

ОЦЕНКА АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ НИЗКОВОЛЬТНОЙ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Рогожникова Ю.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В процессе изготовления и работы изоляция электрических машин подвергается механическим, температурным и химическим воздействиям, влиянию влаги, поверхностных загрязнений и электрического поля. Такая изоляция, выбираемая с учетом указанных воздействий, должна обеспечивать их бесперебойную работу в течение установленного срока службы.

Анализ отказа электрических машин в эксплуатации показал, что значительная часть их приходится на период приработки, в основном из-за скрытых дефектов в изоляции. Наибольший процент отказов машин в период приработки приходится на витковую изоляцию. [1] Необходимой надежности обмоток асинхронного двигателя можно достичь правильным выбором обмоточных проводов и пропиточных составов.

В настоящее время разработаны новые пропиточные составы и обмоточные провода, которые можно использовать в качестве межвитковой изоляции при изготовлении обмоток низковольтных двигателей.

В связи с тем, что основные свойства межвитковой изоляции формируются после пропитки, важно обеспечить качественную пропитку обмоток специальными лаками или компаундами.

При пропитке воздушные включения и пустоты в обмотках и изоляции заполняются пропитывающими составами, что делает изоляционную систему более монолитной и устойчивой к воздействию эксплуатационных нагрузок и окружающей среды.

Анализируя условия проникновения пропиточного состава в обмотку при ее пропитке, можно сделать вывод, что эти условия существенно зависят от таких физико-химических характеристик пропиточных составов, как: энергия смачивания пропиточными составами изоляции обмоточных проводов W_{Σ} ; коэффициента поверхностного натяжения $\sigma_{жг}$ и краевого угла смачивания $\cos\theta$.

Для непосредственного измерения энергии смачивания пропиточными составами изоляции обмоточных проводов в ТПУ был разработан метод, основанный на измерении усилия втягивания образца обмоточного провода в пропиточный состав, что приводит к кажущемуся увеличению веса провода на величину Δm . При этом усилие втягивания образца в пропиточный состав будет пропорционально энергии смачивания. Выталкивающая сила будет противодействовать увеличению веса провода и для момента равновесия можно записать[3]:

$$W_{\Sigma} = \sigma_{жг} \cdot \cos\theta, \quad (1)$$

где W_{Σ} – энергия смачивания ($\text{кг/с}^2 = \text{Дж/м}^2$); $\sigma_{жг}$ – коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела фаз: жидкость – газ ($\text{кг/с}^2 = \text{Дж/м}^2$); $\cos\theta$ – краевой угол смачивания.

Обозначив увеличение веса провода в момент отрыва через Δm_1 , получим:

$$\sigma_{жг} = g \cdot \Delta m_1 / \Pi_{np}, \quad (2)$$

где Π_{np} – периметр сечения провода; g – ускорение силы тяжести (м/с^2)

Затем рассчитываем величину угла смачивания[3]:

$$\cos\theta = \Delta m / \Delta m_1. \quad (3)$$

Определение времени и качества пропитки.

Для тех видов пропитки, когда пропиточный состав поступает в обмотку сверху, для определения времени пропитки используем выражение (4):

$$\tau = \frac{\nu l}{K g \sin \alpha} \left[1 + \frac{P_K}{\rho g l \sin \alpha} \ln \left| \frac{P_K}{P_K + \rho g l \sin \alpha} \right| \right], \quad (4)$$

где ν – кинематическая вязкость пропиточного состава [$\text{м}^2/\text{с}$];

l – длина полувитка обмоточной катушки [м];

K – коэффициент проницаемости обмотки [м^2];

g – ускорение силы тяжести [$\text{м}/\text{с}^2$];

α – угол наклона поровых каналов к горизонту, $\alpha=30^\circ\text{C}$;

ρ – плотность пропиточного состава [$\text{кг}/\text{м}^3$];

P_K – давление, обусловленное действием капиллярных сил [$\text{Н}/\text{м}^2$];

