

На вихрекопировальном станке этим инструментом проводилась обработка углеграфитового блока для получения фасонного электрода-инструмента. Абразивный мастер-инструмент может быть неоднократно использован для изготовления электродов-инструментов или восстановления изношенных. Кроме, того, несложно получить, дополнительные экземпляры мастер-инструмента, используя модель, изготовленную методом СЛС.

В качестве эксперимента, мастер-инструмент для вихрекопировального станка, был получен непосредственно методом СЛС. Для его изготовления использовалась смесь порошка карбида кремния и термопластичного полимера. С помощью этого инструмента также была проведена обработка углеграфитового блока для получения фасонного электрода-инструмента.

Все полученные электроды-инструменты были испытаны на электроэрозионном участке инструментального цеха ПО «Витязь». Обработывались детали из стали 12Х на станке типа 4Г721М. Испытания показали, что электроды-инструменты, изготовленные по описанным выше схемам, обеспечивают качество электроэрозионной обработки не хуже, чем аналогичные электроды-инструменты, полученные традиционными методами.

Таким образом, проведенные нами исследования показали перспективность использования технологии селективного лазерного спекания при изготовлении электродов-инструментов для электроэрозионной обработки инструментальных сталей.

Список литературы

1. Горюшкин В.И. Основы гибкого производства машин и приборов/В.И. Горюшкин. -Минск: Наука и техника, 1984.-140 с.
2. Немилов Е.Ф. Электро-эрозионная обработка материалов/ Е.Ф. Немилов -Ленинград: «Машиностроение», 1983.-160 с.
3. Кузнецов В. Системы быстрого изготовления прототипов и их расширения/ В.Кузнецов//CAD/CAM/CAE Observer -2003.- № 4.-С.2-7.
4. Н.К.Толочко, Н.В.Соболенко, С.Е.Мозжаров, Ядройцев И.А., Горюшкин В.И., Дубовец В.С. Технология послойного синтеза – новый метод формообразования порошковых изделий // Вестник машиностроения. – 1995.- N 4.-С. 22-25.
5. Аронов А. И. Станки для обработки методом "вихревого копирования"/ "Металлорежущие и деревообрабатывающие станки, автоматические линии", 1967, в. 10.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Гаврилов А. В.

Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск,
shut@vitebsk.by

Введение

Терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС) на основе керамики титаната бария, легированной редкоземельными элементами нашли широкое применение в электротехнике и радиоэлектронике (ПТКС-терморезисторы (позисторы) используются в силовых цепях в качестве нагревательных, пусковых элементов, в схемах защиты и др.) [1]. В результате воздействий больших токовых нагрузок, терморезисторы могут разрушаться (эффект «расслоения») [2].

Причина данного явления заключается в возникновении значительных температурных градиентов и связанных с ними напряжений величиной 50–100 МПа [3], что соизмеримо с пределом прочности керамики титаната бария 50–150 МПа [4]. Поэтому важной задачей является повышение устойчивости позисторов к тепловому удару в процессе нагрева электрическим током. При этом решение данной проблемы путем улучшения механических (прочностных) свойств керамики $BaTiO_3$ без влияния на её электрические характеристики является трудно выполнимой задачей. Другим способом решения этой задачи может быть коррекция (выравнивание) тепловых полей и как следствие снижение термоупругих напряжений. Данный способ может быть реализован путем коррекции формы терморезистора или конфигурации электродов.

Теоретическая модель

Распределение температуры в позисторных элементах рассчитывалось путем совместного решения уравнений теплопроводности и электропроводности. Для расчетов температурных напряжений решалась квазистатическая задача термоупругости [3]. Удельное сопротивление позисторной керамики ρ зависит от состава материала, технологических режимов его изготовления, температуры образца и напряженности электрического поля E (варисторный эффект) [1]. Зависимости удельного сопротивления от температуры и напряженности электрического поля были получены экспериментально (рис. 1). Учитывая симметрию позисторных элементов цилиндрической формы (рис. 2), решение задачи находилось в координатах z, r , (случай осевой симметрии) причем, только для положительных значений координаты z , поскольку результаты для отрицательных значений z могут быть получены зеркальным отражением (для сечения $OMAB$ рис. 2 и 3). Расчеты были проведены на основании исследований защитных терморезисторов, производства ОАО «Витебский завод радиодеталей «МОНОЛИТ»» (температура переключения $T_C = 87^\circ\text{C}$, удельное сопротивление при 25°C $\rho_{25} = 0.31 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

