



ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТАЛИ 08X18H9 И 12X18H10T В СВАРНЫХ СОСУДАХ И ТРУБАХ

Л. М. ЛОБАНОВ¹, В. А. НЕХОТЯЩИЙ¹, А. Л. ПАЛИЕНКО¹, Г. Я. БЕЗЛЮДЬКО²

¹ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ООО «Специальные Научные Разработки». 61184, а/я 12036. E-mail: mail@snr-ndt.com

Приведены результаты исследования процесса возникновения и наращивания магнитных свойств аустенитных сталей 08X18H9 и 12X18H10T в процессе стендового нагружения образцов внутренним гидравлическим давлением в статистическом режиме. Это открывает перспективу для осуществления практической диагностики текущего состояния конструкций и оборудования из аустенитных сталей, включая и сварные соединения в них. Библиогр 6, табл. 4, рис. 5.

Ключевые слова: аустенитная сталь, ферромагнитная фаза с ОЦК-решеткой, диагностика, сварные конструкции, коэрцитивная сила

Известно, что внешнее воздействие (деформационное, температурное) оказывает заметное влияние на магнитные свойства аустенитных метастабильных сталей, способствуя возникновению ферромагнитной фазы с ОЦК-решеткой [1–3]. Так, в аустенитной стали 45Г17ЮЗ в результате фазовых превращений, вызванных пластической деформацией со степенью обжатия более 50 % и последующей выдержкой при 450...600 °С, образуется ферромагнитный α -феррит, который может занять до 50 % объема металла. Из известных это самый мощный механизм образования ферромагнитной фазы с ОЦК-решеткой [2].

В сварных конструкциях и в продукции проката из аустенитных метастабильных сталей 08X18H9 и 12X18H10T, как правило, удается обнаружить коэрцитиметрическим методом даже в небольшом количестве ферромагнитную фазу с ОЦК-решеткой. Судя по роли, которая отводится ферромагнитной фазе в работах [1–5], научный и практический интерес представляет исследование возможности количественной оценки присутствия феррита в аустенитном металле и её использование для диагностики напряженно-деформирован-

ного состояния сварных конструкций из аустенитной стали в условиях эксплуатации.

С этой целью авторами работы предпринята попытка проанализировать ферритообразование в сталях 08X18H9 и 12X18H10T сварных конструкций при напряжениях, отвечающих их состоянию в упругой, пластической и предельной стадиях испытания статическими нагрузками.

Работа выполнялась в лаборатории гидравлических испытаний ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ.

Исследование деформационного воздействия на металл в условиях статического нагружения проводили в процессе испытаний внутренним гидравлическим давлением двух цилиндрических (трубных) (рис. 1, 2) и двух сферических (шаровидных) (рис. 3) образцов. В работе было использовано следующее оборудование:

- коэрцитиметр КРМ-Ц-К2М;
- ферритометр “Ferritghaltmesser1.053Institut dr.Forster”;
- гидроагрегат «Hofer»;
- датчик давления «Метран ДИ-100».

В качестве заготовок образцов (рис. 1–3) были взяты электросварные трубы и штампосвар-

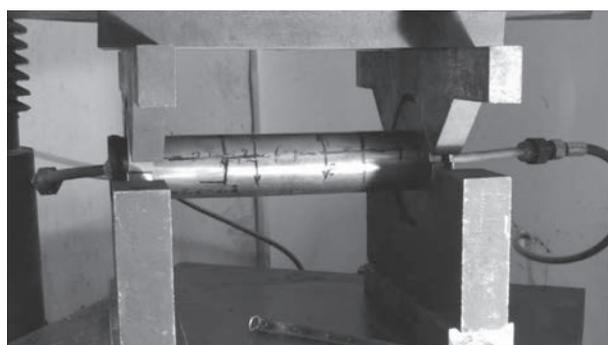


Рис. 1. Цилиндрический образец № 01 (76,1×3,0)



Рис. 2. Цилиндрический образец № 02 (42,4×1,5)

