

А.М. МУРАДЯН, С.Н. ЕНГИБАРЯН, В.К. АБРААМЯН

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕССОВАННЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Показано, что прессование мелкозернистого, диэлектрического, кристаллического нитрата свинца сопровождается электризацией образца, которое в порах и микротрещинах прессованного образца образует “частичные разряды” (ЧР). Определены условия образования, исчезновения и поглощения энергии, а также энергетические и частотные характеристики ЧР.

Ключевые слова: электризация, частичные разряды, частота, заряд, электростатика, диэлектрический, прессование, проницаемость.

В горной промышленности при проведении взрывных работ широко используются изделия с двухкомпонентной диэлектрической системой, одним из которых является прессованный высокочувствительный порошкообразный материал. В процессе прессования верхний слой, обладающий высокими диэлектрическими свойствами, приобретает “электростатические” заряды, которые создают сильное электрическое поле с потенциалом на поверхности слоя около $(1...2) \cdot 10^3$ В. Проведенный анализ случаев несанкционированных срабатываний изделий при производстве, транспортировке и хранении свидетельствует о необходимости тщательного изучения качественного и количественного изменения физико-химических характеристик таких систем под влиянием поля “статического электричества”.

Важным фактором в процессе исследования влияния поля и обусловленных этим полем “частичных разрядов” (ЧР) является образование пор и микротрещин в образце и их развитие. Из-за остаточных перенапряжений и электродинамических сил ЧР, возникающих, в частности, при нарушении адгезионных связей [1], завершение образования микроструктуры образца после прессования продолжается довольно долго. Наложение внешнего электрического поля на этот процесс приводит к существенному увеличению энергии ЧР и повышению их роли в массо-теплообменных процессах, в том числе в иницировании зажигания высокочувствительного компонента изделия. Например, процесс прессования порошкообразных диэлектрических материалов оказывает существенное влияние на релаксацию зарядов в двухкомпонентной диэлектрической системе. В рассматриваемых изделиях движение “электростатических” зарядов направлено с верхнего заряженного слоя на нижний слой. Это обусловлено высокими диэлектрическими свойствами ($\sim 10^{13}$ Ом·м) верхнего заряженного слоя и слабым выражением диэлектрических свойств ($\sim 10^9$ Ом·м) нижнего слоя. В этих условиях постоянная времени релаксации, рассчитанная по приближенному методу Хоу [2], выражается по формуле

$$T = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \rho}{1 + r/h - \sqrt{1 + (r/h)^2}},$$

где ε_0 - электрическая постоянная; ε и ρ - диэлектрическая проницаемость и удельное электрическое сопротивление образца; r и h - радиус и высота образца.

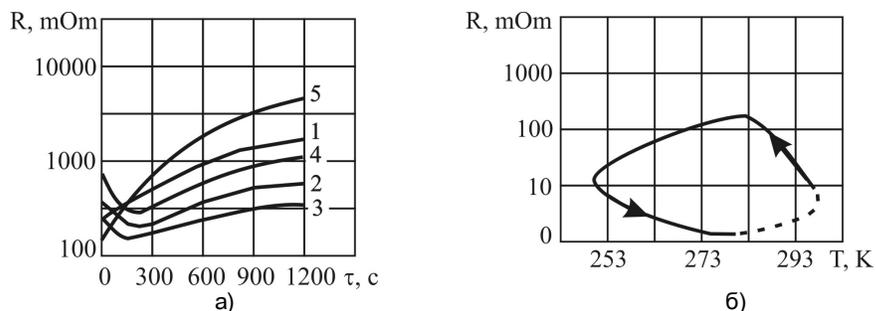


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления: а – прессованных при различных давлениях образцов от времени после прессования.

