

ВЫНОСЛИВОСТЬ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ЖИДКОСТИ

ENDURANCE AT CYCLIC LOADING AFTER TREATMENT OF ELECTRIC DIGIT IMPULSES IN LIQUID MIDDLE CARBON STEEL

Вакуленко И.А. *, Лисняк А.Г. **, Дыя Х. ***, Надеждин Ю.Л. *

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им.акад. В.Лазаряна, каф. «Технология материалов»,
Днепропетровский национальный горный университет, каф. «Технология машиностроения», *Czestochowa University of Technology, Faculty of Production Engineering and Materials Technology, Institute of Metal Forming and Safety Engineering*

Abstract

By treatment impulses from an electric digit in water of middle carbon steel growth of the limited endurance is attained at fatigue tests. At the decrease of amplitude of cycle growth of density dislocations near-by of surface destruction corresponds the making progress increase of endurance.

1. Состояние проблемы

Воздействие импульса напряжения от электрического разряда в жидкости для большинства металлических материалов по своему характеру адекватно упрочнению [1]. С другой стороны, известные результаты исследований свидетельствуют о качественно различном влиянии, которое зависит от параметров самой импульсной обработки [2]. Считается, что рост амплитуды импульса напряжения в большинстве случаев сопровождается приростом плотности дефектов кристаллического строения и, в первую очередь дислокаций. В то время как увеличение длительности импульса напряжения определяет условия перемещения возникающих дефектов [1]. Из анализа экспериментальных данных, при достаточно сложном характере влияния на прочностные свойства металлических материалов, практически невозможно определить направление возможного повышения ограниченной выносливости углеродистой стали в условиях циклического нагружения.

2. Материал и методика исследований

Материалом для исследования служила углеродистая сталь с содержанием углерода 0,44% и концентрацией химических элементов в пределах марочного состава стали 45. Заготовками служили пластины

толщиной 2 мм с размерами, которые обеспечивают изготовление образцов для испытания на усталость в условиях знакопеременного симметричного изгиба на машине Сатурн-10. Структурное состояние стали соответствовало закалке на мартенсит с последующим низкотемпературным отпуском. Обработку образцов электрическими импульсами в воде осуществляли на установке типа «Искра». Параметры тонкокристаллического строения металла определяли, используя методики рентгеновского структурного анализа.

3. Результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ хода кривых усталости (рис.1) свидетельствует о повышении ограниченной выносливости исследуемой стали после обработки импульсами возникающего напряжения от электрического разряда в воде (ЭИО).

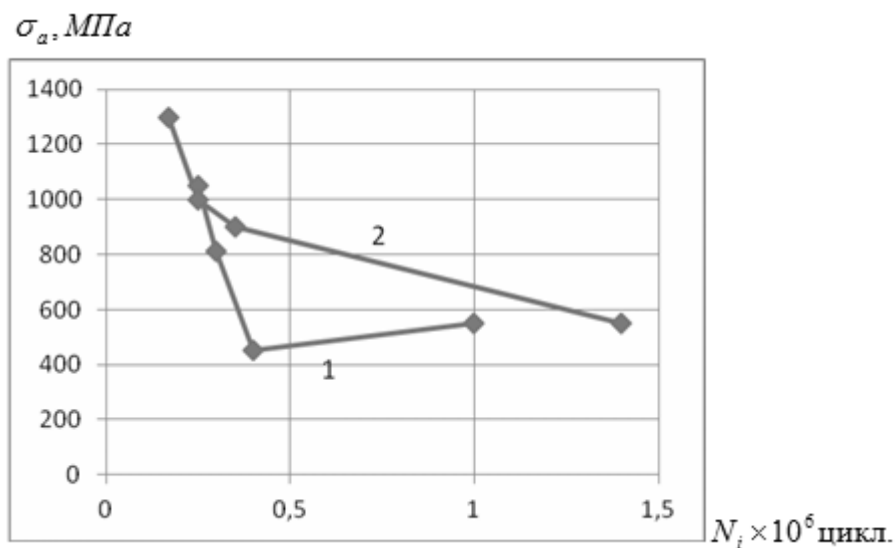


Рис. 1. Диаграммы циклического нагружения стали 45 после термического упрочнения (1) и обработки ЭИО (2)

Вместе с этим следует отметить, что величина повышения выносливости имеет явные признаки зависимости от степени циклического перенапряжения. Так, для области малоциклового усталости, увеличение амплитуды напряжения сопровождается монотонным снижением эффекта прироста выносливости по сравнению с состоянием металла без обработки импульсами напряжения. Полученные данные свидетельствуют, что по мере приближения амплитуды цикла к значению 1000МПа наблюдается прогрессирующее снижение выносливости металла по сравнению с состоянием без ЭИО.

