

## О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО КОМПАУНДА ДЛЯ ЗАЛИВКИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Г. А. СИПАЙЛОВ, Р. М. КЕССЕНИХ, Ю. П. ПОХОЛКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Эпоксидные компаунды горячего отверждения обладают рядом ценных свойств, позволяющих применять их для заливки обмоток электрических машин, работающих в тяжелых климатических условиях. За рубежом эпоксидные компаунды нашли широкое применение в различных отраслях электротехники [1, 2, 3]. Варьируя рецептуру и режимы отверждения этих компаундов, можно получить материал с заданными свойствами.

Применение эпоксидного компаунда в качестве заливочного для низковольтных электрических машин имеет большие преимущества по сравнению с различными пропитывающими лаками, в том числе и кремнийорганическими [4].

В настоящее время для работы в условиях морского и тропического климата применяются главным образом электрические машины с многослойной изоляцией обмоток, пропитанной кремнийорганическими лаками и залитой эпоксидным компаундом. Основным недостатком такой конструкции является ее высокая стоимость, обусловленная наличием большого количества влагостойких материалов (многослойная пазовая изоляция) и необходимостью дополнительной операции пропитки.

В данной работе предложена и исследована новая конструкция изоляции обмотки на основе перфорированного изоляционного материала (рис. 1). Отличительной чертой этой конструкции является то, что с целью уменьшения количества применяемых материалов и улучшения условий проникновения компаунда внутрь обмотки в пазовой части вместо нескольких слоев электроизоляционных материалов применен один слой перфорированного электроизоляционного материала, выполняющего функцию дистанционной прокладки между стенками паза и проводниками обмотки. Кроме того, конструкция позволяет обойтись без применения клиньев, изоляции лобовых частей и бандажа (для обмоток якорей), так как их функции может выполнить эпоксидный компаунд.

Исследования были проведены на моделях, представляющих собой реальные якоря машин постоянного тока мощностью до 1 квт. В качестве пазовой изоляции обмотки якоря нами был применен перфорированный электрокартон толщиной 0,2 мм. Перфорация — отверстия диаметром 2,5 мм, расстояние между отверстиями — 0,5 мм (рис. 1.). Провод ПЭВ-2, диаметром 0,93 мм.

В общем случае провод и материал перфорированного слоя может быть подобран с учетом совместимости изоляции для обеспечения нужного класса нагревостойкости.

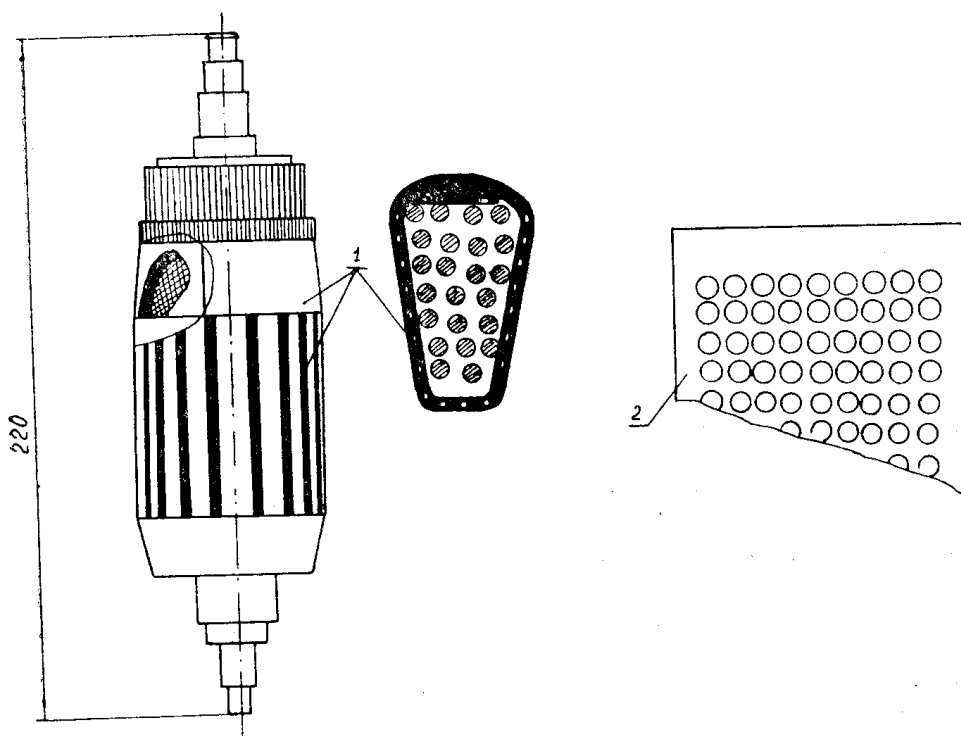


Рис. 1. Якорь с обмоткой, залитой эпоксидным компаундом и перфорированной корпусной изоляцией.

- 1 — эпоксидный компаунд,  
2 — заготовка для пазовой изоляции.