1 - $P=125 \text{ МПа}$; 2 - $P=150 \text{ МПа}$; 3 - $P=175 \text{ МПа}$; 4 - 200 МПа ; 5 - 225 МПа ;
б - прессованного при $P=180 \text{ МПа}$ образца от температуры

Однако следует учесть, что значение T существенно изменяется из-за изменения ρ образца в процессе и после завершения прессования. Причем изменение ρ зависит от характера процесса прессования. В качестве примера на рис.1а приводится характерное изменение сопротивления R образца в течение времени после прессования сухого, порошкообразного $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ при различных давлениях в интервале $(1,25 \dots 2,25) \cdot 10^8 \text{ Па}$. На рис.1б приводится изменение сопротивления R прессованного при $P(1,8(10^8 \text{ Па}$ образца в зависимости от температуры $T, \text{ К}$. Следует отметить, что указанный характер изменения R в зависимости от температуры $T, \text{ К}$ является общим для большой группы материалов, испытанных нами.

Важным в этих испытаниях является то обстоятельство, что при достижении сопротивления образца $10^6 \dots 10^7 \text{ Ом}$ в нем возникают ЧР при очень низких, приложенных к образцу напряжениях (около 10 В). В этой аномалии, по-видимому, существенную роль играет эмиссия электронов, обнаруженная Б.В. Дерягиным и его сотрудниками при образовании микротрещин в монолитных телах [1], которые служат в качестве “спускового механизма” для возникновения более мощных ЧР.

Восстановление первоначального значения сопротивления образца при комнатной температуре происходит в течение $3 \dots 4 \text{ ч}$. Этот участок характеристики на рис.1б указан пунктиром. О важной роли ЧР в изменении электрофизических характеристик прессованных образцов свидетельствует характерная зависимость пробивной напряженности образца от его плотности (рис.2а). Увеличение плотности упаковки (давление прессования) образца приводит к сжатию пор и, в соответствии с законом Пашена, увеличению

пробивной напряженности поля. В соответствии с этим законом существуют также критические значения размеров пор и трещин, при которых пробивная напряженность поля минимальная. Сказанное в полной мере подтверждается снятой зависимостью напряжения возникновения ЧР от давления прессования PbCNS (рис. 2б).

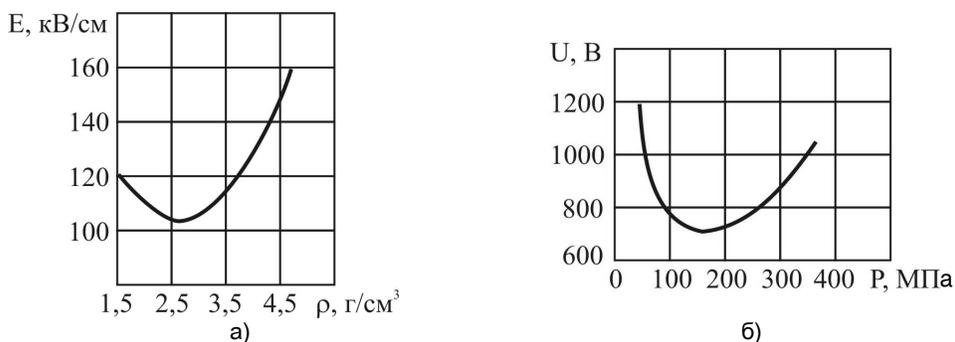


Рис. 2. Зависимости: а - пробивной напряженности поля от плотности образца; б - напряжения возникновения ЧР от давления прессования образца

При этом, как показывает опыт, увеличивается также частота следования ЧР. Например, при увеличении давления от $2,5 \cdot 10^8$ до $4,5 \cdot 10^8$ Па частота ЧР уменьшается от 35 до 4 Гц. Характерно, что при одной и той же большой плотности образцов увеличение размера кристаллов продукта снижает значение пробивной напряженности поля.

Насыщение прессованных образцов глицерином, обладающим примерно такой же электрической прочностью, что и образец, не приводит к существенному изменению пробивной напряженности поля. В то же время при насыщении образца парафином, имеющим более высокую электрическую прочность, существенно увеличивается пробивное значение напряженности поля.

