

УДК 620.179.14

ВИХРЕТОКОВАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ 12X18H10T*А. В. ЧЕРНЫШЕВ, В. И. ШАРАНДО, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА, В. Д. ПИУНОВ*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

UDC 620.179.14

EDDY CURRENT THICKNESS MEASUREMENT OF DIELECTRIC COATINGS ON DEFORMED STEEL 12Cr18Ni10Ti*A. V. CHERNYSHEV, V. I. SHARANDO, N. V. KREMENKOVA, V. D. PIUNOV*

Аннотация. Выполнены исследования по толщинометрии диэлектрических покрытий на пластически деформированной аустенитной стали 12X18H10T с помощью вихретокового метода. Приведены зависимости амплитуды вносимой ЭДС накладного преобразователя на частоте 2 кГц от толщины покрытия в диапазоне 0...2500 мкм при степенях деформации основания 0 %...50 %, которые могут выбираться в качестве градуировочных на основе измерений сигнала на непокрытом основании. Показано, что может быть построена единая градуировочная кривая для любых степеней деформации основания и предложена методика её использования.

Ключевые слова: диэлектрические покрытия, ферромагнитное основание, толщина покрытий, вихретоковые толщинометры, неразрушающий контроль.

Abstract. Thickness measurements of dielectric coatings on plastically deformed austenitic steel 12Cr18Ni10Ti were studied using the eddy current method. The dependences of the amplitude of the introduced EMF of the superimposed transducer at the frequency of 2 kHz on the coating thickness in the range of 0...2500 μm with degrees of deformation of the steel 0 %...50 %, which can be selected as calibration ones based on signal measurements on an uncoated basis, are given. It is shown that a single calibration curve can be constructed for any degree of deformation of the basis and the method for its use is proposed.

Keywords: dielectric coating, ferromagnetic base, coating thickness, eddy current, thickness meter, non-destructive testing.

Применение вихретоковых методов при изучении и контроле аустенитных нержавеющей сталей обусловлено высокой чувствительностью измеряемых сигналов к изменениям их электропроводности и магнитной проницаемости [1–3]. В то же время непостоянство этих физических характеристик в указанных сталях как материалах оснований может стать источником погрешностей при контроле толщин нанесенных на них немагнитных покрытий [4–6]. В работе выполнены исследования по толщинометрии диэлектрических покрытий на основаниях из пластически деформированной аустенитной стали 12X18H10T с помощью вихретокового трансформаторного метода.

Из стального листа толщиной 10 мм, находившегося в состоянии поставки, были вырезаны квадратные образцы $21 \times 21 \text{ мм}^2$. Затем путем многократной прокатки при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях были обеспечены различные величины степени их пластической

деформации. Степень пластической деформации ε образцов определялась как изменение (в процентах) их толщины после деформирования относительно начальной. При проведении исследований эти образцы использовались в качестве оснований, на которые накладывались покрытия в виде диэлектрических пленок и пластинок различной толщины.

Вихретоковый накладной преобразователь состоял из трех расположенных соосно катушек – поля возбуждения, измерительной и компенсационной. Две последние катушки располагались у торцов катушки поля возбуждения и были включены дифференциально между собой. Компенсация выходного напряжения до нулевого значения производилась при расположении преобразователя вдали от проводящих тел. В процессе работы по катушке поля возбуждения пропускался ток синусоидальной формы частотой 2,0 кГц. Измерялась амплитуда вносимой ЭДС преобразователя.

На рис. 1 приведена зависимость амплитуды вносимой ЭДС от степени пластической деформации образца.

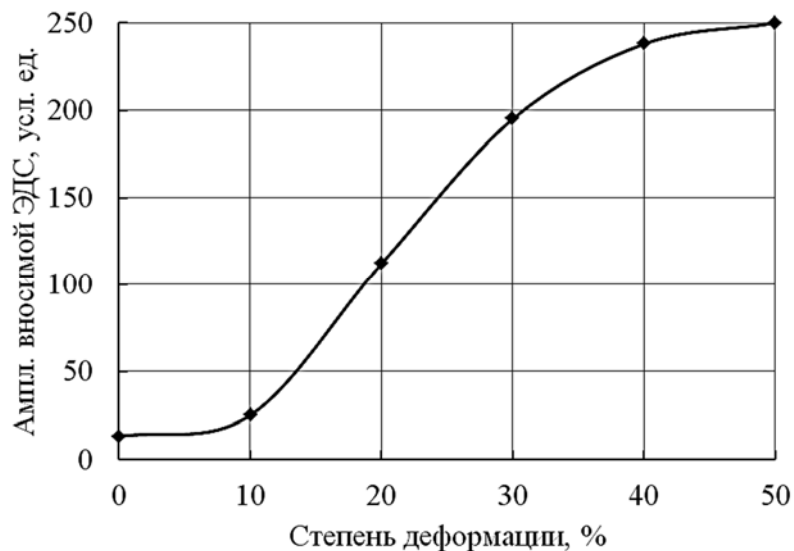


Рис. 1. Зависимость амплитуды вносимой ЭДС от степени пластической деформации основания без покрытия

Согласно рис. 1, в первой половине диапазона деформаций происходит ускоряющийся рост амплитуды вносимой ЭДС, затем скорость ее изменения замедляется. Это объясняется возрастанием начальной магнитной восприимчивости χ_{in} контролируемых образцов на первоначальном этапе увеличения ε за счёт роста процентного содержания в них ферромагнитной α' -фазы [1]. Уменьшение чувствительности к изменениям ε во второй части её диапазона объясняется уменьшением χ_{in} с возрастанием плотности дислокаций [2].

