ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ XXVI, № 3, 1973 Серия технических наук

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В. В. АТОЯН, Э. Л. ТКАЧЕНКО, Л. П. ПАХЛЕВАНЯН

СКЛЕИВАЮЩАЯ ПАСТА С ФЕРРОМАГНИТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ДЛЯ СТЫКОВЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ

Наличие зазора между стыкующимися поверхностями стыковых магнитопроводов, в частности, пространственных магнитопроводов силовых трансформаторов, приводит к резкому увеличению тока холостого хода и к снижению механической прочности конструкции магнитопровода. В достаточной степени удается снизить вредное влияние этих факторов путем применения специальной склеивающей пасты с ферромагнитным наполнителем.

В данной статье рассматривается вопрос выбора ферромагнитного наполнителя.

Магнитная проницаемость пасты предопределяется количеством и типом ферромагнитного наполнителя. Кроме того, нужно учитывать требования технологичности нанесения пасты на склеиваемые поверхности (оптимальная вязкость) и необходимость обеспечения достаточно высокого электросопротивления клеевого шва.

Был исследован ряд составов пасты с наполнителем из разных порошков: пермендюра (К 35), распыленного чистого раздаского железа, карбонильного железа, восстановленного железа-пж.

Магнитная проницаемость пасты измерялась с помощью витого разрезного сердечника, изготовленного из стали М6Х, с толщиной листов 0,35 *мм*. После разрезки была снята кривая намагничивания сердечника в переменном поле частотой 50 *гц* в координатах $B_{max}-H_{max}$. Стыки разрезанного магнитопровода были тщательно обработаны и на них установлены калибрующие зазор (≈ 1 *мм*) планки из гетинакса (рис. 1). После нанесения клея магнитопровод стягивался специальным винтовым устройством и отправлялся на полимеризацию.

При намагничивании склеенного магнитопровода переменным током имеем соотношения:

$$Iw = H_ж l_ж + H_k l_k;$$

$$H_k = \frac{Iw - H_ж l_ж}{l_k} = \frac{\frac{E_{сфф}}{4fM} - H_ж l_ж}{l_k} \text{ а/см}; \quad (1)$$

$$\mu_k = \frac{B}{H_k} = \frac{Bl_k}{\frac{E_{сфф}}{4fM} - H_ж l_ж}.$$

где H_0 — напряженность поля в неразрезанном сердечнике при заданной индукции, *а/см*; B — индукция в магнитопроводе, *т.л*; $l_в$ — длина зазора, *см*; w — число витков намагничивающей обмотки; f — частота, *гц*; M — коэффициент взаимоиндукции катушки взаимоиндуктивности, *гн*; $l_{ср}$ — длина средней линии сердечника, *см*; $E_{ср}$ — показания вольтметра средних значений на вторичной обмотке катушки взаимоиндуктивности, *в*.

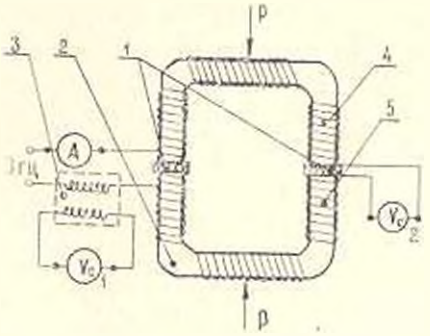

Рис. 1. Схема намагничивающей цепи измерительного устройства: 1 — калибрующие рамки; 2 — магнитопровод; 3 — катушка взаимоиндуктивности; 4 — намагничивающая обмотка.

Погрешность измерений здесь, в основном, обусловлена погрешностью определения длины зазора и появлением воздушных включений в некоторых случаях при полимеризации. Проверка показала, что целесообразнее измерения проводить в неполимеризованном состоянии клея. При этом разница в результатах оказывается небольшой.