В случае, когда пропиточный состав поступает в обмотку снизу, применяем выражении (5):

$$\tau = \frac{l \sin \alpha}{\nu} = \frac{l \nu}{K g}, \quad (5)$$

В связи с тем, что одним из основных назначений технологического процесса пропитки является заполнение свободного пространства между проводниками обмотки, поэтому для определения качества пропитки по выражениям [2]:

$$K_{np} = 1 - \left(1 - \frac{P_K}{\rho g l_{об.м} \sin \alpha} \right) \cdot \left[1 - \frac{8,288 \cdot K_3 \cdot A(1 + 0,66A)}{(4 - \pi K_3)} \right], \quad (6)$$

В качестве результатов представим зависимости времени и качества пропитки от температуры для короностойкого обмоточного провода ПЭТД2-К-180 в сочетании с пропиточными составами КП-200, КП-50 и КП-55-5.

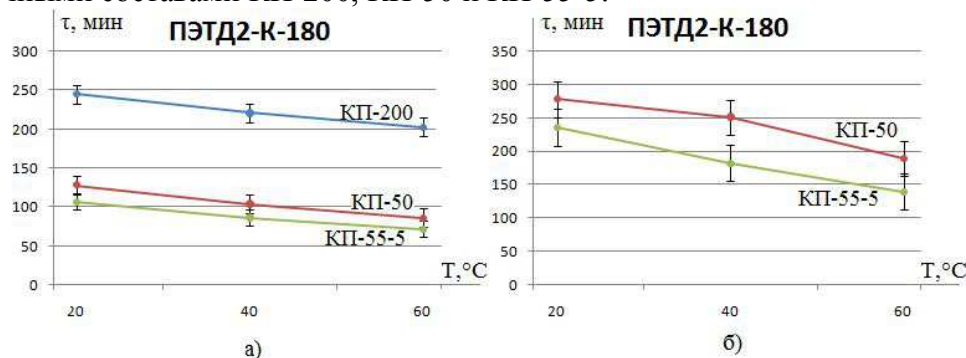


Рис. 1. Зависимости времени пропитки от температуры для провода ПЭТД2-К-180
 (а) – метод погружения, б) – струйный метод)

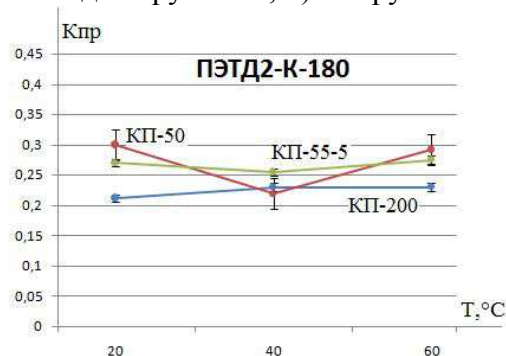


Рис. 2. Зависимость коэффициента качества пропитки от температуры для провода ПЭТД2-К-180

Таким образом, для оптимизации технических процессов можно порекомендовать при применении композиций ПЭТД2-К-180 – КП-200, КП-50 и КП-55-5 производить пропитку методом погружения.

Известно [4], что процесс разрушения межвитковой изоляции во многом определяется величиной адгезии между ее компонентами. В случае высокой адгезии процессы разрушения изоляции и образование сквозных дефектов значительно ускоряются в связи с повышением вероятности развития трещин из пропиточного состава в эмалевую изоляцию [5]. Пользуясь методикой определения работы адгезии, предложенной в [4], была подсчитана работа адгезии для новых пропиточных составов, исследуемых в работе, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значение работы адгезии для исследуемых систем изоляции

Марка провода	Работа адгезии W_a , Дж/м ² / пропиточный состав.	
	КП – 50	КП – 55 – 5
ПЭТД – 180	12,197	3,178
ПЭТ – 155	15,212	3,154
ПЭТД 2 – К – 180	14,946	0,718
ПЭЭА – 155	14,330	2,323

Имея вновь рассчитанные данные, дополняем ранее полученную зависимость скорости дефектообразования от работы адгезии [4], рисунок 3.

