



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 09Г2С МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**В. И. ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ, С. Б. КАСАТКИН, В. А. ЯЩУК** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

*Рассмотрено определение степени повреждаемости металла при циклическом нагружении методом магнитной памяти. Приведены экспериментальные данные о влиянии переменного нагружения сварных соединений конструкционной стали 09Г2С на изменение значения градиента магнитного поля в тавровых образцах вблизи угловых швов. Установлено, что с увеличением количества циклов нагружения постепенно возрастают значения градиента магнитного поля. Резкое повышение величины градиента магнитного поля наблюдается при приближении момента зарождения усталостной трещины и ее развитии.*

*The determination of level of damageability of metal at cyclic loading using method of magnetic memory is considered. The experimental data on the influence of variable loading of welded joints of structural steel 09G2S on the change of gradient value of magnetic field in T-specimens in vicinity of fillet welds are given. It was established that with the increase of number of loading cycles the gradient value of magnetic field is gradually increased. Sharp increase of gradient value of magnetic field is observed in approaching the moment of fatigue crack initiation and its propagation.*

В настоящее время из неразрушающих методов контроля все большее значение приобретает магнитометрический метод (метод магнитной памяти) [1, 2]. Это новый метод, который позволяет по анализу распределения магнитного поля на поверхности объекта выявлять зоны концентрации напряжений и прогнозировать места появления дефектов. Метод применяется в энергетике, нефтехимической и газовой промышленности. Используя его для выявления напряженно-деформированных участков в различных объектах, где под действием циклического нагружения происходят структурные изменения в металле и в дальнейшем появляются усталостные трещины, можно прогнозировать зоны появления дефектов при дальнейшем нагружении.

Рассматриваемый диагностический метод в настоящее время интенсивно развивается во многих странах. На 17-й Всемирной конференции по

неразрушающему контролю, которая проходила с 25–28 октября 2008 г. в Шанхае, этому методу было посвящено более 20 докладов.

Контроль магнитометрическим методом осуществляется без зачистки металла и специального намагничивания и позволяет выполнять экспресс-контроль качества сварных соединений в ручном и автоматическом режиме на различных изделиях из углеродистых и феррито-аустенитных марок сталей.

Контроль выполняется с помощью специализированных малогабаритных приборов, имеющих автономное питание, сканирующие и регистрирующие устройства.

С целью широкого применения в Украине метода магнитной памяти металла и разработки конкретных методик для их использования в различных отраслях народного хозяйства Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины подготовлен проект национального стандарта «Неруйнівний контроль. Зварні з'єднання устаткування і конструкцій. Метод магнітної пам'яті металу. Загальні вимоги» [3].

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины проведена научно-исследовательская работа, посвященная влиянию циклического нагружения тавровых образцов из конструкционной стали 09Г2С ( $\sigma_{0,2} = 350$  МПа) с угловыми сварными соединениями на изменения распределения магнитного поля в зонах сварных соединений. Для исследований использовали образцы толщиной 10 мм и размером 120×450 мм с поперечным по отноше-



Рис. 1. Тавровый образец из стали 09Г2С для испытаний

© В. И. Загребельный, С. Б. Касаткин, В. А. Ящук, 2011

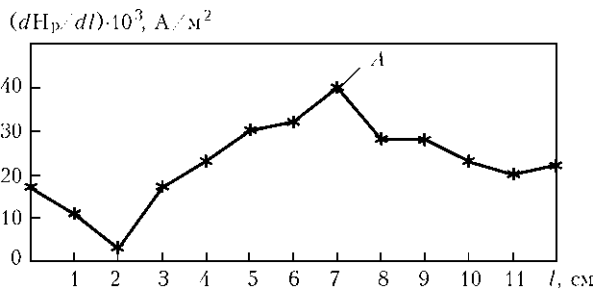


Рис. 2. График распределения градиента  $|dH_p/dl|$  вдоль сварного шва образца № 2 (левая сторона) при циклическом нагружении до 250000 циклов (A — трещина длиной 5 мм)

нию к действиям усилий ребром высотой 40 мм, которое приваривалось к пластине угловыми швами (рис. 1). Эти образцы широко применяются для усталостных испытаний [4].

