

ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАХЛЕСТОЧНЫХ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОКОВЕДУЩИХ ШИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

© 2023 г. А.Е. Горбунов^{1,2,*}, А.Е. Ивкин^{1,2,**}, П.В. Соломенчук^{2,***}

¹Санкт-Петербургский Горный университет,
Россия 199106 Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2
²ООО «Константа», Россия 198098 Санкт-Петербург, Огородный пер., 21
E-mail: *ae.gorbunov.w@gmail.com; **ivkin@constanta.ru; ***pavel257@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2023; после доработки 19.06.2023

Принята к публикации 30.06.2023

Рассматривается неразрушающий контроль нахлесточных паяных соединений электрических машин с применением двухэлементного вихретокового преобразователя тангенциального типа, обмотки возбуждения и измерения которого расположены по обе стороны объекта контроля. Для экранирования преобразователя от близко расположенных токоведущих элементов используется активное экранирование с применением двух экранирующих обмоток. Применение тангенциального преобразователя с контрольными образцами, повторяющими форму и размеры контролируемого соединения и имитирующими монолитность 0 и 100 %, позволяет измерять степень пропайности нахлесточных паяных соединений токоведущих шин.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, паяные соединения, тангенциальный преобразователь.

TANGENTIAL EDDY CURRENT PROBE FOR TESTING OF SOLDERED JOINTS OF BUSBARS IN ELECTRICAL MACHINES

© 2023 г. А.Е. Gorbunov^{1,2,*}, А.Е. Ivkin^{1,2,**}, P.V. Solomenchuk^{2,***}

¹Saint-Petersburg Mining university, Russia 199106, Saint-Petersburg, Vasilievskiy island, 21 line, 2
²«Constanta» Ltd., Russia 198098 Saint-Petersburg, Ogorodniy lane, 21
E-mail: *ae.gorbunov.w@gmail.com; **ivkin@constanta.ru; ***pavel257@mail.ru

The article considers nondestructive testing of soldered lap joints of electric machines by means of a two-element eddy current tangential probe, excitation and measuring windings of which are placed on both sides of the test object. To ensure shielding from closely located current-conducting elements two active shielding windings are used. Using the tangential probe and reference blocks, replicating the shape and dimensions of the tested joint and imitating 0% and 100% soldering, allows measurement of soldering of busbar lap joints.

Keywords: eddy current testing, soldered joints, tangential probe.

DOI: 10.31857/S0130308223110052, **EDN:** XBBNOM

Для соединения частей токоведущих медных обмоток статоров электрических машин применяется пайка. Наличие дефектов паяных соединений статорной обмотки приводят к потерям мощности до десятков кВт, вызывая локальные перегревы и выводя соединения из строя, приводя к остановкам или авариям на энергетических объектах. Около четверти всех аварий и отказов турбогенераторов связано именно с дефектами пайки соединительных шин [1], что обуславливает необходимость проведения своевременного контроля качества паяных соединений при изготовлении и обслуживании машин.

Для определения степени монолитности паяных соединений статорной обмотки электрических машин широко применяется вихретоковый контроль с различными по конструкции преобразователями. Экранные вихретоковые преобразователи (ВТП) с нормально расположенными катушками могут обеспечивать большую глубину контроля, но чувствительны только к дефектам, расположенным перпендикулярно плоскости установки катушек ВТП [2]. ВТП с П-образными сердечниками [3], предназначенные для обнаружения дефектов пайки стержней, плоскость которых параллельна плоскости объекта контроля (ОК), однако ввод поля возбуждения такого преобразователя направлен нормально плоскостям с припоем. В конструкции некоторых типов электрических машин применяется нахлесточное паяное соединение (рис.1). Дефекты таких соединений параллельны плоскости рабочего торца ВТП, чувствительность описанных ВТП к таким дефектам недостаточна, из-за чего качество паяного соединения не может быть определено.

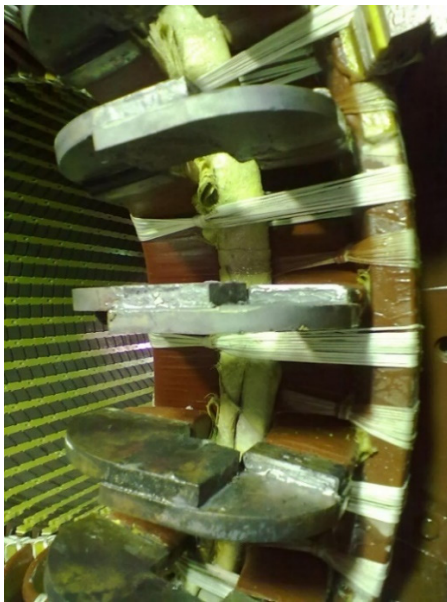


Рис. 1. Нахлесточное паяное соединение шин.

