

основе нечеткой логики в Simulink / М.Г. Данилова [и др.] // Инженерный Вестник Дона. – 2017. – № 2.

4. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: уч. для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. / И.П. Копылов. – М. : Высшая школа. 2001. – 327 с.

5. Калачев, Ю.Н. Преобразователи автономных источников электроэнергии / Ю.Н. Калачев, А.Г. Александров. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 80 с.

6. Калачев, Ю.Н. Векторное управление (заметки практика) / Ю.Н. Калачев. – М., 2013.

УДК 620.179.14

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ РАЗНОТОЛЩИННОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ 12X18N10T

Чернышев А.В., Шарандо В.И., Кременькова Н.В., Пиунов В.Д.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследовано влияние степени пластической деформации образцов из листа стали 12X18N10T толщиной 1 мм, наружных и внутренних слоев листа этой же стали толщиной 10 мм, на амплитуды вносимой ЭДС и ее третьей гармонической составляющей накладного вихретокового преобразователя. Изучены возможности и условия применения этих методов измерений для контроля процесса деформационного образования ферромагнитной фазы. Показано, что он протекает наиболее интенсивно во внутренних слоях толстого листа и наименее активно в тонком листе.

Ключевые слова: электромагнитный контроль, аустенитная сталь, пластическая деформация, толщина.

ELECTROMAGNETIC CONTROL OF DEFORMATION PROCESSES OF 12Cr18Ni10Ti SHEET STEEL WITH DIFFERENT THICKNESSES

Chernyshev A.V., Sharando V.I., Kremenkova N.V., Piunov V.D.

*Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The influence of the degree of plastic deformation of specimens from a sheet of steel 12Cr18Ni10Ti with a thickness of 1 mm, the outer and inner layers of a sheet of the same steel with a thickness of 10 mm, on the amplitudes of the introduced EMF and its third harmonic component of the superimposed eddy current transducer was studied. The possibilities and conditions of application of these methods of measurements for controlling the process of deformation formation of the ferromagnetic phase have been studied. It is shown that it proceeds most intensively in the inner layers of thick sheet and least actively in a thin sheet.

Key words: electromagnetic control, austenitic steel, plastic deformation, thickness.

*Адрес для переписки: Чернышев А.В., ул. Академическая, 16, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: lab1@iaph.bas-net.by*

Выпускаемые промышленностью нержавеющей стали непосредственно после изготовления имеют преимущественно парамагнитную γ -структуру. Их механическая обработка может приводить к возникновению ферромагнитной α -фазы – мартенсита деформации. В работе [1] рассмотрена возможность изучения процессов пластической деформации толстолистовой стали 12X18N10T по измерениям амплитуды третьей гармонической составляющей выходной ЭДС накладного преобразователя. В [2] исследовано влияние толщины пластически деформированных образцов из этой стали на амплитуды вносимой ЭДС накладного вихретокового преобразователя и ее третьей гармонической составляющей. Установлено, что изменение обеих амплитуд прекращается с достижением толщин образцов 2–3 мм.

Целью настоящей работы являлось получение зависимостей амплитуд вносимой ЭДС и ее третьей гармонической составляющей от степени деформации образцов, выполненных из

промышленно выпущенного тонкого листа стали 12X18N10T, а также слоев на поверхности и в глубине ее толстого листа.

Проводились измерения амплитуды E вносимой ЭДС накладного вихретокового преобразователя, состоящего из трех расположенных соосно катушек – поля возбуждения, измерительной и компенсационной. Две последние располагались у торцов катушки поля возбуждения и были включены дифференциально между собой. Наружный диаметр всех катушек 10 мм. По катушке поля возбуждения пропускался синусоидальный ток частотой 2,5 кГц.

Амплитуда третьей гармонической составляющей E_3 выходной ЭДС измерялась с помощью прибора ПКТ-2 [3].

Для получения образцов из наружного и среднего слоев стального листа толщиной 10 мм в состоянии поставки были вырезаны пластинки размером 20×20 мм², толщиной около 2 мм и прошлифованы до толщин 1,4–1,5 мм. Пластинки та-

кой же площади вырезаны из листа стали толщиной 1 мм. Затем все пластинки прокатаны при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях с обеспечением последовательного ряда степеней пластической деформации. Образцы представляли собой стопки пластинок заданного слоя с одинаковой ϵ , которая определена нами как изменение (в процентах) толщины каждой пластинки после прокатки относительно начальной. Высота стопок составляла 3–5 мм, что исключало, согласно [2] и проведенным на изготовленных для данной работы пластинках исследованиям, влияние на результаты измерений толщины образцов.

На рисунке 1 приведены зависимости амплитуд вносимой ЭДС (в условных единицах) от степени деформации указанных образцов.