Угловые швы выполняли с полным проваром (по ГОСТ 14771–76). Сварку тавровых образцов выполняли механизированным способом проволокой сплошного сечения марки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в углекислом газе и подвергали циклическому нагружению симметричным консольным изгибом с напряжением цикла 160 МПа при частоте 14 Гц. Испытания на циклическое нагружение выполняли на усталостной машине марки УМП-02. После каждых 50 тыс. циклов нагружения образец вынимали из испытательной машины и вблизи угловых швов измеряли распределение напряженности магнитного поля с фиксацией нормальной составляющей магнитного поля и строили графики  $H_p$  градиента  $K_{ин}$  интенсивности распределения магнитного поля рассеяния. Градиент интенсивности  $K_{ин} = dH_p/dl$  ( $l$  — перемещение феррозондового датчика) является важным информационным параметром повреждаемости металла, численные значения которого характеризуют степень его повреждаемости. На рис. 2 показано образование трещины длиной 5 мм в середине образца после 250000 циклов нагружения и значение градиента  $42 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup>.

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты. Наиболее интенсивное увеличение градиента магнитного поля наблюдалось в средней по ширине части образцов. При испытании двух идентичных тавровых образцов значения градиента магнитного поля в средней части образцов менялись от  $10 \dots 13 \cdot 10^3$  до  $30 \dots 35 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup> при увеличении количества циклов нагружения от 30 до 250...270 тыс. После 250 тыс. циклов нагружения в одном из образцов на линии сплавления с левой стороны от ребра образовывалась усталостная трещина длиной 5 мм (рис. 3). После 270 тыс. циклов нагружения в другом образце образовалась усталостная трещина длиной 1 мм с правой стороны от ребра. После 330 тыс. циклов нагружения в этом же об-

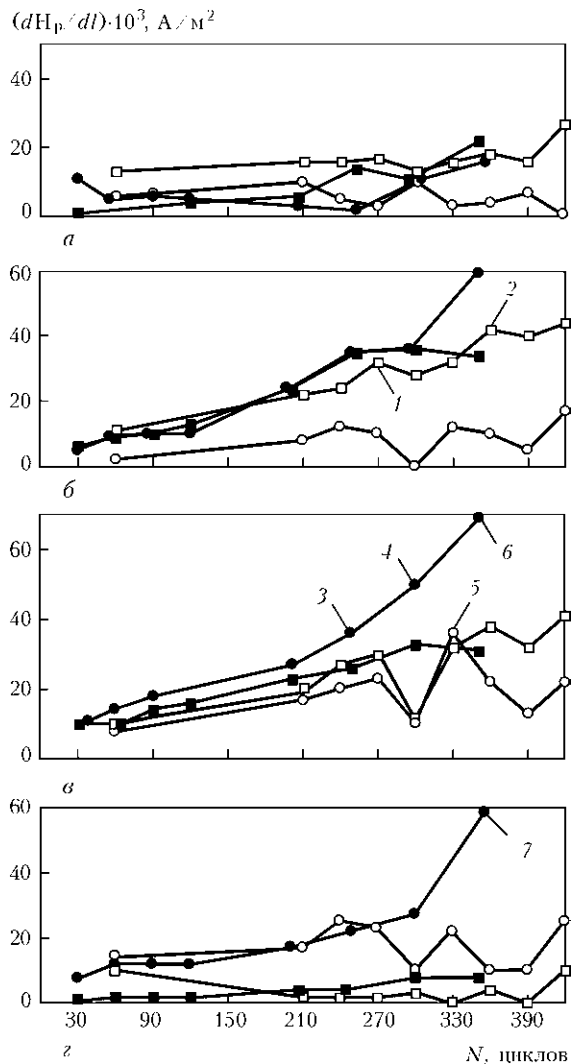


Рис. 3. Графики распределения градиента магнитного поля вдоль оси шва в зависимости от количества циклов нагружения тавровых образцов из стали 09Г2С на расстоянии 20 (а), 50 (б), 70 (в) и 100 (г) мм от начала шва: ○, □ — образец № 1; ●, ■ — № 2; ○, ● — левая сторона образцов; □, ■ — правая; трещина длиной 1 мм (1); 2 (2); 5 (3); 25 (4); 1,8 (5); на всю длину шва (6 и 7)

разце образовалась усталостная трещина длиной 1,8 мм с левой стороны от ребра. После образования в образцах усталостных трещин и роста этих трещин при дальнейшем циклическом нагружении наблюдалось более интенсивное увеличение значений градиента магнитного поля (от  $30 \dots 35 \cdot 10^3$  до  $60 \dots 70 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup>) при увеличении количества циклов нагружения от 250...270 до 350 тыс.

