

К ВОПРОСУ О ТЕРМОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Г.Д. Аналькова

Выполнен анализ современных методов оценки термостойкости материалов, в том числе в области высоких температур. Приведены результаты моделирования условий трещинообразования в условиях разрушающего перепада температур при локальном нагреве образцов. Показано, что тенденции изменения измеренных значений термостойкости и расчетного критерия Кинджери для исследованных марок в целом сохраняются, но масштаб их соотношений существенно отличается. Выполнен анализ взаимосвязи измеренных значений термостойкости и физико-механических характеристик материала. Показана целесообразность исследования измеренных значений термостойкости новых перспективных материалов.

Ключевые слова: термостойкость материалов, взаимосвязь с физико-механическими характеристиками.

Современные тенденции в технологии производства характеризуются интенсификацией процессов и существенным увеличением мощности модернизируемых и вновь проектируемых видов оборудования, что ведет к соответствующему повышению требований к качеству используемых материалов.

Одним из важнейших свойств материалов является термостойкость, как правило, определяющая их применимость и срок службы в различных условиях. Практически всегда термостойкость играет важную роль при наличии температурных градиентов.

В пищевой промышленности актуальным становится использование технологий с применением современных электрофизических способов воздействия [1], которые сопровождаются развитием локальных напряжений в технологическом оборудовании, в том числе и керамических элементах современных процессов, таких как высокопрочные режущие инструменты, детали насосов и клапанов т.д. Увеличение срока службы оборудования обеспечивается комплексом мероприятий, к числу которых относится и повышение термостойкости элементов конструкций [2].

В технической характеристике качества конструкционных материалов нет показателя, отражающего способность материала противостоять трещинообразованию в условиях развития термических напряжений.

Термостойкость можно определить как предел прочности материала при термических напряжениях – механических напряжениях, возникающих в твердом теле вследствие неравномерного распределения температуры в отдельных его частях или ограничения возможности его теплового расширения в целом. Термостойкость получила обоснование как физическое свойство материалов, являющееся интегральным показателем во взаимосвязи с фундаментальными свойствами вещества.

Исследователи термостойкости отмечают сложность проблемы, связанную с тем, что в научном плане не существует единого критерия ее оценки и универсальной методики ее определения [3–4].

В зависимости от поставленных целей для расчета критериев термостойкости используются те или иные формулы, в основе которых лежат теоретические предпосылки, разработанные W.D.Kingery [5], и в частности объединяющая основные физико-механические характеристики материала:

$$T = \frac{\sigma_p \cdot \lambda}{E \cdot \alpha}, \quad (1)$$

где T – критерий термостойкости;

σ_p – предел прочности на разрыв;

E – модуль упругости;

α – температурный коэффициент линейного расширения;

λ – теплопроводность.

Расчетные критерии термостойкости предполагают наличие гомогенной изотропной структуры с линейной упругостью и хрупкостью.

Термостойкость может оцениваться числом циклов нагрева и охлаждения до частичного или полного разрушения [6], разрушающей разностью температур, критической мощностью излучения, при достижении которой происходит разрушение образца, временем, необходимым для образования трещины в образце под воздействием термических напряжений в условиях радиального градиента температуры, создаваемого путем локального нагрева образца [7].

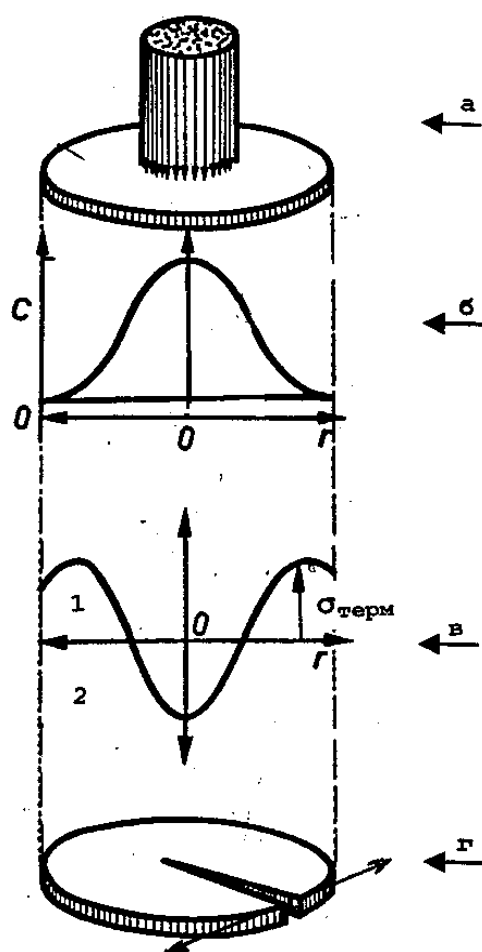
В рамках данной статьи приведены результаты исследования трещинообразования с использованием методики [7], предусматривающей воздействие на образец термических напряжений в условиях радиального градиента температуры и сравнение расчетных и экспериментальных результатов оценки термостойкости.

