

документов при приемке и проверке соответствия качества разработанных композитов в соответствии с различными областями применения.

Список литературы

1. Пугачев А.К., Росляков О.А. Переработка фторопластов в изделия. – Л.: Химия, 1987. – 168 с.
2. Способ модифицирования углеродных наполнителей для политетрафторэтилена: Пат. 6214 Респ. Беларусь, МПК С 08J / В.А. Шелестова, П.Н. Гракович // Официальный бюллетень. – 2001. - №1. – С. 33.
3. Шелестова В.А., Гракович П.Н., Покаташкин М.М.. Структурно-морфологические особенности марок фторопласта-4 и углепластика на их основе. Материалы, технологии, инструмент – 2009. – Т.14, №4. -С55
4. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа, 1983. – 392 с.
5. Молчанов Б.И., Чукаловский П.А., Варшавский В.Я. Углепластики. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
6. Берлин А.А., Вольфсон С.А, Ошмян В.Г., Ениколопов Н.С..Принципы создания композиционных полимерных материалов – М.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Шелестова В.А. Гракович П.Н. Данченко С.Г. Влияние содержания углеродных волокон и особенностей технологии на прочностные свойства фторопластовых композитов. Материалы 50-го межд. симпозиума: Актуальные проблемы прочности, 27 сентября – 1 октября 2010 г., Витебск – Часть 2. – С.204-207

МЕТОД КОРРЕКЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ И СНИЖЕНИЯ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПТКС ТЕРМОРЕЗИСТОРАХ

В. Н. Шут^{1,2}, А. В. Гаврилов¹, Д. А. Ильюшенко^{1,3}

¹ИТА НАН Беларуси, Витебск, shut@vitebsk.by

²УО «ВГУ им. П.М. Машерова», Витебск

³ОАО «ВЗРД «МОНОЛИТ», Витебск

Введение

Терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС) на основе керамики титаната бария, легированной редкоземельными элементами, нашли широкое применение в электротехнике и радиоэлектронике [1]. Физической основой возникновения ПТКС эффекта в таких материалах является изменение высоты зернограницных барьеров Шоттки при фазовом переходе. Во многих случаях ПТКС-терморезисторы (позисторы) используются в силовых цепях в качестве нагревательных, пусковых элементов, в схемах защиты от перегрузок по току и напряжению и др. При этом терморезисторы могут разрушаться в результате воздействий больших токовых нагрузок по механизму расслоения на две практически равные половинки в плоскости, параллельной электродам [2]. Большие токи вызывают неравномерный разогрев позистора. Причем наибольшие градиенты температур (свыше 40 градусов) реализуются по толщине керамического элемента (вдоль линии тока) и обусловлены аномальным изменением теплоемкости и электросопротивления материала при фазовом переходе, т.е. имеют фундаментальный характер. Вследствие этого, в позисторной керамике возникают существенные термоупругие растягивающие напряжения. Величины этих напряжений могут достигать 100 МПа [3, 4], что соизмеримо с пределом прочности полупроводниковой керамики на основе титаната бария 50-100 МПа [5].

Важной задачей для разработчиков и производителей ПТКС-терморезисторов является повышение устойчивости позисторов к тепловому удару в процессе нагрева электрическим током. Особый интерес вызывает разработка методов по уменьшению температурных напряжений, так как улучшение механических (прочностных) свойств позисторной керамики без ухудшения электрических характеристик является трудно выполнимой задачей. Ранее был предложен способ повышения устойчивости терморезисторов к электрическим нагрузкам, основанный на формировании многослойных структур, в которых приэлектродные слои имеют более высокое удельное сопротивление при температурах ниже фазового перехода, за счет чего обеспечивается выравнивание теплового поля в объеме материала и значительное снижение растягивающих напряжений [6]. Однако для изготовления таких элементов требуется введение дополнительных операций послойного прессования, что усложняет процесс производства. В данной работе рассмотрен метод коррекции тепловых полей и снижения термоупругих напряжений в ПТКС терморезисторах, основанный на изменении конфигурации металлических электродов.

