Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Р. В. Агинеи, Ю. А. Теплинский, А. С. Кузьбожев, Н. П. Богданов, Применение магнитного метода для оценки напряженного состояния стальных конструкций, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 95–97

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu280>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.89.185.249

26 апреля 2023 г., 15:19:25

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Выполнено исследование магнитной анизотропии в сплавах Ст2, Ст4 при изотермическом деформировании растяжением при помощи коэрцитиметра КРМ-ЦК-2М. Установлена зависимость анизотропии коэрцитивной силы и величины интенсивности напряжений в действующем газопроводе. Обоснована возможность использования прибора КРМ-ЦК-2М в качестве индикатора при ранжировании трубопроводов и других конструкций по уровню напряжений.

В настоящей работе исследовано изменение магнитной анизотропии в сплавах Ст2, Ст4 при изотермическом деформировании растяжением. В качестве объектов исследований использовали плоские образцы с размером поперечного сечения 5×50 мм и длиной рабочей части 280 мм. Механические опыты проводили на разрывной установке МР-100. Магнитные измерения осуществляли при помощи коэрцитиметра КРМ-ЦК-2М, позволяющего определять коэрцитивную силу магнитного материала H_c вблизи плоской поверхности образца согласно методам, изложенным в [1,2]. Для заданного представительного участка поверхности образца определяли коэрцитивную силу для четырех направлений: два значения H_{c1} и H_{c3} для осевых направлений, а также два значения H_{c2} и H_{c4} для направлений, перпендикулярных осевому. После этого находили средние значения коэрцитивных сил в параллельном и перпендикулярном направлениях к оси образца согласно соотношениям

$$H_{\parallel} = (H_{c1} + H_{c2})/2; H_{\perp} = (H_{c3} + H_{c4})/2. \quad (1)$$

По значениям $H_{\parallel}$ и $H_{\perp}$ определяли степень магнитной анизотропии материала по формуле

$$\alpha = (H_{\perp} - H_{\parallel}) / (H_{\perp} + H_{\parallel}). \quad (2)$$

Опыты осуществляли следующим образом: плоский образец заземляли в установке МР-100 и деформировали его поэтапно, увеличивая уровень нагрузки на величину $ДР=5\text{кН}$ и доводя образец до стадий развитых пластических деформаций. После каждого этапа нагружения деформирование прекращали и осуществляли замеры соответствующих значений коэрцитивных сил H_{ci} и находили величины $H_{\parallel}$, $H_{\perp}$ и α по формулам (1) и (2).

Ниже на рис. 1 представлена типичная для исследуемых сплавов диаграмма деформирования. По таким диаграммам определяли величину предела текучести $y_{0.2}$, используя программный пакет Mathcad.

На рис. 2 представлена зависимость магнитной анизотропии от величины растягивающих напряжений для сплавов Ст2 и Ст4.

Кривые на рис. 1 и 2 свидетельствуют о том, что на начальных стадиях деформации (в упругой области) наблюдается заметный рост магнитной анизотропии α , который прекращается при значениях напряжений y , несколько превышающих величину предела текучести $y_{0.2}$. При последующем пластическом деформировании указанные величины изменяются по нисходящей линии. Анализ полученных данных показывает, что в условиях одноосного напряженного состояния объекта с ростом уровня напряжений увеличивается степень магнитной анизотропия α металла, которая прекращается при значениях напряжений, близких к $y_{0.2}$. Возможно, что введенный выше безразмерный коэффициент α может эффективно использоваться и при анализе сложного напряженного состояния.

Р и с. 1. Диаграмма деформирования сплава Ст 4

Р и с. 2. Зависимости магнитной анизотропии от величины растгивающих напряжений для сплавов Ст2 (1) и Ст4 (2)

пользования магнитного метода для оценки уровня напряжений.

В данном случае магнитную анизотропию оценивали как

$$\Delta H_c = H_{\perp} - H_{\parallel}$$

где $H_{\perp}$ и $H_{\parallel}$ значения коэрцитивных сил соответственно в осевом и поперечном направлениях трубы. Интенсивность σ_i определяли традиционным для механики твердого тела методом [3]:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_K^2 - \sigma_K \sigma_z + \sigma_z^2},$$

где σ_K и σ_z кольцевые и осевые напряжения. Значения σ_K находили, используя приближение тонкостенных оболочек [4]:

$$\sigma_K = P \left(\frac{D}{2\delta} \right),$$

где P – давление газа внутри трубы, D и δ соответственно внешний диаметр и толщина трубы.

Для произвольного поперечного сечения, задаваемого осевой координатой z и имеющего величины отклонений осевой линии трубы от проектного положения в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно x и y , находили значения σ_z методом конечных элементов, используя программный пакет “Cosmos M”.

Наличие и характер зависимости $\Delta H_c = f(\sigma_i)$ в условиях двухосного напряженного состояния конкретно исследовали для пяти участков действующего надземного газопровода Ухта-Войвож ($\varnothing 325 \times 10$ мм и $\varnothing 426 \times 10$ мм), проложенного на A – образных опорах, со сроком эксплуатации 50-52 года на отрезке общей протяженностью 95 км.