Преимуществом использованной методики является масштабное моделирование процесса образования трещины в экстремальных условиях эксплуатации с фиксированием как времени, так и разрушающего перепада

температур в условиях локального нагрева электроконтактным методом. В качестве показателя термостойкости было использовано время, необходимое для образования трещины в образце под воздействием термических напряжений.

В качестве модельных использованы углеродные материалы как типичные представители широкого класса органических и неорганических материалов.

Характер радиального распределения температуры и вызванных температурным перепадом тангенциальных термических напряжений при этом представлен на рисунке 1, распределение температуры в образце во времени – на рисунке 2.



- а – подвод электрического тока к образцу;
- б – радиальное распределение температуры;
- в – термические напряжения в образце:
 - 1 – область растяжения; 2 – область сжатия;
- г – образование трещины ($\sigma_{\text{терм}}$ больше $\sigma_{\text{разрыва}}$)

Рис. 1. Радиальное распределение термических напряжений в образце

Неравномерный нагрев образца и, как следствие, его неравномерное тепловое расширение приводит к развитию в центральной части напряжений сжатия, приводящих в свою очередь к развитию тангенциальных растягивающих напряжений на периферии, которые в случае превышения прочности на разрыв материала вызывают образование продольной трещины. Образование трещины сопровождается резким увеличением уровня его механических, преимущественно продольных колебаний.

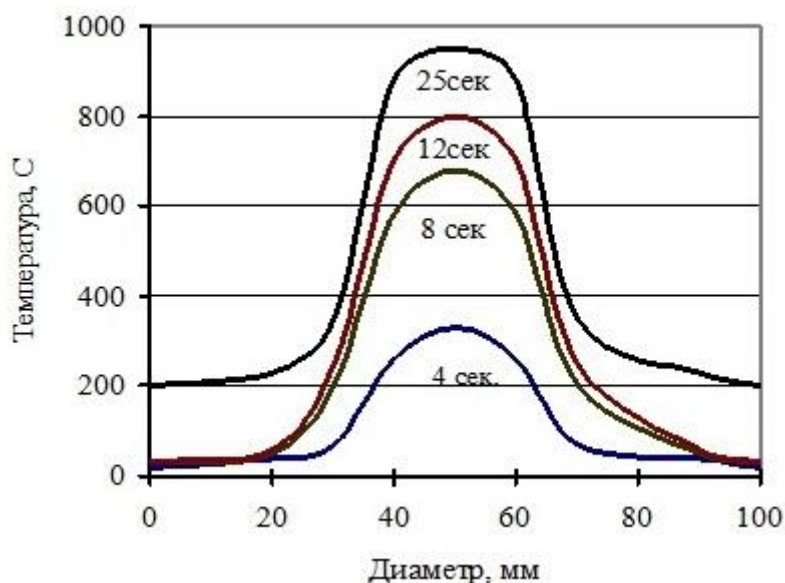


Рис. 2. Радиальное распределение температуры в образце во времени

Измерение относительной деформации образца в процессе испытаний с использованием измерителя перемещений показало, что в момент разрушения происходит резкий скачок удлинения (рис. 3). Использование этого явления положено в основу фиксации момента окончания испытания по увеличению амплитуды механических колебаний образца, преобразуемых пьезодатчиком в электрический сигнал, что обеспечивает повышение точности измерения.