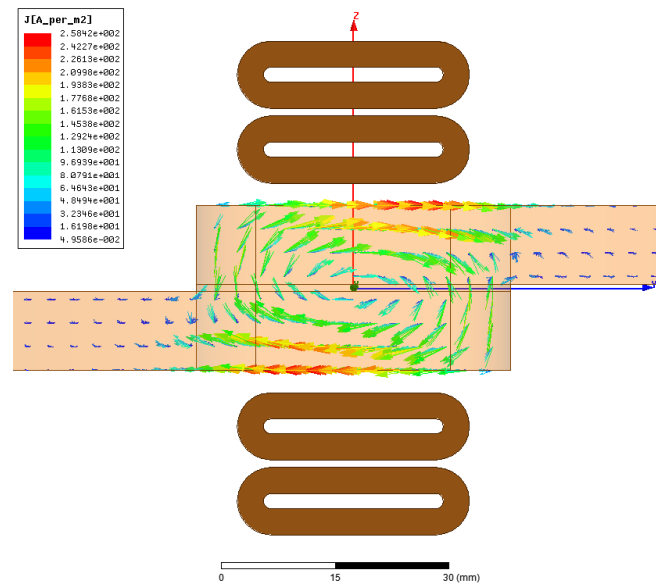


Рис. 2. Модель распространения вихревых токов тангенциальной катушки в ОК.

Определение степени пропаянности соединений нахлесточного типа предлагается производить с применением ВТП с тангенциально расположенными катушками. Использование тангенциально расположенной катушки возбуждения создает в ОК вихревые токи, содержащие нормальную составляющую [4]. Более того, при одновременном использовании двух тангенциальных катушек возбуждения, которые установлены с противоположных сторон ОК и включены последовательно синфазно, поле возбуждения взаимодействует с обеими сторонами ОК, пронизывая весь объем ОК (рис. 2). Вихревые токи тангенциального магнитного поля имеют ненулевую пространственную составляющую, перпендикулярную плоскости возникновения дефектов, обеспечивая чувствительность тангенциального ВТП к подобным дефектам.

В лобовой части статорной обмотки электрических машин контролируемые соединения расположены близко друг к другу, что является значимым мешающим параметром. Традиционный метод экранирования ВТП ферромагнитными экранами не подходит для тангенциального ВТП, поэтому экранирование достигается с применением экранирующих катушек, расположенных поверх катушек возбуждения и включенных с ними в противофазе. Экранирующие катушки искажают тыльное магнитное поле возбуждения так, чтобы расположенные близко токопроводящие элементы не искажали сигналы преобразователя и не влияли на результаты измерения на ОК.

Градуировочная характеристика ВТП, изученная в процессе моделирования, имеет практически линейный характер, что позволяет использовать для настройки набор из двух контрольных образцов (КО): монолитного медного образца, имитирующего пропай 100 %, и составного образца для имитации пропая 0 %, состоящего из двух медных деталей, соединенных между собой клеевым соединением через диэлектрическую прокладку. КО изготавливаются под каждый типоразмер контролируемого соединения с контролем удельной электропроводности материала КО, позволяя минимизировать влияние на результаты контроля формы, размеров и удельной электропроводности ОК.

Для возможности контроля объектов разной толщины перед калибровкой и контролем расстояние между катушками ВТП настраивается и жестко фиксируется в рамках одной сессии контроля, позволяя уменьшить влияние расстояния между катушками на результаты измерений. Положение катушек относительно ОК фиксируется при помощи упора, что уменьшает влияние взаимного расположения ВТП и ОК.

Вихрековый преобразователь, обмотки возбуждения и измерения которого расположены тангенциально относительно плоскости нахлесточного паяного соединения, в совокупности с использованием двух контрольных образцов с имитацией монолитности 0 и 100 % позволяет производить измерение степени пропаянности нахлесточных паяных соединений токоведущих шин статорных обмоток электрических машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самородов Ю.Н. Причины и последствия аварий и отказов турбогенераторов // Энергия единой сети. 2014. № 2 (13). С. 70—80.
 2. Потапов А. И., Сясько В. А., Коротеев М. Ю., Соломенчук П. В. Конечно-элементное моделирование преобразователя вихретокового контроля качества паяных соединений обмоток турбогенераторов // Дефектоскопия. 2014. № 5. С. 21—30.
 3. Kogan L., Stashkov A., Nichipuruk A. Improving the Reliability of Eddy-Current Quality Control of Soldering in Current-Carrying Copper Joints and Expanding the Nomenclature of Inspected Joints in Energy Equipment // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2018. V. 54. No. 11. P. 784—791.
 4. Сясько В.А., Чертов Д.Н. Выявление расслоений углепластиковых материалов с использованием тангенциальных вихретоковых преобразователей // В мире неразрушающего контроля. 2012. № 2. С. 19—21.
-