ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/243

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ НАНОЧАСТИЦ ИСПОЛЬЗУЯ МОДЕЛИ ГОМОГЕНИЗАЦИИ

Филиппов А.А., Фомин В.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

Анализ современной литературы позволяет сделать простой вывод, что при изменении характерного размера наноматериалов их характеристики могут изменяться на порядки [1,2]. Экспериментальные методы определения механических характеристик наноматериалов представляют технически сложную и реально пока невыполнимую задачу, вследствие малости размеров данных объектов [3]. Расчетные модели дают достаточно большие расхождения в связи с неточными заложенными в них исходными начальными данными [4].

В данной работе на основе теоретико-экспериментального подхода удается получить свойства наноструктур в зависимости от размеров и структуры их образования. Гетерогенный материал, состоящий из нанофазы и связующей фазы, массовые и объемные концентрации которых заданы, с помощью методов осреднения сводится к гомогенному. Такой подход связывает механические характеристики фаз через осредненные свойства [5]. Полученный гомогенный материал позволяет получать образцы для классических экспериментов на растяжение, сжатие, кручение и др. При этом в осредненные механические характеристики материала будут входить механические характеристики составляющих фаз. Считая механические характеристики связующего материала и осредненные характеристики гомогенного материала известными из данных экспериментов, получим систему уравнений для определения механических характеристик нанофаз, входящих в данный гомогенный образец. Изменяя размеры нанофаз и, проводя соответствующие расчеты и эксперименты, получим закономерность изменения механических характеристик для нанофазы.

Рис. 1 Параметры Ламэ, рассчитанные для наночастиц диоксида кремния в зависимости от среднего размера при различных объемных концентрациях наполнителя: (а) – параметр λ , (б) – модуль сдвига

Используя предложенный подход, были исследованы упругие характеристики наночастиц диоксида кремния порошков Аэросил и Таркосил в зависимости от диаметров. В результате осреднения по объему и в приближении одноосного напряженного и деформированного состояния удастся получить систему алгебраических уравнений, связывающих:

$$\lambda_1 = \varphi_1(\lambda_2, \mu_2, \hat{\lambda}, \hat{\mu}, m_1, d_1); \quad \mu_1 = \varphi_1(\lambda_2, \mu_2, \hat{\lambda}, \hat{\mu}, m_1, d_1) \quad (1)$$

где λ_1, μ_1 константы Ламэ для нанофазы, $\lambda_2, \mu_2, \hat{\lambda}, \hat{\mu}$ константы Ламэ связующей и осредненной фаз соответственно, m_1 объемная концентрация и d_1 - диаметр нанофазы. Проведя

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

эксперименты на растяжение и сжатие в одноосном напряженном приближении, находим $\hat{\lambda}, \hat{\mu}$ при заданных m_1, d_1 , чем и замыкается система (1). Подготовка полимерного композиционного материала подробно описана в [6], а результаты механических испытаний изложены также в работе [7].

В результате приведенных исследований установлено, что при увеличении d_1 параметры λ_1, μ_1 асимптотически стремятся к классическому сплошному материалу, а при уменьшении d_1 параметры λ_1, μ_1 возрастают, стремясь к теоретическому пределу, вычисленному в приближении двухатомной структуры. Следует заметить, что данные результаты подтверждают выводы Н.Ф. Морозова, А.М. Кривцова и др., полученные на основе теоретических исследований [8,9].

1. J. Moczo, B. Pukanszky // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2008. № 14 p. 535–563.
2. Ni Q.-Q Fu Y Iwamoto // Journal of the Society of Material Science. 2004. № 53(9). p. 956-961.
3. A. Taloni, M. Vodret, G. Costantini, S. Zapperi // Nature Reviews: Materials. 2018. № 3. p.211-224.
4. A. V. Vakhrushev, A. Y. Fedotov, A. A. Vakhrushev, V. B. Golubchikov // Journal of Mathematics and Computations in Simulation. 2016. p.192-201.
5. S. Torquato, C. L. Y. Yeong, M. D. Rintoul, D. L. Milius, I. A. Aksay // Journal of American Ceramic Society. 1999. № 82(5). p. 1263-1268.
6. T. A. Brusentseva, A. A. Filippov, V. M. Fomin, E. V. Malykhin, T. A. Vaganova // Nanotechnologies in Russia. 2014. № 9(11-12). p.638-644.
7. T. A. Brusentseva, A. A. Filippov, V. M. Fomin, S.V. Smirnov, I. A. Veretennikova // Mechanics of Composite Materials. 2015. № 4(51). P. 531-538.
8. В. А. Еремеев, Е. А. Иванова, Н. Ф. Морозов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. 2008, № 3(8). с. 25–32.
9. V. A. Kuzkin, A. M. Krivtsov, E. A. Podolskaya, M. L. Kachanov // Philosophical Magazine. 2016. № 15(96). p. 1538-1555.