

К.А. Звезденков, канд. техн. наук,
заведующий лабораторией;
Г.С. Козлова, канд. техн. наук,
старший научный сотрудник;
ОАО «ВНИИКП»
И.М. Мозильный,
магистр РТУ-МИРЭА

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО ОСТАТКА НА ОБРАЗЦАХ КЕРАМООБРАЗУЮЩЕЙ СИЛОКСАНОВОЙ РЕЗИНЫ

Аннотация. В огнестойких проводах и кабелях в качестве изоляции применяется керамообразующая силоксановая резина, которая образует твёрдый остаток при сгорании, что позволяет проводам и кабелям длительно работать в условиях пожара.

Предложен метод определения прочности керамического остатка под воздействием огня на керамообразующую силоксановую резину. Предложенный метод является комплексным и оценивает несколько показателей керамического остатка сгоревшей резины: прочность образца, изменение геометрического размера и состояние поверхности. Этот метод может быть использован для входного контроля керамообразующих силоксановых резин. Спроектирован и изготовлен прибор для определения прочности керамического слоя силоксановой резины. Разработан метод и оформлен стандартом организации.

Ключевые слова: резина; керамообразующая резина; силоксановая резина; керамический слой; прочность слоя; метод испытания; устройство для определения механической прочности; показатели керамического слоя.

Abstract. The insulation of fire-performance cable and wire is made of ceramics-forming siloxane rubber that forms a solid residue while burning, thereby such cable and wire can function for a long time under fire conditions.

A method is proposed for determining the strength of the ceramic residue when the ceramics-forming siloxane rubber is exposed to fire. The proposed method is a complex one and estimates several indicators of the burnt rubber ceramic residue: the strength of the sample, the change in the geometric dimension and the state of the surface. This method may be used in acceptance tests of ceramics-forming siloxane rubbers. A device for determining the strength of the ceramic layer of siloxane rubber was designed and manufactured. The developed method is issued as a standard of the organization.

Key words: rubber; ceramics-forming rubber; siloxane rubber; ceramic layer; layer strength; test method; device for determining mechanical strength; indicators of ceramic layer.

Материал поступил в редакцию 23.10.2018
Звезденков К.А. E-mail: k.zvezdenkov@vniikp.ru

ВВЕДЕНИЕ

Развитие разных отраслей экономики приводит к неуклонному росту потребления негорючих электроизоляционных эластомерных материалов. Ошибки при монтаже, проектировании, эксплуатации электроустановок, приборов и оборудования приводят к возникновению пожаров. Пожары в местах массового скопления людей являются одним из самых страшных видов техногенных катастроф. Первоочередной задачей, возникающей перед пожарными, является быстрая эвакуация людей. Для проведения эвакуации людей необходимо, чтобы жизнеобеспечивающие и аварийные системы горящего сооружения продолжали работать во время пожара, и здесь чрезвычайно велика роль огнестойких проводов и кабелей, входящих в состав таких систем.

Силоксановые резины имеют повышенное сопротивление к воспламенению, меньшую способность распространения горения, в отличие от резин на основе

органических каучуков. При горении они образуют минеральный остаток из оксида кремния, который обладает хорошими тепло- и электроизоляционными свойствами. Однако он не сохраняет форму и очень легко осыпается.

Керамообразующая силоксановая резина образует твёрдый керамоподобный остаток (слой) при сгорании, что позволяет кабельным изделиям длительно работать в условиях пожара.

В 2018 г. ожидается потребление 1500 т керамообразующей силоксановой резины в огнестойких проводах и кабелях исполнения «-FR».

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При разработке огнестойких кабельных изделий, подборе более эффективных материалов для уже серийно поставляемого кабельного изделия специалисты вынуждены изготавливать макеты кабельных изделий и проводить испытания в соответствии со стандарт-

ными методами испытаний. Проведение испытаний входного контроля керамообразующих силиконовых резин по показателю прочности керамического остатка невозможно по причине отсутствия стандартизованного метода испытаний.

