

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПЫТАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОВОЙ УДАР

© 2020 г. Л. В. Фуров^{1,*}

¹ ФГБОУ ВО “Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых”, Владимир, 600000 Россия

*e-mail: lfurov@vlsu.ru

Поступила в редакцию 24.06.2020 г.

После доработки 14.12.2020 г.

Принята к публикации 22.12.2020 г.

В работе используется устройство для кумуляции плазменных сгустков при испытании поверхности диэлектрических материалов на тепловой удар. Тепловое воздействие на материал может быть осуществлено в короткий промежуток времени (не более 0.1 с) при достаточно высокой температуре (до 4500 К). Опыты проводились при атмосферном давлении электровзрывом проводящей диафрагмы импульсом тока до 16 кА, длительностью от 70 до 100 мс и подводимой энергией до 50 кДж. Приведено устройство для испытаний и его внешний вид. Представлены фотографии воздействия теплового удара на поверхность диэлектрических и керамических материалов на кратковременное термическое воздействие — тепловой удар при электровзрыве проводящей диафрагмы. Полученные результаты по испытанию диэлектрических материалов на кратковременный тепловой удар позволяют говорить о перспективности поверхностного кратковременного теплового воздействия (удара) на теплонагруженные диэлектрические материалы.

Ключевые слова: тепловой удар, испытания, диэлектрик, ситалл, электровзрыв

DOI: 10.1134/S2304487X20060036

ВВЕДЕНИЕ

Исследования тепловых воздействий на материалы имеют обширную историю. Прежде всего, это испытание изоляции и оболочек на стойкость к растрескиванию (испытание на тепловой удар) [1]. Этот стандарт устанавливает порядок проведения на стойкость изоляции и оболочек к растрескиванию при повышенной температуре. Он регламентирует испытание образцов при температуре $(150 \pm 3)^\circ\text{C}$ в течение 1 часа. Также существуют способы испытания на тепловой удар в испытательных камерах. В таких камерах переход между экстремальными температурами происходит со скоростью $15^\circ\text{C}/\text{мин}$. С одной стороны это достаточно быстрый нагрев. При испытании тепловым ударом изделие подвергается чередующемуся воздействию низкой и высокой температур для ускорения разрушительных процессов в материале в результате циклического воздействия температуры или тепловых ударов в процессе его обычной эксплуатации. В настоящей работе предлагается однократное тепловое воздействие на материал в течение короткого промежутка времени ≈ 0.1 с. При этом температура достигает 4500 К. Такое кратковременное термическое воздействие

на образец невозможно получить ни в одной испытательной камере.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная установка состоит из следующих основных частей: накопителя электрической энергии (использовался индукционный накопитель электрической энергии) [2]; устройств коммутации электрических цепей; устройства кумуляции плазменных сгустков [3] и устройств диагностики. Одним из основных элементов является устройство для испытания материалов. На рис. 1 представлено устройство для испытания диэлектрических материалов.

Инициатором разряда является проводящая диафрагма 4 в форме круга, составленная из нескольких слоёв алюминиевой фольги (толщина одного слоя 8 мкм). Она располагается на диэлектрической подложке 3 (испытываемый материал) и прижимается к ней кольцевым токоподводом 2. Его внутренний диаметр изменялся от 60 до 150 мм. Тем самым варьировалась площадь воздействия на испытываемый образец. В центр диафрагмы устанавливается токоподвод 1 из скрученных проволочек диаметром 1.0–2.4 мм, количество которых, в зависимости от условий опыта, может

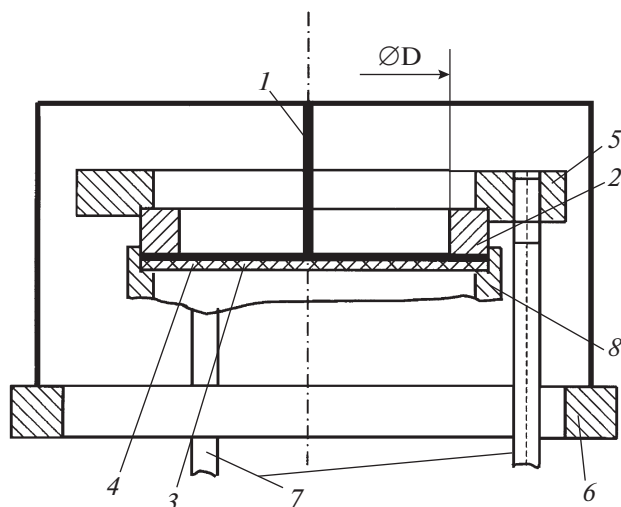


Рис. 1. Устройство для испытания диэлектрических материалов.

