

## Исследование термограмм композиционного материала

ШЕМЕТОВ Л.А., ШЕМЕТОВА В.К.

*Статья посвящена исследованию распределения частиц углерода в стеклопластике, в котором углерод является наполнителем. Используется методика, основанная на анализе проводимости поверхностных слоев материала с наполнителем. Рассматривалось влияние значения тока, времени его протекания, а также формы тока и формы электродов на распределение температуры по поверхности композита. Распределение температуры по поверхности материала, которая находилась в электрическом поле, изучалось с помощью тепловизора. Установлено, что имеющие малое значение токи поляризации не влияют на нагрев образцов, в то время как токи поверхностной утечки играют основную роль в нагреве поверхности композиционного материала. Предлагается использование термограмм для получения информации о распределении углеродного наполнителя в электротехническом композиционном материале.*

**Ключевые слова:** композиционный материал, углеродный наполнитель, термограммы, плотность тока

Широкая разработка и массовое применение известных еще по древним описаниям композиционных материалов (саманный кирпич — смешанная с соломой глина) начались во второй половине прошлого века. Преимущества композиционных материалов (КМ) по сравнению с металлами (высокая механическая прочность, малая масса) позволяют использовать их в основном в качестве конструктивных. Важным преимуществом композитов является также возможность конструирования их свойств в широком диапазоне параметров. Эксплуатационные характеристики материала зависят от состава частиц наполнителей, их формы и размера, а также от расположения частиц относительно друг друга. Качество изделия определяется равномерностью распределения частиц наполнителя в матрице. Возможность конструирования свойств композитов в широком диапазоне параметров, относительно простые технологические методы их изготовления вызывают желание использовать эти преимущества и при создании электротехнических КМ.

Важным параметром электротехнических материалов (ЭТМ) является удельное электрическое сопротивление, по значению которого ЭТМ делятся на три группы: проводники, полупроводники и диэлектрики. Изменение удельного сопротивления композиционных ЭТМ в настоящее время осуществляется с помощью введения в их состав углерода. Углерод можно вводить в виде сажи, ткани из углеродных нитей и углеродных нанотрубок. Первое в мире промышленное производство углеродных одностенных нанотрубок планируется в Татарстане<sup>1</sup>. В любом случае, в каком бы виде не во-

дился углерод, важным аспектом при производстве КМ на его основе является равномерное распределение наполнителя внутри матрицы.

При создании ЭТМ важно, чтобы частицы углерода образовывали в матрице проводящие цепочки, от количества которых зависит сопротивление материала. В связи с этим требуются простые практические методы, позволяющие быстро и просто определять распределение углеродного наполнителя в матрице. Цель работы — исследование влияния значения тока, времени его протекания, формы тока и электродов на распределение температуры по поверхности КМ.

В качестве объекта исследования взят стеклопластик, в который добавлен углеродный наполнитель. На поверхность образцов были наклеены алюминиевые электроды с помощью проводящей мастики. Форма электродов подбиралась так, чтобы между электродами в одном случае получилось однородное поле, а в другом — неоднородное. В первом случае электроды имели форму плоскопараллельных пластин, во втором случае один из электродов имел форму заостренного плоского наконечника.

Температура поверхности измерялась с помощью тепловизора Ti30 фирмы Fluke.

Технические характеристики тепловизора Fluke Ti-30:

диапазон измеряемой температуры:	–10...+250 °C
матрица тепловизора	160' 120, микроболометрическая
чувствительность	0,1 °C
спектральный диапазон	7–14 мкм
поле зрения объектива тепловизора	17° 12,8°

<sup>1</sup> Первый в мире завод по производству углеродных нанотрубок может появиться в Татарстане. — Композитный мир, 2015, № 1, с. 14.

точность тепловизора	$\pm 2$ % от ИВ
частота развертки изображения, кадров/с	9 Гц
система наведения/указания	лазер, класс 2
функции отображения тепловизора	4 палитры; отображение максимальной минимальной температуры
фокусировка тепловизора	ручная, минимальное расстояние 61 мм
регулируемая излучательная способность	от 0,10 до 1,00 (с шагом 0,01)

Прибор позволяет измерять температуру поверхности в диапазоне от  $-10$  до  $+250$  °С с температурным разрешением  $0,1$  °С и снабжён цветным дисплеем. Результаты измерений представлены на термограммах (рис. 1–4). Анализ термограмм показал, что температура электродов равномерно распределена по поверхности электродов. Температура поверхности композита зависит от двух факторов: нагрева материала поверхностными токами утечки и абсорбции и охлаждения поверхности в основном за счёт конвекционных потоков воздуха.

