

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЛЮДОСОДЕРЖАЩИХ ЛЕНТ С
НАПОЛНИТЕЛЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИН

Одним из основных сдерживающих факторов в развитии электромашиностроения, т.е. факторов, препятствующих появлению новых более мощных электрических машин (турбо- и гидрогенераторов), является применяемая в них электрическая изоляция. Обладая низкой теплопроводностью, изоляция является тепловым барьером на пути теплового потока, проходящего от токопроводящих и тепловыделяющих частей машины к охлаждающей среде. Образующийся температурный градиент приводит к преждевременному ухудшению основных электрических и механических свойств изоляционного материала, что завершается выходом из строя всего электротехнического агрегата.

В настоящее время в электрических машинах используют слюдосодержащую композиционную изоляцию, состоящую из стеклоткани, слюдобумаги и связующего. По мнению отечественных и зарубежных специалистов наиболее перспективный способ повышения теплопроводности изоляции – это введение в состав связующего высокотеплопроводного диэлектрического наполнителя на стадии изготовления композита. Одним из таких наполнителей по совокупности технико-экономических показателей является оксид алюминия – один из лучших неорганических диэлектриков.

С целью исследования возможности повышения теплопроводности изоляции, используемой в электрических машинах, были изготовлены слоистые композиты, состоящие из материалов, применяемых на ОАО «Силовые машины»– филиал «Электросила» (г. Санкт-Петербург). Композиты состояли из нескольких слоев стеклослюдосодержащих лент ЛСКН–160–ТТ (2 ÷ 4 слоев; толщина слоя 0,13 мм), пропитанных эпоксидным компаундом ПК–11 с теплопроводным наполнителем. В качестве наполнителя использовался порошкообразный оксид алюминия (Al_2O_3 – «белый электрокорунд»), полученный методом электродуговой плавки на Бокситогорском глиноземном заводе. Средний размер частиц наполнителя 3 мкм. Наполнитель вводился в компаунд в количестве 15% масс. Изготовленные образцы композитов имеют диаметр 15–16 мм и толщину в зависимости от количества слоев от 0,26 до 1 мм.

Измерения коэффициента теплопроводности (λ) произведены методом динамического калориметра при помощи измерителя теплопроводности ИТ– λ –400. В основу работы измерителя положен принцип монотонного нагрева, при котором в течение времени τ температурное (Т) поле в образце остается близким к стационарному. Измерения производились в температурном интервале 25÷125°C в воздушной среде.

Результаты измерений температурной зависимости коэффициента теплопроводности слоистого (не монолитного) композита без наполнителя и с наполнителем из Al_2O_3 представлены на рис. 1, 2. Из рисунков видно, что, во-первых, введение наполнителя увеличивает теплопроводность (так, например, для четырехслойного композита увеличение λ составляет около 46% в интервале температур 25÷125°C), и, во-вторых, как для композита без наполнителя, так и с наполнителем, наблюдается возрастание λ с увеличением температуры. Последнее связано с определяющим вкладом в теплопроводность композита характера зависимости $\lambda(T)$, свойственной эпоксидному компаунду.

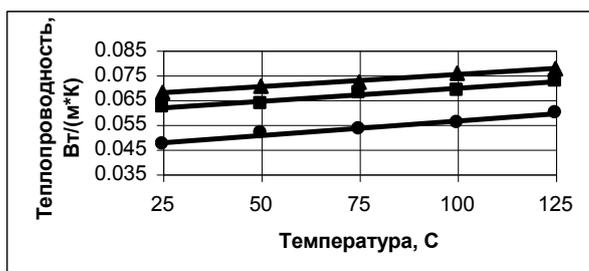


Рис. 1. Температурная зависимость λ для сухих лент ЛСКН-160-ТТ: ● – 2 слоя сухих лент; ■ – 3 слоя сухих лент; ▲ – 4 слоя сухих лент

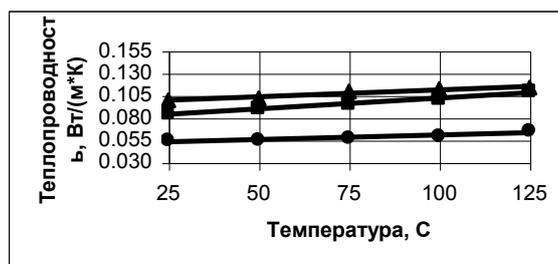


Рис. 2. Температурная зависимость λ для лент ЛСКН-160-ТТ, пропитанных компаундом ПК-11, содержащим 15% от его массы оксида алюминия: ● – 2 слоя пропитанных лент; ■ – 3 слоя пропитанных лент; ▲ – 4 слоя пропитанных лент

Зависимость коэффициента теплопроводности от количества слоев в композите представлена на рис. 3, 4.

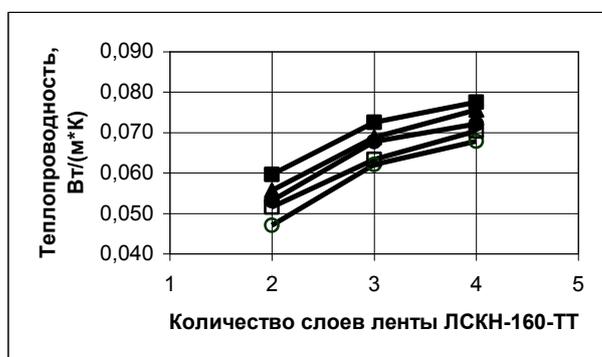


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности композита от количества слоев стеклослюдинитовой ленты без наполнителя: ○ – 25 °C; □ – 50 °C; ● – 75 °C; ▲ – 100 °C; ■ – 125 °C

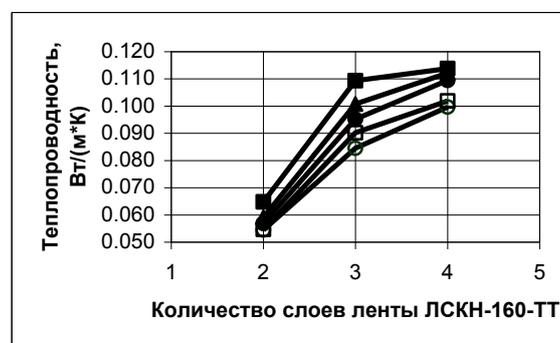


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности композита от количества слоев стеклослюдинитовой ленты с наполнителем (15 % масс. Al_2O_3): ○ – 25 °C; □ – 50 °C; ● – 75 °C; ▲ – 100 °C; ■ – 125 °C

Наблюдаемое повышение коэффициента теплопроводности, связанное с увеличением количества слоев стеклослюдинитовой ленты в композите, может быть объяснено следующими причинами:

1. При увеличении количества слоев происходит перекрытие воздушных промежутков, обладающих низкой теплопроводностью, и, следовательно, теплопроводность композита в большей мере определяется термическими свойствами стеклослюдинитовой ленты.

2. Увеличение сдавливающего усилия, необходимого для изготовления многослойных композитов, приводит к лучшему пропитыванию лент, что сопровождается вытеснением воздуха из стеклоткани.

Следует также отметить, что с возрастанием толщины образцов, т.е. с ростом числа слоев стеклослюдинитовой ленты в композите, увеличивается точность измерений на измерителе ИТ-λ-400, т.к. наиболее точные измерения на этом приборе выполняются для материала с ожидаемой теплопроводностью 0,1–0,3 Вт/(м·К) при толщине образца, равной 0,5–1,0 мм.