

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

DOI 10.24412/2077-8481-2024-4-48-56

УДК 620.179

С. С. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук, доц.

Е. Д. ВОРОНОВ

Р. А. ТОЛКАЧЕВ

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЪЕКТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования влияния температуры объекта контроля и преобразователей на результаты ультразвукового контроля по двум технологиям: эхо-импульсный метод на фазированных решетках и TOFD-метод. Установлено, что при повышении температуры измерительного тракта для эхо-импульсного метода амплитуда сигнала от дефекта существенно увеличивается, что оказывает значительное влияние на измеряемые размеры дефекта. Кроме того, с увеличением температуры наблюдается незначительное уменьшение измеренной глубины залегания отражателей (дефектов). Для TOFD-метода погрешности измерения размеров отражателей (дефектов) и глубины их залегания в диапазоне температур объекта 20 °С...60 °С не превышают 5 %, что допускается нормативными документами. Приведены практические рекомендации для снижения погрешностей измерения параметров дефектов при высокотемпературном контроле.

Ключевые слова:

ультразвуковой контроль, фазированные решетки, температура, сварное соединение, дефект.

Для цитирования:

Сергеев, С. С. Исследование влияния температуры объекта на результаты ультразвукового контроля различными методами / С. С. Сергеев, Е. Д. Воронов, Р. А. Толкачев // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 4 (85). – С. 48–56.

Введение

В настоящее время высокую информативность неразрушающего контроля основного металла и сварных соединений различных промышленных объектов обеспечивают современные ультразвуковые технологии, которые позволяют проводить дефектоскопию и дефектometriю с хорошими метрологическими характеристиками. Как правило, при обследовании объектов ультразвуковой контроль осуществляется при нормальной температуре материала

объекта и окружающей среды. Однако существуют ситуации, когда необходимо выполнить контроль горячих материалов. Особенности современного контрольно-измерительного оборудования и технологий обеспечивают сегодня возможность проведения неразрушающего ультразвукового контроля (УЗК) и диагностики при повышенных температурах на объектах энергетики, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Как правило, большое количество используемых на производстве

узлов, агрегатов и систем могут эксплуатироваться при температурах, превышающих возможности стандартного УЗК в нормальных условиях. К таким объектам можно отнести элементы резервуаров и трубопроводных систем (теплообменников, реакторов, трубной обвязки реакторов, точек ввода охлаждающей жидкости и т. п.), эксплуатирующихся при повышенных температурах. Поэтому если предполагается проведение высокотемпературного УЗК, то перед контролем следует досконально изучить все аспекты предполагаемых работ: характеристики дефектоскопа и преобразователей, особенности специальных контактирующих сред, а также безопасность технического персонала. Кроме того, следует учитывать, что стандартные преобразователи для УЗК могут применяться до температур, не превышающих 80 °С...100 °С. При более высоких темпе-

ратурах применяются специальные высокотемпературные преобразователи.

Исследование влияния температуры объекта на результаты ультразвукового эхо-импульсного метода на основе фазированных решеток

Для проведения экспериментов использовался дефектоскоп Phasor XS с пьезоэлектрическим преобразователем на фазированной решётке. Характеристики преобразователя: рабочая частота – 4 МГц, количество элементов решетки – 16, угол призмы – 36°, скорость звука в призме – 2337 м/с, среднее расстояние в призме от центра решетки до точки ввода – 10,61 мм. Температура образцов измерялась пирометром UT302B. Используемое оборудование показано на рис. 1.



Рис. 1. Оборудование для проведения экспериментов

В качестве экспериментального объекта контроля были выбраны два образца размером 20×20 мм и длиной 290 мм с шестью искусственными отражателями в виде сквозного цилиндрического отверстия диаметром 2,5 мм (образец 1) и 1 мм (образец 2), расположенными на разной глубине (рис. 2).

Для калибровки использовался контрольный образец в виде пластины, изготовленной из стали 20, толщиной 20 мм с тремя отверстиями диаметром 2 мм. Отверстия расположены на расстоянии 5, 10

и 15 мм от поверхности пластины в одной плоскости, перпендикулярной поверхности образца. Калибровку производили при нормальной температуре, т. е. при 22°C .

Экспериментальные образцы помещали в контейнер, далее заливали горячей водой и дискретно через 10°C , при остывании образца, сканировали его в температурном диапазоне от 60°C до 22°C . Пример полученных разверток при различных температурах приведен на рис. 3.

