

Использование ультразвукового метода для выявления усталостных трещин в металло-конструкциях

Ираკლიй Таკაძე¹, გიორგი Таკაძე²

¹Общество технической диагностики и неразрушающего контроля.

Э. Ниношвили 42, 0102, Тбилиси, Грузия.

²Геофизическая нейтронно-космическая обсерватория. Ул. Нуцубидзе, 77а,
0160 Тбилиси, Грузия

Аннотация

Рассмотрены особенности выявления усталостных трещин методами ультразвуковой толщинометрии. Проведены теоретические расчеты коэффициента отражения ультразвука от раздела тонкой среды «сталь-воздух». Проведены экспериментальные измерения по выявлению усталостных трещин в металлических изделиях. Установлено, что имеется зависимость между коэффициентом отражения ультразвука и ширины прослойки в трещине, которая в свою очередь может изменяться от температуры изделия и степени механического напряжения вызывающих деформацию контролируемой детали.

Ключевые слова: металлоконструкция, усталостная трещина, ультразвуковая толщинометрия, акустическая эмиссия.

Главная Часть

Одной из основных причин снижения ресурса металло-конструкции, машин, сосудов высокого давления и аппаратов, является образование и рост усталостных трещин. Исследования показывают, что при усталости происходит постепенное накопление микрповреждений, переходящих в рост разрушающих макротрещин.

Наряду с этим, достаточно сложной проблемой является предсказание или выявление микрповреждения на начальной стадии их развития. В зависимости от знакопеременного нагружения, стадия устойчивого роста макротрещины и полного разрушения конструкции может охватывать не предсказуемый по времени период.

Одним из методов выявления развивающихся и склонных к развитию усталостных трещин, проявляющихся в процессе изменения нагрузки, является контроль методом Акустической эмиссии (АЭ). Необходимо отметить, что значительным фактором снижающих эффективность АЭ являются трудоемкость проведения контроля [1, 2] и шумы, основными источниками, которых являются механические воздействия, вибрации и электрические помехи.

В связи с этим, своевременное выявление зародышей усталостных трещин является актуальной задачей, и позволяет существенно снизить риски возникновения аварийных ситуации [3, 4].

В данной работе рассматриваются особенности выявления внутренних трещин, в том числе усталостных, методами ультразвуковой эхо-импульсной толщинометрии.

Физической основой ультразвуковой толщинометрии является регистрация отраженной энергии ультразвукового импульса от раздела поверхности «металл–воздух». Которая, в свою очередь определяется коэффициентом отражения ультразвука.

Для тонкого слоя с волновым сопротивлением $Z_c = \rho_c \cdot C_c$ в обе стороны от которого расположены одинаковые среды с волновыми сопротивлениями $Z = Z^1$ коэффициент отражения ультразвука определяется зависимостью [5]:

$$R \approx \left[1 + \left(Z_c \cdot C_c / \pi \cdot f \cdot h \cdot z \right)^2 \right]^{-1} \quad (1)$$

Где:

Z_c - волновое сопротивление воздушного слоя

ρ_c - плотность воздушной прослойки г/см³

C_c - скорость ультразвука в воздушном слое км/сек

f - Частота ультразвуковых колебаний МГц

h - толщина воздушной прослойки мм.

В реальных условиях, толщина воздушной прослойки трещины h не может быть постоянной величиной и будет меняться в зависимости от температуры и механических напряжении, вызывающих деформацию «металло-конструкции». Напр. Внутреннее избыточное давление продукта в трубопроводе. Примечательно, что изменение геометрических размер внутренних трещин в т.ч. ширина раскрытия воздушной прослойки, могут быть в тех пределах, которые оказывают существенное влияние на коэффициент отражения ультразвука. В таком случае, дефектные участки для используемых методов и технических средств контроля могут быть «скрытыми» дефектами т.е. не выявляемыми.