В конечном итоге, учитывая создание в будущем новых синтетических электроизоляционных материалов, существует возможность подбора такого компаунда и такого материала перфорированного слоя, которые в процессе отверждения вступят в химическую реакцию, образовав однородную корпусную изоляцию.

Говоря о конструкциях обмоток с эпоксидной изоляцией, можно отметить, что за рубежом последние несколько лет таким конструкциям уделяется довольно много внимания [5, 6, 7]. Известны конструкции машин морского и тропического исполнения с обмотками, залитыми эпоксидным компаундом. Однако при этом чаще всего практикуется предварительная пропитка. Известна также [8] конструкция изоляции проводов применительно к секциям высоковольтных электрических машин, где отдельные стержни, обмотанные стеклолентой, изолируются перфорированным микафолием и затем пропитываются эпоксидным компаундом. Однако перфорация в этом случае преследует цель только активизировать проникновение компаунда в микафолий, не уменьшая количества материалов (диаметр перфорационных отверстий 0,1 мм).

Предлагаемая нами конструкция более проста. Перфорированный электроизоляционный материал (электрокартон) до заливки служит механическим разделителем обмотки от магнитопровода. Низкая исходная вязкость компаунда при температуре 140°C позволяет хорошо пропитать обмотку и заполнить все перфорационные отверстия. Этому способствует малый объем твердой изоляции в пазу машины, который после перфорации сокращается примерно в два раза.

После отверждения компаунда обмотка в пазовой части изолирована от стенок паза либо слоем эпоксидного компаунда, либо слоем пропитанного компаундом электрокартона.

Во избежание повреждения изоляции провода при укладке в местах выхода из паза, торцевые края электрокартона не перфорируются.

Применение эпоксидного компаунда для заливки позволяет отказаться от клиньев; после укладки обмотки в пазы электрокартон закрывает провод внахлест и остается в таком положении за счет своей жесткости. После заливки функцию клиньев выполняет слой компаунда, находящийся в пазу над обмоткой.

Использование данной конструкции изоляции обмотки для якорей электрических машин дает возможность отказаться от применения бандажей, подбандажной изоляции и изоляции лобовых частей от вала. Функции этих материалов выполняет эпоксидный компаунд. Изоляция лобовых частей от вала обеспечивается следующим образом: при укладке обмотки в пазы якоря, на вал, в области лобовых частей одеваются разъемные втулки, обеспечивающие зазор между обмоткой и валом. Непосредственно перед заливкой эти втулки снимаются, а после заливки их место занимает эпоксидный компаунд. Нами были изготовлены макеты обмоток с описанной конструкцией изоляции; их поведение в различных климатических условиях исследовалось одновременно с целым рядом других конструкций.

В частности, были испытаны:

1. Якоря с пазовой изоляцией, состоящей из микашелка, электрокартона, провода ПЭВ-2, пропитанной кремнийорганическим лаком ЭФЗ-БСУ (композиция А).

2. Якоря с изоляцией композиции А, дополнительно залитой эпоксидным компаундом (композиция Б).

3. Якоря с пазовой изоляцией из перфорированного электрокартона с пропиткой и заливкой эпоксидным компаундом (композиция В). Состав компаунда: смола ЭД-6, фталевый ангидрид, кварцевый песок, дибутилфталат.

На рис. 2 и 3 представлены сравнительные зависимости изменения сопротивления изоляции рассмотренных композиций от времени пребывания в условиях повышенной морской влажности и морской воды. В таблице приведены результаты изменения емкости  $C$ ,  $tq\delta$  и  $U_{по}$  изоляции после 72 часов пребывания в морской воде.

Повышенная морская влажность ( $\varphi=100\%$ ) и морская вода оказывают погубное воздействие на многослойную изоляцию, пропитанную

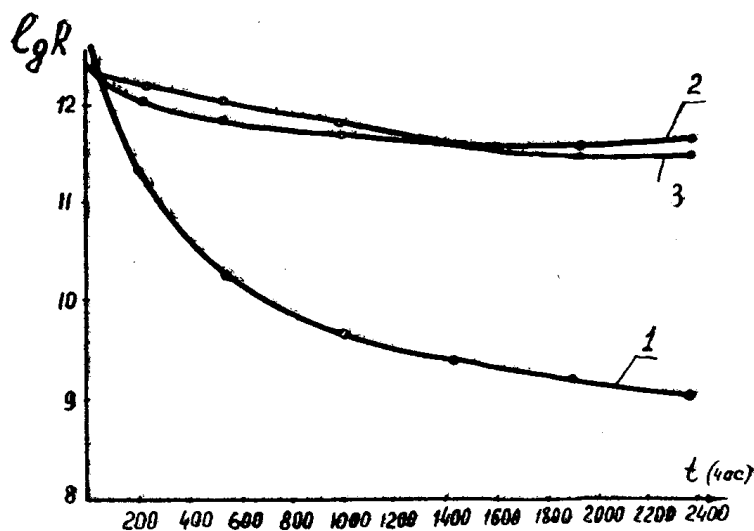


Рис. 2. Зависимость логарифма сопротивления композиционной изоляции от времени пребывания в условиях 100%-ной относительной морской влажности.