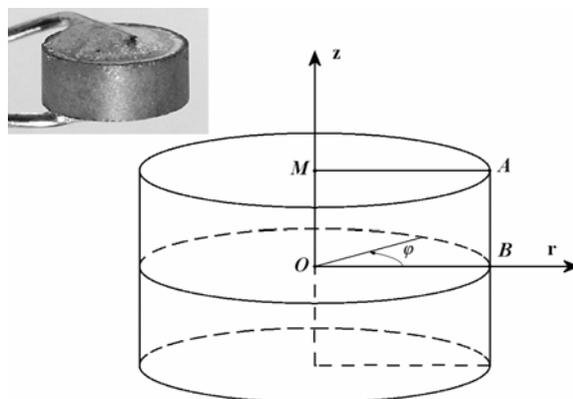
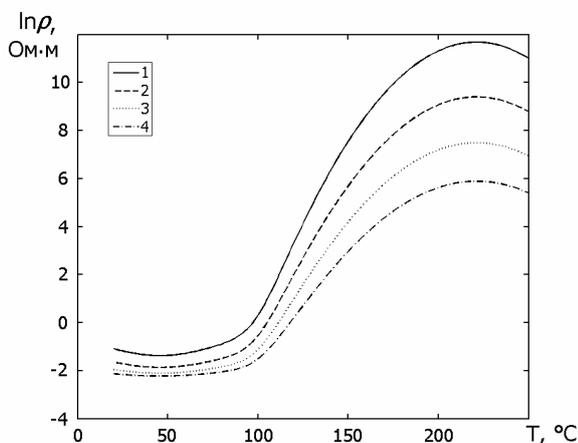


Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления позисторной керамики:

- 1 – $E = 0 \text{ В/мм}$; 2 – $E = 100 \text{ В/мм}$;
- 3 – $E = 200 \text{ В/мм}$; 4 – $E = 300 \text{ В/мм}$.

Рис. 2. Фотография и схематическое изображение терморезистора.

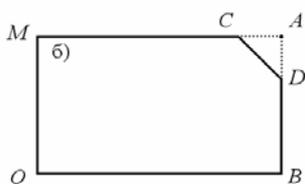


Рис. 3. Вид сечения терморезистора со скошенной кромкой.

Позисторы, как правило, являются элементами защиты от перегрузок по току и мощности, которые включаются в электрические схемы последовательно с некоторым нагрузочным сопротивлением R_d . При этом добавочное сопротивление способствует увеличению температурных напряжений [3]. В настоящей работе рассматривался случай воздействия напряжения 220 В на

электрическую цепь, состоящую из терморезистора, последовательно соединенного с балластным сопротивлением R_d . При расчетах значение R_d принималось равным 90 Ом и 120 Ом, (при этом ток в цепи ограничивался до 2 А и 1.5 А). При указанных значениях балластного сопротивления достигаются максимальные растягивающие напряжения в классическом варианте исполнения ПТКС-термисторов [3].

Результаты и их обсуждение

Исследовались два типа терморезисторов. Первый имеет форму цилиндра с прямоугольным сечением ОМAB – классический типоразмер, второй имеет сечение ОМСDB (вариант со скошенной острой кромкой)– модифицированный типоразмер (рис. 2, 3).

На рис. 4. приведено распределение температурных напряжений для классического терморезистора в момент времени, когда достигаются максимальные растягивающие напряжения (для компоненты тензора напряжений τ_z).

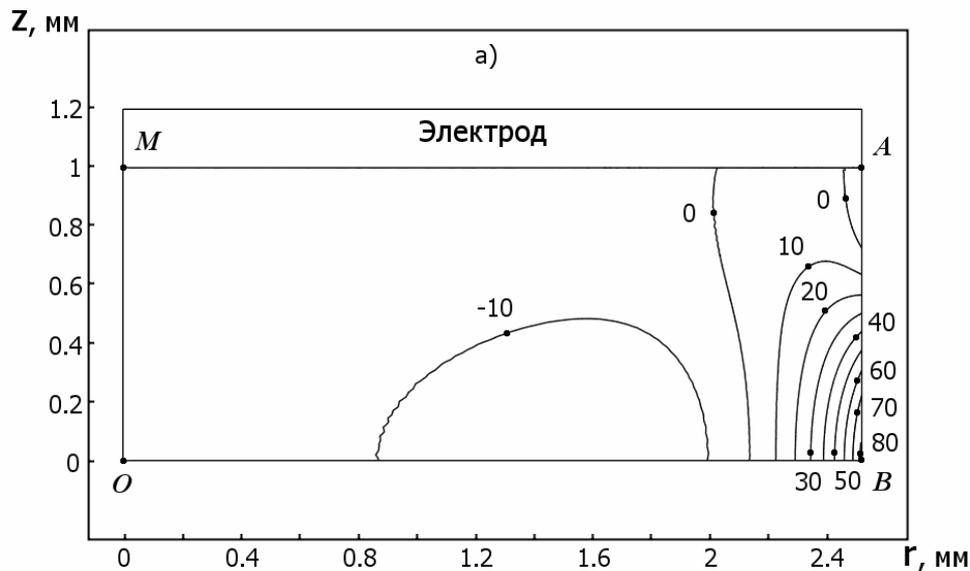


Рис. 4. Распределение температурных напряжений τ_z в терморезисторе классической формы в момент времени $t = 0.195$ с после приложения напряжения

Видно, что максимум температурных напряжений достигается в точке B боковой поверхности. При этом процесс нагрева происходит следующим образом. В начальный момент времени происходит быстрый разогрев позистора. Так как температура центральной области превышает температуру на границах, переключение в центре происходит раньше. Экспоненциальная зависимость сопротивления от температуры способствует максимальной теплогенерации в центре элемента, при этом имеет место интенсивный отток тепла из керамики в электрод, что обуславливает формирование высокого температурного градиента ($\Delta T \sim 75$ °С). В дальнейшем, с ростом сопротивления керамики, генерируемая мощность уменьшается, электрод прогревается, и температурное поле по толщине терморезистора выравнивается.

