

УДК 621.0

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В.В. Мишакин¹⁾, А.В. Гончар¹⁾, К.В. Курашкин²⁾, Н.В. Кассина¹⁾

Известно, что акустический и токовихревой методы широко используются для диагностирования состояния материалов элементов конструкций [1]. Перспективным направлением использования этих методов в практике машиностроения является не обнаружение макродефектов (макропор, инородных включений, трещин, в том числе и усталостных ит.д.), которые могут быть выявлены методами традиционной дефектоскопии, а оценка состояния материала, подвергаемого силовому нагружению, задолго до образования макротрещин по изменению структуры при накоплении микроповреждений.

Сложные преобразования микроструктуры при деформировании сплавов, многообразии факторов, действующих на ультразвуковые характеристики, не дают возможности построить единую теорию, связывающую структурные изменения, во всем их многообразии, с параметрами распространения упругих волн. Особенно это касается поликристаллических материалов, обладающих анизотропией физических свойств, к которым относятся текстурованные сплавы. Тем не менее, с точки зрения взаимодействия упругих волн со структурой металлов, можно выделить основные факторы, влияющие на акустические параметры. Первый фактор – это изменение микронеоднородности при пластическом деформировании материалов, которое связано с изменением дислокационной структуры, плотности вакансий, накоплением микропор, микротрещин, изменением условий контакта жестких упрочняющих частиц с матрицей исследуемого материала, изменением эффективных модулей упругости в локальных зонах из-за наличия микронапряжений и т. д.

Второй фактор связан с формированием кристаллографической текстуры деформации. Наличие сильной анизотропии кристаллов в поликристаллическом материале при формировании текстуры приводит к анизотропии физических свойств, в том числе и акустических [2].

Структурное состояние металлов и сплавов влияет не только на акустические характеристики, но еще на электрические и магнитные. Как правило, возрастают удельные потери при возбуждении вихревых токов от плотности дислокаций и других дефектов структуры, а также концентрации доменов.

Структурное состояние в зоне сварного соединения представляют довольно сложную картину. В зоне термического влияния (ТВ) структура, например для углеродистых сталей, может соответствовать разным термическим обработкам: нормализации, отжигу, отпуску. Картина усложняется, если сварное соединение подвергается пластическому деформированию.

Цель данной работы – изучение связи между величиной пластической деформации и акустическими характеристиками материала сварного соединения, подвергаемого разрушению при статическом нагружении, а также исследование процесса разрушения материала сварных соединений вихретоковым методом.

Для проведения исследований были использованы плоские образцы из стали 14ХГС, стали 09Г2С, стали 15 и стали 12ГС вырезанные поперек направления проката.

Толщина образцов из стали 14ХГС и стали 09Г2С составляла 10 мм, ширина – 20 мм, длина рабочей зоны – 250 мм. При одноосном нагружении образцы растягивались до разрыва. Скорость растяжения – 0,2 мм/мин, температура комнатная. Толщина образца из стали 15 составляла 6 мм, длина – 370 мм, ширина – 20 мм. Толщина образца из стали 12ГС составляла 7мм, длина – 450 мм, ширина – 23 мм. Образцы подвергались ступенчатому деформированию при одноосном нагружении. Скорость растяжения – 0,2 мм/мин, температура комнатная. Сварные швы были выполнены с помощью электродуговой сварки встык. Образцы по всей длине разделялись на зоны по 10 мм, Акустические измерения проводились с помощью эхо-импульсного метода. На каждую из зон устанавливались пьезокерамические преобразователи для возбуждения поперечных и продольных упругих волн, распространяющихся перпендикулярно поверхности материала. Центральная частота пьезоэлектрических преобразователей – около 4,6 МГц. Длительность сигнала составляла 800 нс. Точность измерения времени распространения составляла около 1,5 нс. Точность измерения величины акустической анизотропии – не менее 10^{-4} , затухания – около 1 Нп/м. Параметр акустической анизотропии определялся как:

$$A = \frac{2(\tau_{zy} - \tau_{zx})}{\tau_{zy} + \tau_{zx}}, \quad (1)$$

где τ_{zx} , τ_{zy} – времена распространения продольных и поперечных упругих волн, поляризованных вдоль и поперек направления проката соответственно.

Измерение вихретоковым (ВТ) методом осуществлялось ВТ дефектоскопом ВД-70 с использованием вихретокового преобразователя ПН-6-ТД-С-003. Относительная точность измерения сигнала с ВТ дефектоскопа была не менее 5%. На рис. 1, а и б, приведены показания дефектоскопа по всей длине для образцов из стали 12ГС и стали 15 соответственно. Как видно из графиков, значения показания дефектоскопа при увеличении пластической деформации растут, что можно связать с изменением структурного состояния металла, например, с ростом концентрации вакансий и дислокаций, влияющих на изменение магнитных и электрических свойств металла.

