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: 10.17223/9785946218412/110

**О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА
ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Заболотский А.В., Турчин М.Ю., Хадыев В.Т., Мигашкин А.О.

ООО «Группа «Магнезит», Сатка

Огнеупорные материалы или огнеупоры представляют собой гетерогенные системы состоящие из значительного числа компонентов, различающихся как фазовым, так и зерновым составом. В типичном случае шихта для изготовления огнеупорного кирпича может содержать до 10 компонентов, при этом массовая или объемная доля каждого составляет от десятых долей до десятков процентов. Кроме того, вследствие фазовой разнородности исходных материалов, готовые огнеупоры обладают существенной пористостью, составляющей от 3 до 20 % по объему (исключение составляют теплоизоляционные материалы, для которых пористость целенаправленно повышается в процессе изготовления и может составлять более 80%).

С точки зрения структуры в типичных огнеупорах могут быть выделены каркас, состоящий из крупных и средних зерен и связующее, включающее тонкую фракцию и непосредственно связку, которая упрочняется после придания изделию формы за счет физико-химического превращения, как правило происходящего в процессе термообработки изделия. Температура термообработки огнеупорных изделий зависит от вида связки и составляет не менее 300 °С (гидравлические и органические связки), а для отдельных групп изделий может достигать 2000 °С (керамические связки). Поры в огнеупорных материалах как правило находятся в связующем, за исключением случаев, когда для формирования каркаса используются зерна материалов, обладающие собственной значительной пористостью.

В процессе эксплуатации (службы) огнеупорные материалы подвергаются сложному воздействию включающему: механическую составляющую, вследствие давления соседних элементов конструкции, термомеханическую составляющую за счет собственного термического расширения материалов, а также химическое и абразивное воздействие обрабатываемой среды (в типичном случае расплава металла).

В процессе проектирования конструкций с использованием огнеупоров часто встает вопрос оценки ресурса материала, либо анализа ранее имевшего место разрушения футеровки. Как правило, за исключением явных аварийных ситуаций, разрушение таких материалов происходит по механизму малоциклового усталости. При этом разрушающие трещины в большинстве случаев продвигаются по связке огнеупорного материала, обходя более крупные зерна каркаса. Для моделирования положения и роста трещин нами использовались известные методы конечных элементов и клеточных автоматов.

В рамках решения практических задач были выработаны подходы для количественной оценки исходной поровой структуры материалов исходя из фазового и зернового состава сырьевых компонентов шихты (включая расчет формы микродефектов и средних расстояний между ними), выявления мест возникновения инициирующей трещины, включая мезомоделирование процесса объединения соседних микротрещин, в том числе определение коэффициентов интенсивности напряжений для объемных систем дефектов материала. На основе полученных результатов были выработаны прогнозы ресурса огнеупорных футеровок, которые с удовлетворительной точностью предсказали место и момент времени появления визуально наблюдаемых трещин при типичных условиях эксплуатации оборудования.

Кроме того, результаты структурного моделирования материалов были использованы для определения безопасных режимов удаления влаги из гидравлически твердеющих огнеупорных материалов (бетонов), подверженных взрывному разрушению в случае резкого подъема температуры или применении неоптимального режима термообработки. При этом были выработаны рекомендации для термообработки нескольких материалов различной плотности, полученных с применением связующего различной химической природы. В рамках проведенного исследования были разработаны методики для лабораторной аттестации

Секция 3. Проблемы компьютерного конструирования материалов с иерархической структурой

таких материалов (определения параметров, необходимых для моделирования удаления влаги через существующие поровые структуры).

В настоящее время решается проблема прогнозирования ресурса службы материалов в различных условиях по результатам стандартных лабораторных испытаний огнеупоров и разработка удобной математической модели термомеханического износа огнеупоров в процессе службы.

1. Заболотский А.В., Аксельрод Л.М., Марченко Д.А. Моделирование процесса перемещения влаги в огнеупорном бетоне при сушке с помощью перколяционных структур // Новые огнеупоры. 2018. № 8. с. 28 – 35
2. Заболотский А.В. Аксельрод Л.М. Моделирование разрушения крупных бетонных блоков при сушке под воздействием термической нагрузки. //XV Минский Международный форум по тепло и массообмену. Минск 2016. Т. 3. С. 133-137.
3. Заболотский А.В., Аксельрод Л.М., Донич Р.А., Поспелова Е.И., Марченко Д.А. Математическое моделирование движения влаги в огнеупорных бетонах и торкрет-массах во время сушки. // Новые огнеупоры 2016. № 12. с. 6-12.
4. Заболотский А.В. Построение и исследование модели поровой структуры керамического материала. // Инновационная наука. № 03-1/2017. с. 27 - 34.
5. Заболотский А.В. Моделирование структуры связки керамического материала как перколяционного кластера второго порядка. // Сборник статей международной научно-практической конференции "Совершенствование методологии познания в целях развития науки" в 3 ч./ Ч.3 - Уфа. Аэтерна. 2017. с. 67 - 76.
6. Zabolotskii, A.V., Aksel'rod, L.M., Donich, R.A. et al. Mathematical Modeling of the Movement of Moisture in Refractory Concrete and Gunning Bodies during Drying.// Refract Ind Ceram. 2017. V. 57 pp 578–584
7. Zabolotsky A.V., Axelrod L.M. Application of the Cell Automata Method to the Brittle Material Thermal Fatigue Fracture Simulation. // Journal of Scientific and Engineering Research. 2017. V.4 №10 pp. 284-292
8. Zabolotsky A.V. Percolation theory usage for water transfer simulation while drying out of refractory castables.// Int. J of Materials. 2017. v. 4. p 46 - 53.