

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

1

DOI: 10.17223/9785946217408/143

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ  
С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ  
ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ

<sup>1,2</sup>Бочкарева С.А., <sup>1,2</sup>Гришаева Н.Ю., <sup>1,2,3</sup>Люкшин Б.А., <sup>1</sup>Люкшин П.А., <sup>1,4</sup>Панин С.В.

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия

<sup>3</sup>НИИ Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>4</sup>НИИ Томский политехнический университет, Томск, Россия

В работе исследуется влияние свойств наполнителей, в частности их адгезии к матрице на эффективные физико-механические свойства композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). В качестве наполнителя использовали мелкодисперсный политетрафторэтилен (ПТФЭ) со средним диаметром частиц 3 мкм. Эффективные характеристики двухкомпонентных композиций (модуль упругости, предел текучести, коэффициент теплопроводности) рассчитывали путем осреднения по объему параметров, полученных при решении задачи об определении параметров напряженно-деформированного состояния композиции в случае растяжения в нелинейной постановке [1] и задачи теплопроводности методом конечных элементов применительно к представительному объему композиции [1-3].

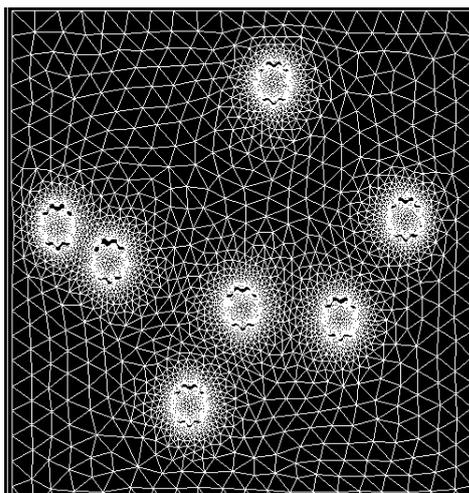


Рис. 1 – Конечно-элементная сетка образца с включениями в форме «шестеренки» после растяжения

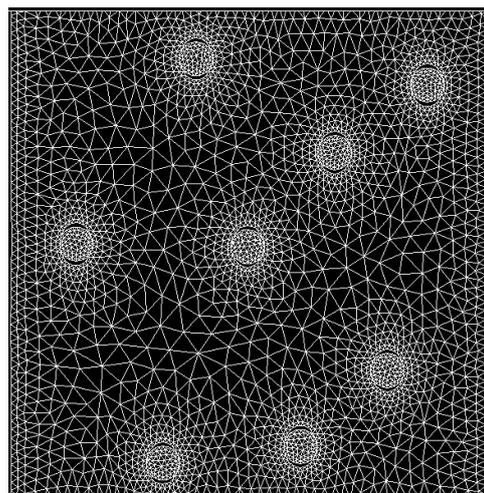


Рис. 2 – Конечно-элементная сетка образца с круглыми включениями после растяжения

С целью повышения адгезии полимерного наполнителя (порошка ПТФЭ) к высокомолекулярной ПЭ-матрице использовали обработку порошковых смесей композиций в планетарной шаровой мельнице (механоактивацию) [1], которая позволяет увеличить удельную площадь поверхности наполнителя. По этой причине при моделировании форму включений, подвергнутых предварительной обработке, задавали в виде «шестеренки» (рис. 1). На рисунке видно, что наблюдается отрыв матрицы от включений, так как механоактивация позволяет повысить механическое сцепление (адгезию); формирование новых химических связей при этом не предполагалось. Для того, чтобы учесть отсутствие адгезии на боковых сторонах включений, задавались дополнительные граничные условия, исключающие пересечение областей включений и матрицы и обеспечивающие совместность перемещений:

$$\begin{aligned}v_k &= v_l(1-h) + hv_m \\ u_k &= u_l(1-h) + hu_m\end{aligned}\quad (1)$$

где  $0 \leq h \leq 1$  определяет положение точки  $k$  относительно узлов  $l$  и  $m$ ,  $u$  и  $v$  – перемещения вдоль осей  $x$  и  $y$ .

### Секция 3. Проблемы компьютерного конструирования материалов с иерархической структурой

При решении задачи теплопроводности использовалось условие, обеспечивающее равенство температур на контактирующих границах:

$$T_k = T_l(1 - h) + hT_m \quad (2)$$

Сравнение с данными, полученными для круглой формы включений (рис. 2), показало, что модуль упругости и предел текучести заметно снизились, что соответствует экспериментальным данным [1].

Уменьшение коэффициента теплопроводности с увеличением степени наполнения для включений в форме «шестеренки» значительно больше, чем для круглых включений, так как больше площадь поверхности, что снижает температуру на контакте и, следовательно, износ. Таким образом, моделирование изменений обработанного в планетарной шаровой мельнице включений ПТФЭ в форме «шестеренки» позволяет учесть произошедшие изменения. Дальнейшие исследования будут посвящены оценке рациональной степени наполнения и ее влияния на механические и триботехнические свойства полимер-полимерных композитов.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке: ПФНИ ГАН на 2013-2020 годы по направлению фундаментальных исследований 23.П, а также проектов РФФИ № 16-48-700192\_р\_а и 18-58-00037 Бел\_а.

#### Литература

1. Люкшин Б.А., Панин С.В., Бочкарева С.А., Гришаева Н.Ю., Корниенко Л.А., Люкшин П.А., Матолыгина Н.Ю., Реутов А.И. Компьютерное моделирование и конструирование наполненных композиций // Компьютерное моделирование и конструирование наполненных композиций / Б.А. Люкшин [и др.]; отв. ред. С.А. Зелепугин. Н.: Изд-во СО РАН, 2015. 264 с.
2. Гришаева Н.Ю., Люкшин П.А., Люкшин Б.А., Панин С.В., Бочкарева С.А., Реутов Ю. А., Матолыгина Н.Ю. Модификация теплофизических характеристик полимеров введением микронаполнителей // Механика композиционных материалов и конструкций. 2016. Т. 22. № 3. с. 342–361.
3. Lyukshin B.A., Panin S.V., Bochkareva S.A., Grishaeva N.Yu., Lyukshin P.A., Reutov Yu.A. Modeling of filled polymeric composite materials in view of structural features // Procedia Engineering. 2015. № 113. С. 474–478.