

**0.1. Григорьев А.С., Лапшина А.А., Буяков А.С.  
Определение локальных прочностных и  
упругих характеристик пористого огнеупора на основе SiO<sub>2</sub>**

Разработка многомасштабных механических моделей перспективных огнеупорных материалов является одним из наиболее востребованных направлений в механике деформируемого твердого тела, что определяется, в том числе возможностью их использования для создания цифровых двойников перспективных огнеупоров. Ранее авторами была разработана и валидирована мезоскопическая модель широко применяемого в металлургии огнеупорного материала на основе SiO<sub>2</sub>, учитывающая его характерные структурные особенности в интервале масштабов 10<sup>-5</sup> – 10<sup>-2</sup> м и особенности механического отклика в широком спектре скоростей нагружения [1]. Однако полноценное применение развитой модели требует знания локальных механических свойств мезоскопических структурных элементов, в частности, высокопористых областей материала, образованных мелкодисперсными зёрнами размером менее 10<sup>2</sup> мкм. Экспериментальное определение эффективных характеристик структурных элементов на микроскопическом уровне является крайне затруднительной задачей. Поэтому в рамках данной работы проведена оценка упругих и прочностных характеристик микромасштабных пористых образцов огнеупора в зависимости от величины пористости и морфологии порового пространства. Исследование проводилось путем численного моделирования с использованием метода дискретных элементов [2, 3]. В работе построены двумерные образцы, моделирующие мелкозернистые области огнеупора на основе SiO<sub>2</sub> и характеризующиеся различной величиной пористости и типом поровой структуры (канальная или закрытая пористость). Получены оценки прочностных характеристик и интервалы изменения модуля Юнга исследуемых образцов в зависимости от величины пористости и морфологии порового пространства. Показан определяющий вклад пористости закрытого типа в интегральные механические характеристики огнеупора, хотя объемное содержание таких пор невелико в сравнении с содержанием протяженных пор канального типа. Полученные данные могут быть использованы в качестве входных параметров мезомасштабной модели огнеупора для решения актуальных задач, связанных с изучением влияния параметров микроструктуры на макроскопические механические и термомеханические свойства огнеупоров на основе SiO<sub>2</sub>.

*Исследование выполнено за счет гранта  
Российского научного фонда № 22-19-00688,  
<https://rscf.ru/project/22-19-00688>*

**Список литературы**

[1] GRIGORIEV A. S., ZABOLOTSKIY A. V., SHILKO E. V.,  
DMITRIEV A. I., ANDREEV K. Analysis of the

Quasi-Static and Dynamic Fracture of the Silica Refractory Using the Mesoscale Discrete Element Modelling // *Materials*. 2021. Vol. 14. Article 7376. doi: 10.3390/ma14237376

[2] PSAKHIE S. G., SHILKO E. V., GRIGORIEV A. S., ASTAFUROV S. V., DIMAKI A. V., SMOLIN A. YU. A mathematical model of particle–particle interaction for discrete element based modeling of deformation and fracture of heterogeneous elastic–plastic materials // *Engineering Fracture Mechanics*. 2014. Vol. 130. P. 96–115. doi: 10.1016/j.engfracmech.2014.04.034

[3] GRIGORIEV A. S., SHILKO E. V., SKRIPNYAK V. A., PSAKHIE S. G. Kinetic approach to the development of computational dynamic models for brittle solids // *International Journal of Impact Engineering*. 2019. Vol. 123. P. 14–25. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2018.09.018