Таким образом, полученные данные показывают, что перед образованием в образцах усталостных трещин наблюдается интенсивное увеличение градиента магнитного поля при циклическом нагружении. Это увеличение градиента магнитного поля вызвано образованием в металле образцов под действием циклического нагружения устойчивых полос скольжения, которые предшествуют развитию усталостных трещин [5].



Из наиболее очевидных областей применения метода является выявление напряженно-деформированных участков на объекте, где в дальнейшем появляются усталостные трещины, т. е. можно прогнозировать места их образования, если объект достигает 75...90 % циклических нагружений до их появления.

1. *Загребельный В. И.* Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния сварных соединений и стальных металлоконструкций, определение их остаточ-

ного ресурса // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1999. — № 4. — С. 31— 36.

2. *Власов В. Т., Дубов А. А.* Физические основы метода магнитной памяти металла. — М.: ЗАО «ТИССО», 2004. — 424 с.  
 3. *ДСТУ 4857:2007.* Неруйнівний контроль. Зварні з'єднання устаткування й конструкцій. Метод магнітної пам'яті металу. Загальні вимоги / В. О. Троїцький, В. І. Загребельний, О. В. Мозговий, І. А. Заплотинський.  
 4. *Труфяков В. И.* Усталость сварных соединений. — Киев: Наук. думка, 1973. — 215 с.  
 5. *Горицкий В. М.* Диагностика металлов. — М.: Металлургия, 2004. — 402 с.

Поступила в редакцию  
11.10.2010

## КАЛЕНДАРЬ ВЫСТАВОК И КОНФЕРЕНЦИЙ по НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ в 2011 г.

Дата	Место проведения мероприятия	Мероприятие	Организатор (контакты)
15–17.03	С.-Петербург, Россия	Петербургская техническая ярмарка	Тел./факс: (812) 320 96 76, 320 80 92 e-mail: autopr@restec.ru
22–24.03	Москва, Россия	10-я Юбилейная международная выставка и конференция приборов и оборудования для неразрушающего контроля и технической диагностики в промышленности «NDT RUSSIA-2011»	ООО «ПримЭкспо» Тел.: +7(812)380 60 02/00 e-mail: ndt@primexpo.ru, mera@primexpo.ru
12–14.04	Екатеринбург, Россия	8-я Международная специализированная выставка «UralMetalExpo» и 2-я Международная специализированная выставка «UralWeldExpo»	ВЦ «КОСК «Россия» Тел.: (495) 921 44 07 info@rtl-expo.ru
19-20.04	Київ, Україна	Десята міжнародна н/т конференція «ПРИЛАДОБУДОВАННЯ: стан і перспективи»	Тел.: (044) 454 95 47 e-mail: psnk@kpi.ua
13-17.06	Созополь, Болгария	Дни неразрушающего контроля '11	Тел.: (+3592) 979 64 45 e-mail: nntdd@abv.bg
6-9.09	Суммы, Украина	XIII Международная н/т конференция «Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность компрессорного оборудования «ГЕРВИКОН + НАСОСЬ»	Тел./факс: +38(0542) 33 35 94 e-mail: hervicon@sumdu.edu.ua
Начало октября	Ялта, Крым, Украина	Девятнадцатая ежегодная международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»	Тел./факс: (044) 573 30 40 e-mail@conference.kiev.ua www.conference.kiev.ua
1-3.11	Киев, Украина	15-я Международная выставка нефтегазовой промышленности «НЕФТЬ и ГАЗ 2011»	www.oilgas-expo.com/ru
4-6.11	Москва, Россия	Международная выставка «Aerospace Testing Russia 2011»	http://www.aerospace-expo.ru
14-18.11	Івано-Франківськ, Україна	6-та Міжнародна науково-технічна конференція і виставка «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного та нафтогазового обладнання»	Тел.: (034)224 60 77
29.11–01.12	Екатеринбург, Россия	11-я Международная специализированная выставка-конференция «Контроль и диагностика-2011» и «Сварка-2011»	Уральские выставки rushentseva@uv66.ru kirillova@uv66.ru