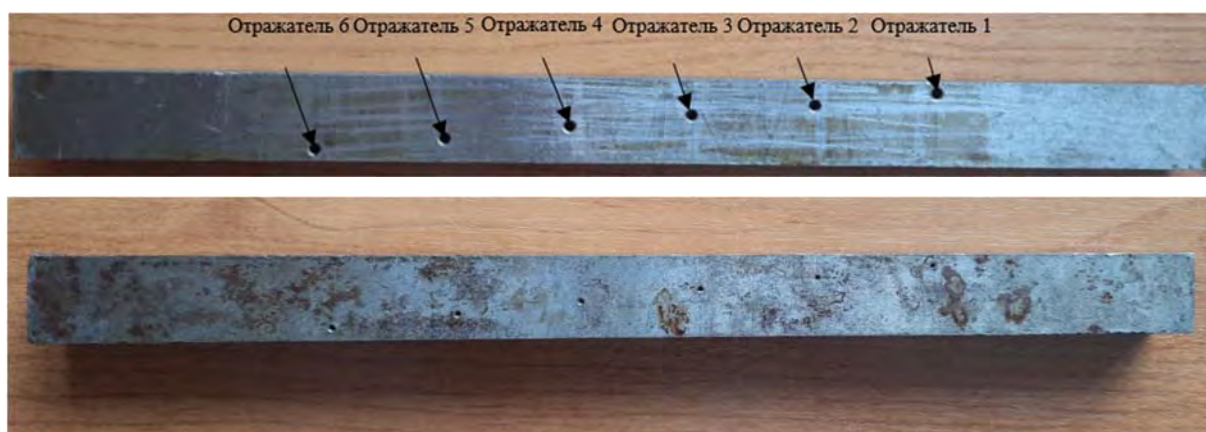


Рис. 2. Внешний вид экспериментальных образцов

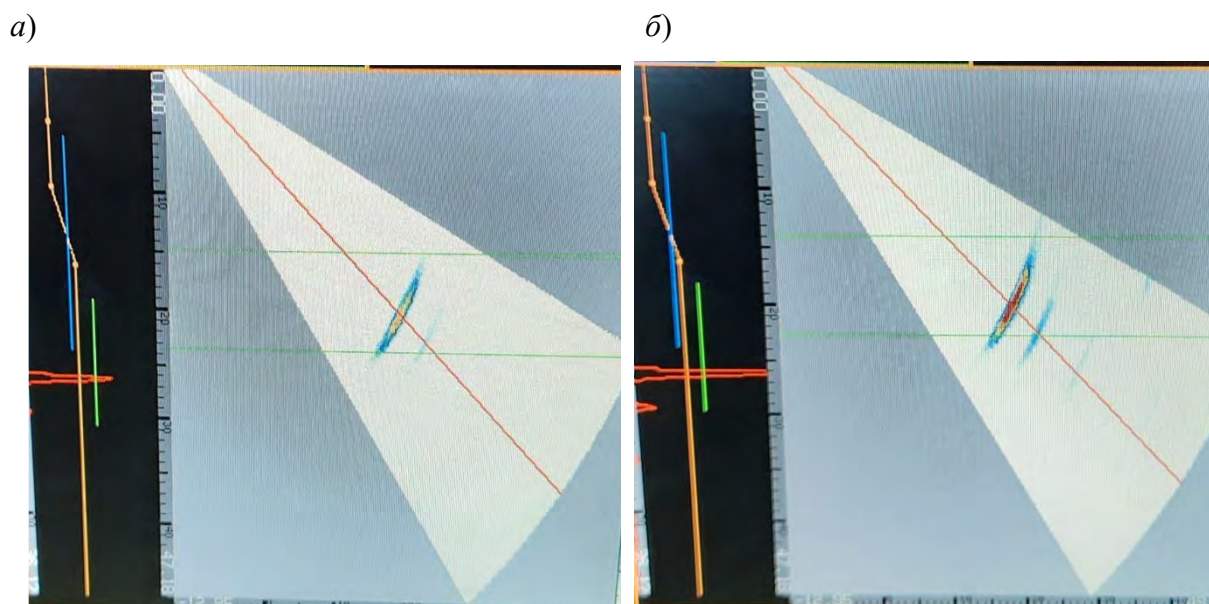


Рис. 3. Развёртки на примере отражателя 4 при температурах: а – 22°C ; б – 60°C

По результатам контроля были построены графики зависимости измеряемых параметров отражателей от температуры для двух образцов (рис. 4–7).

Из графиков видно, что при прозвучивании образца 1 в диапазоне температур 30 °С...40 °С наблюдается значительный

рост измеренных размеров отражателей, а в диапазоне температур 40 °С...60 °С возрастание идёт с меньшей интенсивностью, при этом измеренная глубина залегания отражателей при повышении температуры постепенно уменьшается, значительных скачков не наблюдается.

