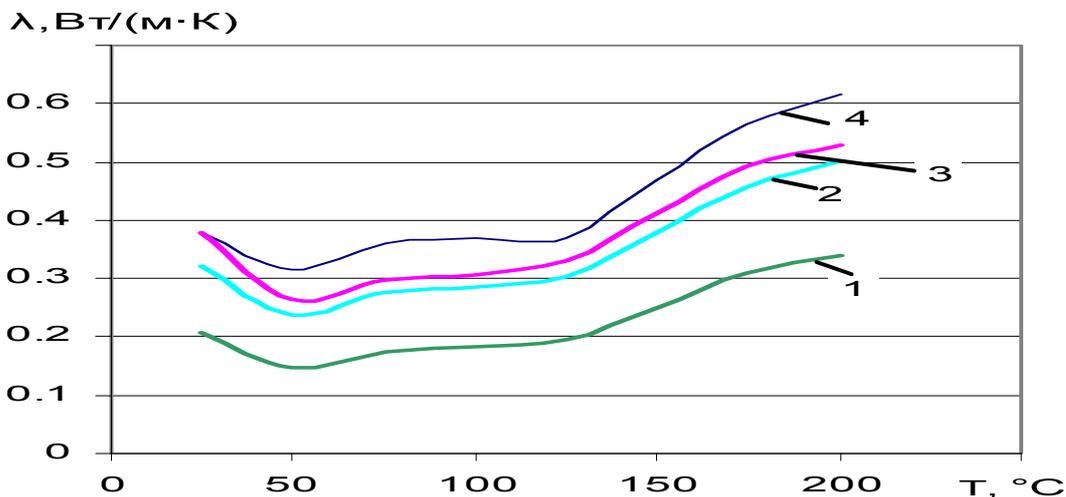


Рис. 3. Характерные результаты исследования теплопроводности образца в диапазоне рабочих температур 25–200°C: 1 – ткань; 2 – стеклотекстолит нефольгированный; 3 – стеклотекстолит фольгированный (марка FR4); 4 – ткань, покрытая теплопроводной пастой

Значительную помощь при оптимизации покрытий и состава теплозащитного материала оказывает возможность исследования микроструктуры покрытий с помощью растрового электронного микроскопа ZEISS SUPRA 55WDS, рис. 4, 5. Анализ характерного размера микроструктур покрытия позволил объяснить особенности характерных полос поглощения ИК-спектра и характер изменения теплопроводности образцов с изменением температуры, связанный с радиационной составляющей теплового потока.

Проведенные исследования позволили определить область допустимого применения теплозащитных материалов и выбрать оптимальный состав композиционного материала для практического применения. Численное моделирование процессов взаимодействия композиционного теплозащитного материала с интенсивным потоком излучения на основе реальных оптических и теплофизических характеристик материалов позволяет значительно сократить сроки испытания материалов. Исследование оптических характеристик материалов подвергшихся воздействию ИК-излучения и термоциклированию позволяет прогнозировать динамику изменения характеристик материала в реальных условиях эксплуатации. Самостоятельный интерес представляет сравнение характеристик различных типов теплозащитных материалов и разработка новых типов защитных покрытий на основе сублимирующихся покрытий и покрытий с наноразмерными наполнителями.