Особо следует отметить, что способность кабельного изделия работать в условиях пожара зависит не только от способности силиконовой резины образовывать керамический слой, но и от конструкции кабельного изделия в целом. Также, в зависимости от области эксплуатации, для достижения поставленных задач могут использоваться керамообразующие силиконовые резины с разными показателями прочности керамического слоя. В настоящее время разработчики и производители кабельных изделий и силиконовых резин такими данными не располагают.

Всё это способствовало постановке задачи специалистам ОАО «ВНИИКП» разработать метод определения прочности керамического остатка после воздействия огня на керамообразующую силиконовую резину.

Метод оценки керамообразования силиконовых резин по измерению механической прочности и геометрических размеров керамического остатка, который получается после воздействия пламени на образец резины в виде цилиндра заданного размера и распространяется на керамообразующие силиконовые резины, применим для изоляции кабельных изделий в огнестойком исполнении.

Метод может применяться при составлении технических заданий на опытно-конструкторские работы при разработке программ и методик испытаний кабельных материалов в огнестойком исполнении, для сравнения и оценки качества керамообразующих силиконовых резин.

ПУТИ РЕШЕНИЯ

Разработанный метод является комплексным и оценивает несколько показателей керамического остатка:

- прочность образца при воздействии на него груза с помощью сферического индентора;
- изменение геометрических размеров;
- состояние поверхности.

Каждый параметр имеет свою шкалу для конечной оценки.

Прежде, чем прийти к данному решению, специалисты ОАО «ВНИИКП» провели большую исследовательскую работу, в которой решались следующие задачи:

- выбор оборудования для определения механической прочности керамического слоя после воздействия огня на силиконовую резину;
- способ получения образцов для испытаний прочности керамического слоя (вид воздействия, температура воздействия, продолжительность воздействия);
- исходные геометрические размеры и форма образцов для испытаний по определению прочности керамического слоя;
- способ оценки результатов испытаний и их анализ.

Проведя анализ современного испытательного оборудования, а также оборудования, имеющегося в ОАО «ВНИИКП» и традиционно применяемого на кабельных заводах, специалисты института приняли решение спроектировать и изготовить устройство для определения прочности керамического слоя силиконовой резины. Внешний вид и чертёж основного узла устройства приведены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Устройство для определения механической прочности керамического остатка силиконовой резины

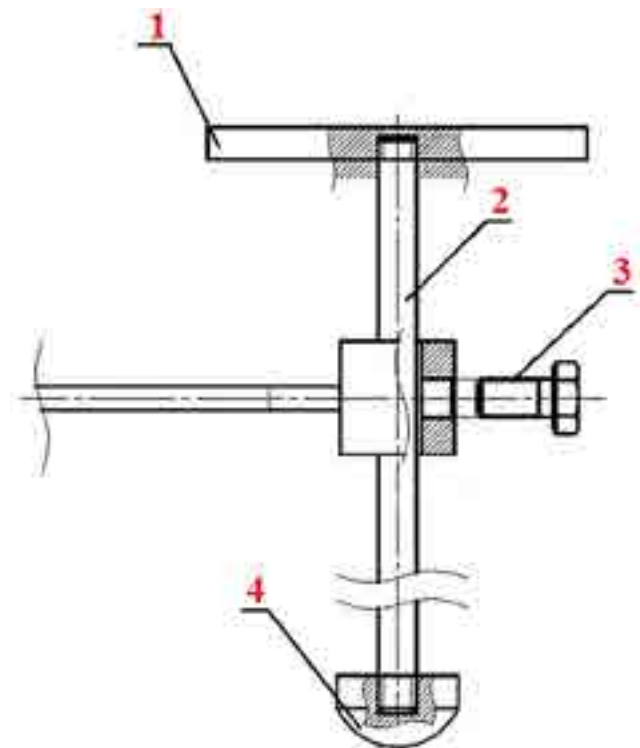


Рис. 2. Вариант чертежа устройства:
1 – площадка; 2 – стержень;
3 – стопорный винт; 4 – сферический индентор

Устройство изготовлено из дюралюминия и состоит из стержня 2, на который с одной стороны накручивается сферический индентор 4, с другой стороны стержня имеется площадка для размещения грузов 1. Для фиксации стержня и предотвращения преждевременной ударной

нагрузки на образец имеется стопорный винт 3. Вся конструкция крепится к штативу. Стержень, площадка и индентер имеют заданную массу. Для определения прочности испытуемого образца на площадку помещается груз определенной массы, который при необходимости может быть увеличен.

