

УДК 539.3

ЗАЛЕЧИВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ОБРАЗЦАХ ИЗ СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Сугоняко И.С.¹, аспирант, II курсУфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа

Усталостные трещины часто являются очагом разрушения стальных конструкций. Для предотвращения разрушения либо проводят замену дефектного участка на новый, либо проводят ремонт участка с трещинами. К способам заживления трещин относятся высверливание отверстий в вершине трещин, термическая и термомеханическая обработка заготовки [1], заделка трещин наноразмерными композиционными материалами [2], электронно-лучевая обработка, обработка лазерными импульсами, обработка импульсным током высокой плотности, магнитно-импульсная обработка и многое другое [3]. Одним из наиболее перспективных является способ ремонта изделий с помощью обработки импульсным током высокой плотности.

Несмотря на то, что явление электропластичности было открыто в 1969 году [4], воздействие электрического и электромагнитного поля на дефекты в металлах впервые было изучено в работах Финкеля [5], где было показано, что обработка током с определенными параметрами может приводить к замедлению процесса роста трещины за счет образования кратера в вершине трещины. В работах более поздних, в том числе и современных авторов [6] отмечается возможность заживления трещин с помощью импульсного тока высокой плотности. В основе заживления трещин лежит механизм концентрации электрического тока вблизи вершины трещины, что вызывает размягчение, тепловое расширение и расплавление металла в этой области. Далее за счет воздействия термических напряжений происходит схлопывание берегов трещины и их заполнение расплавленным металлом – так называемая «микросварка». Данным методом удалось осуществить частичное заживление усталостной трещины длиной около 6 мм в стали AISI 201 и повысить механические свойства образцов, однако полного заживления трещин достигнуть не удалось. Это связано с необходимостью подбора оптимального режима электроимпульсной обработки для конкретного материала – при недостаточном тепловом воздействии заживления материала не произойдет, а при перегреве может произойти выплеск металла на поверхность и образование различных дефектов. Также стоит отметить, что электроимпульсная обработка некоторых металлов при заживлении трещин может приводить к структурным и фазовым превращениям.

Целью данной работы было выращивание усталостных трещин в плоских образцах из стали 09Г2С, их заживление импульсным током и исследо-

вание их микроструктуры. Для выращивания трещин использовали образцы размерами 120 x 5 x 1 мм с U-образным надрезом размером 0,3 x 0,5 x 1 мм, которые подвергали усталостному нагружению на сервогидравлической машине. За ростом усталостной трещины наблюдали в оптический микроскоп. Длина выращенных трещин составляла более 1 мм. Далее проводили залечивание трещин на экспериментальной установке, представленной в работе [7]. Схема крепления образца к экспериментальной установке показана на рисунке 1.

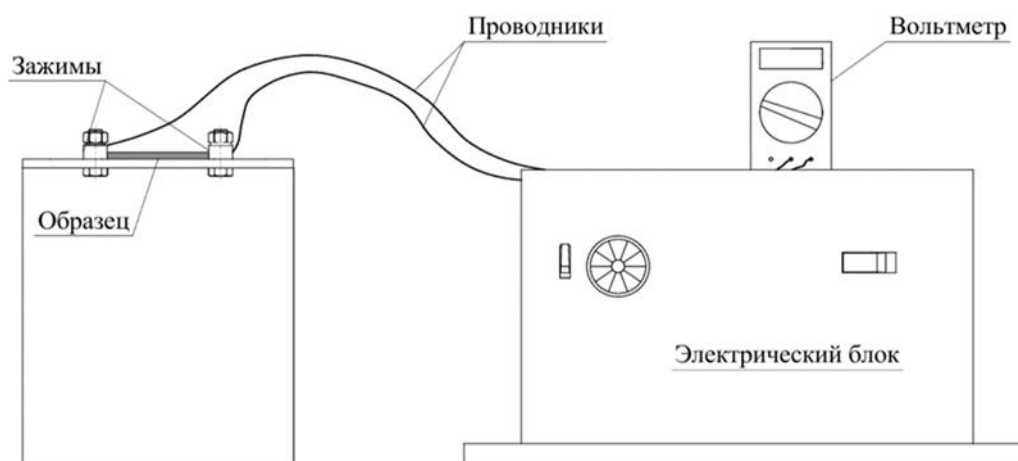


Рисунок 1 – Схема крепления образца к установке

Обработку импульсным током проводили с помощью шести последовательных импульсов тока. Напряжение варьировали от 200 до 250 В. Длительность одного импульса составляла 10^{-4} с. Обработка шестью импульсами тока привела к полному залечиванию выращенной трещины (рисунок 2).



Рисунок 2 - Образец после шестого импульса тока

Микроструктурный анализ выявил, что в образце после залечивания присутствуют три зоны: зона расплавления, зона термического влияния и зона основного металла. Структура зоны расплавления представляла собой пластинчатый мартенсит, образовавшийся в результате высокого локального

нагрева материала и его охлаждения со скоростью, значительно превышающей критическую скорость охлаждения, при которой происходит $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение образовавшегося аустенита в мартенсит. Зона расплавления также продемонстрировала наибольшую микротвердость – почти вдвое превышающую микротвердость основного металла.

Список литературы

1. Wei, D.B. An Analysis on the Inhomogeneous Microstructure in Crack Healing Area / D.B. Wei, J.T. Han, A.K. Tieu, Z.Y. Jiang // Key Engineering Materials. – 2004. – Vol. 274–276. – P. 1053–1058.
2. Ильина, В.Н. Влияние наноуглеродных наполнителей на свойства композиционных материалов / В.Н. Ильина, С.В. Ильин, В.А. Гафарова, И.Р. Кузеев // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 228–237.
3. Evaluating the Effectiveness of Magnetic-Pulse Treatment for Healing Continuity Defects in the Metal of Oil and Gas Pipelines / A. Schipachev, M. Aljadly, O. Ganzulenko [et al.] // Metals. – 2023. – Vol. 13, No. 11. – P. 1875.
4. Troitskii, O.A. Electromechanical Effect in Metals / O.A. Troitskii // JETP Letters. – 1969. – Vol. 10. – P. 18–22.
5. Финкель, В.М. Физические основы торможения разрушения / В.М. Финкель. – Москва: Металлургия, 1977. – 360 с.
6. Kukudzhanov, K.V. A Novel Approach to Determining the Parameters of Electric Pulse Healing of Fatigue Cracks / K.V. Kukudzhanov, E.A. Korznikova, A.V. Chentsov, S.V. Dmitriev // Materials Letters. – 2026. – Vol. 404. – P. 139565.
7. Comparison of the Effect of Electroplasticity in Copper and Aluminum / A.Y. Morkina, D.V. Tarov, G.R. Khalikova [et al.] // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. – 2024. – Vol. 22, No. 4. – P. 615–632.