

УДК 621.316.825.2

## Влияние некоторых технологических факторов на свойства варисторов

В. А. Алмазов, А. Н. Комаров, Т. Н. Котлярова,  
Л. А. Люцарева, В. П. Мирошниченко, И. Р. Мухамедиев  
ГУП "Всероссийский электротехнический институт им. В. И. Ленина", Москва, Россия

*Рассмотрено влияние введения пластификатора, его химического состава, а также химического состава мелющих тел, используемых при смещении компонентов, на спекание и электрофизические свойства варисторов, в частности, на свойства варисторов на основе оксида цинка с пятикомпонентной добавкой  $Vi_2O_3$ ,  $CoO$ ,  $MnO$ ,  $SnO$ ,  $TiO_2$ .*

Материал варистора представляет собой поликристаллический керамический материал с нелинейными электрическими характеристиками, что позволяет использовать его в приборах для защиты от перенапряжения. Безотказность работы варисторов сильно зависит от условий их изготовления. В процессе эксплуатации варисторов наиболее частыми причинами повреждения являются проколы, растрескивания, которые, в свою очередь, происходят от неравномерного разогрева образцов вследствие неоднородности электрических свойств материала. Выделение тепла зависит от электропроводности материала, которая меняется с изменением температуры. Было показано [1, 2], что неоднородность электрических свойств возникает в процессе изготовления варисторов или может быть следствием статических флуктуаций, характерных для поликристаллических материалов. Была установлена прямая связь между повреждениями варисторов и их нагреванием, предложены различные модели повреждений.

Наблюдать [1], что температура на варисторах, имеющих большие размеры ( $\geq 4$  см), для защиты электросетей, сильнее увеличивается по краям образца. Это явление объясняли разными размерами зерен, которые крупнее по краям образца по сравнению с его центром, что, в свою очередь, зависит от условий прессования и спекания образца.

При гидростатическом прессовании заготовок варисторов порошкообразный материал у стенки формы и в центре находится в разных условиях при приложении давления. Следствием этого может быть неодинаковое уплотнение заготовки по объему, а также разные условия формирования микроструктуры варистора в процессе спекания.

Таким образом, пластичность прессуемого порошка материала варистора приобретает важное значение для формирования образцов с однородными свойствами по объему.

В настоящей работе изучено два пластификатора: поливиниловый спирт (ПВС) и поливинилбутираль (ПВБ). Первый вводился в виде водного раствора как традиционным способом — введение раствора в приготовленную высушенную смесь порошков, так и путем совмещения процесса смешения исходных компонентов с введением ПВС с последующей сушкой порошка до определенной влажности. Для введения ПВБ готовился раствор в этиловом спирте, который вводился при смешении исходных компонентов. Гранулометрический состав основного оксида смеси, оксида цинка марки "ХЧ" показан в табл. 1.

Таблица 1

Фракционный состав исходного порошка оксида цинка

Размер фракций, мм	Содержание фракций, %	Суммарное содержание фракций, %	Размер фракций, мк	Содержание фракций, %	Суммарное содержание фракций, %
0,31—0,36	1,10	1,10	3,09—3,60	6,73	77,77
0,36—0,42	2,09	3,20	3,60—4,19	5,84	83,61
0,42—0,49	2,90	6,10	4,19—4,88	4,77	88,38
0,49—0,58	3,48	9,58	4,88—5,69	3,65	92,03
0,58—0,67	3,84	13,41	5,69—6,63	2,61	94,64
0,67—0,78	4,03	17,44	6,63—7,72	1,75	96,39
0,78—0,91	4,16	21,60	7,72—9,00	1,11	97,50
0,91—1,06	4,36	25,97	9,00—10,48	0,70	98,20
1,06—1,24	4,74	30,71	10,48—12,21	0,48	98,67
1,24—1,44	5,33	36,04	12,21—14,22	0,38	99,06
1,44—1,68	6,07	42,11	14,22—16,57	0,34	99,39
1,68—1,96	6,80	48,91	16,57—19,31	0,29	99,69
1,96—2,28	7,32	56,23	19,31—22,49	0,21	99,90
2,28—2,66	7,50	63,73	22,49—26,20	0,10	100,00
2,66—3,09	7,31	71,04			

Пластифицированные порошки материала варистора прессовались при разных удельных давлениях (от 500 до 2000 кг/см<sup>2</sup>). Отпрессованные заготовки спекались в воздушной среде при температуре 1240 °С.