Рассмотрим случай модифицированного типоразмера для которого введем обозначение $h = AC=AD$. В модифицированном варианте за счет изменения формы и площади электродов терморезисторов в приэлектродных областях плотность электрического тока выше. Следовательно, теплогенерация в приэлектродных областях увеличивается, что уменьшает перепада температур по толщине позистора (более чем на 10 °С). Это приводит к снижению напряжений. На рис. 5 приведены изменения напряжений τ_z в центре боковой поверхности (точка B) от времени при различных значениях h . Скачок напряжений при $t \sim 150$ мс связан с изменением знака коэффициента теплового расширения титаната бария при фазовом переходе. Величина максимальных растяги-

вающих напряжений начинает заметно уменьшаться уже при $h > 100$ мкм; и при $h = 200$ мкм уменьшается до 41 МПа (в 2 раза) по сравнению с терморезисторами стандартной формы и не превышает предела прочности керамики указанного типа. При дальнейшем увеличении скоса острой кромки ($h > 250$ мкм) растягивающие напряжения в центре боковой поверхности уменьшаются. Однако при этом меняется характер переключения позистора – возникают большие локальные перепады температур в приэлектродных областях, способные инициировать зарождение и распространение трещин.

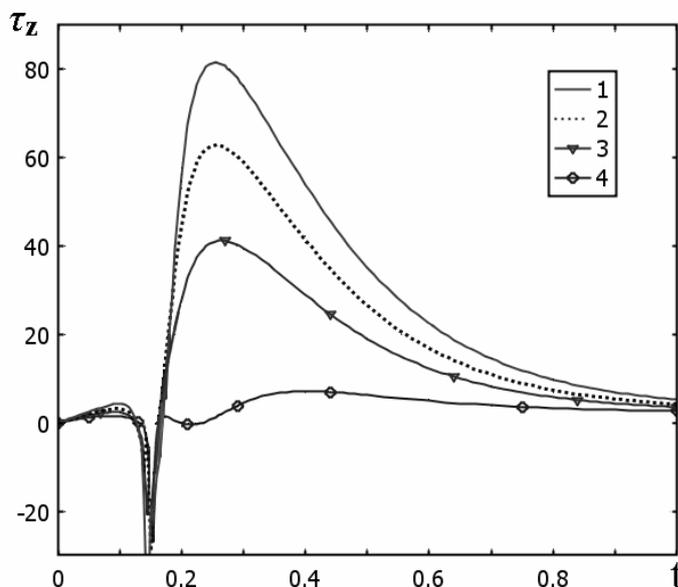


Рис. 5. Зависимость величины температурных напряжений τ_z от времени в центре боковой поверхности терморезистора (при $R_d = 120$ Ом): 1 – для терморезистора классической (цилиндрической) формы, 2 – для терморезистора модифицированной формы с $h = 150$ мкм, 3 – $h = 200$ мкм, 4 – $h = 250$ мкм. τ_z , МПа; t , с.

Заключение

Численными методами изучены температурные напряжения в ПТКС-термисторах на основе полупроводниковой керамики титаната бария при воздействии токовых нагрузок. Показано, что путем изменения формы терморезисторов (снятия острой кромки керамических элементов) можно осуществлять изменения температурного рельефа, добиваться значительного снижения температурных напряжений (до двух раз) и повышения устойчивости к электрическим нагрузкам по сравнению с терморезисторами классической формы.

Список литературы

1. Шефтель, И. Т. Терморезисторы / И.Т. Шефтель. – М.: «Наука», 1973. .
2. Dewitte, C. On the mechanism of delamination fracture of BaTiO₃-based PTC thermistors / C. Dewitte, R. Elst, F. Delannay // J. European Ceramic Society. – 1994. – Vol. 14. – P. 481–492.
3. Шут В. Н., Гаврилов А. В. Температурные напряжения в неоднородных терморезисторах на основе титаната бария // ИФЖ. 2009. Т. 82, № 5. С. 981–983
4. Freiman S. W., Pohanka R. C. Review of Mechanically Related Failures of Ceramic Capacitors and Capacitor Materials// J. Am. Ceram. Soc. 1989. Vol. 72, № 12, Pp. 2258-2263.