Линейное расширение стали под действием температуры определяется зависимостью;

$$\Delta L = L \alpha (T - T_0) \quad (2)$$

Где:

$L \alpha$ - Коэффициент линейного расширения стали равная для СтЗсп – $11,5 \cdot 10^{-6}$ м.

$(T - T_0)$ - Разность температур.

На рис. 1. Приведены расчетные значения линейного изменения размеров стали марки СтЗсп толщиной 30 мм., при изменении температуры в диапазоне $(+1 \div 7^0) C$

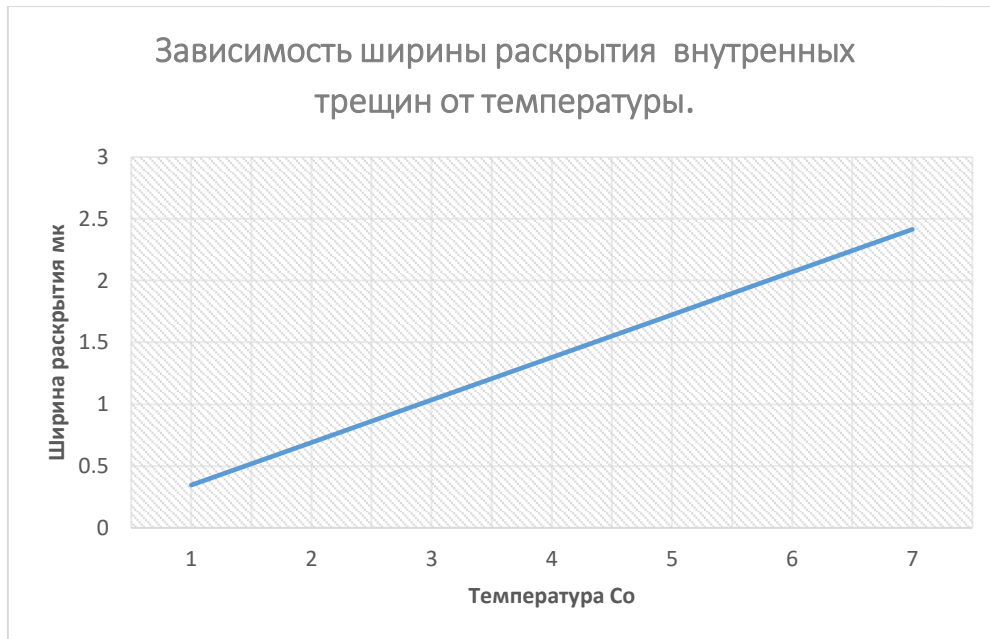


Рис. 1. Изменение линейного размера стали толщиной 30 мм при изменении температуры

Как видно, колебание температуры в пределах $+(1 \div 7)^{\circ}\text{C}$ может менять размеры стали от 0,5 до 2,5 мк. Если допустить, что ширина прослойки в трещине имеет близкие к $2 \div 2,5$ мк значения, то вполне возможно, что при прочих равных условиях и ширина прослойки будет меняться в этих же пределах.

Согласно зависимости (1) коэффициент отражения зависит также и от частоты ультразвуковых колебаний f и плотности ρ_c воздушной среды в трещине.

На рис. 2. Приведены расчетные зависимости (1) коэффициента отражения ультразвука от толщины раздела «сталь – воздух», для частот ультразвуковых колебаний 2,5, 5,0 и 10,0 МГц., при следующих начальных условиях:

Скорость ультразвука в стали	- 5920 м/сек
Скорость ультразвука в воздухе	- 340 м/сек
Плотность стали	-7800 г/см ³
Плотность воздуха	-1,2 кг/м ³
Толщина прослойки в трещине	- 0,1 - 2,2 мк

