ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/97

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОГНЕУПОРА В ПЕРЕМЕННОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

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

ООО «Группа «Магнезит», Сатка

Огнеупорные материалы или огнеупоры широко применяются в химической и металлургической промышленности для ограждения металлоконструкций (кожухов оборудования и иных устройств) от воздействия высокой температуры. В процессе работы в огнеупорных футеровках образуется некоторый профиль температур, который в зависимости от режима термообработки внутренней среды агрегата может быть стационарным либо претерпевать циклические изменения с течением времени. В любом случае это приводит к термическому расширению (или сжатию – при остывании) изделий и, как следствие, возникновению механически напряженных зон в футеровке. При этом, вследствие дефектной микроструктуры огнеупорных материалов (по причине принятого способа изготовления такие материалы всегда содержат дефекты – границы частиц твердых фаз и пустоты в виде пор и микротрещин), разрушающие напряжения часто оказываются значительно ниже прочности компонентов огнеупора (причина этого в явлении концентрации напряжений).

Необходимо отметить, что в реальных условиях службы огнеупорных материалов термомеханические напряжения из-за резкого нагрева или охлаждения нарастают быстро и в течение нескольких секунд могут достигать критического разрушающего уровня на дефектах структуры, к которым относятся пустоты (поры) и микротрещины в материале, а также межфазные границы с малым радиусом кривизны. В типичном случае в изделии в течение короткого времени формируется обширная область термомеханических напряжений, величина которых достаточна для начала роста трещин на дефектах структуры. Вследствие многочисленности дефектов структуры, которые одновременно являются как источниками роста трещин, так и препятствиями для их распространения, в огнеупорах, как правило, реализуется усталостный механизм хрупкого разрушения.

Важным представляется учет взаимного влияния (суперпозиции) дефектов структуры. Например, при помощи численного моделирования было установлено, что наибольший уровень концентрации напряжений достигается на одиночных дефектах, имеющих выход на поверхность материала – микротрещинах на гранях и ребрах изделия. Однако, в случае если на небольшом расстоянии (не более 3 – 5 характеристических размеров дефекта) от такой микротрещины находится другой внутренний дефект, то наибольшая концентрация напряжений возникает как раз на нем. Для моделирования напряжений использовалась трехмерная структура, приближенная к структуре реального огнеупорного материала – были выдержаны средние размеры пустот и расстояния между ними, определенные ранее путем моделирования упаковок компонентов шихты и верифицированные данными электронной микроскопии [1, 2]. Расчет выполнялся в среде ANSYS Mechanical R15. Ранее аналогичным путем были рассчитаны коэффициенты усиления напряжений для системы дефектов, находящейся в глубине материала [3]. Выполненными расчетами установлено, что взаимное влияние дефектов может привести к тому, что начало роста поверхностной трещины в огнеупоре потребует приблизительно на 20% большего механического напряжения, чем необходимо для старта внутренней микротрещины, находящейся вблизи поверхностного дефекта.

Численными методами была построена функция напряженно-деформированного состояния образца огнеупора (определен уровень механического напряжения и деформаций для большого числа точек образца), находящегося под воздействием резкого изменения температуры окружающей среды, а также проведено численное дифференцирование этой функции в направлениях главных координатных осей. На малой выборке установлено, что разрушение материала начинается в точке максимума производной напряжений по координате, а не в зоне фактического максимума напряжений. При этом точка максимума

Секция 3. Компьютерное моделирование и дизайн материалов с иерархически организованной структурой

производной находится в зоне опасных механических напряжений.

Данный результат может означать, что источником трещины служит максимально неравномерно деформированная зона материала, то есть его участок испытывающий сложную нагрузку. Например, одновременное растяжение и изгиб. При этом необходимо отметить, что особенностью огнеупорных и других хрупких материалов является то, что растяжение и изгиб являются более опасным способом приложения нагрузки, чем сжатие или сдвиг.

1. Заболотский А.В. Построение и исследование модели поровой структуры керамического материала. // Инновационная наука. № 03-1/2017. с. 27 - 34.
2. Заболотский А.В. Моделирование структуры связи 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. Азтерна. 2017. с. 67 - 76.
3. Заболотский А.В., Турчин М.Ю., Хадыев В.Т., Мигашкин А.О. Численное моделирование коэффициентов интенсивности напряжений для пространственной системы дефектов на примере периклазоуглеродистого огнеупора сталеплавильного производства. Механическое оборудование металлургических заводов. № 1(12), 2019, с. 64 - 70.