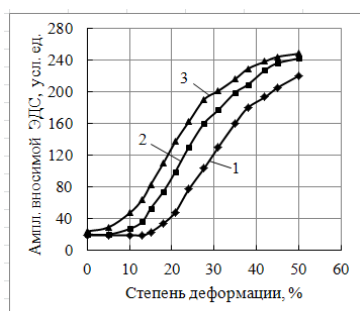


Рисунок 1 – Зависимости амплитуд вносимой ЭДС от степени деформации образцов из стального листа толщиной 1 мм (1), наружных (2) и внутренних (3) слоев листа толщиной 10 мм

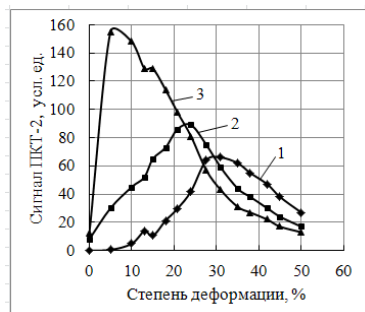


Рисунок 2 – Зависимости сигналов прибора ПКТ-2 от степени деформации образцов из стального листа толщиной 1 мм (1), наружных (2) и внутренних (3) слоев листа толщиной 10 мм

Из рисунка 1 следует, что по мере роста степени деформации вихретоковый сигнал увеличивается. Амплитуда E зависит от начальной магнитной восприимчивости χ_{in} исследуемого образца. Рост E с увеличением ϵ объясняется возрастанием χ_{in} за счет роста содержания в образцах ферромагнитной α -фазы [4]. Снижение чувствительности E к изменениям ϵ в конце ее диапазона объясняется уменьшением χ_{in} с возрастанием плотности дислокаций [5]. Указанные процессы более значимо выражены во внутренних слоях толстого стального листа в силу их «смягченной» исходной закалки,

наиболее медленно они протекают в интенсивно закаленном тонком листе.

На рисунке 2 представлена зависимость сигналов прибора ПКТ-2 от степени деформации изготовленных нами образцов.

Измеряемая прибором ПКТ-2 амплитуда третьей гармонической составляющей E_3 для всех трех кривых демонстрирует на начальном участке шкалы деформаций рост, связанный с увеличением процентного содержания ферромагнитного мартенсита деформации. Такой ход зависимостей вытекает из прямой пропорциональности E_3 коэффициенту Релея, который является характеристикой ферромагнитного материала. Переход к уменьшению сигнала ПКТ-2 при превышении определенного порога степени деформации с формированием на каждой кривой максимума большей или меньшей крутизны объясняется уменьшением коэффициента Релея из-за увеличения в образце плотности дислокаций [5]. Наиболее активно эти процессы протекают во внутренних слоях толстолистовой стали, с повышением интенсивности закалки они замедляются.

Таким образом, по измерениям амплитуды вносимой ЭДС накладного вихретокового преобразователя возможен контроль в широком диапазоне степеней деформации образцов из стали 12X18H10T, однако следует учитывать, что структуры, расположенные внутри изделий, могут иметь электромагнитные характеристики, отличные от наружных. Использование измерений амплитуды третьей гармонической составляющей выходной ЭДС для контроля степеней деформации возможно лишь в ограниченном их интервале ввиду неоднозначной зависимости E_3 от ϵ . При этом также должны учитываться условия исходной закалки стали.

Литература

1. Шарандо, В.И. Использование магнитодинамического и электромагнитного методов контроля при изучении процессов деформации стали 12X18H10T / В.И. Шарандо, А.В. Чернышев, Н.В. Кременькова // «Приборостроение – 2020»: материалы 13-й Международной научно-технической конференции, Минск 18–20 ноября 2020 г. – Минск, 2020. – С. 173–175.
2. Чернышев, А.В. Влияние толщины изделий при изучении процессов деформации стали 12X18H10T с помощью электромагнитного контроля / А.В. Чернышев, В.И. Шарандо, Н.В. Кременькова // «Приборостроение – 2021»: материалы 14-й Международной научно-технической конференции, Минск 17–19 ноября 2021 г. / БНТУ, редкол.: О.К. Гусев (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 365–366.
3. Гусак, Н.О. Прибор для контроля твердости ПКТ-2 / Н.О. Гусак, А.В. Чернышев, В.Л. Цукерман // Дефектоскопия. – 1991. – № 10. – С. 92.
4. Влияние деформации прокаткой и одноосным растяжением на структуру, магнитные и механические свойства армо-железа, стали 12X18H10T и составного материала «сталь 12X18H10T – армо-железо – сталь 12X18H10T» / Э.С. Горкунов [и др.] // Дефектоскопия. – 2011. – № 6. – С. 16–30.