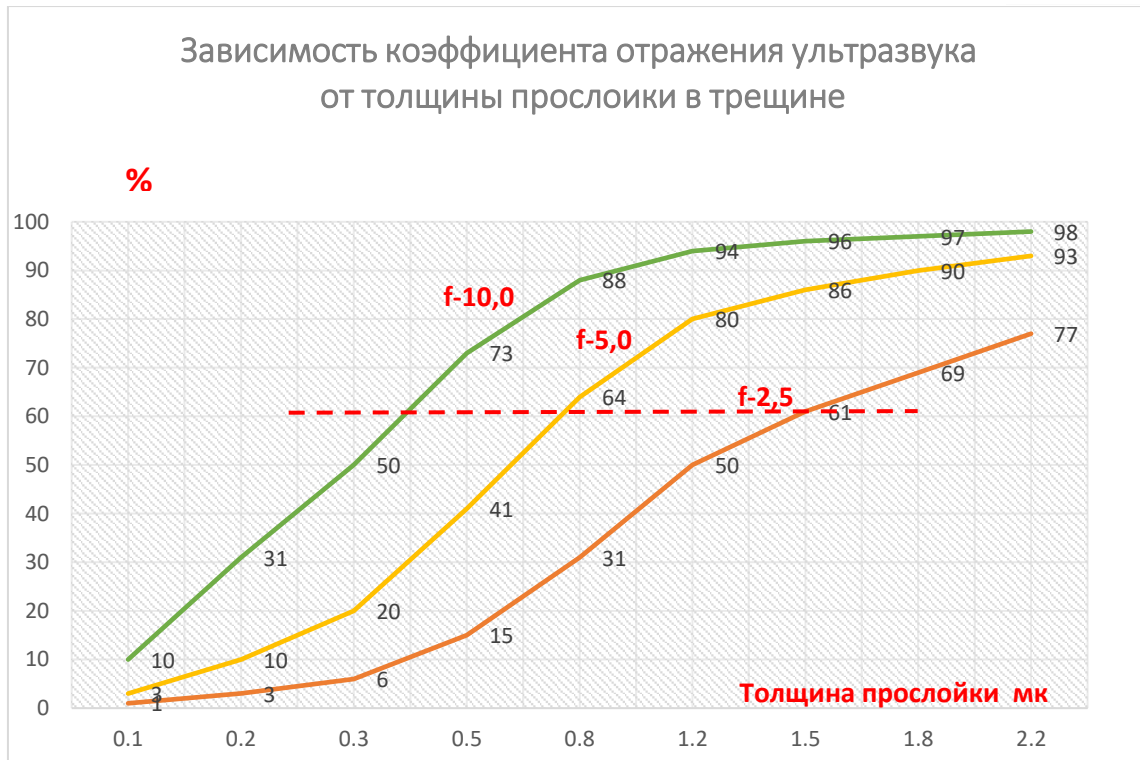


Рис. 2. Расчетные значения коэффициента отражения ультразвука в тонких слоях от раздела среды «сталь – воздух», для значения частоты ультразвука 2,5, 5,0 и 10,0 МГц.

Из расчетных значений видно, что если условно принять коэффициент отражения УЗ=60%, при котором, еще возможно регистрация внутренних неоднородностей, то при некоторых значениях толщины прослойки, они могут становиться «скрытыми» дефектами. И этот порог выявляемости снижается при уменьшении частоты ультразвука. Учитывая зависимость ширины раскрытия трещин от колебания температуры, становится очевидным важность учета температурного фактора.

В реальных условиях, на порог выявляемости внутренних трещин, кроме температурного фактора, могут оказывать влияние шероховатость поверхности контролируемой поверхности, плоскость наклона трещины и рассеяние ультразвука на неровностях дефекта.

Существенное влияние на выявляемость открытых к поверхности трещин могут оказывать заполнение прослойки водой или маслом. В таких случаях, для ультразвукового контроля, трещины становятся практически «скрытыми» дефектами.

