

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ МЕТОДОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ

**Харьковская государственная академия городского хозяйства
ул. Революции, 12, 61002, г. Харьков, Украина
Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
просп. Октябрьский, 43А, 54018, г. Николаев, Украина*

Известно, что электрогидроимпульсная обработка (ЭГИО) сварных соединений, заключающаяся в многократном их нагружении импульсами давлений, генерируемыми в жидкости высоковольтными электрическими разрядами, способна положительно воздействовать на дислокационную структуру металла, в частности, изменять ее в направлении стабилизации [1]. При этом в зоне разрядов происходит образование внутренних границ в зернах (субграниц), имеющих разориентировки порядка 5–9 град. Вместе с тем изменения дислокационной структуры напряженного металла наблюдаются в относительно большом объеме металла [2]. Так, зафиксирована существенная стабилизация структуры на расстоянии 200–250 мм от места разрядов, причем по всей толщине исследуемых образцов, а некоторые признаки стабилизации обнаружены и на расстоянии 400 мм. Следует отметить, что приведенные результаты получены с помощью электронной микроскопии на просвет. Однако этот метод не позволяет получить достаточно определенных интегральных количественных данных, характеризующих изменение состояния дислокационной структуры в относительно пространственных участках металла сварных соединений.

В связи с этим перспективным для диагностики структурных изменений представляется универсальный физический метод исследования несовершенства кристаллического строения – метод внутреннего трения [3].

Цель настоящей работы заключалась в оценке изменений тонкой структуры металла в объеме сварных соединений при электрогидроимпульсном (ЭГИ) воздействии методом внутреннего трения. Оценка производилась на образцах сварных соединений из низколегированной стали 09Г2С размерами (600×200×40) мм. По длине образцов условно выделены три области исследований (рис. 1): участок I, включающий зону воздействия, и участки, удаленные от нее соответственно на 200 (участок II) и 400 мм (участок III). По толщине образцов для исследований выбраны участки металла, на глубине 3–7 и 33–37 мм от непосредственно обрабатываемой поверхности. Для исследований выбран один из самых новых – импульсный эхо-метод СВЧ–диапазона, основанный на посылке излучателем импульсов в исследуемый образец и их регистрации приемником. Метод позволяет производить оценку состояния дислокационной структуры по изменению скорости распространения V и коэффициента затухания упругих ультразвуковых волн α [4]. Высокая чувствительность указанных характеристик обусловлена существенной зависимостью $\alpha \sim L^4$ $V \sim L^2$, где L – длина дислокационного сегмента.

Электрогидродинамическая обработка (ЭГИО) сварных образцов производилась на двух режимах, приведенных в [2].

Темплеты для ультразвуковых исследований, вырезанные из вышеприведенных участков сварных соединений, имели размеры, отвечающие условию $l \approx V \cdot \tau$ [5, 6], где τ – длительность радиоимпульса, и представляли собой параллелепипед (15×15×24) мм. Для исключения искажения отражения ультразвуковых волн рабочие грани образцов изготавливали с высокой степенью чистоты и точности поверхностей с помощью тонкой шлифовки и оптической полировки. Непараллельность рабочих граней образцов согласно рекомендациям [4–6] была не выше 1 мкм/см.

Регистрация скоростей распространения и затухания ультразвуковых волн осуществлялась с помощью уникальной многоцелевой автоматизированной установки, созданной в Харьковской госу-

дарственной академии городского хозяйства (ХГАГХ), позволяющей вести исследования акустических параметров в различных кристаллах в широкой области частот, амплитуд, деформаций. В частности, исследования проводили в мегагерцевом диапазоне при частоте следования импульсов 7,5 МГц.