С другой стороны, для амплитуд менее указанного значения (1000 МПа), использование обработки импульсами напряжений от электрического разряда в воде сопровождается прогрессирующим возрастанием ограниченной выносливости исследуемой стали. Больше того, кривые циклического нагружения в зависимости от состояния металла имели несколько различный ход, особенно в условиях снижения амплитуды цикла. Из сравнительного анализа хода кривой циклического нагружения без обработки импульсами напряжения следует, что начиная от амплитуд 1000 МПа и ниже, импульсная обработка способствует более пологому ходу кривой усталости (рис. 1). Можно полагать, что эффективность влияния возникающих импульсов напряжений от разряда в воде на циклическую выносливость углеродистой стали имеет достаточно сложный характер и должно быть связано с особенностями изменений внутреннего строения металла [3, 4].

Для объяснения природы воздействия на металл импульсов напряжения от прохождения электрического разряда в воде исследовали характер накопления плотности дислокаций (рис. 2) после определенного уровня ограниченной выносливости металла.

Рентгеноструктурными исследованиями было установлено, что в результате ЭИО обработки, для одинаковой степени циклического перенапряжения в металле возрастала плотность накопленных дислокаций (рис. 2). Одновременно с этим наблюдалось повышение ограниченной выносливости в условиях неизменной амплитуды цикла. Учитывая, что в процессе нагружения металлических материалов наблюдается непрерывное возрастание количества дислокаций независимо от схемы деформирования [3], а достижение максимально возможной плотности приводит к формированию очагов разрушения [4], представляло определенный интерес объяснение причин повышения ограниченной выносливости при усталости.

Анализ характера изменения плотности дислокаций в кристаллографической системе (110) указывает, что в процессе циклического нагружения должно отсутствовать взаимодействие между дислокациями, которые находились в системе после термической обработки с теми, что введены в металл при ЭИО. Более этого, как было установлено ранее [2], в результате обработки импульсами напряжений возрастает степень деформации за цикл нагрузки при неизменных условиях циклического нагружения. Выполнение указанного условия возможно лишь при участии меньшего количества дислокаций по сравнению с состоянием металла без ЭИО.

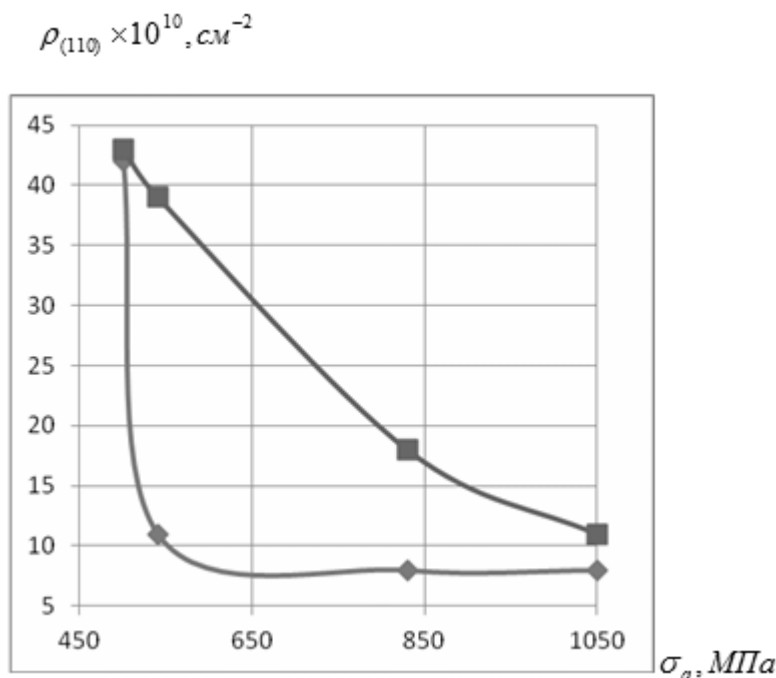


Рис. 2. Изменение плотности дислокаций по интерференции (110) в зависимости от амплитуды циклического нагружения и предварительной обработки: без ЭИО (◆) и после ЭИО (■).

Таким образом, в результате импульсной обработки от электрического разряда в воде возникающие напряжения приводят к формированию дополнительного количества дислокаций, которые способны к ограниченному взаимодействию в условиях последующего циклического нагружения либо происходит их перераспределение в другие кристаллографические системы скольжения [5].

Литература

1. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов. Под ред. М.А. Мейерса и Л.Б. Мурра. Москва, Металлургия, 1984, с. 510.
2. Vakulenko I.A., Nadezhdin Yu. L., Sokirko V.A. et al.: Electric pulse treatment of welded joint of aluminum alloy. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2013, № 4 (46), p. 73÷82.
3. Вакуленко И.А., Большаков В.И.: Морфология структуры и деформационное упрочнение стали. Из-во «Маковецкий», Днепропетровск 2008.
4. Vakulenko I.A., Proydak S.V.: The Influence Mechanism of Ferrite Grain Size on Strength Stress at the Fatigue of Low-carbon Steel. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2014, № 1 (49), p. 97÷104.
5. Вакуленко И.А.: Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. Из-во «Gaudeamus», Днепропетровск 2003.