Кривая 1 — композиция А.  
Кривая 2 — композиция Б.  
Кривая 3 — композиция В.

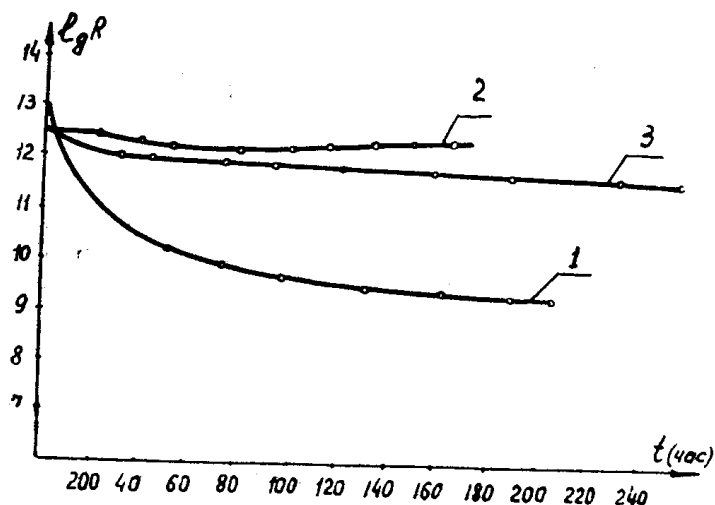


Рис. 3. Зависимость логарифма сопротивления композиционной изоляции от времени пребывания в морской воде.

Обозначение кривых те же, что для рис. 2.

кремнийорганическим лаком; сопротивление изоляции падает почти на 3 порядка (рис. 2 и 3), ухудшаются и другие показатели  $C$ ,  $\text{tg} \delta$ ,  $U_{\text{пр}}$  (см. табл.). Это ухудшение, по-видимому, обусловлено наличием пор в лаковой пленке, образованных при испарении растворителя.

Таблица

Композиция	$\text{tg} \delta$	Емкость, пф	$U_{\text{пр}}$ кв	
А	до воздейств.	0,005	130	5,4
	после	0,38	670	0,8
Б	до воздейств.	0,006	170	7,2
	после	0,009	220	6,35
В	до воздейств.	0,008	180	4,3
	после	0,01	230	4,1

Электрические свойства изоляции композиции Б при длительном воздействии тех же условий, что и для изоляции композиции А, более стабильны. Изоляция композиции В не уступает по стабильности электрических свойств изоляции композиции Б. Этому способствует монолитность капсулы из эпоксидного компаунда и хорошее качество корпусной изоляции, состоящей на 55% из эпоксидного компаунда.

Данные испытаний якорей с изоляцией композиции В на срок службы позволяют отнести эту изоляцию к классу Е. Срок службы изоляции обмоток композиции В при различных температурах составляет: 105°C — 31600 часов, 120°C — 14900 часов, 130°C — 9800 часов.

Конструкция обмотки на основе перфорированной изоляции и эпоксидного компаунда имеет значительные преимущества перед другими конструкциями залитых обмоток.

1. Значительное сокращение номенклатуры применяемых материалов обеспечит снижение стоимости изделия и приведет к значительному сокращению операций по подготовке изоляционных материалов и укладке их в пазы машины.

2. Уменьшение объема твердой изоляции в пазу машины и увеличение ее поверхности позволит сократить время сушки изоляции и в ряде случаев исключить при этом вакуумирование.

3. Большая поверхность твердой изоляции, обусловленная перфорацией, будет способствовать более хорошей пропитке этой изоляции.

Таким образом, как по электрическим свойствам, так и по сроку службы изоляция обмоток якорей низковольтных электрических машин, состоящая из одного слоя перфорированного электрокартона, пропитанного и залитого эпоксидным компаундом, с успехом может заменить многослойную пазовую изоляцию, состоящую из влагостойких материалов, пропитанных кремнийорганическими лаками и залитых эпоксидным компаундом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Черняк, Эпоксидные компаунды и их применение, Судпромгиз, 1963.

2. Review of insulation paper presented of ATEE summer general meeting, Insulation, 6, N 8, 1960.

3. Р. Хувинк, А. Ставерман. Химия и технология полимеров. Изд-во «Химия», 1966, второй том, часть вторая.

4. Р. М. Кессених, Ю. П. Похолков, А. В. Петров. О возможности применения эпоксидных компаундов для заливки обмоток электрических машин. Зап. Сиб. ЦБТИ, 1966.

5. F. I. Davidson. Application and techniques for encapsulation with epoxy insulating resins, «Insulation», N 1, 1956.

6. C. W. Page. Epoxy resin casting of gry type high voltag component «Electrical engineering», N 12, 1956.

7. М. Рихтер, Б. Бартакова. Тропикализация электрооборудования, Госэнергоиздат, 1962.

8. Шведский патен кл. 21 Hd 53, (HO2K) № 185290.