На рис. 2, а представлены зависимости амплитуды вносимой ЭДС от толщины покрытия при степенях пластической деформации основания ε от 0 % до 50 %. На рис. 2, б изображены кривые для $\varepsilon = 0$ % и $\varepsilon = 10$ % в укрупненном масштабе.

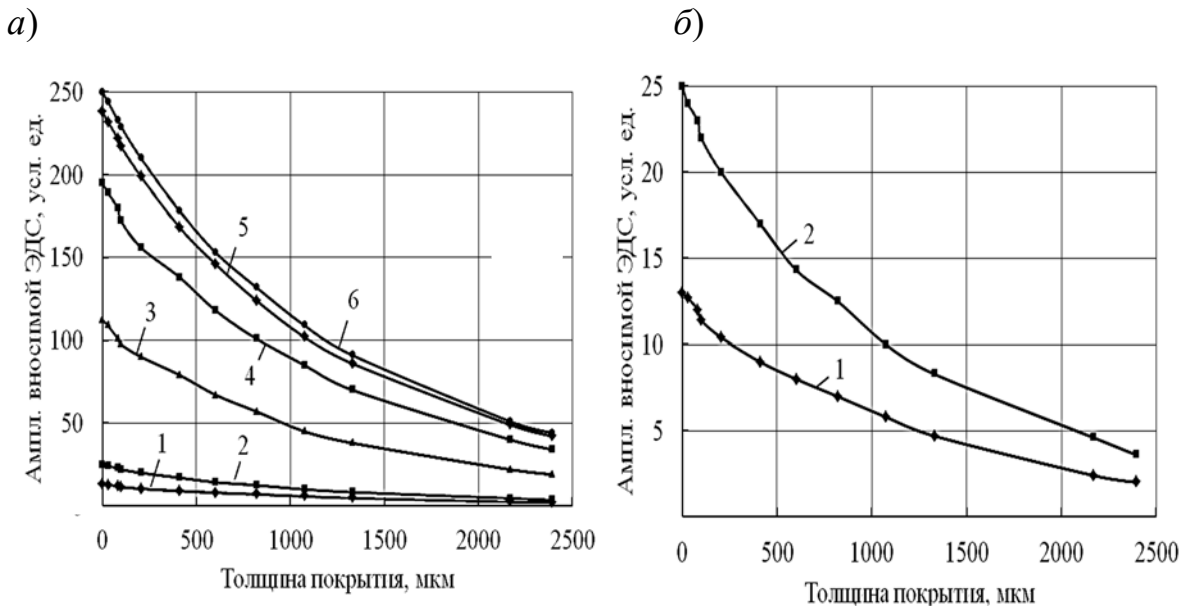


Рис. 2. Зависимости амплитуды вносимой ЭДС от толщины покрытия при разных степенях пластической деформации ε , %, основания: *a* – 1 – 0 %; 2 – 10 %; 3 – 20 %; 4 – 30 %; 5 – 40 %; 6 – 50 %; *б* – 1 – 0 %; 2 – 10 %

Согласно рис. 2, зависимости амплитуд вносимой ЭДС от толщины покрытия представляют собой ряд смещенных относительно друг друга непересекающихся линий, которые могут быть использованы в качестве градуировочных при толщинометрии. При этом чувствительность измерений оказывается достаточной в области как сильных, так и слабых из исследованных деформаций. Для выбора градуировочной кривой необходимо выполнить предварительное измерение сигнала толщиномера на материале изделия без покрытия. Таким образом устанавливается, какая точка кривой рис. 1 имеется в качестве нулевой. Соответствующая ей кривая берется из рис. 2 и должна использоваться при дальнейшей толщинометрии.

С учетом того, что на практике количество градуировочных кривых ограничено, установлена возможность получения единой универсальной зависимости, применяемой при любых степенях пластической деформации. Для этого необходимо привести все кривые рис. 2 к виду, при котором их значения на основании без покрытия имеют одинаковую величину. В данной работе это достигается посредством умножения всех значений каждой кривой на индивидуальный коэффициент, определяемый путем деления полученного предварительно максимального значения амплитуды вносимой ЭДС (то есть по оси ординат на рис. 1) на значение амплитуды, полученное для выбранной зависимости от толщины на основании без покрытия.

