

УДК 620.179.14

**МАГНИТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ НЕМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ 12X18H10T*****В. И. ШАРАНДО, А. В. ЧЕРНЫШЕВ, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА, В. Д. ПИУНОВ***

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

UDC 620.179.14

**MAGNETODYNAMIC THICKNESS METHOD OF NON-MAGNETIC COATINGS ON DEFORMED STEEL 12Cr18Ni10Ti*****V. I. SHARANDO, A. V. CHERNYSHEV, N. V. KREMENKOVA, V. D. PIUNOV***

**Аннотация.** Выполнены исследования по толщинометрии немагнитных покрытий на пластически деформированной аустенитной стали 12X18H10T с помощью магнитодинамического метода. Приведены зависимости сигнала толщиномера МТЦ-3-2 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. Показана возможность построения общей градуировочной кривой для разных степеней деформации основания.

**Ключевые слова:** немагнитные покрытия, ферромагнитное основание, толщина покрытий, магнитодинамические толщиномеры, неразрушающий контроль.

**Abstract.** Studies on the thickness measurement of non-magnetic coatings on plastically deformed austenitic steel 12Cr18Ni10Ti using the magnetodynamic method have been carried out. The dependences of the MTC-3-2 thickness meter signal on the coating thickness in the range of 0...2500  $\mu\text{m}$  are given for base deformation degrees 0 %...50 %, which can be selected as calibration ones based on signal measurements on uncoated base. The possibility of constructing the general calibration curve for different degrees of deformation of the base is shown.

**Keywords:** dielectric coating, ferromagnetic base, coating thickness, magnetodynamic thickness meter, non-destructive testing.

При пластической обработке аустенитной стали 12X18H10T в её структуре происходит формирование ферромагнитной  $\alpha$ -фазы [1]. В [2] показано, что контроль изменяющихся при этом магнитных свойств изделий может осуществляться с помощью магнитодинамического метода. При этом используются серийно выпускаемые толщиномеры покрытий МТЦ-3 [3, 4], основанные на регистрации изменения магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей стальной наконечник стержневого магнита, при его контакте и затем удалении от ферромагнетика. Величина возникающей в катушке ЭДС, измеряемой в режиме безразмерных единиц, является функцией намагниченности контролируемого материала в прилегающей к окончанию наконечника информативной области. Энергия магнита, выполненного из высококоэрцитивного материала NdFeB, составляет около 45 мДж, что позволяет формировать в поверхностном слое изделия достаточно сильные магнитные поля и обеспечивать высокую чувствительность измерений.

В работе выполнены исследования по толщинометрии немагнитных покрытий на основаниях из пластически деформированной аустенитной стали 12Х18Н10Т с помощью магнитодинамического метода.

Из стального листа толщиной 10 мм, находившегося в состоянии поставки, были вырезаны квадратные образцы  $21 \times 21$  мм<sup>2</sup>. Затем путем многократной прокатки при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях была обеспечена разная степень их пластической деформации. Степень пластической деформации  $\varepsilon$  образцов определялась как изменение (в процентах) их толщины после деформирования относительно начальной. При проведении исследований эти образцы использовались в качестве оснований, на которые накладывались немагнитные покрытия в виде полимерных пленок и пластинок различной толщины. Для выполнения работы использовался магнитодинамический толщиномер МТЦ-3-2 [4].

На рис. 1 приведена зависимость сигнала толщиномера МТЦ-3-2 от степени пластической деформации образца. Наблюдается рост показаний магнитодинамического прибора с увеличением степени деформации образцов, связанный с активным образованием в них при этом магнитной фазы.

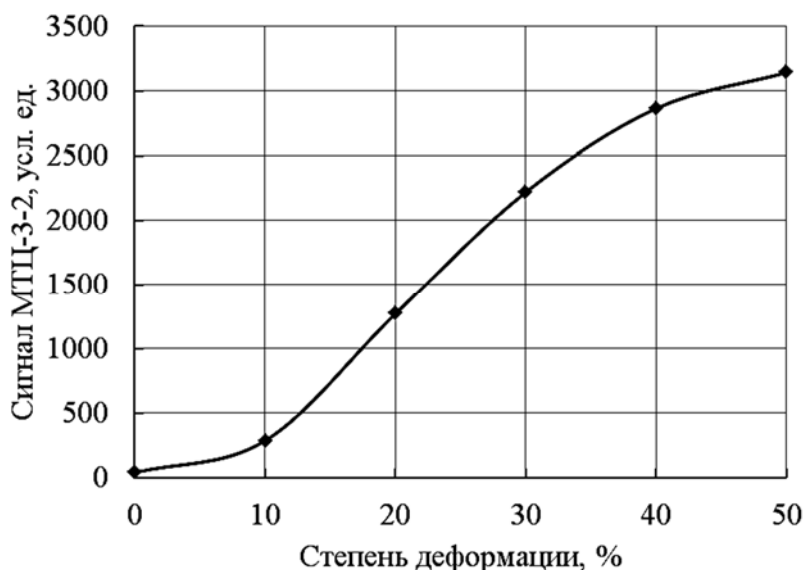


Рис. 1. Зависимость сигнала толщиномера МТЦ-3-2 от степени пластической деформации основания без покрытия

На рис. 2, а представлены зависимости сигнала толщиномера МТЦ-3-2 от толщины покрытия при степенях пластической деформации основания  $\varepsilon$  от 0 % до 50 %. На рис. 2, б изображены кривые для  $\varepsilon = 0$  % и  $\varepsilon = 10$  % в укрупненном масштабе.