Результаты и их обсуждение. Распределение температуры в позисторных элементах рассчитывалось путем совместного решения уравнений теплопроводности и электропроводности [6]. Коэффициент теплоотдачи поверхности принимался равным $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, температура окружающей среды $25 \text{ }^\circ\text{C}$, приложенное электрическое напряжение - 220 В . Для расчетов температурных напряжений решалась квазистатическая задача термоупругости. Удельное сопротивление позисторной керамики ρ зависит от состава материала, технологических режимов его изготовления, температуры образца и приложенного напряжения (варисторный эффект). Зависимости удельного сопротивления от температуры и напряженности электрического поля были получены экспериментально. Исследовались защитные терморезисторы, выпускаемые предприятием ОАО «Витебский завод радиодеталей «МОНОЛИТ»» (температура переключения $T_C = 87^\circ\text{C}$, удельное сопротивление при 25°C $\rho_{25} = 0.31 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Полученные данные аппроксимировались математическими выражениями и использовались при решении задачи.

На рис. 1 приведено распределение растягивающих напряжений в терморезисторе при воздействии напряжения 220 В [31].

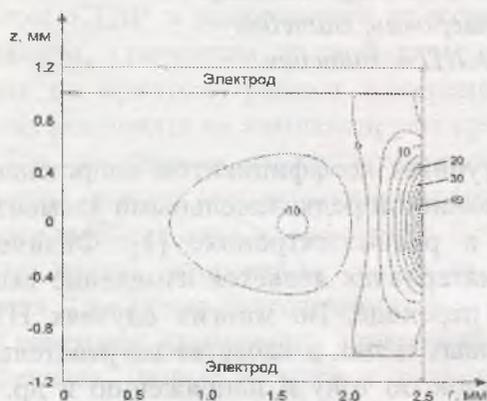


Рисунок 1 – Распределение температурных напряжений τ_z (МПа) в терморезисторе.

Видно, что максимальные растягивающие напряжения концентрируются у центра боковой поверхности терморезистора, а их величина достигает 50 МПа . При включении в цепь балластного сопротивления τ_z возрастает до 70 МПа . Критические растягивающие напряжения для полупроводниковой керамики на основе титаната бария составляют $50\text{--}100 \text{ МПа}$, что соизмеримо с рассчитанными значениями.

Величина растягивающих напряжений τ_z зависит от ряда факторов: толщины электродов, интенсивности теплообмена с окружающей средой (коэффициента теплоотдачи поверхности), свойств керамики [3]. Напряжения возрастают с увеличением толщины электродов и уменьшением удельного сопротивления образцов (табл. 1).

Таблица 1 – Максимальные растягивающие напряжения τ_z (МПа) в однородных терморезисторах ($T_C = 87^\circ\text{C}$).

ρ при 25°C , (Ом·м)	Толщина электрода, мкм							
	1.0	25	50	100	150	200	250	300
0.62	1.86	20.1	27.6	35.4	40.6	44.4	47.4	52.8
0.31	1.90	22.9	29.4	37.1	44.0	46.7	50.0	54.6
0.16	1.95	24.4	30.8	38.5	47.8	49.9	52.3	58.6

Из данных, приведенных в таблице, видно, что толщина электрода, является ключевым параметром, определяющим значение растягивающих напряжений.

В настоящее время защитные терморезисторы выпускаются, в основном, в «выводном варианте». Электродные композиции формируются следующим образом. На керамический терморезистор наносится тонкий слой серебряной пасты (10-20 мкм) с последующим ее вжиганием – омические контакты. Затем к заготовке прикрепляются выводные контакты из металлической проволоки и производится кратковременное погружение изделия в расплав оловянно-свинцового припоя. После застывания припоя суммарная толщина электрода составляет порядка 150-200 мкм. Т.е. при воздействии электрических нагрузок в таких терморезисторах температурные напряжения соизмеримы с критическими, при которых велика вероятность расслоения.

На основании приведенных результатов был предложен следующий способ уменьшения напряжений в терморезисторах. Омические контакты имеют двухслойную структуру (рис.2). Первый подслой, контактирующий с поверхностью термочувствительного элемента, выполнен из материала, не смачиваемого припоем. На него наносится основной электрод вжиганием пасты на основе Ag. Паста на основе Ag наносилась по трафарету в виде круга и по площади меньше подслоя. В этом случае при формировании выводных контактов путем погружения изделия в расплав оловянно-свинцового припоя, припоем смачивается только серебряная паста. Соответственно суммарная толщина электрода на периферийной части терморезистора определяется только толщиной первого подслоя.