Также были изготовлены инденторы различных конфигураций: сферические инденторы диаметром 12,7 и 5,0 мм и игольчатый диаметром 1,0 мм. В ходе испытаний было выяснено, что игольчатый индентор не подходит, поскольку даже без груза прокалывает любой образец. Сферический индентор с диаметром 12,7 мм слишком рассеивает нагрузку груза на образец, из-за чего необходимо помещать на площадку нагрузку большой массы. Индентор диаметром 5,0 мм продемонстрировал хорошие результаты, поэтому было принято решение использовать его как основной.

При разработке метода испытаний рассматривались 2 способа получения образца: сжигание в муфельной печи и на газовой горелке. Физика этих процессов разительно отличается. В муфельной печи идет процесс, подобный высокотемпературному крекингу, а при сжигании на газовой горелке происходят типичные процессы горения полимеров.

Было выяснено, что образцы, полученные в муфельной печи, имели более высокую прочность (на 35–40 %) и более ровную поверхность, чем образцы, полученные на газовой горелке. Это объясняется равномерным тепловым воздействием температуры в муфельной печи. При воздействии пламени горелки на образец температурный поток не является «идеальным», из-за чего могут возникать небольшие локальные колебания температуры, которые приводят к неравномерному прохождению процесса керамообразования и изменению поверхности образца, что максимально приближено к условиям проведения стандартизованных испытаний на огнестойкость кабельного изделия.

Выбор стандартной газовой горелки обусловлен следующими причинами:

1) газовая горелка для испытаний кабельных изделий на нераспространение горения является стандартизированной, что дает более высокую воспроизводимость и возможность повторения результатов в разных испытательных лабораториях;

2) условия муфельной печи являются в большей мере лабораторными, в отличие от газовой горелки, которая лучше отображает реальные условия пожара, а именно: свободный доступ кислорода на протяжении всего испытания, неравномерный температурный поток;

3) газовая горелка является обязательным оборудованием на местах предполагаемого использования методики: заводы-производители кабельных изделий, исследовательские лаборатории и др.

Для определения оптимального времени воздействия пламени испытания проводились в течение 10, 15, 30, 45, 60, 75 и 90 минут. Данный временной ряд максимально приближен к времени испытаний кабельных изделий при подтверждении огнестойкости. Меньшее время испытаний не рассматривалось, поскольку некоторые образцы продолжали гореть вплоть до 6 минут. Результаты исследований показали, что, чем дольше образец подвергается температурному воздействию, тем прочнее получается керамический слой. Это объясняется относительно низкой скоростью процесса спекания минеральных частиц, необходимого для получения керамики. Наиболее сильный рост прочности слоя наблюдается до 30 минут. Поскольку керамика в реальных условиях пожара должна образовываться за относительно малое время, в качестве заданного времени испытания образца для методики было выбрано время – 15 минут.

Специалисты ОАО «ВНИИКП» провели большую работу по выбору формы исследуемого образца, так как форма образца может оказать существенное влияние на полученные результаты. Были изготовлены и испытаны образцы в форме шайб диаметром 20, 30 и 50 мм; квадратов со сторонами 20 и 30 мм; прямоугольников 100×50 и 50×25 мм толщиной 2, 3 и 5 мм каждый.

Наиболее стабильные результаты продемонстрировали образцы в форме шайбы. Поскольку нормативными документами описан стандартный образец в виде шайбы для методики была принята форма образца в виде шайбы с толщиной 2 мм и диаметром 50 мм.

