

УДК 621.317.63
ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ НА ВИХРЕВЫЕ
ТОКИ В РАЗРЕЗАННЫХ ВИТЫХ МАГНИТОПРОВОДАХ

И.И. БРАНОВИЦКИЙ, И.Т. СКУРТУ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Технологической операцией, весьма существенно влияющей на магнитные характеристики витых магнитопроводов, является их порезка, которая осуществляется обычно абразивными дисками. Известно, что поверхностный слой металла на торцах разрезанных магнитопроводов, благодаря механической обработке, отличается по своим физико-механическим, в том числе магнитным свойствам от остальной их части. Связано это с тем, что в процессе резания происходит упруго-пластическая деформация приповерхностных слоев, вызванная деформирующими усилиями и высокими температурами, возникающими при резании. Дополнительно к сказанному на торцах разрезанных магнитопроводов появляется, благодаря заусенцам, электрический контакт между витками ленты, образуя своего рода «слой замыкания», в котором при перемагничивании сердечника могут индуцироваться вихревые токи значительной величины. В работе проведен расчет потерь на вихревые токи в слое замыкания и анализ его влияния на удельные магнитные потери в разрезанных магнитопроводах в целом. При расчете потерь на вихревые токи слой замыкания рассматривался как сплошная токопроводящая среда объемом $(b \times d \times l)$ и удельным сопротивлением материала ρ . Здесь $(b \times d) = S$ – площадь поперечного сечения разрезного магнитопровода, l – толщина слоя замыкания, определяемая длиной заусенцев. Полученное в результате расчетов выражение (1) характеризует зависимость потерь на вихревые токи в токопроводящей пластине объемом $(b \times d \times l)$ от частоты перемагничивания f , амплитуды магнитной индукции B_m и удельного электросопротивления материала ρ :

$$P = \frac{k^2 f^2 B_m^2 l}{\rho} \cdot \frac{S^3}{d^2 + b^2} \quad (1)$$

Выражение (1) для потерь на вихревые токи исследовалось экспериментально. Для этого пластины из проводящего материала с известным удельным электросопротивлением помещались между частями разрезанного магнитопровода и на магнитоизмерительной установке УМ-ИМПИ измерялись в нем удельные магнитные потери при индукции материала 1,5 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц. При этом, стороны пластин, расположенные в плоскости поперечного сечения магнитопровода, имели размеры $(b \times d)$. Погрешность измерения амплитудного значения индукции составляла не более 1,5 %, магнитных потерь – не более 3,5 %.

Дополнительные потери на вихревые токи, обусловленные влиянием пластин, находились как разность между потерями в магнитопроводе, содержащем пластины в зазоре, и без них. Указанные исследования были проведены при использовании медных и алюминиевых пластин. При этом установлено, что расчетные и экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются между собой. Учитывая это, по формуле (1) был проведен расчет дополнительных потерь на вихревые токи, обусловленные влиянием слоя замыкания разрезанных магнитопроводов. В расчете слой замыкания рассматривался как сплошная токопроводящая среда размерами ($b \times d \times l$) с удельным электросопротивлением кремнистой стали. Расчеты показывают, что, например, при толщине слоя замыкания 20 мкм (что соответствует действительности при порезке в реальных условиях технологии) в магнитопроводе к трансформатору мощностью 1 кВА возникают дополнительные потери при $B_m = 1,5$ Тл около 0,2 Вт/кг.

В работе излагается методика контроля технологии порезки витых магнитопроводов через измерение дополнительных потерь на вихревые токи, обусловленные слоем замыкания. Методика основана на том, что величина вихревых токов и мощность обусловленных ими энергетических потерь зависят не только от площади поперечного сечения проводника, в котором эти токи индуцируются, но и от соотношения образующих его сторон. Действительно анализ выражения (1) показывает, что если не изменяя суммарной площади поперечного сечения слоя замыкания $S = (b \times d)$ разделить его на две изолированные друг от друга части $S = 2S_1 = 2(b \times d/2)$, то суммарные потери на вихревые токи в слое замыкания станут другими. Из выражения (1), в работе получено соотношение значений токовых вихревых потерь P_0/P_1 , соответственно, в сплошном слое замыкания и разделенном на две одинаковые части (2):

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{d^2 - 4b^2}{d^2 + b^2} \quad (2)$$

Показана возможность определения дополнительных потерь на вихревые токи, обусловленных влиянием слоя замыкания, через измерение разности значений этих потерь $\Delta P = P_0 - P_1$ в сплошном слое замыкания и разделенном на две равные части. Практически ΔP может быть измерено установкой УМ-ИМПИ как разность удельных магнитных потерь в разрезанном магнитопроводе со сплошным слоем замыкания и разделенном затем на равные части. Такое разделение слоя замыкания, учитывая его незначительную толщину (не более нескольких десятков микрон) можно легко осуществить, не нарушая целостности магнитопровода, например, химическим протравливанием или процарапыванием.