

УДК 621**ДИАГНОСТИКА УСТАЛОСТИ СТАЛИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ X70 С
ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ****Галкин А.А., аспирант****Мордовина Ю.С., аспирант, ассистент кафедры «Машиностроительные
технологические комплексы»**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Г. Нижний Новгород

Аннотация: Целью данного исследования было определение изменения безразмерного акустического параметра D, получаемого в результате акустического неразрушающего контроля, и остаточной намагниченности B_r, коэрцитивной силы H_c, отношения H_c/B_r, фиксируемых при магнитном контроле, в зависимости от наработки испытуемых образцов из стали класса прочности X70.

Ключевые слова: магнитный контроль, акустический контроль, неразрушающий контроль, акустический параметр, S690QL

Для производства землеройной техники, грузоподъемных машин и кранов широко применяется высокопрочная сталь с пределом текучести 690 МПа (класс прочности – X70) [1]. К высокопрочным сталям (в зарубежной литературе – *HSS – High Strength Steel*) относят марки с пределом прочности от 490 МПа [4-5]. При выборе стали для конструкции важным вопросом является ее сопротивление циклическим нагрузкам. Традиционно различают малоцикловую и многоцикловую усталость [6]. В работе рассматривается малоцикловая усталость (МЦУ) с максимальной долговечностью до разрушения примерно $N_k = 5 \cdot 10^4$ циклов [10]. Практический интерес представляет также диагностика развивающегося разрушения и предупреждение аварийных ситуаций. Для этого должны использоваться методы неразрушающего контроля: например, акустический и магнитный.

Целью работы было фиксирование изменения аустинитического параметра D, остаточной намагниченности B_r, коэрцитивной силы H_c и их отношение H_c/B_r для отечественного аналога стали S690QL.

Объектом исследования являлась сварные образцы из стали российского производства, которая разрабатывалась как аналог европейской S690QL. Марочный и фактический химический состав стали, согласно СТО, представлен в таблице 1. Для марочного состава указано максимальное содержание элементов. Фактический химический состав исследуемой стали

определялся с помощью оптико-эмиссионной спектрометрии на спектрометре ARL 3460. Фактический химический состав соответствует марочному.

Таблица 1 – Химический состав исследуемой стали

Элемент	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	V	Al
Марочный	0,2 0	0,8 6	1,8	0,0 18	0,01	1,0	0,5 0	1,1	0,3 0	0,0 7	0,1 4	0,0 5
Фактический, %	0,1 60	0,3 40	1,2 50	0,0 10	0,00 06	0,2 80	0,2 20	0,0 30	0,0 50	0,0 20	0,0 03	0,0 40

Испытание на усталость проводились на специализированном стенде. Нагружение во время испытания проводилось по схеме консольного изгиба с частотой упругопластического циклического нагружения 25 Гц. Амплитуда нагружения (σ_{max}) рассчитывалась исходя из схемы нагружения, размеров образца и механических характеристик материала.

Для акустических измерений применяли акустический комплекс АИС НРК-3. Информативным параметром был акустический параметр (1):

$$D = \frac{c_1 + c_2}{c_3}, \quad (1)$$

где c_1 , c_2 - скорости распространения сдвиговых упругих волн с поляризацией (направлением колебания отдельных частиц) вдоль оси образца и поперек оси соответственно;

c_3 – скорость распространения (задержка) продольной упругой волны [21].

Магнитные характеристики фиксировались магнитным анализатором – коэрцитиметром МА-412ММ. Оценивались: остаточная намагниченность B_r , коэрцитивная сила H_c , отношение H_c/B_r .

Параметры ультразвука были определены при испытании на усталость с амплитудами напряжений 300, 350 и 450 МПа. Исследование изменения параметра D проводили до момента появления магистральной трещины. Полученные зависимости акустического параметра D от наработки образца N/N^* (отношение количества циклов, соответствующего данной точке, к количеству циклов, зарегистрированных при разрушении) показаны на рис.1. Для определения изменений поведения магнитных характеристик стали в зависимости от наработки была выбрана одна амплитуда – 350 МПа. Соответствующие зависимости показаны на рис.2.