Состав и количество керамообразующих добавок в силоксановых резинах оказывает влияние не только на механическую прочность, но, как видно из рис. 3–7, и на внешний (геометрический) вид образцов после воздействия огня.

Это обстоятельство потребовало включить в состав контролируемых параметров изменение геометрических размеров образца, а также оценку его поверхности.



Рис. 3. Образец 1



Рис. 4. Образец 2



Рис. 5. Образец 3



Рис. 6. Образец 4



Рис. 7. Образец 5

Таблица 1

Индексы оценки изменения диаметра образца

Изменение, мм	Изменение, %	Оценочный индекс
0	0	0
1–5	2–10	1
>6	>12	2

материала) под индентор для исключения возможной реакции опоры.

Стопорный винт держит стержень. На верхнюю площадку устройства помещают грузы, индентор доводят до непосредственного контакта с образцом, не прикладывая к нему нагрузку. После этого отпускают стопорный винт, образец начинает испытывать нагрузку от стержня и площадки с грузами. Массу груза фиксируют.

Если образец не деформировался, то стержень снова

Таблица 2

Индексы оценки состояния поверхности образца

Описание поверхности	Индекс	Наличие трещин	Индекс	Наличие пузырей	Индекс
Ровная	0	Нет	0	Нет	0
Изогнутая	1	Небольшие	1	Небольшие	1
Расслоение	2	Крупные	2	Крупные	2

Изменение геометрии и состояния поверхности керамического остатка являются важными параметрами, так как, если получающаяся керамика имеет рыхлую структуру, то возможно явление электрического пробоя.

Для характеристики этих параметров была разработана шкала индексов оценки керамического остатка, которая приведена в табл. 1 и 2.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ

Образец для испытания представляет собой шайбу диаметром 50 мм и высотой 2 мм, изготовленную из исследуемой керамообразующей силиконовой резины.

Испытание проводится на керамическом остатке шайбы из силиконовой резины, который получают путём сжигания шайбы на газовой горелке при температуре 750 °С в течение 15 минут.

Образец сжигают на подложке, поместив его на крупноячеистую сетку от № 1 до № 2,5 по ГОСТ 3826–82.

Используют горелку по ГОСТ IEC 60332-1-1–2011. Место воздействия пламени должно быть в середине нижней части образца. Пламя должно действовать на образец непрерывно в течение 15 мин.

После полного прекращения горения и охлаждения на воздухе до комнатной температуры керамический остаток образца оценивают визуально (на наличие трещин и осколков) и измеряют его диаметр.

Значения геометрических индексов определяют по табл. 1 и 2, после чего их значения суммируют.

Для определения прочности керамического остатка образец кладут на подложку из вспененной резины малой твердости или вспененной пленки (либо из другого мягкого

фиксируют стопорным винтом и увеличивают груз на площадке. Массу груза увеличивают добавлением груза до тех пор, пока нагрузка не будет достаточной для разрушения образца. Массу груза, при которой образец разрушился, фиксируют.

Для новых материалов, по которым отсутствуют данные о массе, приводящей к разрушению образца, рекомендуется провести серию оценочных испытаний.

За конечный результат принимают массу, при которой воздействие индентора приводит к сквозному проколу образца или разрушению на отдельные осколки.

Значения прочности определяют, как среднее арифметическое по массе груза, при котором три образца разрушились (трещины, прокол).

Полученные при трёх испытаниях баллы суммируют и определяют среднее арифметическое значение с точностью до целых чисел. Полученные результаты представляют в виде итоговой оценки.

Результаты испытаний записывают в виде X / Y , где X – средняя масса груза,

Y – средняя сумма геометрических индексов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная методика была оформлена стандартом организации СТО 00217053-029–2017 «Оценка прочности керамического слоя силиконовой резины после воздействия пламени».

Применение данного метода позволит осуществлять входной контроль керамообразующих силиконовых резин на заводах кабельной промышленности изготавливающих кабельные изделия в исполнении «-FR».