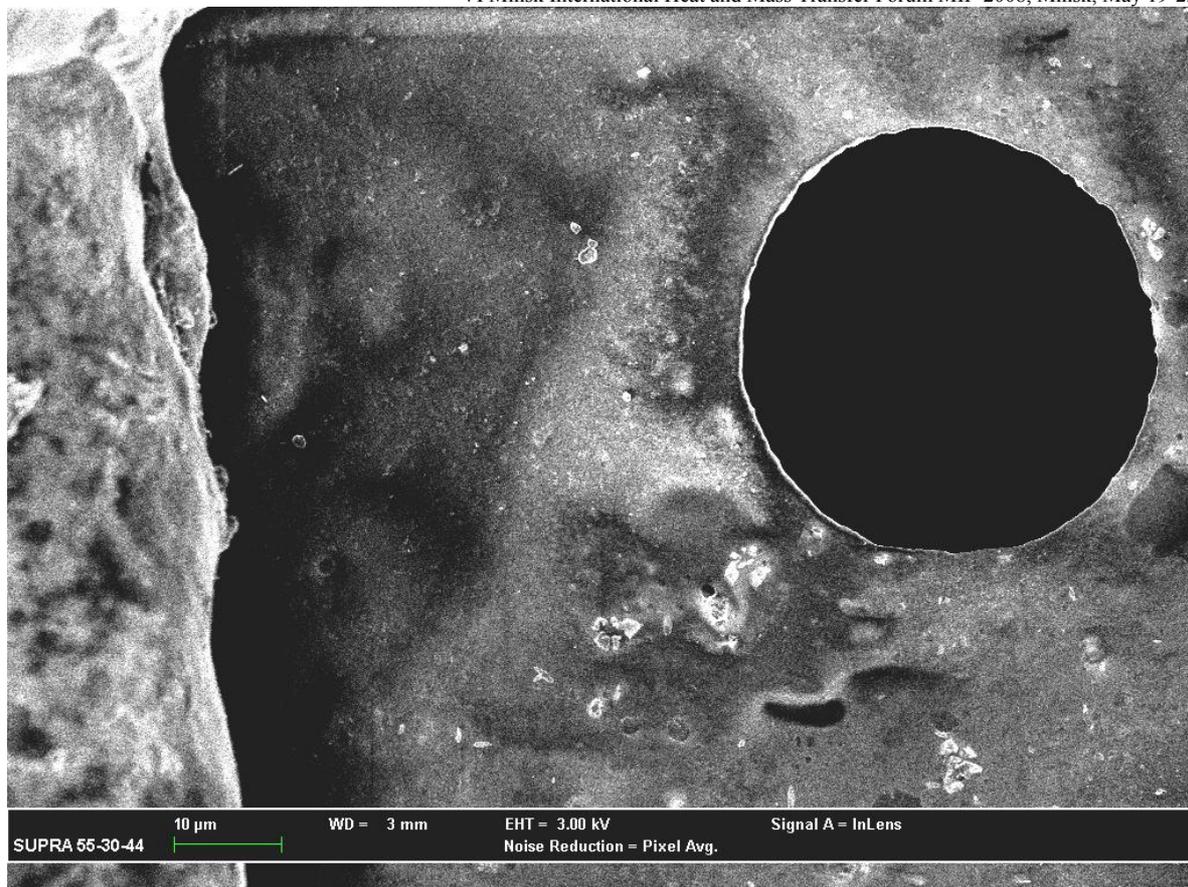


Рис. 4. Электронная микрофотография поверхности материала типа «Арселон» (увеличение  $\times 4000$ )

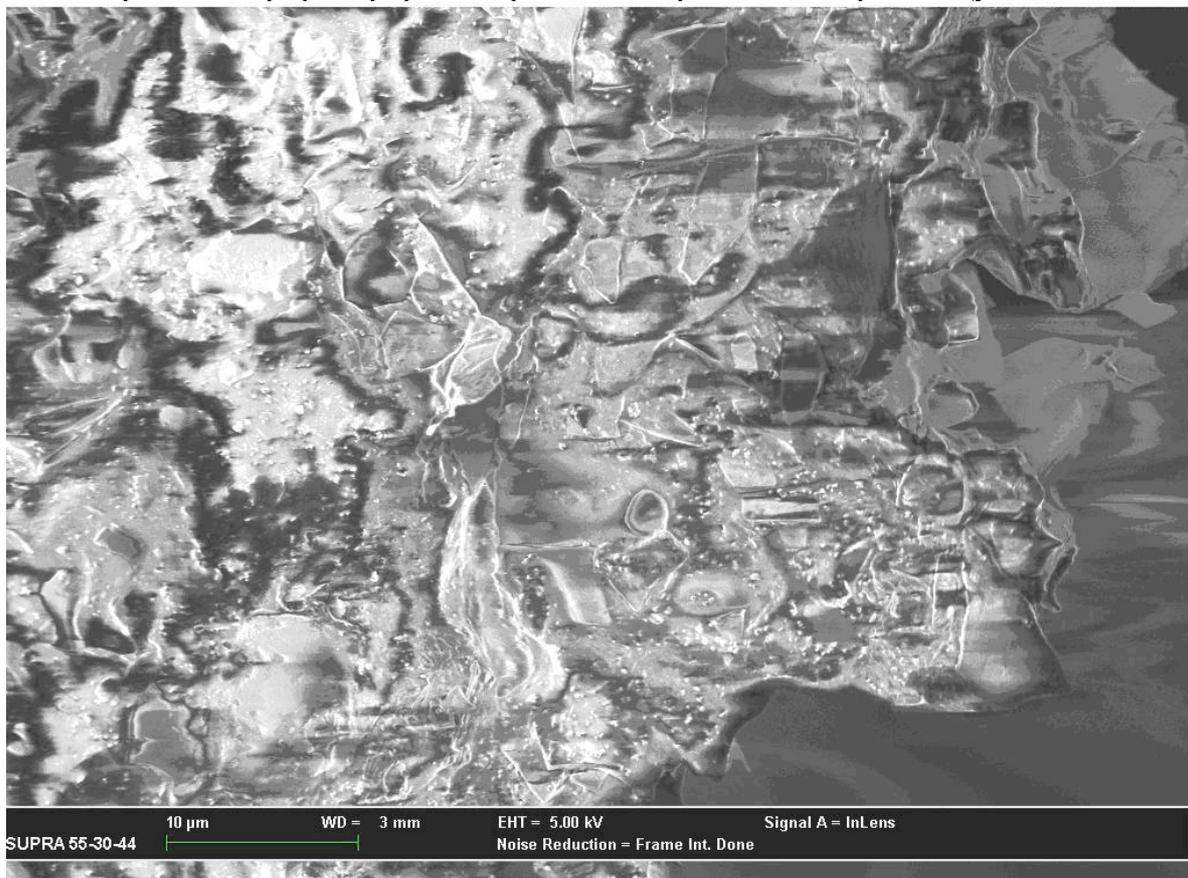


Рис. 5. Электронная микрофотография неорганического связующего материала типа «Арселон» с добавками микросфер (увеличение  $\times 4000$ )

## Литература

1. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита. М.: Энергия, 1976.