

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Заболотского Андрея Васильевича
«Многоуровневый подход к прогнозу трещинообразования в квазихрупких
композиционных материалах в условиях градиента температуры»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»

В настоящее время разработка подходов к проблеме описания и моделирования разрушения огнеупорных материалов в процессе их эксплуатации, позволяющих, с одной стороны предсказывать стойкость огнеупоров, а с другой – совершенствовать структуру и повышать их термомеханические свойства является актуальной научно-технической задачей. Её решение будет способствовать снижению аварийности металлургических производств и снижению их себестоимости производства, а также повышению качества производства огнеупорных и керамических материалов. Предлагаемый диссертантом подход к анализу и моделированию механизмов разрушения гетерофазных композиционных материалов – разделение структуры композиционного материала на размерные уровни (микроструктура, макроструктура, изделие, агрегат), позволяет моделировать характер, топографию и кинетику разрушения футеровки агрегата в условиях реальной геометрии и температурных режимов эксплуатации.

Целью работы Заболотского А. В. являлось разработка многоуровневого подхода к численному моделированию разрушения, учитывающему особенности свойств и структуры гетерофазных композиционных материалов в условиях высокотемпературной эксплуатации и градиента температурного поля, для анализа причин разрушения конструкций и прогнозирования их ресурса в условиях службы, что реализовано в двух моделях:

- модели гетерофазного композиционного материала, позволяющей на основе информации о фазовом и зерновом составе материала и условий его термообработки прогнозировать геометрию концентраций напряжений в системе и тем самым прогнозировать его термомеханические свойства;

- модели разрушения гетерофазного композиционного материала, позволяющей численно определять место возникновения, направление и динамику роста трещин, включая условия изменения траектории и скорости роста и характера разрушения материала, что позволяет прогнозировать стойкость огнеупорной футеровки в реальных условиях эксплуатации.

В работе проведено комплексное исследование существующих теорий и методов анализа прочности композиционных материалов, на основании которого докторантом разработан градиентный деформационный критерий для определения точки, момента времени начала трещинообразования, направления роста и приращения размера трещин при использовании его на разных размерных уровнях с соответствующими элементами структуры, что позволяет объяснить известный характер и динамику роста трещин в композиционных материалах. Предложенный критерий был валидирован в экспериментах по распространению трещин в композиционных структурах.

Заболотским А. В. предложен и валидирован алгоритм определения геометрических параметров концентраторов напряжений в композиционных материалах, основанный на методе Монте-Карло, позволяющий проводить сокращение представительного объема материала для ускорения расчётов. Численно исследованы особенности распределения

напряжений и деформаций на границах раздела фаз с различными упругими характеристиками при разном характере внешней нагрузки. Показано, что при наличии внутренних механических напряжений (усадочные явления при сушке или обжиге, тепловое расширение при нагреве и др.), внешние термомеханические воздействия приводят к увеличению напряжений на концентраторах (границах раздела фаз с повышенной кривизной поверхности), при этом всесторонние внешние напряжения, наоборот, могут существенно снижать локальные напряжения на концентраторах.

Рассмотрено влияние условий приложения нагрузки, вида и взаимного расположения фаз на характер разрушения материала и ресурс его эксплуатации.

В работе рассмотрены практические приложения разработанных модели материала, к прогнозированию ресурса конструкций. На примере изделий для футеровки мартеновской печи показано влияние скорости разогрева футеровки на образование сколов рабочей грани огнеупоров. Проанализирован процесс разрушения изделий для футеровки сталеразливочных ковшей в зависимости от особенностей их монтажа. Проанализирован рост трещин в огнеупорных изделиях при их испытании на термостойкость и рост усталостных трещин в прессовой оснастке для производства огнеупоров сложной геометрической формы. Приведен пример использования многоуровневого подхода для анализа аварийной ситуации, возникшей во время сушки путем одностороннего нагрева крупногабаритного бетонного изделия – брызгозащитного экрана установки вакуумной обработки стали (VD-VOD).

Учитывая вышесказанное, научная новизна и практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений.

Автореферат включает в себя все необходимые разделы и изложен грамотным языком, однако по нему имеются следующие вопросы:

1. Автором предполагается, что разгрузка напряжённо-деформированного состояния (НДС) композиционного материала происходит за счёт образования либо дефектов структуры, либо новой поверхности (трещин). Но, как известно, эта энергия может также расходоваться и на паразитарные излучения (например, звук), и на нагрев системы. Как Автор оценивает долю энергии, запасённой НДС, расходуемой не на образование или рост трещины и учитывал ли в анализе процесса разрушения эффекты от нагрева области вокруг конденсатора напряжений при разгрузке НДС?

2. Во второй главе, для оценки возникающих напряжений в условиях температура ниже температуры появления пиропластичного состояния в системе, Автором использована упрощенная запись закона Гука (формула 2). Почему предложено не учитывать упругие деформации, которые даже для абсолютно хрупких тел могут достигать 1 %, а для квазихрупких – и более, особенно с учётом возможных эффектов предплавления при высоких напряжениях?

3. В тексте автореферата есть некоторое количество пунктуационных ошибок. Также следует отметить, что в Российской Федерации нормативно установлено использование в качестве десятичного разделительного знака в числах только запятой (ГОСТ 8.417-2002; ГОСТ 1.5-2001; ГОСТ Р 2.105-2019).

Оценивая диссертационную работу Заболотского А. В. по значимости полученных результатов, можно заключить, что она является законченным научным исследованием, направленным на решение актуальной научно-технической задачи современного материаловедения, и выполнена на высоком уровне.

Диссертационная работа Заболотского А. В. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор, Заболотский Андрей Васильевич., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Заведующий кафедрой Химической технологии керамики и огнеупоров ИНМТ ФГАОУ ВО Уральский Федеральный университет, кандидат технических наук (научная специальность 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов), доцент – К. Г. Земляной

Профессор кафедры Химической технологии керамики и огнеупоров ИНМТ ФГАОУ ВО Уральский Федеральный университет, доктор технических наук (научная специальность 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов), профессор – И. Д. Кашеев

620002, РФ, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19 ИНМТ УрФу, каф. ХТКиО, тел. +7(343)3754432, E-mail: kir77766617@yandex.ru.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Кирилл Геннадьевич Земляной

Даю согласие на обработку персональных данных.

Иван Дмитриевич Кашеев

Подписи Кашеева Ивана Дмитриевича и Земляного Кирилла Геннадьевича

Удостоверяю,

Ученый секретарь УрФУ

К.Т.Н.



В. А. Морозова