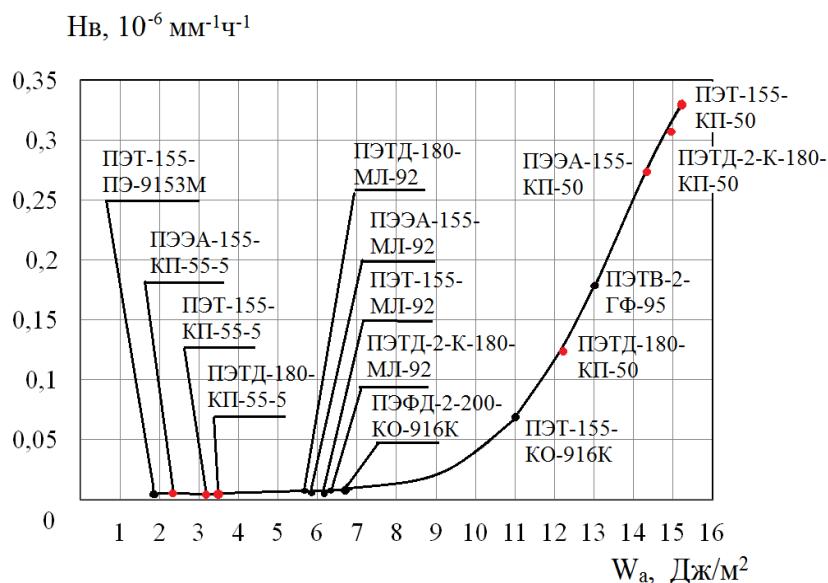


Рис. 3. Зависимость вероятности безотказной работы от величины работы адгезии в исследуемых системах межвитковой изоляции

Данный результат наглядно показывает взаимосвязь W_a и процессов дефектообразования в изученных системах. Это связано с повышением вероятности развития сквозного дефекта в системе «пропиточный состав - эмалированный провод» что приводит к снижению надежности полученной композиции. Следовательно, рекомендуем использовать композиции имеющихся марок обмоточных проводов с пропиточным составом КП-55-5.

Предварительный отбор компонентов межвитковой изоляции позволит прогнозировать интенсивность процессов разрушения изоляции низковольтных обмоток при эксплуатации и оптимизировать выбор её компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общего назначения. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.
2. Похолков Ю.П., Дудкин А.Н., Петров А.В. Моделирование технологического процесса пропитки и термообработки обмоток.//Электротехника, 1996, стр.45-49.
3. Дудкин А.Н. Электротехническое материаловедение: учебное пособие/ А.Н. Дудкин, В.С. Ким; Томский политехнический университет. – 2-е изд.- Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 199 с.
4. Леонов А.П, Супуева А.С. Определение работы адгезии в системе межвитковой изоляции. Интернет-журнал «Науковедение» №3 2013
5. Галушко А.И., Максимова И.С., Оснач Р.Г., Хазановский П.М. Надежность изоляции электрических машин. – М.: Энергия, 1979. – 176 с.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Латыпов А.Р., Исмагилов Р.Р.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

В настоящее время для получения сплавов, металлов и конструкционных материалов высокого качества, а также для изготовления, обработки деталей и изделий в авиационной, электронной и химической промышленности широко используется современные электротехнологические установки. С помощью таких установок реализуются процессы обработки металлов под штамповку, выращивания монокристаллов, спекания порошковых материалов. В большинстве случаев электропитание установок осуществляется от источников повышенной или высокой частоты. В качестве источников питания используются полупроводниковые преобразователи частоты, главным преимуществом которых является:

1. малый расход электроэнергии за счет повышенного КПД;
2. высокие регулировочные свойства (глубина регулирования 1:20);
3. плавное регулирование мощности в ходе технологического процесса.

В полупроводниковых преобразователях частоты используются инверторы. Существует большое количество вариантов схемных решений с использованием инверторов. Например, схема резонансного инвертора с удвоением частоты с отсекающим диодом, двухклеточного резонансного инвертора, мостовой последовательный инвертор со встречно-параллельными диодами и удвоением частоты[1].

Однако расширение частотного диапазона в случае применения полупроводниковых преобразователей довольно сложно. Это связано повышенным нагревом полупроводниковых ключей при увеличении частоты переключений. Одним из способов расширения частотного диапазона является каскадное включение тиристорного преобразователя и ферромагнитного учетверителя частоты. Принцип действия ферромагнитных умножителей частоты основан на нелинейных свойствах их насыщенных магнитопроводов.