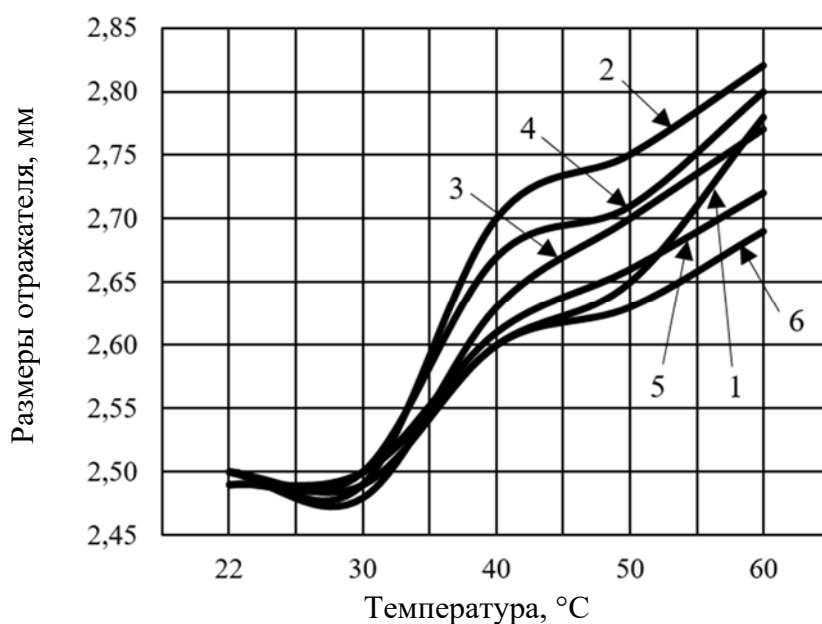


Рис. 4. График зависимости измеренных размеров отражателей от температуры образца 1: 1–6 – искусственные цилиндрические отражатели диаметром 2,5 мм

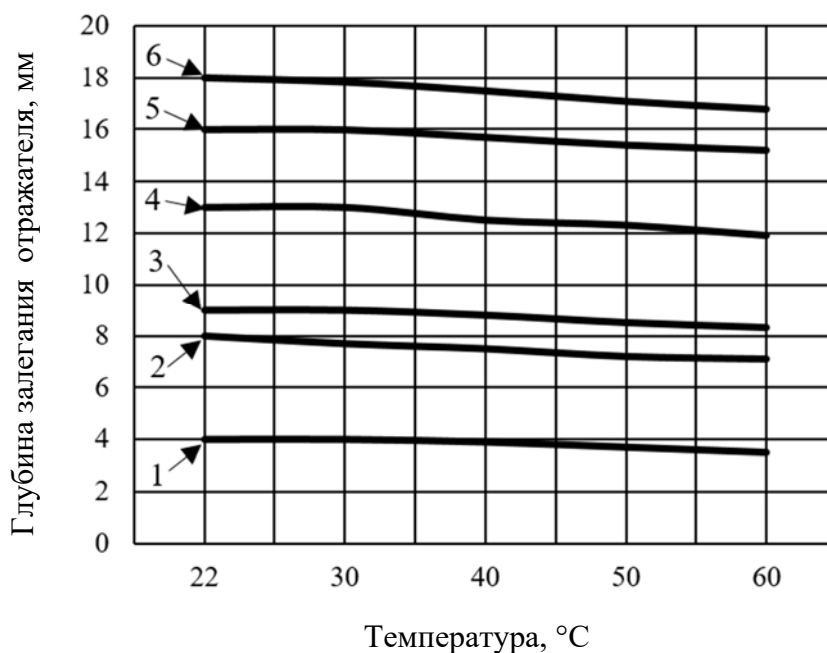


Рис. 5. График зависимости измеренной глубины залегания отражателей от температуры для образца 1: 1–6 – искусственные цилиндрические отражатели диаметром 2,5 мм