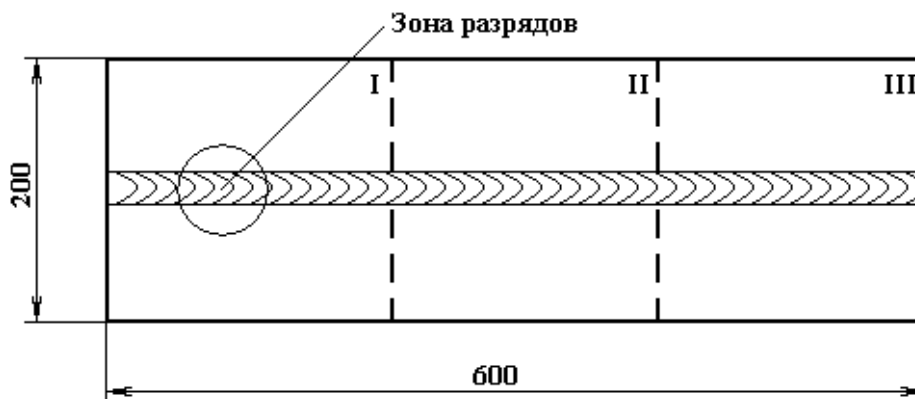


Рис. 1. Сварной образец из стали 09Г2С

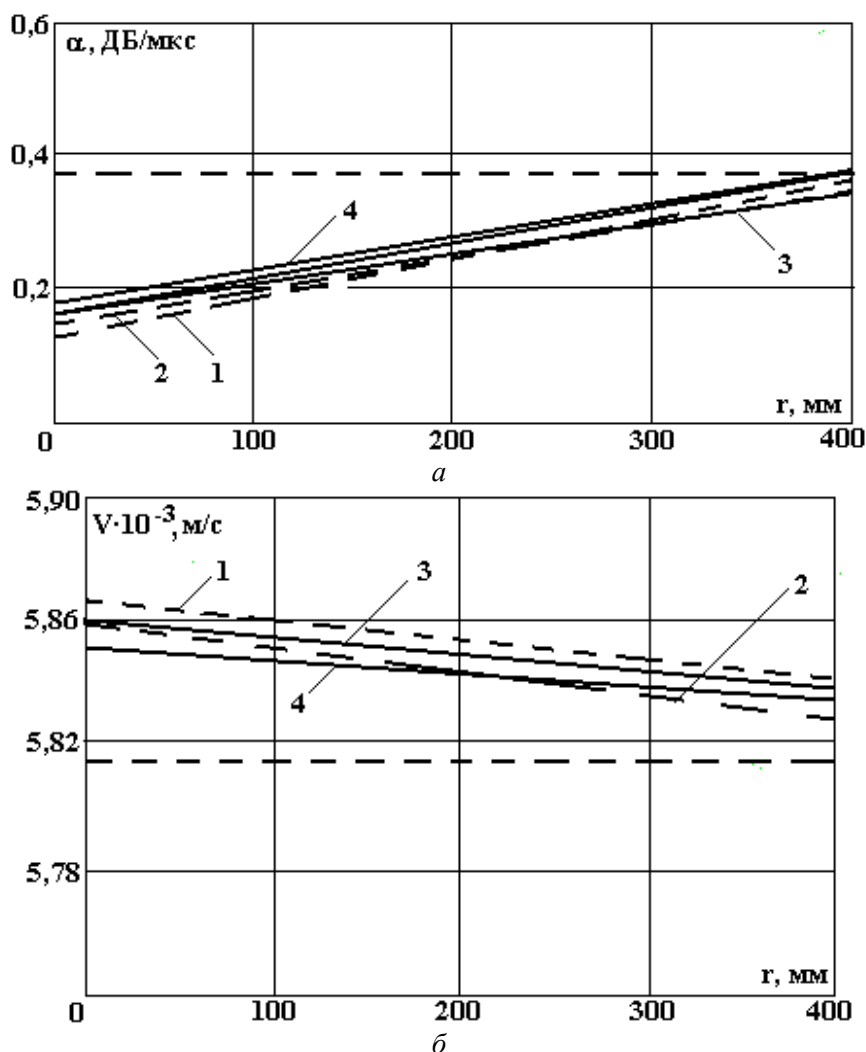


Рис. 2. Изменение акустических характеристик после ЭГИО в зависимости от расстояния до места разрядов. (а – коэффициент затухания ультразвука; б – скорость распространения ультразвука) на глубине 3–7 мм и 33–37 мм на режиме I (1, 2) и на режиме II (3, 4). Пунктиром обозначено исходное состояние

Изменения после ЭГИО оценивались путем сравнения с контрольными образцами в исходном состоянии, то есть после сварки. По результатам исследований построены графики (рис. 2), из кото-

рых видно, что степень затухания ультразвука существенно меняется по мере удаления от места разрядов. В частности, если для металла после сварки $\alpha = 0,37$ дБ/мкс (горизонтальная линия на рис. 2,а), то после ЭГИО на обоих режимах в месте разрядов на глубине 3–7 мм коэффициент затухания $\alpha = 0,13$ дБ/мкс для режима I (I) и $\alpha = 0,16$ дБ/мкс для режима II (II , рис. 2,а), то есть снижается на 65 и 56% соответственно. Сравнительно невысокие акустические потери в данном случае свойственны металлу со стабильной дислокационной структурой [7]. На расстоянии 200 мм от места разрядов на той же глубине акустические потери несколько возрастают и коэффициент затухания для обоих режимов принимает близкие значения: 0,24 дБ/мкс для I режима и 0,25 дБ/мкс для II режима (35 и 32% снижения соответственно). На расстоянии 400 мм значения α приближаются к их значению после сварки (рис. 2,а), то есть дислокационная структура слабо реагирует на обработку.

Аналогичная картина наблюдается в образцах, вырезанных с обратной стороны обрабатываемой пластины (на глубине 33–37 мм). Коэффициент затухания ультразвука под местом разрядов составляет 0,15 и 0,18 дБ/мкс для I и II режимов соответственно, то есть 60 и 51% его снижения по сравнению с исходным значением. На расстоянии 200 мм от места разрядов (участок II) значения α для обоих режимов тоже близки и составляют 0,27 дБ/мкс для I режима и 0,29 дБ/мкс для II режима (2 и 4 на рис. 2,а), что соответствует 27 и 21% его снижения по сравнению с исходным. На расстоянии 400 мм значения α , как и в I режиме, приближаются к его значению в исходном состоянии, что свидетельствует о слабом влиянии ЭГИО на тонкую структуру.