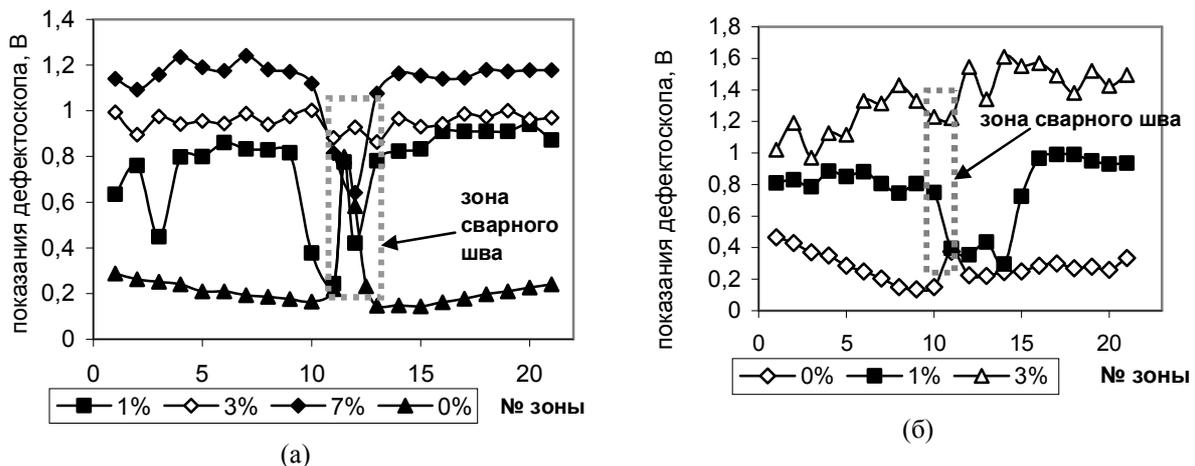


Рис. 1. Значения показания дефектоскопа по длине образцов из стали 12ГС (а) и стали 15 (б) при различных значениях пластической деформации

Из графиков видно, что пластическое деформирование зоны шва происходило после начала течения основного металла сварного соединения. Изменения среднего

значения показания дефектоскопа (исключая зону ТВ и сварного шва) в зависимости от величины пластической деформации даны на рис.2.

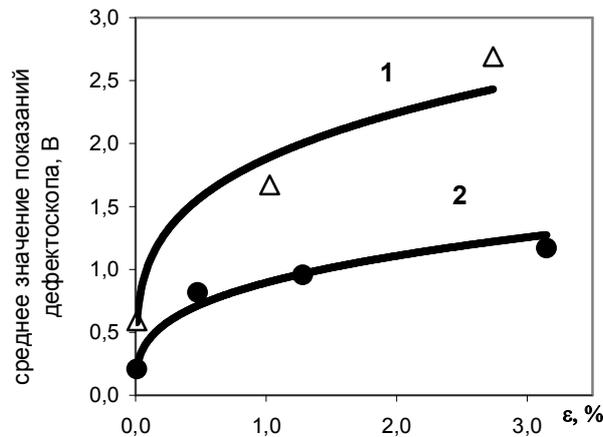


Рис. 2. График зависимости усредненного значения показания дефектоскопа от величины пластической деформации для стали 15 (1) и стали 12ГС (2)

Зависимость величины пластической деформации с показаниями ВТ дефектоскопа хорошо аппроксимируется степенной зависимостью. Для стали 12ГС связь среднего значения показания дефектоскопа \bar{x} с величиной пластической деформации ε определяется выражением $\varepsilon = 3,15\bar{x}^{3,7}$, а для стали 15 – выражением $\varepsilon = 0,088\bar{x}^{3,87}$.

На рис. 3 представлены графики распределения анизотропии по длине сварных образцов из стали 12ГС и стали 15 соответственно. Как видно из графиков, с увеличением пластической деформации анизотропия растет, что связано с формированием текстуры деформации. Изменяется также величина дисперсии параметра A вследствие развития неоднородности пластической деформации по длине образца и неоднородности структурного состояния материалов.