Согласно рис. 2, зависимости сигналов толщиномера МТЦ-3-2 от толщины покрытия при разных степенях пластической деформации  $\varepsilon$  представляют собой смещенные относительно друг друга непересекающиеся кривые, которые могут быть использованы в качестве градуировочных при толщинометрии. Чувстви-

тельность измерений оказывается высокой как в случаях высокой концентрации магнитной фазы, так и в случаях ее небольшого наличия. Для выбора градуировочной кривой необходимо выполнить предварительное измерение сигнала толщиномера на материале изделия без покрытия, установив таким путем, какая точка кривой рис. 1 имеется в качестве нулевой. Соответствующая ей кривая из рис. 2 и должна использоваться при дальнейшей толщинометрии.

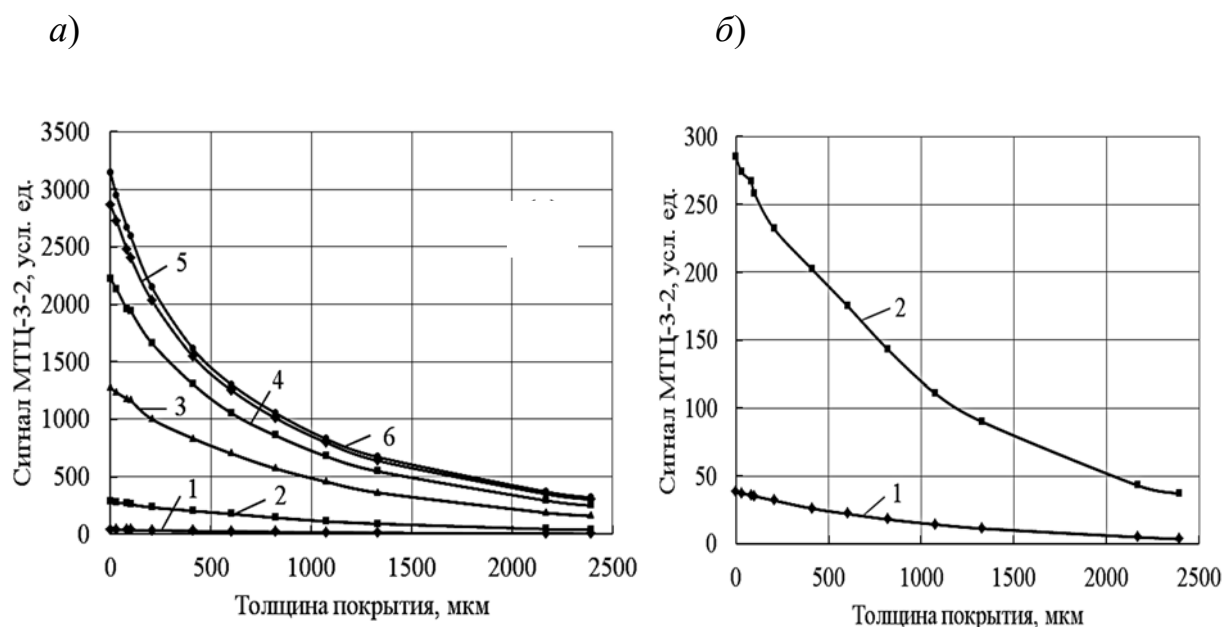


Рис. 2. Зависимости сигнала толщиномера МТЦ-3-2 от толщины покрытия при разных степенях пластической деформации  $\varepsilon$ , %, основания: а – 1 – 0 %; 2 – 10 %; 3 – 20 %; 4 – 30 %; 5 – 40 %; 6 – 50 %; б – 1 – 0 %; 2 – 10 %

Рассмотрена возможность получения общей зависимости, используемой при разных степенях пластической деформации. Для этого все кривые рис. 2 приводятся к виду, при котором их значения на основании без покрытия имеют одинаковую величину. Это может быть достигнуто умножением всех значений каждой кривой на индивидуальный коэффициент, определяемый путем деления выбранного единого значения по оси ординат (см. рис. 1) на полученную для данной зависимости и отмеченную по этой же оси величину сигнала толщиномера МТЦ-3-2.