На рис. 1 и 2 показаны термограммы поверхности образца с параллельными электродами, к которым было приложено постоянное напряжение и протекал ток, соответственно, 6 и 16 мА. Первоначальная температура образца до подачи на него напряжения составила  $28$  °С. После каждого измерения образец охлаждался до первоначальной темпе-

ратуры. Распределение температуры между электродами было достаточно равномерным и составило в первом случае (рис. 1) от  $28,1$  до  $28,5$  °С, во втором (рис. 2) – от  $29,9$  до  $30,7$  °С. Таким образом, изменение тока на  $10$  мА приводило к изменению температуры примерно на  $2$  °. Увеличение времени протекания тока также увеличивало температуру поверхности.

На рис. 3 показана термограмма образца при значении тока  $16$  мА, измеренная через  $10$  мин с момента подачи напряжения. Температура поверхности увеличилась до  $32$ – $32,7$  °С. Результаты подтверждают факты влияния значения тока и времени его протекания на температуру поверхности образца. Можно сделать вывод о достаточно высокой чувствительности используемого прибора и его способности реагировать на незначительные изменения значения тока и времени его протекания.

Следующим этапом было исследование распределения температуры поверхности образца в неоднородном электрическом поле. На рис. 4 приведена термограмма образца, полученная при подаче на него постоянного напряжения. Значение тока составило  $10$  мА, диапазон температур между электродами – от  $29,1$  до  $31,2$  °С. Наиболее высокие значения температуры наблюдались вблизи заострённого электрода, где неоднородность поля выше и, соответственно, выше плотность тока. Таким образом, плотность тока является основным параметром, определяющим нагрев поверхности образца. Неравномерность распределения плотности тока обусловлена неравномерным распределе-