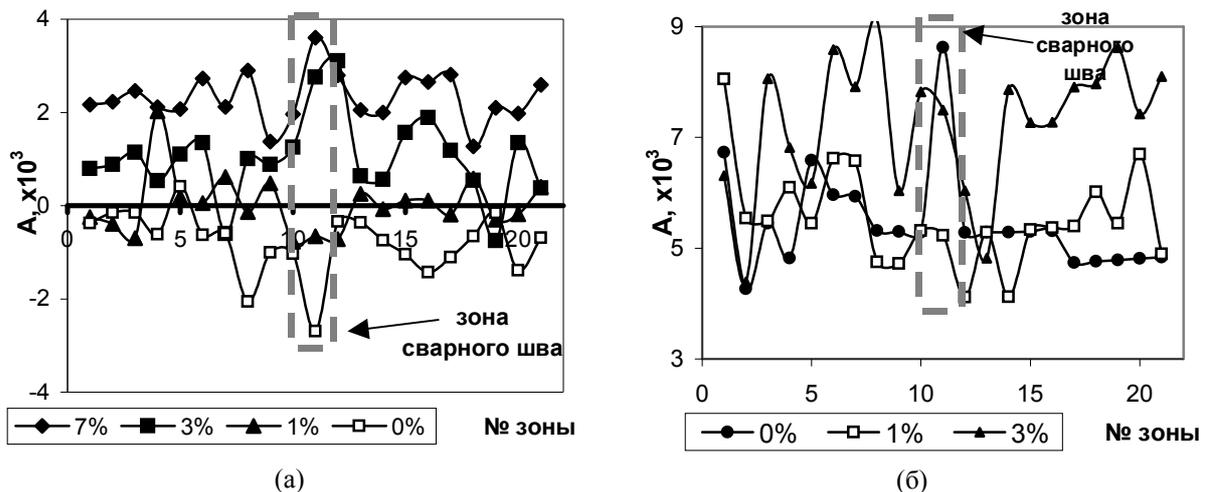


Рис. 3. Распределение параметра акустической анизотропии по длине образца: (а) – сталь 12ГС, (б) – сталь 15

Изменяется также величина дисперсии параметра A вследствие развития неоднородности пластической деформации по длине образца и неоднородности структурного состояния материалов. Графики изменения среднего значения параметра акустической анизотропии в зависимости от величины пластической деформации ε для стали 15 и стали 12ГС представлены на рис.4.

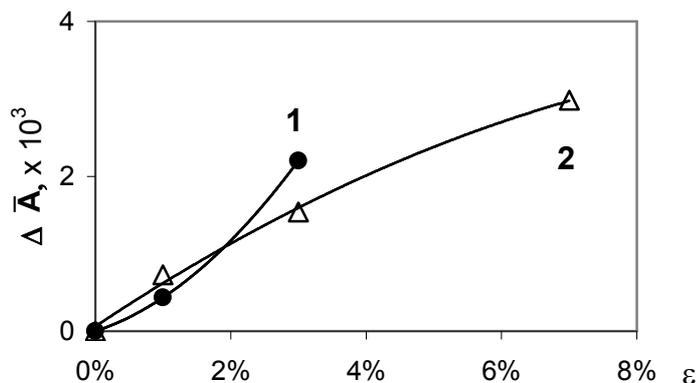


Рис. 4. Зависимость изменения среднего значения параметра акустической анизотропии от величины пластической деформации для образцов из сталей 15 (1) и 12ГС (2)

Зависимости параметра акустической анизотропии от величины пластической деформации для образцов из сталей 09Г2С и 14ХГС приведены на рис. 5.

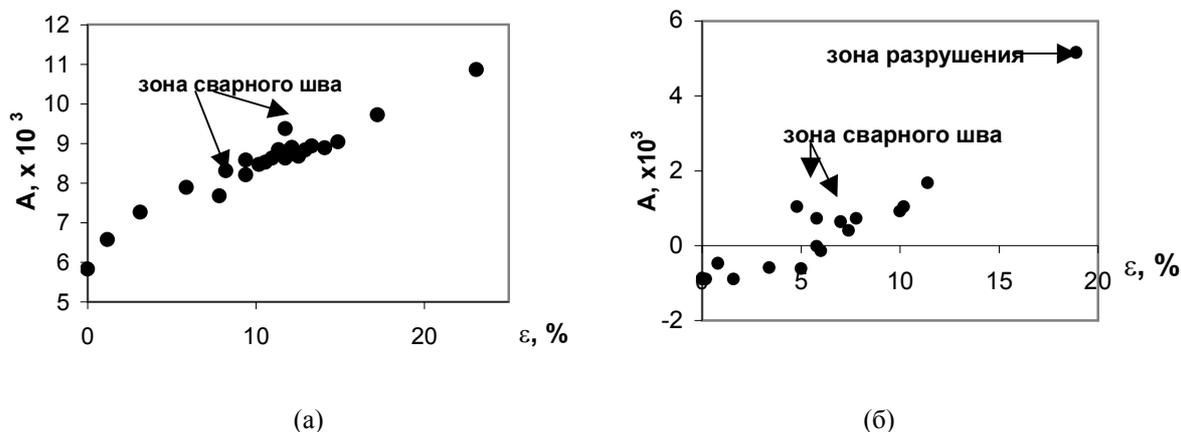


Рис. 5. Зависимость параметра акустической анизотропии от величины пластической деформации: (а) сталь 09Г2С; (б) сталь 14ХГС