В целях определения зависимости проницаемости пасты от содержания в ней ферромагнитного наполнителя было опробовано 4 состава с распыленным порошком пермендюра фракции менее 100 *мк*. Весовые характеристики этих составов приведены в табл. 1. Поскольку,

Таблица 1

Содержание смолы и ферромагнитного порошка и магнитная проницаемость различных составов

Компоненты	Номер рецепта			
	2	3	4	5
Смола, в %	24·5	20·6	16·5	14·5
Ферромагнетик, в %	75·5	79·4	83·5	85·5
Расчетные значения V_1, V_2, в %	30·0	35·6	42·4	44·7
μ_0 в *гн/см*	2·30	2·55	2·90	3·12

в конечном итоге, проницаемость смеси связующего и наполнителя определяется объемными соотношениями, то представляет интерес расчет объемного содержания ферромагнетика в составе.

Если предположить, что ферромагнетик полностью смачивается связующим и при их смешивании удается избежать образования воздушных включений, то

$$\frac{V_н}{V_к} = \frac{1}{1 + \frac{G_с d_н}{G_н d_с}} \cdot 100\ \%, \qquad (2)$$

где $G_с$ — весовое содержание связующего; $G_н$ — весовое содержание наполнителя; $d_н$ — удельный вес наполнителя; $d_с$ — удельный вес связующего; $V_н$ — объем наполнителя; $V_к$ — объем смеси.

В табл. 1. приведены вычисленные по формуле (2) значения $V_н / V_к$ и величины магнитной проницаемости пасты ($\mu_к$) при индукции 1,5 *т.л.* График зависимости $\lg\mu_к$ от содержания в пасте ферромагнитного наполнителя (порошок пермендюра размерами частиц менее 100 *мк*) приведен на рис. 2. Этот график в пределах $V_н / V_к$ = =30 ÷ 40 % аппроксимируется зависимостью

$$\lg\mu_к = 0{,}36 - 0{,}0086\left(100 \cdot \frac{V_н}{V_к} - 30\right).$$

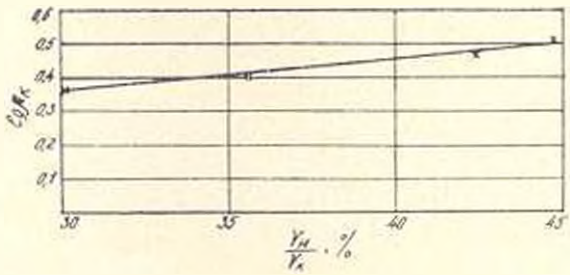

Рис. 2. График зависимости $\lg\mu_к$ от процента содержания в пасте пермендюра (К—35) 100 *мк*

Результаты измерения проницаемости смесей с разными типами наполнителей приведены в табл. 2. Из этой таблицы видно, что по магнитным свойствам к порошку К-35 ближе подходит разланское распы-

Таблица 2

Магнитная проницаемость паст с различными типами ферромагнитного наполнителя

Марка порошка	ПЖ	Карбонильное железо	Разланское железо — 100 *мк*	Пермендюр (К-35) — 100 *мк*
Проницаемость при B = 1,5 *тл*	1,98	2,00	2,66	2,90

лешое железо. Исходя из этого, оно было рекомендовано для применения в серии трансформаторов со стыковыми пространственными магнитопроводами.

Для определения приемлемого фракционного состава разданского железа определена проницаемость смесей с размерами гранул менее: 100 *мк*, 60 *мк*, 40 *мк*. Результаты этих испытаний, приведенные в

Таблица 3

Магнитная проницаемость паст с различным размером гранул разданского железа

Размер	—40 *мк*	—60 *мк*	—100 *мк*
Проницаемость	2,64	2,55	2,66

табл. 3, показывают, что размер гранул в указанных пределах практически не влияет на проницаемость пасты. Однако, при испытаниях паст в изделиях оказалось, что при размерах гранул порошка более 40 *мк* имеет место замыкание между стыкующимися поверхностями ярм и стержней, что приводит к возрастанию потерь холостого хода трансформаторов.