изменяться от 2 до 8. Другой конец проволочек крепится по кругу на токоподвод 6. Вся конструкция крепится на стойке 8. Испытание происходило при электрическом разряде проводящей диафрагмы, расположенной на поверхности этого материала, т.е. осуществлялся непосредственный их контакт. Импульс электрической энергии, генерируемый индукционным накопителем, переводит материал проводящей диафрагмы в форме круга в состояние низкотемпературной плазмы, которая воздействует на испытываемый материал. Импульс тока проходил от кольцевого токоподвода 2 к аксиальному (центральному) токоподводу 1. В центре диафрагмы возникает максимум силы тока, а на периферии — минимум.

Экспериментально было установлено, что для диафрагмы с диаметром 100 мм сила тока при $I_{\max} < 10.4$ кА изменяется как $dt/dI = 6.9 \times 10^{-3}$ с/кА, а при максимальной силе тока в импульсе возрастает с увеличением тока как $dt/dI = 0.46$ с/кА. В результате получается градиент плотности тока, который в свою очередь, приводит к градиенту температуры на поверхности образца. Известно, что тепловой удар возникает, когда под действием градиента температуры разные части нагреваемого образца расширяются на разную величину. Таким образом, изменяя силу тока, изменяем параметры теплового удара.

На рис. 2 представлена фотография устройства. Испытания были как разовыми, так и многократными от 1 до 10 раз. В качестве испытываемых образцов использовались диэлектрики: текстолит, ситалл, стекло, плексиглас и др. Опыты показали, что разовое кратковременное (70–100 мс) поверхностное воздействие электроразрядной плазмы (яркостная температура доходила до 4500 К) приводит к частичному отслоению материала и оплавлению, в том числе даже на такой термо-



Рис. 2. Фотография устройства для испытания диэлектрических материалов.

устойчивый материал как ситалл. Площадь воздействия ≈ 300 см² и более. Толщина образца варьировалась от 3 до 10 мм. Возникающие тепловые градиенты на стадии нагрева и охлаждения также, в зависимости от условий эксперимента, приводят к оплавлению и частичному расслоению образца.

В качестве примера на рис. 3 и 4 представлены фотографии результата воздействия теплового удара на ситалл и плексиглас соответственно. Для сведения в табл. 1 приведены данные по темпера-

Таблица 1. Данные по температуре размягчения диэлектрических материалов [4]

№ п/п	Материал	Температура размягчения, °С
1	Листовое оконное стекло	600
2	Оргстекло 2-55	133
3	Винипласт	180
4	Текстолит	140
5	Стеклотекстолит	250
6	Гетинакс	150
7	Полистирол	90
8	Ситалл СТМ, СТБ	930
9	Фторопласт-4	260

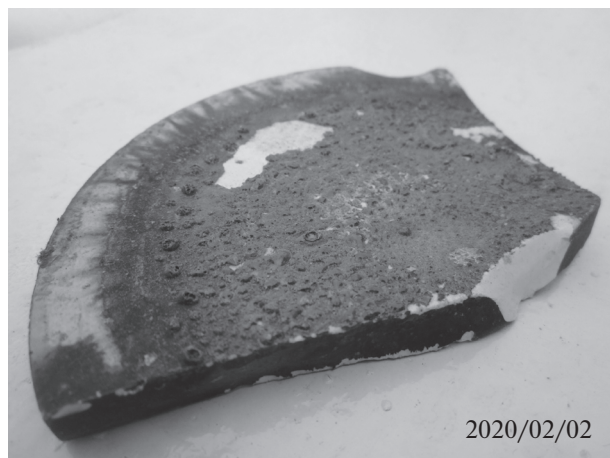


Рис. 3. Результат воздействия теплового удара на ситалл.

