

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЭЛЕЕВСКОЙ ВОЛНЫ В  
ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ6**

Инь Хуавэй

Научный руководитель: зав. лаб. кафедры ОФ ФТИ к.т.н. Г.В. Гаранин  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: 1292307127@qq.com

**STUDY PARAMETERS OF THE RAYLEIGH WAVE IN THE TITANIUM ALLOY VT6**

Yin Huawei

Scientific Supervisor: lab.head, Ph.D. G.V.Garanin.  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: 1292307127@qq.com

***Abstract.** During processing and use, the surface alloy will have hydrogen embrittlement occur affecting the mechanical properties of metals. Thus, control of hydrogen embrittlement is of particular importance. In the experiment, we use the non-destructive sound wave detection method. The speed and attenuation of Rayleigh waves can assess the level and duration of service embrittlement alloys.*

**Введение.** В процессе изготовления и эксплуатации, на поверхности изделий из металлов и сплавов возможно проявление эффекта водородного охрупчивания, влияющего на механические свойства. Поэтому разработка методов контроля водородного охрупчивания является важной задачей. В представляемой работе, для решения данной задачи, был использован акустический неразрушающий метод контроля. Измеряя скорость и коэффициент затухания рэлеевской волны можно оценить уровень охрупчивания и длительность службы изделий из металлов и сплавов [1].

**Измерение скорости.** Рэлеевская волна состоит из двух волн - продольной и поперечной, которые распространяются вдоль границы полупространства с одинаковыми скоростями и затухают с глубиной [1], она локализована в поверхностном слое толщиной примерно равной длине волны  $\lambda$ , что в нашей работе составляет около 1,0 мм. Излучение и прием ультразвуковых волн осуществляется датчиками на основе явления обратного пьезоэффекта. Функциональная схема стенда акустических измерений для измерения скорости рэлеевской волны приведена на рисунке 1 [3].

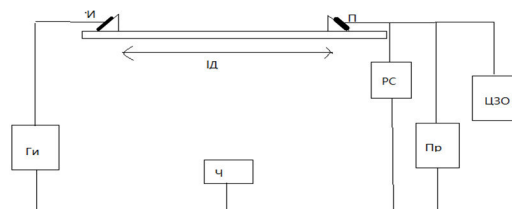


Рис.1. Функциональная схема стенда

Обозначения на рисунке 1:  $l_d$  - базовое расстояние между излучателем и приемником, И - излучатель, П - приемник, Ч - частотомер, Ги - импульсный генератор Tabor Model 8500, ЦЗО - цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TDS2024B, РС - компьютер, Пр - генератор сигналов Agilent 33250A.

Скорость рэлеевской волны определяется методом автоциркуляции из соотношения:

$$V_{PB} = \frac{l_{Д1} - l_{Д2}}{\frac{1}{f_{ц1}} - \frac{1}{f_{ц2}}} \quad (1)$$

В приведенном выражении в качестве параметров присутствуют расстояния между излучателем и приемником, и частота автоциркуляции. Проведя многократные измерения мы получаем зависимость расстояния между датчиками от величины обратной частоты автоциркуляции. График зависимости для одного из образцов приведен на рис. 2.

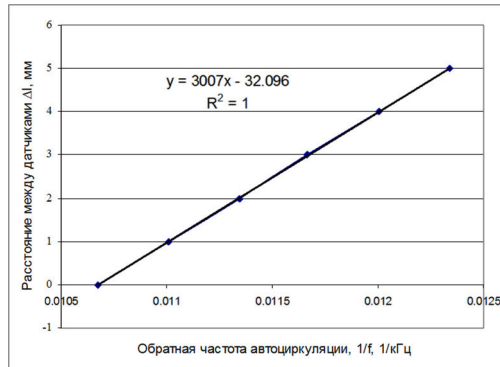


Рис. 2. График зависимости расстояния между датчиками от величины обратной частоты автоциркуляции

По экспериментальным точкам проведена линейная аппроксимация, коэффициент при x численно равен скорости распространения рэлеевской волны в образце. На рис. 3 показана скорость рэлеевской волны и ошибки её измерения всех исходных образцов, здесь ось y - скорость рэлеевской волны в м/с, ось x - номера образцов.