Рисунок 2 – Терморезисторы с двухслойными контактами.

Растягивающие напряжения в предложенной конструкции не превышают 20 МПа. Изготовление терморезистора по предлагаемой модели позволило устранить брак, вызванный температурными напряжениями в процессе нагрева электрическим током и довести выход годных терморезисторов до 100 %.

Заключение. Разработан терморезистор, содержащий терморезистивный чувствительный элемент, выполненный из полупроводниковой керамики на основе титаната бария, и двухслойные омические контакты, сформированные из подслоя, контактирующего с поверхностью термочувствительного элемента (подслой выполнен из материала, не смачиваемого припоем), и основного электрода, нанесенного на подслой. Изготовление терморезистора по предлагаемой модели позволило устранить расслоение

(растрескивание) терморезисторов, вызываемое температурными напряжениями в процессе нагрева электрическим током.

Список литературы

1. В. Huybrechts, К. Ishizaki, М. Takata. J. Mater. Sci. -1995.-V. 30. -P. 2463–2474.
2. С. Dewitte, R. Elst, F. Delannay. J. European Ceramic Society. -1994.-Vol. 14. -P. 481–492.
3. В.Н. Шут, А.В. Гаврилов. ИФЖ. -2008. -Т. 81, № 3. -С. 596–601.
4. Р. Supancic. J. Europ. Ceram. Society. -20 (2000). -P. 2009-2024.
5. S.W. Freiman, R.C. Pohanka. J. Am. Ceram. Soc. -1989. -V. 72, № 12. -P. 2258–2263.
6. В.Н. Шут, А.В. Гаврилов. ИФЖ. -2009. -Т. 82, № 5.- С. 981–983.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И МЕХАНИЗМА ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Фомихина И.В.

Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, E-mail: ivfom@tut.by

Процесс электролитно-плазменной обработки (ЭПО) является одним из перспективных методов формирования поверхностей с заданными свойствами. Процесс позволяет проводить очистку и уменьшать шероховатость, формировать диффузионные слои, наносить металлические, керамические и композитные покрытия. При ЭПО происходят структурно-фазовые изменения в поверхностном слое, которые приводят не только к понижению шероховатости, но и влияют на эксплуатационные характеристики обработанных деталей в целом [1 - 3]. Метод ЭПО основан на физико-химических явлениях, протекающих вблизи поверхности электродов, погруженных в водный раствор минеральных солей, при подаче на них высокого напряжения постоянного тока (180–340 В). Применяемые напряжения обеспечивают выделение газообразных продуктов электролиза на поверхности обрабатываемой детали, возникновение электростимулированного пленочного кипения электролита и частичную ионизацию парогазовой оболочки вокруг полируемой детали, которые приводят к комплексному воздействию электрохимических, физических и диффузионных процессов на поверхность детали. В результате этого происходит сьем металла и очистка поверхности от загрязнений и окислов.

Материалом исследования являлись поверхности образцов пластин и цилиндров из стали 12Х18Н10Т в прокатанном состоянии после ЭПО в течение от 0,5 до 20 мин со скоростями гидротоков от 3 до 5 м/с при силе тока 5 А и напряжении 300 В с различной глубиной погружения и пространственной ориентацией в электролите.

На рис. 1 представлено формирование структуры поверхностного модифицированного слоя аустенитной нержавеющей стали с повышенной коррозионной стойкостью методом ЭПО.

Установлено, что при прокатке со степенью деформации 70 % наблюдается ячеистая фрагментация зерен. Стенки фрагментов и ячеек формируются винтовыми и краевыми дислокациями. При ЭПО изменяется дислокационная картина, созданная прокаткой. Происходит дислокационная перестройка с уменьшением плотности дислокаций, дислокационные ансамбли сосредотачиваются на границах ячеек γ – фазы, перемещаясь от границ фрагментов, образуя клубковые структуры внутри фрагментов. Высокоплотная пограничная дислокационная структура трансформируется в менее плотную структуру с единичными или изогнутыми дислокациями преимущественно краевой ориентации, размещающимися по границам ячеек. Микротвердость в