На образцах определялись объемная масса до и после спекания, линейная усадка с помощью геометрического обмера образцов. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость уплотнения материала от вида пластификатора и давления прессования

Давление прессования, кгс/см <sup>2</sup>	Вид пластификатора и его концентрация								
	1 % ПВС после смешения			1 % ПВС при смешении			1 % ПВБ при смешении		
	Характеристики уплотнения материала								
	Р, г/см <sup>3</sup>	Р*, г/см <sup>3</sup>	Линейная усадка, %	Р, г/см <sup>3</sup>	Р*, г/см <sup>3</sup>	Линейная усадка, %	Р, г/см <sup>3</sup>	Р*, г/см <sup>3</sup>	Линейная усадка, %
500	3,4	4,7	13,1	3,2	4,8	13,7	3,0	4,9	16,8
1000	3,4	4,8	12,1	3,4	4,8	12,4	3,2	5,0	14,7
1500	3,3	4,7	12,5	3,4	4,7	11,9	3,4	4,9	13,4
2000	3,5	4,8	11,9	3,6	4,8	11,1	3,5	4,7	12,3

Примечание. Р — объемная масса сырца; Р\* — объемная масса спеченного образца.

Из табл. 2 видно, что объемная масса увеличивается на 15—20 % при увеличении давления прессования от 500 до 2000 кг/см<sup>2</sup>, а линейная усадка материалов при этом снижается. Однако объемная масса спеченных материалов имеет близкие значения и практически не изменяется от давления прессования. Наибольшую степень уплотнения удалось получить при использовании ПВБ. Это позволило сделать вывод, что этот способ пластификации предпочтителен, обеспечивает более равномерное распределение ПВБ на поверхности частиц порошка, точнее воспроизводится.

Для выяснения влияния химического состава мелеющих тел были изготовлены варисторы из материалов, при смешении исходных компонентов которых использовались мелющие тела при соотношении 1:1:1 на основе диоксида циркония в виде твердого раствора оксида иттрия, оксида алюминия в виде корунда, оксида кремния в виде агата. При изготовлении образцов в качестве пластификатора использовался ПВБ, давление прессования составляло 1000 кг/см<sup>2</sup>. Изготовленные образцы спекались при температуре 1250 и 1240 °С.

На спеченных образцах с помощью геометрического обмера и взвешивания определялись объемная масса и линейная усадка. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов и остающееся напряжение определялись в соответствии с методикой МЭК 99-4 до и после протекания импульса тока 2/500 мкс с амплитудой 100, 400 и 5000 А. При этом в качестве электродов использовался алюминий, напыленный на торцевые поверхности варистора. Из ВАХ рассчитывался коэффициент нелинейности варисторов. Результаты определений приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Свойства варисторов

Химический состав мелеющих тел	Температура спекания, °С	Объемная масса, г/см <sup>2</sup>	Линейная усадка, %	Остающееся напряжение после импульса, В/мм	
				100 А	500 А
ZrO <sub>2</sub>	1240	4,9	14,5	60	80
	1250	5,1	14,8	60	75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1240	5,0	14,6	160	200
	1250	5,0	14,6	115	155
SiO <sub>2</sub>	1240	4,8	13,9	55	75
	1250	4,8	14,0	46	63

Таблица 4

Коэффициент нелинейности варисторов

Химический состав мелеющих тел	Температура спекания, °С	Коэффициент нелинейности в интервале тока, мА			
		0,01—0,1	0,1—1,0	1,0—10	10—100
ZrO <sub>2</sub>	1240	43	32	25	24
	1250	37	42	26	27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1240	3	8	17	37
	1250	3	12	30	30
SiO <sub>2</sub>	1240	33	55	33	28
	1250	7	17	32	53

Как видно из приведенных результатов (см. табл. 3, 4) свойства материала варисторов зависят от химического состава мелющих тел, которые использовались при смешении исходных компонентов. Изменение температуры спекания на 10 °С в меньшей степени влияет на изученные свойства по сравнению с условиями смешения. Наиболее чувствительным к изменению температуры спекания является коэффициент нелинейности.

Таким образом, варьируя условиями изготовления варисторов, меняя технологические параметры, возможно в определенных пределах корректировать свойства варисторов.

#### Литература

1. Wang H. et al.//J. Am Ceram. Soc., 1998. V. 81. № 8. P. 2013—2022.
2. Eda K. J.//Appl. Phys. 1984. V. 56. P. 2948—2955.

## The influence of some technological facts on the electrophysical properties of varistors

V. A. Almazov, A. N. Komarov, T. I. Kotlayrova, L. A. Lucareva,  
V. R. Miroshnichenko, I. R. Muhamediev  
The Lenin's All-Russian Electrotechnical Institute, Moscow, Russia

*In this work studied the influence of the method of injection of softener, of the chemical composition of grinding bodies, of the choice of the method of injection of admixtures in oxid of zinc, of the sintering point on the current versus-voltage characteristics of varistors.*