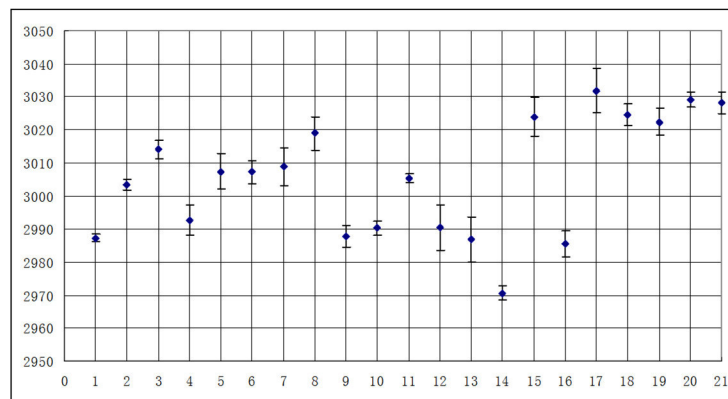


Рис. 3. Скорость рэлеевской волны и ошибка её измерения всего образца

На практике полученные значения скорости значительно различаются для разных образцов из одного материала, что требует проведения измерений для каждого образца до и после водородной обработки. Поэтому отличающиеся значения для разных образцов не будут влиять на результат исследования.

**Измерение коэффициента затухания.** Для ультразвуковой волны, которая распространяется в твердом теле, для амплитуды акустического давления в начале и конце участка можно записать выражение:

$$p = p_0 e^{-\alpha x}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания. В нашей работе, максимальное расстояние между излучателем и приемником не превышает 30 мм, и поэтому мы наблюдаем только начальный участок экспоненциальной кривой, что делает сложным применение уравнения (2) для расчета коэффициента затухания, но можно найти параметры касательной, построенной к начальному участку кривой экспоненциального спада. На рис. 4 показаны теоретическое отношение между амплитудой и расстоянием распространения ультразвуковой волны, и полученная экспериментально зависимость нормированного значения амплитуды регистрируемого сигнала от расстояния между датчиками при измерениях.

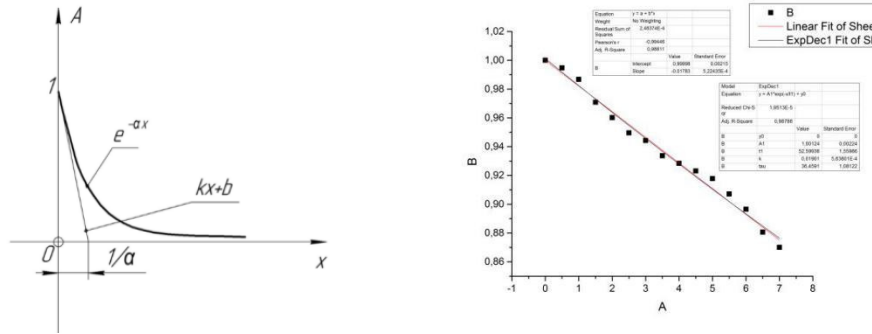


Рис. 4. Теоретическая и полученная зависимость нормированного значения амплитуды от расстояния между датчиками

Таблица 1

Коэффициент затухания рэлеевской волны для каждого образца

№ образца	$\alpha_1$ , Нп/мм	$\alpha_2$ , Нп/мм	№ образца	$\alpha_1$ , Нп/мм	$\alpha_2$ , Нп/мм
2	0.023±0.001	0.027±0.001	12	0.0315±0.0016	0.0376±0.0015
4	0.02319±0.00254	0.02590±0.00248	13	0.0514±0.0027	0.0722±0.0024
5	0.02431±0.00055	0.027±0.001	15	0.0204±0.0004	0.0225±0.0004
6	0.0421±0.0024	0.0524±0.0015	16	0.028±0.001	0.0318±0.0008
7	0.05015±0.00593	0.06968±0.00836	17	0.03648±0.00218	0.0449±0.0021
8	0.0381±0.0011	0.0460±0.0008	18	0.037±0.001	0.0434±0.0008
11	0.0302±0.0013	0.0356±0.0018	19	0.0168±0.0004	0.0183±0.0004

В таблице 1 представлены результаты измерений значения коэффициента затухания, полученные при аппроксимации экспериментальных данных экспоненциальным затуханием  $\alpha_1$ , и касательной к начальному участку кривой экспоненциального спада  $\alpha_2$ .

Полученные данные в дальнейшем будут использованы при анализе влияния внедренного водорода на акустические свойства титанового сплава ВТ6.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторов. И. А./ Звуковые поверхностные волны в твердых телах.// М.: наука, 1981. -с. 3.
2. И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, А.М. Лидер, Г.В. Гаранин./ Физические свойства насыщенных водородом металлов и сплавов.// Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. -с. 186.
3. Г. В. Гаранин, В. В. Ларионов, А. М. Лидер / Установка для определения содержания водорода в металлах ультразвуковым методом // Приборы и техника эксперимента / Российская академия наук. — 2013. — № 1. — С. 144-145