С некоторым приближением, эти выводы можно проверить экспериментальным измерением интенсивности отраженного ультразвука от трещин, в образце вырезанного из дефектного изделия.

Рис. 3.

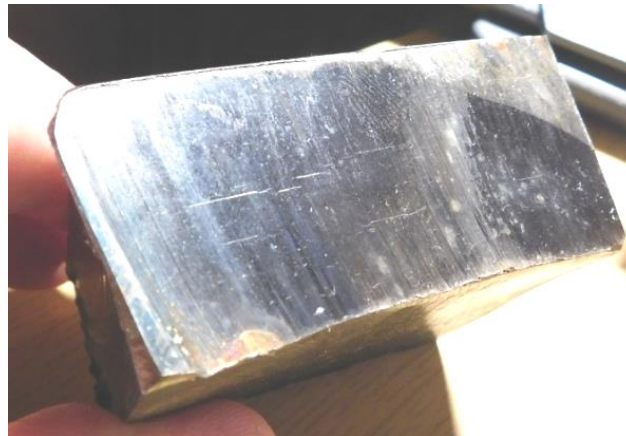


Рис. 3. Трещины видны на боковой поверхности вырезанного образца толщиной 30 мм.

На Рис. (4, 5, 6 и 7) Представлены ультразвуковые а-сканы полученные при измерении глубины залегания трещин при температуре образца (+20° и +3°) С. Измерения проведены дефектоскопом – толщиномером УД9812 при постоянных значениях усиления, на частоте 5 МГц, с применением раздельно совмещенных преобразователей.

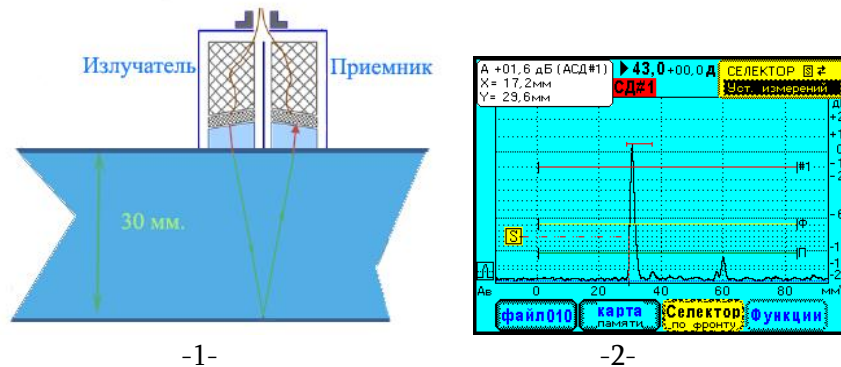
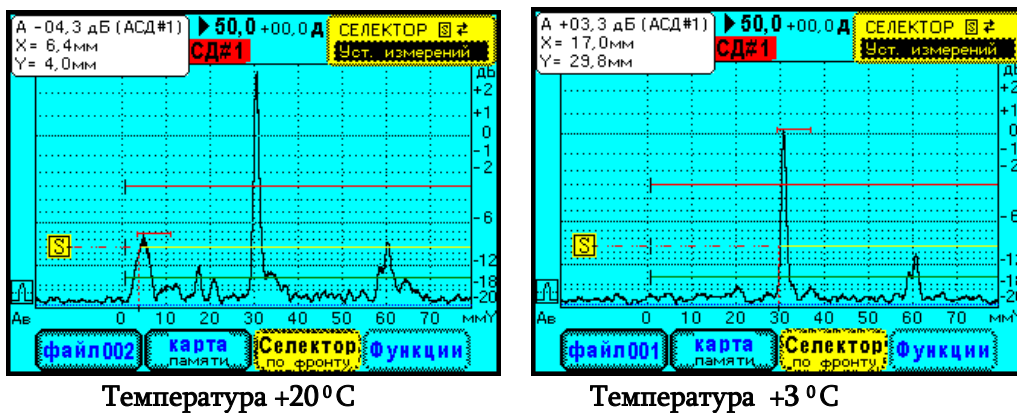
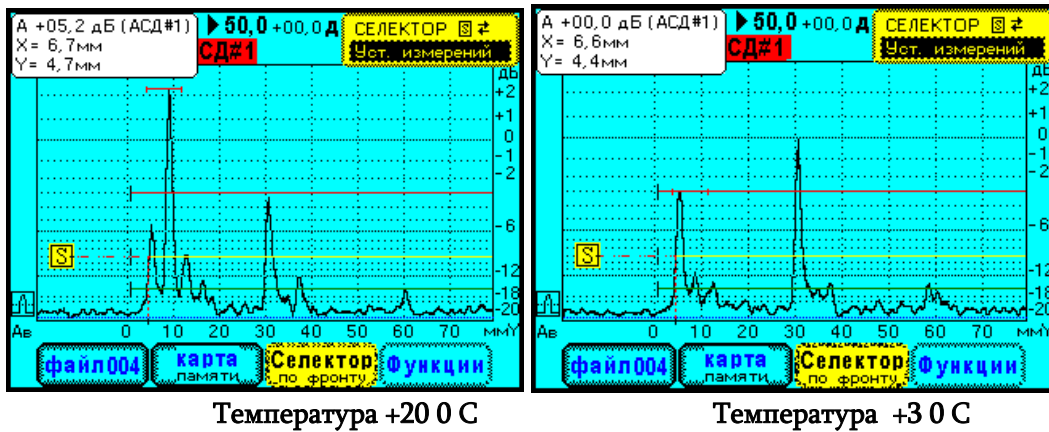