Изменение скорости распространения ультразвука вследствие изменения дислокационной структуры менее выражено, чем изменение коэффициента затухания (рис. 2,б), хотя тенденция сохраняется, то есть с увеличением расстояния от зоны разрядов скорость уменьшается. Отметим, что в зоне разрядов скорость распространения ультразвука у образцов, обработанных на режиме I, несколько выше, чем у обработанных на режиме II. Это согласуется и с результатами электронной микроскопии [2].

Измерив скорости распространения продольных V_I и поперечных V_{II} ультразвуковых волн в образцах, обработанных на I режиме, вырезанных на глубине 3–7 мм от поверхности сварного соединения на различных расстояниях от места ЭГИО, определили константы упругости: модуль Юнга (E), модуль сдвига (G) и коэффициент Пуассона (ν) по следующим зависимостям [7]:

$$\nu = \left[1 - 2(V_I / V_{II})^2 \right] / \left[2 - 2(V_I / V_{II})^2 \right]; \quad (1)$$

$$V_{II} = \left[\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \right]^{1/2}; \quad (2)$$

$$V_I = \left(\frac{G}{\rho} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Модули упругости металла сварных соединений стали 09Г2С после ЭГИО на различных расстояниях от места разрядов

Расстояние от места разрядов, мм	Коэффициент Пуассона ν	Модуль Юнга E , 10^{10} Па	Модуль сдвига G , 10^{10} Па
0	0,281	21,05	8,206
200	0,283	20,92	8,180
400	0,285	20,76	8,060

Анализ табл. 1 показывает, что упругие свойства металла по мере приближения к месту разряда заметно повышаются: модуль Юнга E и модуль сдвига G увеличиваются на 1,42 и 1,77% соответственно.

Используя данные ультразвуковых измерений, были определены параметры дислокационной структуры. Определение средней эффективной длины дислокационного сегмента L производилось согласно соотношению [8]

$$L = \frac{1}{2f} \left[\frac{10^6 \cdot C \cdot \alpha}{8,68 \cdot B \cdot \left(\frac{\Delta V}{V_0} \right)} \right]^{1/2}, \quad (4)$$

где f – частота ультразвука, равная 7,5 МГц; B – константа демпфирования, равная 10^5 Па·с; C – линейное натяжение, равное $C = 2G \cdot b^2 / \pi(1-\nu)$; b – вектор Бюргера дислокации, равный $2,028 \cdot 10^{-10}$ м.

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры дислокационной структуры стали 09Г2С после ЭГИО

Расстояние от места разрядов, мм	Длина дислокационного сегмента, L , 10^{-6} м	Линейное натяжение, изогнутой дислокации C , 10^{-9} Па·м ²
0	4,26	2,94
200	4,40	2,95
400	5,35	2,96

Из табл. 2 следует, что ЭГИО приводит к заметной сегментации дислокационных линий (уменьшение L), что свидетельствует о существенном измельчении дислокационной сетки [8], характерном для насыщенных дислокационных структур типа ячеистых.

Выводы

1. Результаты исследований изменений тонкой структуры металла сварных соединений методом внутреннего трения хорошо коррелируют с полученными ранее результатами исследований методом электронной микроскопии: тонкая структура напряженного металла при ЭГИ воздействию претерпевает изменения как по длине, так и по толщине сварных соединений, то есть в относительно большом, прилегающем к месту разрядов, объеме.

2. Стабилизация дислокационной структуры напряженного металла сварных соединений сопровождается уменьшением дислокационных сегментов, что свидетельствует об образовании внутренних границ в зернах, то есть ячеистой структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркашова Л.И., Опара В.С., Резникова Л.Я., Онацкая Н.А. Эволюция дислокационной структуры зоны термического влияния сварных соединений из стали 20 при электрогидроимпульсной обработке // Металлофизика и новейшие технологии. 2000. Т. 22. № 4. С. 67 – 70.
2. Маркашова Л.И., Опара В.С., Онацкая Н.А., Резникова Л.Я. Изменения дислокационной структуры в сварных соединениях в результате электрогидроимпульсного воздействия // Автоматическая сварка. 1995. № 11. С. 16–18.
3. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М., 1974.
4. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., 1957. С. 469 – 484.
5. Кристалл М.А., Головин С.А. Внутреннее трение и структура металлов. М., 1976.
6. Матаушек И. Ультразвуковая техника. М., 1962.
7. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М., 1979.
8. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М., 1972.
9. Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов. М., 1979.

Поступила 11.11.02

Summary

Results of investigations concerning the changes in thin structure of welding joint metal under electrohydropulse influence conducted by the method of internal friction are presented. Under this influence the thin structure of the stressed metal is shown to undergo changes in relatively big volume adjacent to the place of discharge. At that, the stabilization of the dislocation structure is accompanied by the decrease in dimensions of dislocation segments that testifies the creation of internal borders in grains.