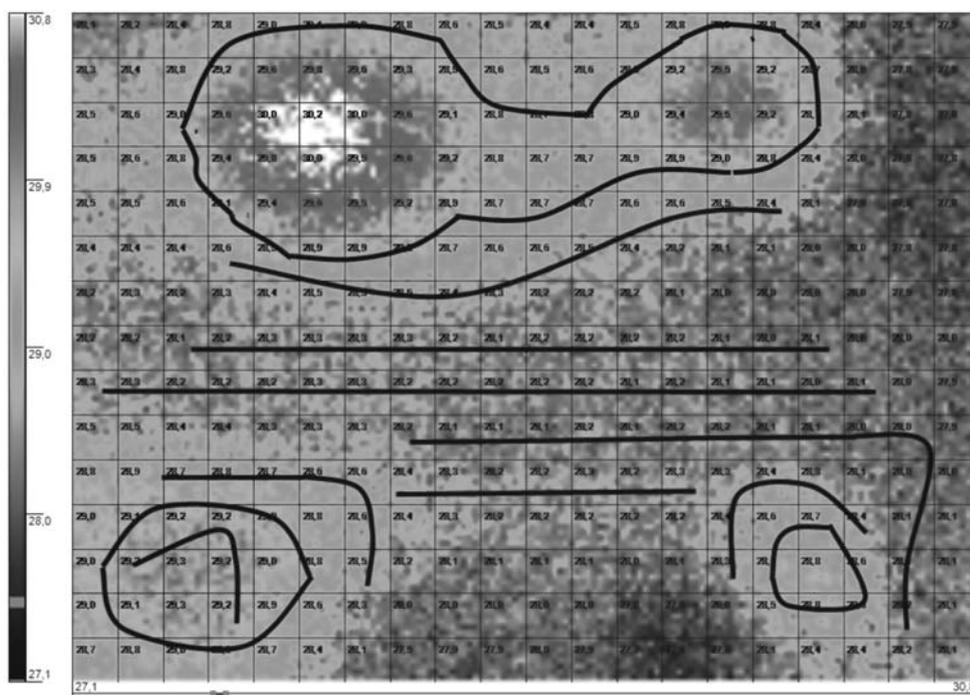


Рис. 1



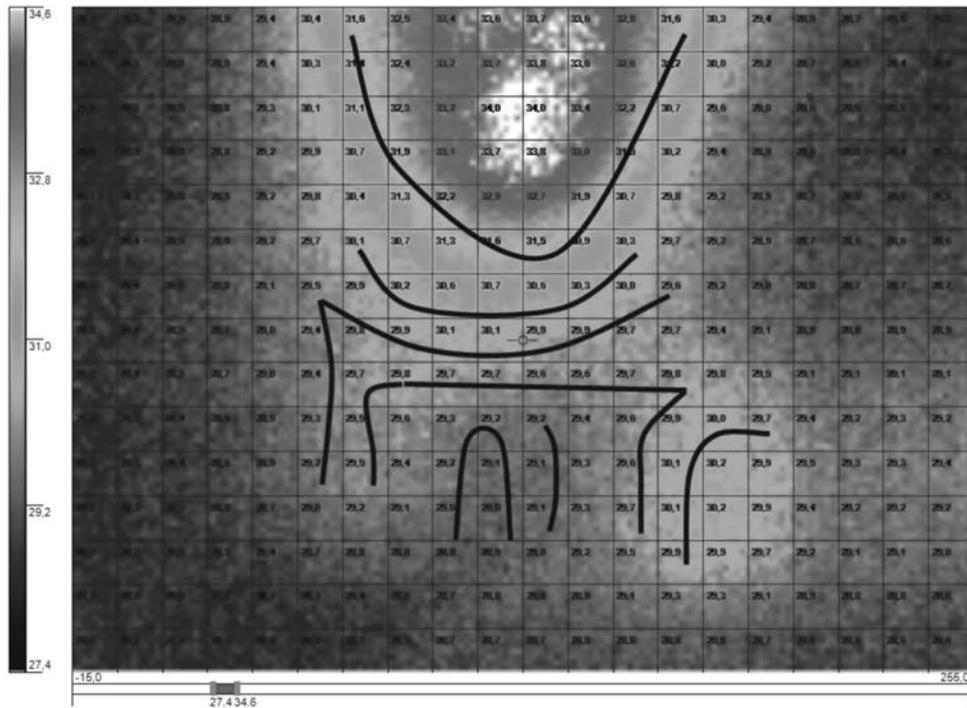


Рис. 4

Результаты исследований показали, что распределение температуры по поверхности композиционного материала с углеродным наполнителем может служить дополнительной информацией о распределении плотности тока по поверхности образца. Так как поверхность образца не подвергалась какой-либо специальной обработке, то распределение плотности тока по поверхности образца в принципе отражает распределение объёмной плотности тока.

Авторы выражают благодарность к.т.н. А.П. Черкасову за квалифицированную помощь в проведении исследований и обсуждении результатов.

[16.06.15]

*Авторы: Шеметов Леонид Анатольевич окончил Национальный исследовательский университет Московского энергетического института – НИУ «МЭИ» в 2011 г. по специальности «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника». Инженер специализированного предприятия.*

*Шеметова Валентина Константиновна окончила электромеханический факультет Московского энергетического института в 1973 г. В 1983 г. защитила кандидатскую диссертацию. Доцент кафедры физики и технологии электротехнических материалов и компонентов НИУ «МЭИ».*

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 10, pp. 59–62.*

## Studying the Thermograms of Composite Material

**SHEMETOV Leonid Anatol'evich** (*Specialized enterprise, Moscow, Russia*) – Engineer

**SHEMETOVA Valentina Konstantinovna** (*National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia*) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

*The article is devoted to studying the distribution of carbon particles in fiberglass plastic that uses carbon as filler. A procedure based on analyzing the conductivity of surface layers in material with filler is used. The study involved consideration of the effect of current value, its duration, and waveform, as well as the shape of electrodes on the temperature distribution over the material surface that was placed in electric field (the latter was studied using an infrared imager). It was found that small-amplitude polarization currents do not have an effect on the sample heating pattern, whereas the surface leakage currents play the main role in heating the composite material surface. It is proposed to use thermograms for obtaining information about the distribution of carbon filler in composite electrical material.*

**Key words:** *composite material, carbon filler, thermograms, current density*

