

ВЛИЯНИЕ ДВУХОСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

© 2025 г. Кристина Денисовна Малыгина^{1*}, А.Н. Мушников^{1**},
А.М. Поволоцкая^{1,2***}, Л.С. Горулева^{1****}

¹ – ИМАШ УрО РАН, 620066 Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34

² – ИФМ УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 18

* - kristina.kryucheva@mail.ru; ** - mushnikov@imach.uran.ru;

*** - povolotskaya@imp.uran.ru; **** - sherlarisa@mail.ru

Разработка надежных методов контроля напряженно-деформированного состояния деталей и элементов конструкций из металлических материалов является важной задачей неразрушающего контроля. При этом активное применение находят магнитные виды контроля, основой для использования которых служат установленные взаимосвязи между магнитными свойствами материала и параметрами их напряженного состояния. В конструкциях ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования к эксплуатационным характеристикам, широко используются аустенитные стали. Как известно, фазовый состав данных сталей в результате воздействия различных нагрузок может меняться вследствие фазового перехода «аустенит – мартенсит деформации», что влечет за собой снижение пластичности и коррозионной стойкости стали и в дальнейшем может служить причиной ее разрушения. В литературе достаточно полно представлены экспериментальные результаты эволюции магнитных характеристик аустенитных сталей в условиях деформационных воздействий [1-3], однако работы, в которых внимание было бы сосредоточено на рассмотрении данного вопроса при двухосном растяжении, отсутствуют. В связи с этим представляет интерес изучение влияния упругопластического деформирования по схеме двухосного растяжения на магнитные и электромагнитные характеристики метастабильной аустенитной стали.

Объектом исследования служила метастабильная аустенитная сталь 12X18H10, используемая для изготовления сварных сосудов, аппаратов, испытывающих сложное нагруженное состояние в процессе эксплуатации. Эксперименты проводили на уникальной испытательной машине, созданной в ИМАШ УрО РАН и предназначенной для двухосного деформирования [4]. Для испытаний были изготовлены крестообразные образцы. Измерения магнитных характеристик, а также параметров магнитных шумов Баркгаузена проводили в центральной зоне крестообразного образца с использованием приставных магнитных устройств, при этом измерения осуществляли в двух направлениях: вдоль каждой из осей приложения нагрузки x и y . Параметры вихретокового сигнала (амплитуду и фазовый угол) определяли при различных частотах возбуждения преобразователя,

используя вихретоковый дефектоскоп “Вектор”. Измерения магнитных и электромагнитных характеристик проводили после каждого этапа нагружения и последующей разгрузки.

При помощи видеоэкстензометра рассчитывали компоненты тензора деформаций (ϵ_{ij}) в центральной зоне образца. В качестве степени деформации материала подразумевали эквивалентные деформации по Мизесу:

$$\epsilon_{\text{экв}} = \frac{1}{1+\nu} \sqrt{\epsilon_{xx}^2 + \epsilon_{yy}^2 + \epsilon_{zz}^2 - \epsilon_{xx}\epsilon_{yy} - \epsilon_{xx}\epsilon_{zz} - \epsilon_{yy}\epsilon_{zz} + \frac{3}{4}(\epsilon_{xy}^2 + \epsilon_{xz}^2 + \epsilon_{yz}^2)},$$

где коэффициент Пуассона ν принимали равным 0,3, а деформациями по z пренебрегали.

Анализ поведения магнитных характеристик метастабильной аустенитной стали 12X18H10 при двухосном симметричном деформировании растяжением показал, что зависимости магнитных характеристик от степени эквивалентной деформации имеют качественно одинаковый характер изменения при измерениях в направлениях обеих осей приложения нагрузки. Установлено, что такие магнитные характеристики, как коэрцитивная сила, максимальная магнитная проницаемость, остаточная индукция, максимальная намагниченность, а также амплитуда вихретокового сигнала образцов из стали 12X18H10 демонстрируют монотонное возрастание по достижении степени эквивалентной деформации примерно 7,5 %, что связано с образованием мартенсита деформации и увеличением количества этой фазы.

Работа выполнена в рамках государственных заданий Минобрнауки России для ИМАШ УрО РАН и ИФМ УрО РАН. При выполнении работы было использовано оборудование ЦКП «Пластометрия» при ИМАШ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корх М.К., Ригмант М.Б., Сажина Е.Ю., Кочнев А.В. Измерение содержания ферромагнитной фазы по магнитным свойствам в двухфазных хромоникелевых сталях // Дефектоскопия. 2019. Т. 55. № 11. С. 32–44.
2. Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Путилова Е.А., Поволоцкая А.М., Горулева Л.С., Веретенникова И.А., Каманцев И.С. Использование магнитного структурно-фазового анализа для диагностики состояния композиционного материала “сталь 08X18H10Т - сталь Ст3” и составляющих его компонент, подвергнутых пластической деформации // Дефектоскопия. 2012. Т. 48. № 6. С. 30–43.
3. Кочнев А.В., Ригмант М.Б., Корх М.К., Гордеев Н.В., Матосян А.М. Мониторинг изменения относительной магнитной проницаемости при циклических испытаниях на изгиб образцов из аустенитной стали 10X18H10Т // Дефектоскопия. 2024. Т. 60. № 9. С. 52–56.
4. Mushnikov A.N., Zadvorkin S.M., Perunov E.N., Vyskrebencev S.V., Izmajlov R.F., Vichuzhannin D.I., Soboleva N.N., Igumnov A.S. Experimental Facility for Studying the Physical Properties of Materials in a Plane Stress State // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. 2022. Iss. 4. P. 50–60.