На рис. 3 представлены результаты расчетов и измерений на изгибно-напряженном участке трубопровода величин σ_i и ΔH_c , выполненных на основе методов, развитых в [1-3]. Графиче-

Р и с. 3. Зависимости расчетных значений механических напряжений σ_i (1) и магнитной анизотропии ΔH_c (2) от величины осевой координаты z , полученные на изгибно-напряженном участке газопровода Ухта-Войвож.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность использования магнитного метода, ниже приведены данные натурных исследований напряженного состояния надземного трубопровода, где исследована функциональная зависимость анизотропии коэрцитивной силы H_c , как функция от интенсивности внешних напряжений σ_i для труб из малоуглеродистых сталей, длительно эксплуатируемых надземных трубопроводов, с целью выявления возможности практического ис-

пользования результатов с использованием программного пакета Microsoft Excel 97 позволяет получить зависимость $\Delta H_c = f(\sigma_i)$, описываемую следующим выражением (с коэффициентом корреляции $R=0,89$):

$$\Delta H_c = (2 \cdot 10^{-7} \sigma_i^3 - 8 \cdot 10^{-5} \sigma_i^2 + 0,0143 \sigma_i - 0,0167) A/cm.$$

Изложенный выше материал позволяет заключить следующее.

Установлена зависимость анизотропии коэрцитивной силы от уровня напряженно-деформированного состояния дей-

ствующих трубопроводов в условиях плосконапряженного состояния по результатам измерений коэрцитиметра КРМ-ЦК-2М, реализующим магнитный метод контроля. Обоснована возможность использования прибора в качестве индикатора при ранжировании трубопроводов и других конструкций по уровню напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков В.Ф., Яценко Т.А., Бахарев М.С. Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений (часть 1) // Дефектоскопия. 2001. Ч1. №11. С. 51-57.
2. Мужижский В.Ф., Попов Б.Е., Безлюдько Г.Я. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций подъемных сооружений и сосудов, работающих под давлением // Контроль. Диагностика. 2000. № 9. С 48 – 50.
3. Малинин. Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1968. 400 с.
4. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. М.: Наука, 1972. 544 с.

УДК 539.4

И.Н. Андронов, С.К. Овчинников, С.В. Крючков

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА ТН-1 В УСЛОВИЯХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Исследовано влияние предварительной термоциклической тренировки под напряжениями, превышающими действующие, на деформационные характеристики сплава ТН-1 в условиях реализации циклической памяти формы (ЦПФ). Показано, что предварительная термоциклическая тренировка материала под напряжениями, превышающими действующие, приводит к существенному повышению значений деформационных характеристик ЦПФ.

Является установленным фактом, что многие сплавы с обратимыми мартенситными превращениями, например, TiNi, CuMn и др., способны демонстрировать заметное частично или полностью обратимое формоизменение [1-4], если их подвергнуть термоциклированию через интервалы мартенситных переходов в нагруженном состоянии. Причем при нагревании происходит восстановление деформации против действия внешней нагрузки, обозначаемое термином— эффект памяти формы (ЭПФ), а при охлаждении деформация растет в направлении внешней силы, т.е. имеет место эффект пластичности прямого превращения (ППП). В ряде работ показано, что материалы с ЭПФ могут быть использованы в качестве рабочего тела тепловых машин циклического действия [1,6]. Для этого сплавам необходимо сообщить свойства многократно обратимой (циклической) памяти формы (ЦПФ) [1-4]. В выше отмеченных работах показано, что при теплосменах под нагрузками через интервалы мартенситных переходов указанные металлы по истечении некоторого числа термоциклов имеют стабильные, независимые от числа циклов значения деформаций ЭПФ, ППП. Приведенные величины являются деформационными характеристиками ЦПФ. Для управления свойствами ЦПФ необходимо менять силовые режимы термоциклирования. В результате возникает вопрос о влиянии предварительной термоциклической тренировки на свойства ЦПФ в условиях теплосмен под нагрузками. К сожалению, в настоящий момент по данной тематике имеется ограниченный объем публикаций [5].

Систематическое изучение этого вопроса дает возможность понять природу ЦПФ и позволит дать практические рекомендации по использованию материалов данного класса в различных инженерно-технических приложениях.

В качестве объектов исследований использовали сплошные цилиндрические образцы длиной и диаметром рабочей части соответственно 33 и 4 мм, выполненные из сплава ТН – 1 в условиях поставки. Образцы испытывали в режиме кручения.

Опыты осуществляли следующим образом: материал нагружали в мартенситном состоянии механическим моментом M , который создавал во внешнем волокне некоторое напряжение τ и сдвиговую деформацию γ , после чего термоциклировали через интервалы прямых и обратных мартенситных переходов до тех пор, пока характеристики ЦПФ (т.е. деформации, связанные с ЭПФ и ППП) не принимали установившиеся значения. После этого аналогичную проце-