

**Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»**



**МАТЕРИАЛЫ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА  
ПЕРЕХОДЕ К НОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ:  
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник материалов  
Научно-технической конференции  
г. Москва, 07 июня 2018 г.**

# ПОЛУЧЕНИЕ НА УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНАХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КЕРАМООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Хасков М.А.<sup>1</sup>, Шестаков А.М.<sup>1</sup>, Сорокин О.Ю.<sup>1</sup>, Гуляев А.И.<sup>1</sup>, Давыдова Е.А.<sup>1</sup>, Сульянова Е.А.<sup>1</sup>,  
Синяков С.Д.<sup>1</sup>, Валуева М.И.<sup>1</sup>, Зеленина И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ФГУП ВИАМ),  
105005 Москва, ул. Радио, д.17  
e-mail: khaskov@mail.ru*

Сверхвысокотемпературные керамоматричные материалы (СККМ) находят широкое применение при использовании в условиях высоких температур, коррозионно-активных сред и частых теплосмен. При использовании в СККМ армирующего наполнителя из углеродных волокон, они должны быть покрыты, так называемым, интерфазным покрытием (ИП). ИП должно придавать защитные свойства волокну, например, при изготовлении СККМ методом реактивной инфильтрации расплавом, максимально нивелировать разницу коэффициентов термического расширения матрицы и наполнителя, причём создавать между ними оптимальное (промежуточное) адгезионное взаимодействие для реализации максимума физико-механических свойств. Одним из методов нанесения ИП является инфильтрация керамообразующим связующим с последующим пиролизом, позволяющий избежать многие технологические недостатки других методов, например, осаждения из газовой фазы и золь-гель технологий.

В работе рассматривается использование керамообразующих композиций (КК) на основе поликарбосилана, олиговинилсилазана и Роливсана. Для нанесения ИП исследовались различные соотношения исходных компонентов и их концентраций в толуоле и гексане. Для исследований процессов отверждения, полученные растворы вакуумировались в вакуумном шкафу при комнатной температуре до постоянной массы. Для исследования процессов отверждения КК использовались методы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), термогравиметрического анализа (ТГА) и ИК-спектроскопии. Нанесение ИП проводили методом пропитки с последующей сушкой при комнатной температуре до постоянной массы. Отверждение и пиролиз ИП проводили в инертной атмосфере по выбранному температурно-временному режиму. Для оптимизации технологических параметров инфильтрации КК использовали значения краевого угла смачивания и данные растровой электронной микроскопии. Для оптимизации режимов отверждения и пиролиза использовали данные термокинетических расчётов результатов ДСК и ТГА, данные растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа.

Показано, что процессы отверждения КК сопровождаются экзотермическими эффектами, которые могут включать радикальную полимеризацию двойных углерод-углеродных связей, реакцию гидросилилирования двойных связей, в том числе С=С групп и карбонильных групп, реакцию нуклеофильного замещения с участием N-H групп, в том числе и сопряжённое присоединение по Михаэлю и др. Реакция пиролиза в основном является эндотермическим процессом, сопровождающейся потерей массы (17-25% в зависимости от композиции).

Показано, что краевой угол смачивания пиролитического графита и растворов с концентрацией КК в толуоле и гексане ниже 10 мас.% находятся на уровне чистого растворителя. Перед нанесением ИП с углеродного волокна посредством отжига в окислительной атмосфере удалялся органический аппарат. Условия удаления аппарата определяли с использованием метода термогравиметрического анализа. Показано, что использование концентрации КК выше 5 мас.% приводит к неравномерному покрытию и образованию керамических сгустков. Присутствие следов кислорода в инертной атмосфере приводит к отшелушиванию интерфазного покрытия и удалению из его состава атомов азота. При использовании концентрации КК ниже 3 мас.%, проведении процессов отверждения и пиролиза в отсутствие следов кислорода по температурно-временному режиму, рассчитанному из данных термокинетики, удаётся получить равномерное интерфазное покрытие, повышающее термоокислительную устойчивость исходного волокна. Продуктами сгорания углеродного волокна с интерфазным покрытием являются полые SiO<sub>2</sub> структуры с толщиной стенки несколько нанометров. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 17-03-01163.

## Список литературы.

1. Upadhyya K. Advanced materials for ultrahigh temperature structural applications above 2000°C / Upadhyya K., Yang J.M., Hoffman W. // Report of Air Force Research Laboratory. – 1997. - P. – 23.