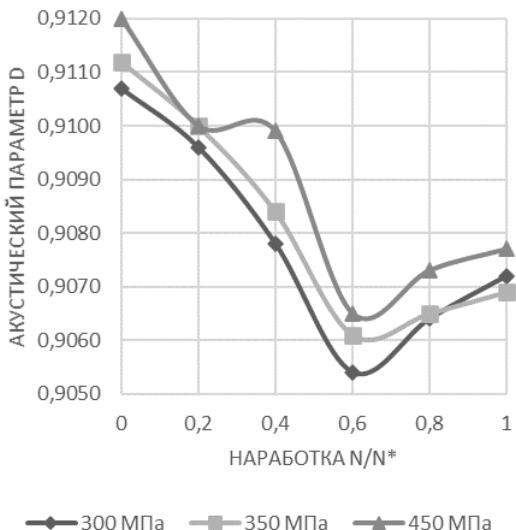


Рис. 1. Зависимость D от наработки (N/N^*) для стали X70

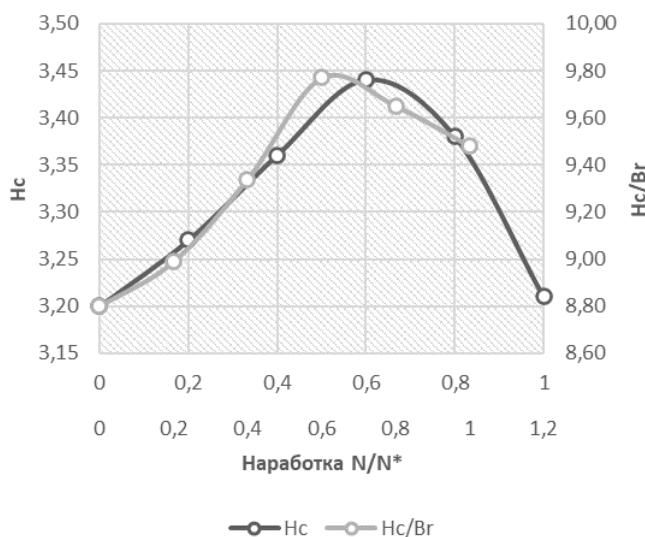


Рис.2. Зависимость магнитных характеристик от наработки (N/N^*)

Анализ изменения акустического параметра (рис.1) показывает, что при наработке стали S690QL (Россия) до 0,6, наблюдается монотонное снижение параметра D (кроме кривой для амплитуды 450 МПа) с последующим незначительным увеличением перед образованием магистральной трещины.

На рис.2. показаны зависимости изменения магнитных характеристик в процессе усталостного нагружения. В целом зависимости коэрцитивной силы H_c и ее отношения к остаточной намагниченности (H_c/Br) коррелируют между собой и с изменением акустического параметра. Данная зависимость практически не изменяется при изменении амплитуды напряжений. Так, при наработке стали до 0,6 наблюдается монотонное увеличение магнитных характеристик с последующим уменьшением до исходных значений на стадии перед образованием магистральной трещины.

Такой же характер изменения акустического и магнитных параметров со схожими значениями был получен для стали 09Г2С [4], что объясняется химическим составом сталей (обе стали низкоуглеродистые

малолегированные) и структурным классом (ферритно-перлитные при охлаждении на воздухе).

Таким образом, основной этап разрушения для стали класса прочности X70 наступает при выработке ресурса на 60 %.

Список литературы

1. Nikolić R., Arsic D., et al. Application of the S690QL Class Steel in Responsible Welded Structures. *Materials Engineering-Materialove Inzinierstvo*, 2013. - №20. – P.174-183.
2. Murakami Y., Nomoto T., Ueda T. Factors influencing the mechanism of superlong fatigue failure in steels. *Fatigue Fract. Engng. Mater. Sci.*, 1999, V. 22, № 7, P. 581-590.
3. Ерасов В.С. Испытания на усталость металлических материалов (обзор) часть 1. Основные определения, параметры нагружения, представление результатов испытаний / В.С. Ерасов, Е.И. Орешко // *Авиационные материалы и технологии*. 2020, № 4 (61), 59-70.
4. Аносов М.С. Неразрушающий контроль накопления усталостных повреждений в стали св-09Г2С, полученной 3D-печатью электродуговой наплавкой / М.С. Аносов, Д.А. Рябов, М.А. Чернигин, А.А. Соловьев // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, 2023. – Т. 21, № 2. С. 47-53.