Величина контактного электросопротивления, обеспечивающего при пропускании электрического тока создание локального разогрева образца, регулируется давлением токоподводов на образец, и может варьироваться в широких пределах в зависимости от исследовательских задач.

В процессе испытаний образцов на термостойкость наблюдался различный характер трещинообразования углеродных образцов – радиальные трещины с выходом на торец и разрушением образца и образование трещин без выхода на торец – трещина вязнет в материале.

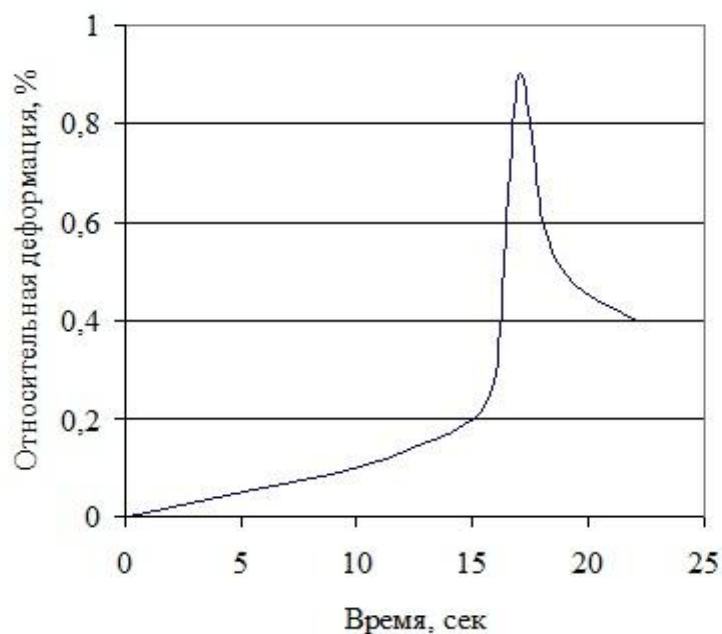


Рис. 3. График относительной деформации образца в процессе испытания на термическую стойкость

Исследовали углеродные материалы одного назначения 6 различных марок и различных производителей, представленные в коде. Результаты исследований приведены на рисунках 3 и 4. Как видно из представленных данных, если тенденции изменения измеренных значений термостойкости и расчетного критерия Кинджери для исследованных марок в целом сохраняются, то масштаб их соотношений существенно отличаются. Так, если по критерию Кинджери материал № 3 в 3 раза уступает материалу № 1, то их измеренные значения термостойкости существенно не отличаются.

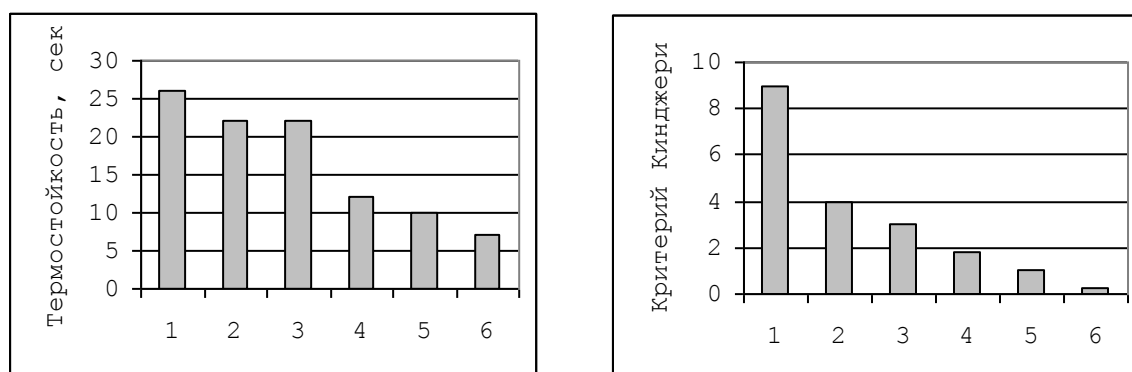
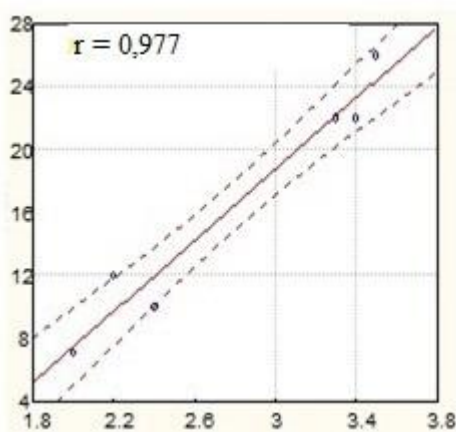
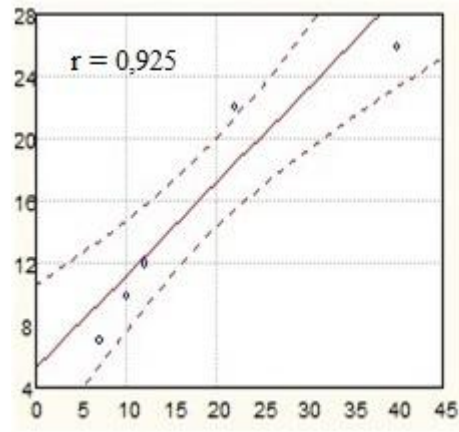