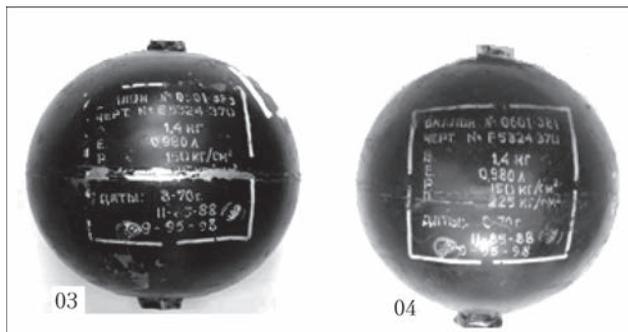


Рис. 3. Сферические образцы № 03 и № 04

ные шар-баллоны, металл которых подвергался в процессе их изготовления деформационному и термическому воздействию. При подготовке и в процессе испытаний измеряли геометрические параметры образцов, магнитные свойства (табл. 1), механические свойства (табл. 2) и уточняли химический состав (табл. 3) металла. Также измеряли магнитную характеристику – коэрцитивную силу. Ферритную фазу оценивали с помощью ферритометра, а также металлографически. Химический состав испытуемых образцов подтверждали спектральным анализом, механические свойства металла получены из результатов нагружения по известной геометрии нагружаемого сечения.

Испытания цилиндрических образцов внутренним гидравлическим давлением (рис. 1, 2) проводили при температуре 20 °С со ступенчатым приращением давления. При достижении определенной степени деформации нагружение образца прекращалось и давление в нем снижалось до нулевой от-

метки. На каждой остановке проводили измерения периметра образца и коэрцитивной силы в одном и том же участке основного металла.

В металле сферических образцов перед испытаниями не было выявлено признаков ферромагнетизма по измерениям величины коэрцитивной силы H_c . Нагружение образцов внутренним давлением до предельного состояния происходило без остановок для измерений.

Деформацию цилиндрических и сферических образцов определяли по формуле:

$$\varepsilon = 100 (l - l_0) / l_0,$$

где l_0 – исходные значения периметра цилиндрического образца или базы на поверхности сферического образца; l – значения периметра и базы образцов после сброса нагрузки.

Оценку текущих изменений магнитных свойств, происшедших в металле цилиндрических образцов в результате деформационного воздействия, оценивали с помощью коэрцитиметра КРМ-Ц-К2М и в предельном состоянии ферритометром «Ferritghaltmesser». Как следует из графиков на рис. 4 и 5 при испытании избыточным давлением в условиях статической нагрузки рост пластической деформации увеличивает ферромагнетизм аустенитной стали.

В результате деформаций образца 01 на 16,45 % коэрцитивная сила возросла с 2,8 до 29,5 А/см, а объем фаз с ОЦК-решеткой с 0,6 до 9,0 %. В образце 02, нагруженном до предельного состояния ($\varepsilon = 38 \%$), коэрцитивная сила увеличи-

Таблица 1. Характеристика образцов перед испытанием (в состоянии поставки заготовок)

Наименование образцов	Характеристика образцов (диаметр x толщина стенки x длина), мм	Периметр в среднем сечении образца, мм	Коэрцитивная сила основного металла H_c , А/см	Объем α -фазы с ОЦК-решеткой в основном металле, %
Цилиндрический № 01	Сварная труба 76,1×3,0×500	240±0,5	2,8...4,7	0,6...0,8
Цилиндрический № 02	Сварная труба 42,4×1,4×500	134±0,5	1,5	0,3
Сферические № 03,04	Штампованные баллоны 130×3,0	130±0,5	0	0

Таблица 2. Механические свойства металла образцов

Наименование образцов	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение γ , %	Марка стали
Цилиндрический № 01	501	701	–	70	08X18H9
Цилиндрический № 02	424,5	683,9	46,0	58,0	08X18H9
Сферический № 03 ^x	–	773,3	–	–	12X18H10T
Сферический № 04 ^x	–	724,8	–	–	12X18H10T

Примечание: ^x перед испытаниями механические свойства металла баллонов не определялись

Таблица 3. Химический состав исследуемого металла, мас. %

Наименование	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	Mo	S	P	Марка стали
Цилиндрический № 01	0,036	1,73	0,42	18,2	8,2	≤ 0,1	≤ 0,20	0,003	0,028	08X18H9
Цилиндрический № 02	0,036	1,73	0,43	18,7	8,0	≤ 0,1	≤ 0,27	0,005	0,029	08X18H9
Сферический № 03	0,098	1,33	0,66	18,3	10,6	0,66	≤ 0,1	0,003	0,040	12X18H10T
Сферический № 04	0,090	1,31	0,65	18,4	10,7	0,64	≤ 0,1	0,003	0,035	12X18H10T