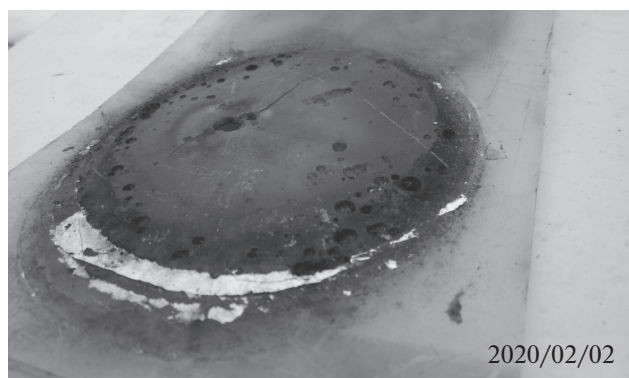


Рис. 4. Результат воздействия теплового удара на плексиглас.

туре размягчения некоторых диэлектрических материалов [4].

Следует отметить, что наибольший эффект достигался при испытаниях ситалла и стекла. В за-

висимости от условий эксперимента (подводимой энергии, максимальной силы тока в импульсе, времени воздействия), в некоторых опытах происходило разрушение образца, например, стекла и ситалла. Это наблюдалось после первого воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыты, проведенные при атмосферном давлении электровзрывом проводящей диафрагмы импульсом тока до 16 кА, длительностью от 70 до 100 мс и подводимой энергией до 50 кДж показали результативность экспериментов. Полученные результаты по испытанию диэлектрических материалов на кратковременный (менее 0.1 с) тепловой удар позволяют говорить о перспективности поверхностного кратковременного теплового воздействия (удара) на теплонагруженные диэлектрические материалы. Следует отметить, что это устройство также позволяет проводить испытания композитных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИЕС 60811-509-2015 Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 509. Механические испытания. Испытание изоляции и оболочек на стойкость к растрескиванию (испытание на тепловой удар). Москва: Стандартиформ, 2016. 11 с.
2. Кунин В.Н., Конопасов Н.Г., Плешивцев В.С. Индукционный накопитель электрической энергии // Приборы и техника эксперимента. 1988. № 3. С. 103–104.
3. Фуров Л.В. Устройство кумуляции плазменных сгустков // Патент на изобретение № 2692689, 26.06.2019. Бюл. № 18.
4. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 307.

On the Possibility of Testing Dielectric Materials for Heat Shock

L. V. Furov^{a, #}

^a Vladimir State University, Vladimir, 600000 Russia

[#]e-mail: lfurov@vlsu.ru

Received June 24, 2020; revised December 14, 2020; accepted December 22, 2020

Abstract—A device for cumulating plasma clots when testing the surface of dielectric materials for heat shock has been used. The thermal effect on the material can be carried out in a short time interval (no more than

0.1 s) at a sufficiently high temperature (up to 4500 K). The experiments have been performed at atmospheric pressure by an electric explosion of a conducting diaphragm with a current pulse up to 16 kA, a duration of 70 to 100 ms, and an input energy up to 50 kJ. The test device and its appearance are presented. Photos of the effect of the heat shock on the surface of dielectric and ceramic materials on a short-term thermal effect—heat shock during an electric explosion of a conducting diaphragm—are presented. The results obtained on testing of dielectric materials for the short-term heat shock indicate that surface short-term thermal impact (shock) on heat-loaded dielectric materials is promising.

Keywords: thermal shock, testing, dielectric, Sitall, the electrical blast

DOI: 10.1134/S2304487X20060036

REFERENCES

1. *GOST IEC 60811-509-2015. Electrical and fiber-optic cables. Test methods for non-metallic materials. Part 509. Mechanical test. Testing of insulation and shells for resistance to cracking (heat shock test)* [State Standard 60811-509-2015.] Moscow, Standartinform Publ., 2016. 11 p.
2. Kunin N.V., Konopasov N.G., Pleshivtsev V.S. Indukcionnyi nakopitel elektricheskoi energii [Induction storage of electrical energy], *Prib. Tekh. Ehsp.*, 1988, no. 3, pp. 103–104. (in Russian)
3. Furov L.V. et al., *Ustroistvo kumulyacii plasmennyh sgustkov* [The device of the accumulation of plasma clots], Patent RF, no. 2692689, 2019.
4. Ed. by Grigor'eva I.S., Meilikhova E.Z. *Physical magnitudes: Guide* [Physical magnitudes: Guide], Moscow, Energoatomizdat, 1991. P. 307.