Рис. 3. Измеренные и расчетные значения термостойкости различных марок углеродных материалов одного назначения

Анализ взаимосвязи измеренных значений термостойкости и физико-механических характеристик материала в соответствии с формулой (1) показал, что наибольший коэффициент корреляции имеет пара «термостойкость – предел прочности на разрыв», затем следует «термостойкость – теплопроводность» (рис. 4), по остальным свойствам взаимосвязи слабее – по температурному коэффициенту линейного расширения коэффициент корреляции составил 0,799, по модулю упругости 0,376. Это свидетельствует о том, что термостойкость в области высоких температур имеет свою специфику и закономерности.



а)



б)

По оси x – термостойкость, по оси y – предел прочности на разрыв (а) и теплопроводность (б)

Рис. 4. Взаимосвязь и коэффициенты корреляции термостойкости и предела прочности на разрыв (а) и теплопроводности (б) различных марок материалов одного назначения

Таким образом, показатель термостойкости как техническую характеристику конструкционных материалов целесообразно использовать в исследовательской практике, в том числе при разработке требований и промышленного освоения новых термостойких материалов для модернизируемых и вновь проектируемых видов оборудования.

Библиографический список

1. Науменко, Н.В. Исследование факторов физической природы, используемых для интенсификации биотехнологических процессов / Н.В. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 3, № 3. – С. 13–19.

2. Bates C., Stewart P.A., Wieserman L.F. Thermal shock protection for electrolysis cells: Патент 6447667 США, МПК⁷ С 25 С 3/08. Патент № 09/765185; Заявл. 18.01.2001; Опубл. 10.09.2002; НПК 205/384.

3. Прохоров, И.Ю. Термостойкость оксидных керамических материалов / И.Ю. Прохоров // Огнеупоры и техническая керамика. – 2002. – № 5. – С. 37–47.

4. Коломейцев, В.В. Термостойкость высокотемпературных материалов / В.В. Коломейцев, С.А. Суворов, Е.Ф. Коломейцева, О.В. Коломейцева // Новые огнеупоры – 2004. – № 8. – С. 38–48.

5. Kingery W.D. Factors affecting of thermal stress resistance ceramic materials. – American Ceramic Soc. – 1955. – V. 38, № 1. – Pp. 3–15.

6. ГОСТ 7875.0-94 Изделия огнеупорные. Общие требования к методам определения термической стойкости (Refractory products. Basic requirements for procedures of thermal shock resistance determination). – М.: Изд-во стандартов.

7. Калядов Е.В., Апалькова Г.Д., Глушков Н.В., Варыпаев Э.С., Кондрашенкова Н.Ф. Способ определения термостойкости тугоплавких материалов. Авт. свид. 1188582. Заявл. 08.04.83; Опубл. 30.10.85. Бюл. № 40. НПК G 01 N 3/60.

[К содержанию](#)