При снятии зависимости частоты следования ЧР от величины приложенного напряжения при различных давлениях прессования наблюдается изменение частоты в течение времени. Этот факт свидетельствует о нарастании ЧР вследствие лавинообразного переключения и включения пор и трещин в образце. Анализ экспериментальных результатов зависимости частоты ЧР от времени при различных толщинах образца свидетельствует о том, что существуют определенное количество, размеры и формы пор и трещин, при которых отсутствует лавинообразное нарастание ЧР в образце. Уменьшение толщины образца объективно приводит к увеличению пробивной напряженности поля. Наблюдаемые нарастания ЧР в образце оставляют темные следы, которые углубляются клинообразно внутрь образца. Они свидетельствуют о важной роли ЧР в физико-химических превращениях в образце, в частности, в диффузионном теплообмене.

Определенный практический интерес представляет анализ влияния на величину омического тока, частоту и амплитуду ЧР введенного в состав прессованного диэлектрического образца небольшого количества (0,5...1,5%)

графита. Выяснилось, что содержание такого количества графита практически не оказывает влияния на величину омического тока, в то же время существенно влияет на амплитуду (энергию) ЧР. Это, в конечном итоге, приводит к несанкционированному срабатыванию изделия. Увеличение содержания графита до 3,5...4,0% приводит к резкому увеличению омического тока до 1000 мкА при полном отсутствии ЧР. При этом не были зафиксированы случаи срабатывания изделия.

Таким образом, подтверждена решающая роль ЧР в инициировании зажигания в проведенных экспериментах. Однако возникают трудности, связанные с объяснением зажигающей способности ЧР, если учесть их небольшую энергию (порядка $10^{-9} \dots 10^{-8}$ Дж). Спектроскопические исследования показали, что выделяемая ЧР энергия в основном приходится на диапазон длин волн $\lambda = 2500 \dots 4300 \text{ \AA}$. Характерно, что ряд экспериментов для взрывчатых веществ подтверждает резонансное поглощение электромагнитной энергии в этом диапазоне длин волн [3]. Полученные результаты, наряду с применением теории протекания [4], позволяют выработать конкретные предложения по устранению опасных проявлений "технологической" электризации в рассматриваемых изделиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П.** Адгезия твердых тел. -М.:Наука,1973. -27с.
2. **Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.А.** и др. Методы расчета электрических полей.- М.: Высшая школа, 1963.-415с.
3. **Кук Мелвин А.** Наука о промышленных взрывчатых веществах / Пер. с англ. Б.Н. Кукиба; Под ред. Г.П. Демидова.-М.: Недра, 1980.- 455с.
4. **Шкловский Б.И., Эфрос А.Л.** Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // УФН.-1975. - Т.117, вып.3.-С.401-403.

Институт общей и неорганической химии РАН РА. Материал поступил в редакцию 06.06.2006.

Ա.Մ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Ս.Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Վ.Ղ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ

ՄԵՂՄԱԾ ԵՐԿԲԱՂԱԴՐԱՄԱՍ ՄԵԿՈՒՄԻՉ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ցույց է տրված, որ մանրահատիկ մեկուսիչ կապարի նիտրատի բյուրեղների սեղմումը ընթանում է նմուշի էլեկտրականացումով, որը նրա ծակոտիներում և մանրաձեղքերում առաջ է բերում «մասնակի պարպումներ» (ՄՊ): Որոշված են ՄՊ-ի առաջացման և վերացման պայմանները, էներգետիկ և հաճախականային բնութագրերը և էներգիայի կլանման պայմանները:

Առանցքային բառեր. էլեկտրականացում, մասնակի պարպում, հաճախականություն, լիցք, մեկուսիչ, սեղմում, թափանցելիություն:

A.M. MOURADYAN, S.N. YENGIBARYAN, V.K. ABRAMYAN

ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE PRESSED BICOMPONENT DIELECTRIC
SYSTEMS

It is shown that pressing of fine-grained dielectric crystalline lead nitrate is accompanied by electrization of the specimen, which forms "partial charges" in the pores and splits of the pressed specimen. The conditions of formation, disappearing and absorption of the energy are defined and the energetic and frequency characteristics of "partial charges" are also specified.

Keywords: electrization, partial charges, frequency, charge, dielectric, pressing, permeability.