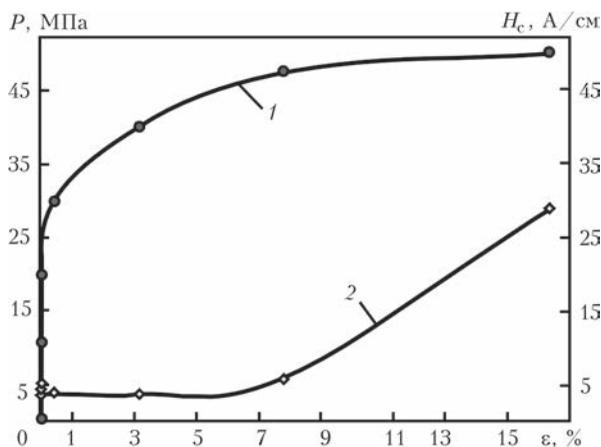


Рис. 4. Изменение коэрцитивной силы в зависимости от деформации образца № 01: 1 – давление; 2 – коэрцитивная сила

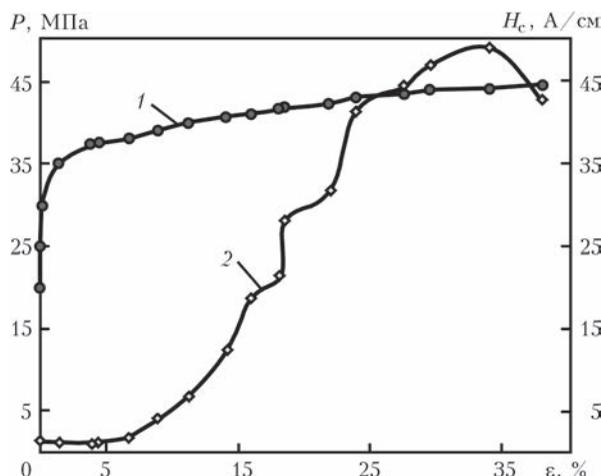


Рис. 5. Зависимость роста коэрцитивной силы от деформации образца № 02: 1 – деформация; 2 – коэрцитивная сила

Таблица 4. Показатели ферромагнетизма в металле сферических образцов

Образец	Марка стали	Относительная деформация ϵ , %	Коэрцитивная сила, А/см	Объем фаз с ОЦК-решеткой, %
Сферический 03	12Х18Н10Т	0...12,0	0...15,0	0...3,4
Сферический 04	12Х18Н10Т	0...2,5	0...2,0	0...0,4

лась с 1,5 до 47 А/см, а объем фаз с ОЦК-решеткой – с 0,3 до 39,0 %.

Как следует из графиков на рис. 4 и 5, а также из свойств углеродистых и низколегированных сталей, коэрцитивная сила может являться носителем информации о напряженно-деформированном состоянии, в котором находится металл образца при испытании. На стадиях упругого и упругопластического деформирования образца аустенитного металла отмечено по отношению к исходному значению незначительное уменьшение коэрцитивной силы. Как и в случае с ферромагнитным металлом, сказывается присутствие остаточных сжимающих напряжений [6]. После их компенсации внешним воздействием уже на стадии пластического деформирования (3...4 %) и до разрушения образцов происходил интенсивный рост коэрцитивной силы.

В металле сферических образцов № 03 и № 04 перед нагружением давлением не было обнаружено признаков ферромагнетизма ($H_c = 0$). После нагружения до разрушения при обмере было установлено, что в образцах из-за разнотолщинности стенок произошла неоднородная пластическая деформация (0...12 %), которая, в свою очередь, отразилась на образовании ферромагнитной фазы, измеренной ферритометром и коэрцитиметром. В табл. 4 приведены показатели ферромагнетизма для участков с разной степенью деформации. Как следует из приведенных значений, коэрцитиметрия чувствительнее ферритометрии при оценке магнетизма аустенитного металла, поскольку коэрцитивная сила определяется не только процентным содержанием ферритной фазы, но и степенью микрповрежденности и неупорядоченности кристаллической решетки этой составляющей.

Выводы

Согласно результатам проведенных исследований показана возможность осуществления с помощью коэрцитиметра оценки напряженно-деформированного состояния аустенитных сталей 08Х18Н9 и 12Х18Н10Т в сварных конструкциях, работающих под давлением.

Установлен механизм образования ферромагнитной фазы с ОЦК-решеткой в аустенитных сталях 08Х18Н9 и 12Х18Н10Т, подвергающихся деформационным и температурным воздействиям в процессе изготовления сварных конструкций. Появление и усиление магнетизма инициируется пластическим деформированием при статическом нагружении. Как показали эксперименты, образующаяся ферромагнитная фаза может занимать до 40 % объема металла.

Коэрцитиметрическим методом установлено, что процесс образования ферромагнитной фазы с ОЦК-решеткой в аустенитном металле происходит вплоть до разрушения сварных образцов.