Связь величины пластической деформации с изменением среднего значения параметра акустической анизотропии для исследуемых образцов хорошо аппроксимируется полиномом второй степени:

$$\varepsilon = -1,231 + 3,583\Delta A + 0,286\Delta A^2 \text{ – сталь 09Г2С,}$$

$$\varepsilon = 1,126 + 5,137\Delta A - 0,365\Delta A^2 \text{ – сталь 14ХГС,}$$

$$\varepsilon = 2,531\Delta A - 0,531\Delta A^2 \text{ – сталь 15,}$$

$$\varepsilon = -0,059 + 1,427\Delta A + 0,318\Delta A^2 \text{ – сталь 12ГС.}$$

Среднеквадратичное отклонение расчетного значения пластической деформации от ее истинного значения составляет около 0,7%. Связь относительного числового

значения показания дефектоскопа с параметром акустической анизотропии для стали 12ГС и стали 15 приведена на рис. 6.

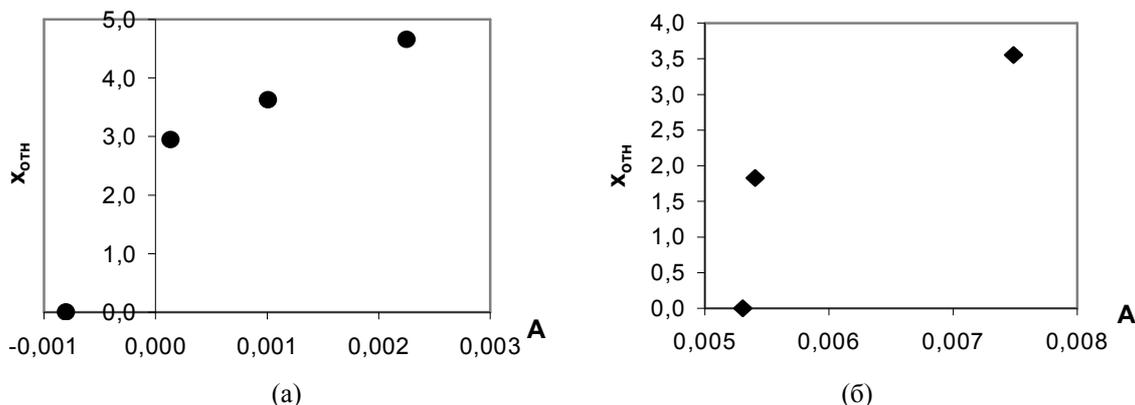


Рис. 6. Связь относительного числового значения показания дефектоскопа с параметром акустической анизотропии: (а) сталь 12ГС; (б) сталь 15

На рис. 7 представлена зависимость затухания продольных волн (α) от частоты (f) в основном материале, зоне сварного шва и зоне термического влияния. Графики, представленные на рис. 7, показывают увеличение затухания в области термического влияния из-за изменения диаметра зерна.

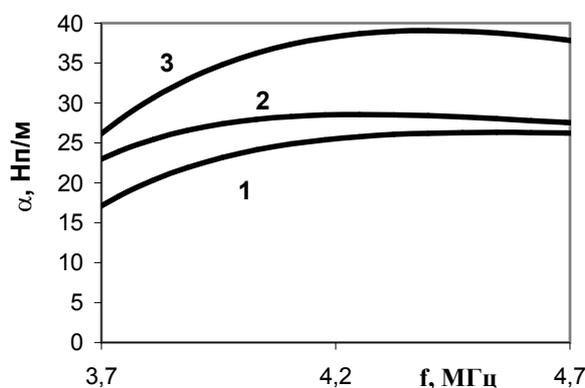


Рис. 7. Графики зависимости затухания от частоты для стали 09Г2С (1 – зона основного металла, 2 – зона термического влияния, 3 – зона сварного шва)

Проведенные исследования показали, что между величиной сигнала с вихретокового преобразователя (ВТП), величиной параметра акустической анизотропии и пластической деформацией существует монотонная зависимость. Она позволяет по данным сигнала с ВТП рассчитать величину пластической деформации, используя неразрушающие методы контроля.

Литература.

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. - 488 с.
2. Allen, D., and Sayers, C. The Measurement of Residual Stress in Textured Steel Using an Ultrasonic Velocity Combinations Technique // Ultrasonics, 1984. - V. 22. - P. 179-188.

- ¹⁾ Нижегородский филиал Института машиноведения РАН, Россия, Нижний Новгород
²⁾ Нижегородский государственный университет, Россия, Нижний Новгород

Поступила: 01.10.08.