На рис. 3 изображены с умножением на найденные коэффициенты все кривые рис. 2. Из соображений минимизации погрешностей в качестве единого значения, к которому приводились все измерения на основаниях без покрытий, выбран сигнала толщиномера, полученный на основании без покрытия с максимальной исследованной пластической деформацией  $\varepsilon = 50\%$ .

Согласно рис. 3, в результате проведенных действий не удалось получить полного слияния представленных на рис. 2 зависимостей, однако имеет место существенное сближение полученных кривых, одна из которых (например, при  $\varepsilon = 20\%$  или  $\varepsilon = 30\%$ ) может быть выбрана в качестве общей градуировки.

Это позволяет осуществлять с удовлетворительной точностью толщинометрию немагнитных покрытий на стали 12Х18Н10Т без привлечения конкретных зависимостей, полученных по измерениям на наборе пленок различной толщины, накладываемых на основания с разной степенью деформации. Для получения более низких погрешностей при осуществлении контроля в условиях конкретного производства можно, имея информацию о порядке реальных напряжений в структуре изделия, взять в качестве основы для градуировки одну из кривых, характерных для определенных групп степеней деформации. Так, при небольших механических воздействиях это может быть зависимость измеряемого сигнала от толщины покрытия (см. рис. 2) для  $\varepsilon = 0\%$ , при близких к максимальным воздействиях – для  $\varepsilon = 40\%$ .

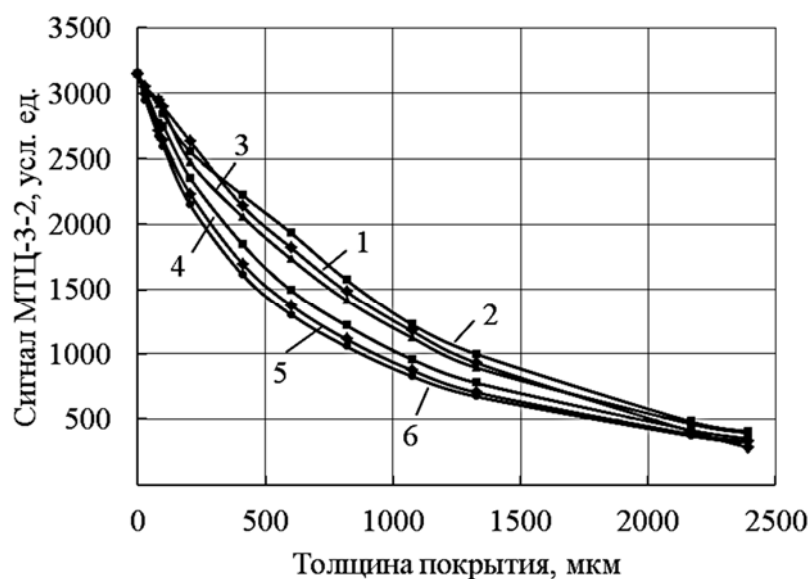


Рис. 3. Приведенные к единому значению на основании без покрытия зависимости сигналов толщинометра МТЦ-3-2 от толщины покрытия при разных степенях пластической деформации  $\varepsilon$ , %, основания: 1 – 0 %; 2 – 10 %; 3 – 20 %; 4 – 30 %; 5 – 40 %; 6 – 50 %

Таким образом, в результате измерений зависимости сигнала толщинометра МТЦ-3-2 от толщины немагнитных 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 немагнитного покрытия на данном основании. При определенных условиях возможно создание общей градуировочной кривой. Методика ее построения предполагает сначала измерение сигнала толщинометра МТЦ-3-2 на выбранном основании без покрытия с величиной  $\varepsilon$ , примерно соответствующей условиям конкретного промышленного производства. Затем осуществляется деление его на величину сигнала толщинометра, измеренную на подлежащем контролю изделии без покрытия

(то есть с неизвестной величиной  $\epsilon$ ). В результате определяется коэффициент, на который в дальнейшем производится умножение всех результатов измерений на данном основании с нанесенными на него покрытиями.

При практическом использовании градуировочная кривая может быть построена при наложении покрытий различной толщины на изделие с наиболее часто встречающимся уровнем структурных напряжений. Для вычисления необходимых далее коэффициентов используется сигнал прибора, полученный на этом изделии перед нанесением 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. **Шарандо, В. И.** Использование магнитодинамического и термоэлектрического методов контроля при изучении процесса пластического деформирования стали 12X18H10T / В. И. Шарандо, А. В. Чернышев, Н. В. Кременькова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2021 г. – Могилев, 2021. – С. 310–311.

3. **Лухвич, А. А.** Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.

4. Разработки лаборатории металлофизики ИПФ НАН Беларуси в области неразрушающего контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iaph.bas-net.by/lab1/products/>. – Дата доступа: 14.07.2022.

E-mail: [sharando@iaph.bas-net.by](mailto:sharando@iaph.bas-net.by).