Установлена прямая зависимость между показателем пластической деформации металла, объемом образовавшейся ферромагнитной фазы и значениями коэрцитивной силы, измеренными ферритометром «Ferritghaltmesser 1.053 Institut dr. Forster» и коэрцитиметром КРМ-Ц-К2М.

Как показал анализ результатов, в сравнении с ферритометром чувствительность коэрцитиметра КРМ-Ц-К2М выше при измерениях в начальной стадии образования ферромагнитной фазы с ОЦК-решеткой.

1. Влияние внешних воздействий на магнитные свойства и структуру аустенитной стали 45Г17ЮЗ. 1. Деформационное воздействие / А.И. Дерягин, В.А. Завалишин, Н.Д.



- Земцова и др. // Физика металлов и металловедение. – 1992. – № 11. – С. 124–130.
2. *Изменение* магнитных свойств аустенитной стали 45Г17Ю3 в процессе образования феррита в слабом магнитном поле / В.Г. Кулеев, В.В. Сагарадзе, М.Б. Ригмант и др. // Там же. – 1993. – **76**, № 1. – С. 82–86.
 3. *Изменение* магнитных свойств метастабильной аустенитной стали при упругопластическом деформировании / Э.С. Горкунов, С.М. Задворкин, С.Ю. Митропольская и др. // Металловедение и термич. обработка металлов. – 2009. – № 9. – С. 15–21.
 4. *Исламкулов К. М., Смагулов Д. У.* Способ повышения сопротивляемости высоколегированной (аустенитной)

стали образованию горячих трещин при сварке // Межд. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 (часть 1). – С. 52–55.

5. *Снежной Г. В.* Роль магнитного состояния аустенита в формировании коррозионной стойкости аустенитных хромоникелевых сталей // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 8 (95). – С. 141–144.
6. *Нехотящий В. А., Юхимец П. С., Безлюдько Г. Я.* Использование коэрцитивной силы для оценки технического состояния конструкций, работающих под давлением // Технич. диагностика и неразруш. контроль. – 2010. – № 1. – С. 49–53.

The paper gives the results of studying the generation and enhancement of magnetic properties of austenitic steels 08Kh10N9 and 12Kh18N10T during bench loading of samples by inner hydraulic pressure in the static mode. This opens up the prospects for performance of practical diagnostics of the current state of structures and equipment from austenitic steels, including their welded joints. 6 References, 4 Tab, 5 Figures.

Key words : austenitic steels, ferromagnetic phase with BCC-lattice, diagnostics, welded structures, coercive force

Поступила в редакцию
23.07.2015



РАЗРАБОТКИ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА НАНУ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

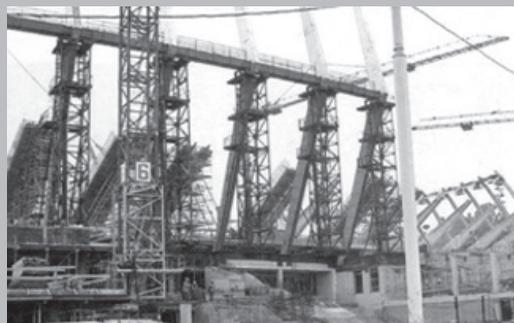
Обследование состояния качества изделий и сооружений радиационными, акустическими, электромагнитными, оптическими, тепловизионными и другими физическими методами

Металлические, полиэтиленовые, композитные, керамические изделия, здания и сооружения (мосты, трубопроводы, котлы, подвижной состав, подъемное и шахтное оборудование) должны периодически обследоваться различными физическими методами на наличие дефектов, старения, износа, трещин усталости, коррозионных поражений и т.п. Для этих целей используется соответствующее оборудование и оригинальные технологии на основе радиационных, акустических, магнитных и других физических полей. При этом измеряют размеры и расположение внутренних дефектов. Эта информация ложится в основу последующих прочностных расчетов, определения остаточного ресурса и рекомендаций по допустимости эксплуатации объекта.

Комплекс диагностических услуг включает:

- визуально-оптические, радиографические, ультразвуковые, магнитные, вихретоковые, капиллярные, тепловые и другие методы неразрушающего контроля;
- рекомендации по проведению ремонтных работ на основе дефектоскопии;
- консультирование, подготовку, аттестацию и сертификацию персонала в соответствии с международным стандартом ISO 9712;
- оказание помощи в поставке оборудования и организации подразделений неразрушающего контроля;
- оценку свойств и напряженно-деформированного состояния металлоконструкций.

На фото показаны объекты, которые не могут быть приняты в эксплуатацию без проведения контроля качества их сварных соединений физическими методами.



ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины
E-mail: office@paton.kiev.ua