Рис. 4. Схема измерения толщины бездефектного изделия (-1) и соответствующий ультразвуковой а-скан -2-



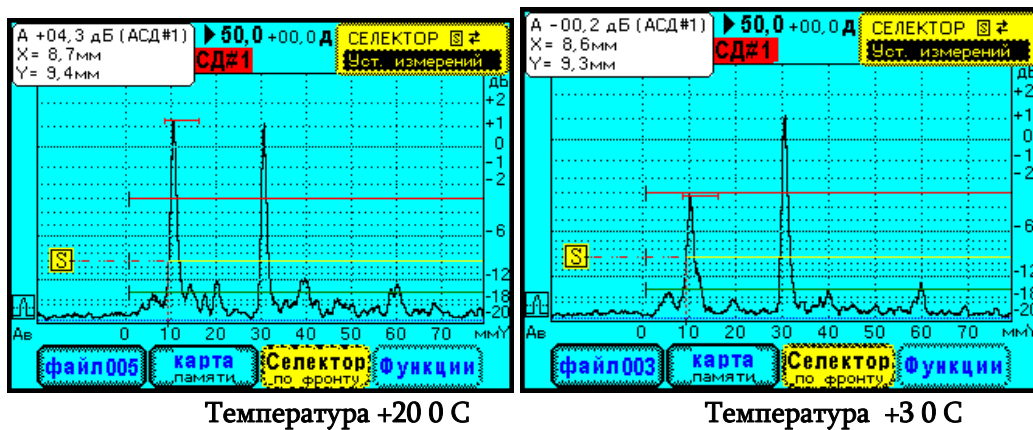
При снижении температуры трещина на глубине 4,0 мм становится «скрытым».

Рис. 5. Место измерения №1



При снижении температуры трещина на глубине 9,0 мм становится «скрытым». Одновременно возрастает уровень отраженного ультразвука от трещины на глубине 4,7 мм и донной поверхности.

Рис. 6. Место измерения №2



Снижается уровень отраженного ультразвука от трещины на глубине 9,4 мм.