Указанное явление, в отдельных случаях, имело место и с порошком —40 *мк*, поэтому был опробован фосфатированный порошок—40 *мк*. Испытание этого порошка дало удовлетворительные результаты. Наряду с определением магнитных свойств, были проведены механические испытания клеевых швов на сдвиг и разрыв. Для определения прочности на сдвиг применялись пластины размером 20×150 *мм*, толщиной 1,5—2 *мм*. Чтобы обеспечить достоверность результатов, несколько склеенных образцов с определенным усилием зажималось в специальном приспособлении и затем подвергалось полимеризации (рис. 3). Образцы для определения прочности на разрыв (рис. 4) собирались из

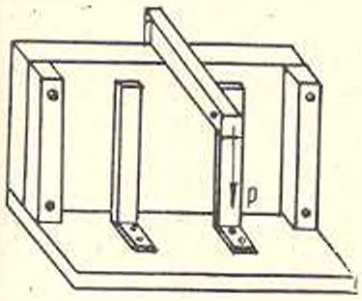

Рис. 3. Кассета для зажима склеенных образцов.

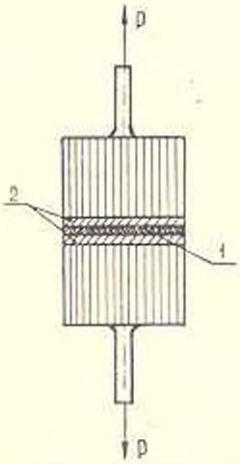

Рис. 4. Образец для испытания пасты на разрыв: *1*—слой пасты; *2*—сварной шов.

пластин электротехнической стали толщиной 0,35 *мм*, имитируя стык магнитопровода.

Испытания образцов с разданским фосфатированным железом —40 *мк* показали результаты: прочность на сдвиг 160–180 $кГ/см^2$, прочность на разрыв 250–300 $кГ/см^2$, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к клеевым швам трансформаторов. Отметим, что применение пасты с разданским железом в опытно-промышленной серии трансформаторов (30 шт.) мощностью 250 *ква* привело к снижению потерь холостого хода на 4% и снижению тока холостого хода на 14%.

Выводы

1. Исследование различных составов склеивающих паст с ферромагнитным наполнителем показало, что оптимальным является состав, содержащий 57,6 объемных частей эпоксидной смолы и 42,1 части фосфатированного порошка разданского железа фракции —40 *мк*.

2. Применение указанной пасты для склейки стыков пространственных трансформаторов снижает потери и ток холостого хода соответственно на 4 и 14%.

Поступило 20 X 1972

Վ. Վ. ԱԹՈՅԱՆ, Է. Հ. ՏԵՐՉՅԱՆ, Լ. Ի. ՓԱՇԻԿՅԱՆ

ՖԵՐՈՄԱԳՆԻՍԱՅԻՆ ԼՑԱՆՅՈՒԹՈՎ ՍՈՍՆՁՈՂ ՄԱԾՈՒԿ ՀԱՄԱԿՑՈՂ ՄԱԳՆԻՍԱԼԱՐԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ամփոփում

Հետազոտվել է սոսնձող մածուկի մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը լցված և ֆոսֆատացված ֆեռոմագնիսային լցանյութի պարունակությունից, նրա տեսակից և հատիկների չափերից։ Հայտնաբերված է մածուկի օպտիմալ բաղադրությունը՝ կազմված 57.6 ծավալային մաս էպոքսիդային խեժից և 42,1 ծավալային մաս Հրազդանի երկաթի ֆոսֆատացված փոշու—40 միկրոն ֆրակցիայից, որը 250 կվա հզորության տրանսֆորմատորի կորուստները և պարապընթացքի հոսանքը նվազեցնում է համապատասխանաբար 4 և 14 տոկոսով։ Կատարված են միակցվող կարանների սահքի և կտրման մեխանիկական հետազոտություններ նշված մածուկի օգտագործմամբ և համապատասխանաբար ստացվել են 160—180 և 250—300 կգ/սմ² ամրություններ, որոնք բավարարում են տրանսֆորմատորների սոսնձային կարաններին ներկայացվող պահանջներին։