На рис. 3 изображены с умножением на найденные коэффициенты все кривые рис. 2. Величины деформаций на рис. 3 не приводятся ввиду практически полного совпадения кривых. В качестве единого значения, к которому приводились все измерения на основаниях без покрытий, выбрано число 250 (см. рис. 1), соответствующее сигналу, полученному на основании с максимальной исследованной пластической деформацией $\varepsilon = 50\%$.

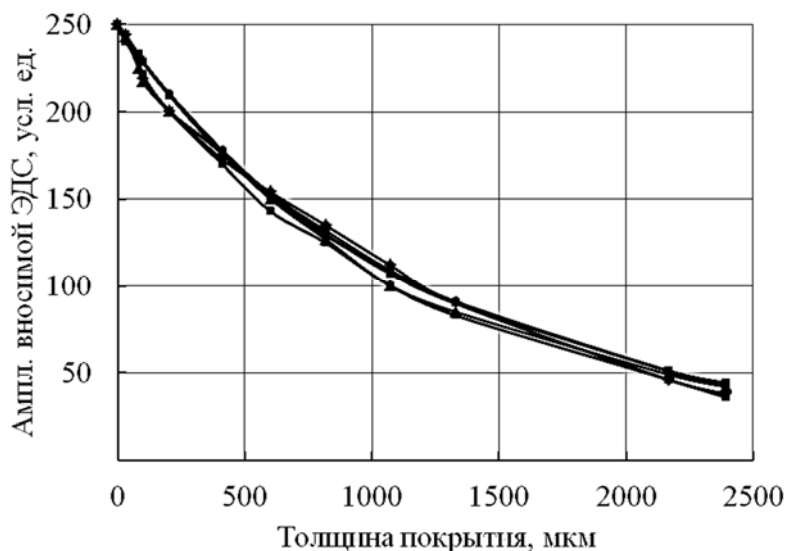


Рис. 3. Приведенные к единому значению на основании без покрытия зависимости амплитуды вносимой ЭДС от толщины покрытия при степенях пластической деформации основания $\varepsilon = 0\%$; 10% ; 20% ; 30% ; 40% ; 50%

Согласно рис. 3, в результате проведенной операции получена единая градуировочная кривая, позволяющая осуществлять толщинометрию диэлектрических покрытий на стали 12Х18Н10Т без привлечения банка данных, полученных по измерениям на комплекте покрытий при разных степенях деформации основания.

Таким образом, в результате измерений зависимости амплитуды вносимой ЭДС от толщины диэлектрических покрытий на основаниях из подвергнутой разным степеням пластической деформации стали 12Х18Н10Т показано, что по величине сигнала на основании без покрытия можно определить степень его пластической деформации. На базе этой информации осуществляется выбор градуировочной кривой для определения толщины диэлектрического покрытия на данном основании. Возможно создание единой градуировочной кривой, позволяющей определять толщину покрытия при любой степени деформации основания. Методика выхода на универсальную градуировочную кривую предполагает сначала измерения амплитуды вносимой ЭДС на основании без покрытия, имеющего максимальное значение ε . Затем осуществляется деление его на значение амплитуды вносимой ЭДС, измеренной на подлежащем контролю изделии без покрытия (то есть с неизвестной величиной ε). В результате определяется коэффициент, на который в дальнейшем производится умножение всех результатов измерений на данном основании с нанесенными на него покрытиями. Таким образом осуществляется приведение градуировки на любом основании к единой градуировке, характерной для основания с максимальной величиной ε , которая устанавливается

предварительно.

На практике градуировочная кривая может быть построена при наложении покрытий различной толщины на изделие с часто встречающимся уровнем структурных напряжений. Для вычисления необходимых далее коэффициентов используется сигнал прибора, полученный на этом изделии без покрытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние деформации прокаткой и одноосным растяжением на структуру, магнитные и механические свойства армко-железа, стали 12X18H10T и составного материала «сталь 12X18H10T – армко-железо – сталь 12X18H10T» / Э. С. Горкунов [и др.] // Дефектоскопия. – 2011. – № 6. – С. 16–30.
2. **Jiles, D.** Magnetism and Magnetic Materials / D. Jiles. – London; New York: CRC Press, 2016. – 576 p.
3. **Чернышев, А. В.** Использование вихретокового метода контроля при изучении процесса пластического деформирования стали 12X18H10T / А. В. Чернышев, В. И. Шарандо, Н. В. Кременькова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2021 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 304–305.
4. **Дорофеев, А. Л.** Индукционная толщинометрия / А. Л. Дорофеев, А. И. Никитин, А. Л. Рубин. – 2-е изд. – Москва: Металлургия, 1978. – 184 с.
5. **Рубин, А. Л.** Реакция ферромагнитного полупространства с немагнитным слоем на датчик накладного типа / А. Л. Рубин, В. Г. Пахомов // Дефектоскопия. – 1974. – № 3. – С. 36–41.
6. **Соболев, В. С.** Накладные и экранные датчики / В. С. Соболев, Ю. М. Шкарлет. – Новосибирск: Наука, 1967. – 144 с.

E-mail: lab5 <lab5@iaph.bas-net.by>.