Рис. 7. Место измерения №3

Выводы:

- Имеется физическая зависимость между коэффициентом отражения ультразвука и ширины прослойки в трещине, которая в свою очередь может изменяться от температуры изделия и степени механического напряжения вызывающих деформацию контролируемой детали.
- Для улучшения выявляемости внутренних трещин в т.ч. усталостных методами ультразвуковой толщинометрии контроль необходимо проводить при положительных значениях температуры, на частоте ультразвука не ниже 5 МГц.
- Для повышения достоверности выявления усталостных трещин, целесообразно проведение комплексных измерений методами ультразвуковой толщинометрии, АЭ и измерения скорости ультразвука.

Используемая литература:

- [1]- Л.Б. Зуев, В.Я. Целлерман, В.Е. Громов, В.В. Муравьев. Ультразвуковой контроль накопления усталостных повреждений – 1996 г.
- [2]- В.Б. Харитонов Разработка акустических методов контроля для выявления усталостных трещин. – 2015 г.
- [3]- В.М. Картопольцев. Оценка остаточного ресурса металло-конструкции по критерию трещинообразования. 2015 г.
- [4]- А.Э. Толстов Совершенствование методов оценки технического состояния участков Магистральных трубопроводов, содержащих расслоения металла. -2019 г.
- [5]- И.Е. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов. Неразрушающий контроль – 1991 г.

Sing the Ultrasonic Method to Detect Fatigue Cracks in Metal Structures

Irakli Takadze¹, Giorgi Takadze²

¹Society of Technical Diagnostics and Nondestructive Testing of Georgia,
E. Ninoshvili 42, 0102, Tbilisi, Georgia

²Geophysical Neutron Cosmic Ray Observatory. 77a Nutsubidze St., 0160
Tbilisi Georgia

Abstract

The features of identifying fatigue cracks using ultrasonic thickness gauging methods are reviewed. Theoretical calculations of the ultrasonic reflection coefficient from the «steel-air» interface of a thin medium were carried out. Experimental measurements were carried out to detect fatigue cracks in metal products. It has been established that there is a relationship between the ultrasonic reflection coefficient and the width of the layer in the crack, which in turn can change depending on the temperature of the product and the degree of mechanical stress causing deformation of the controlled part.

Keywords: metal structure, fatigue crack, ultrasonic thickness gauging, acoustic emission.

ლითონის კონსტრუქციებში დაღლილობის ბზარების გამოსავლენად ულტრაბგერითი მეთოდის გამოყენება

ირაკლი თაკაძე¹, გიორგი თაკაძე²

¹საქართველოს ტექნიკური დიაგნოსტიკის და ურღვევი კონტროლის
საზოგადოება, ე. ნინოშვილის 42, 0102, თბილისი, საქართველო

²გეოფიზიკური ნეიტრონული კოსმოსური სხივების ობსერვატორია. ნუცუბიძის
77ა, 0160 თბილისი, საქართველო

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია დაღლილობის ბზარების იდენტიფიცირების მახასიათებლები ულტრაბგერითი სისქის საზომი მეთოდების გამოყენებით. განხორციელდა ულტრაბგერითი ასახვის კოეფიციენტის თეორიული გამოთვლები თხელი ფირფიტის "ფოლადი-ჰაერის" ინტერფეისიდან. ჩატარდა ექსპერიმენტული გაზომვები ლითონის პროდუქტებში დაღლილობის ბზარების გამოსავლენად. დადგენილია, რომ არსებობს კავშირი ულტრაბგერითი ასახვის კოეფიციენტსა და ბზარის ფენის სიგანეს შორის, რაც თავის მხრივ შეიძლება შეიცვალოს პროდუქტის ტემპერატურისა და მექანიკური დატვირთვის ხარისხზე, რაც იწვევს კონტროლირებადი ნაწილის დეფორმაციას.

საკვანძო სიტყვები: ლითონის სტრუქტურა, დაღლილობის ბზარი, ულტრაბგერითი სისქის საზომი, აკუსტიკური ემისია.