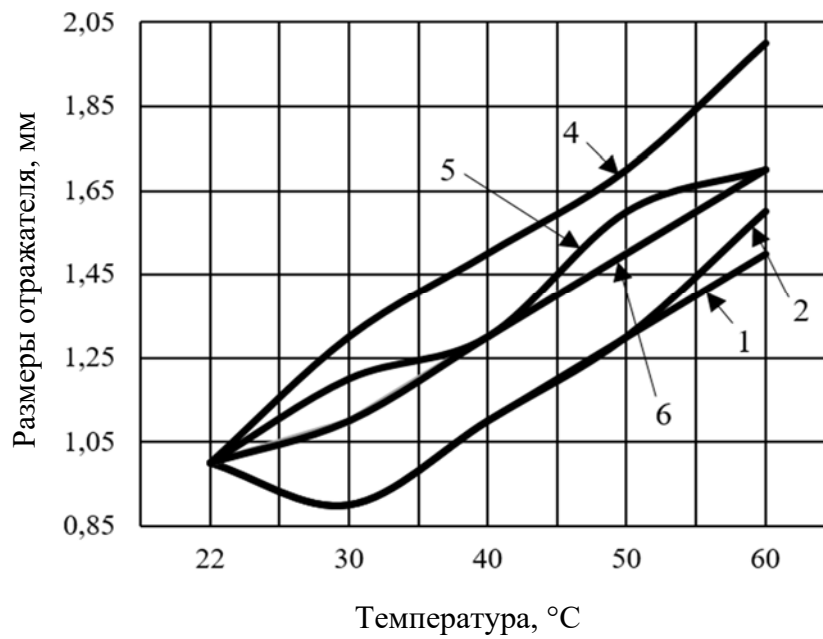


Рис. 6. График зависимости измеренных размеров отражателей от температуры образца 2: 1–6 – искусственные цилиндрические отражатели диаметром 1 мм

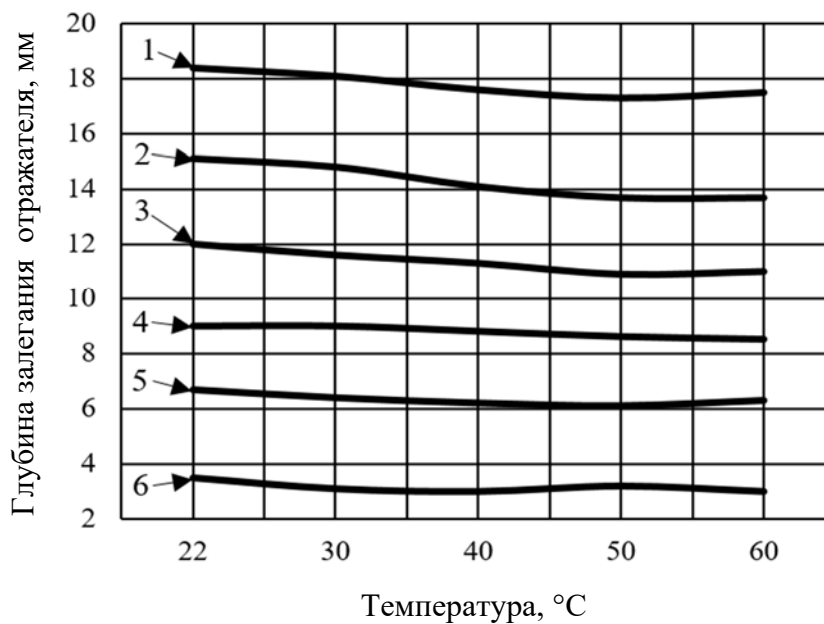


Рис. 7. График зависимости измеренной глубины залегания отражателей от температуры образца 2: 1–6 – искусственные цилиндрические отражатели диаметром 1 мм

Аналогичные результаты были получены и при прозвучивании образца 2. Из графиков видно, что с повышением температуры образца измеренные размеры отражателей увеличиваются почти

Приборостроение

в 2 раза, а измеренная глубина залегания отражателя постепенно падает, при этом значительных скачков не наблюдается.

Исследование влияния температуры объекта на результаты ультразвукового контроля на базе TOFD-метода

Сегодня особую популярность завоевывает дифракционно-временной метод (TOFD-метод) ультразвукового контроля, который позволяет определить истинные размеры дефектов типа несплошностей и их расположение в сварных швах. В отличие от других классических амплитудных методов ультразвукового контроля, здесь в качестве информативных параметров выступают временные интервалы пробега ультразвуковых волн в акустическом тракте [1].

В качестве объекта контроля был выбран реальный образец со стыковым сварным швом толщиной 16 мм, шириной и длиной 300×300 мм. В эксперименте использовалось сканирующее устройство ТНА-02 с парой установленных преобразователей с раздвижкой 40 мм.

Характеристики преобразователей FCN-60-UN-1: частота преобразователя – 5 МГц, угол наклона призмы – $23,07^\circ$, стрела преобразователя – 5 мм, угол ввода $\alpha = 60^\circ$, скорость призмы – 2360 м/с, путь центрального луча в призме – 10,68 мм.

Контроль производили прибором SyncScan Suprog сканированием вдоль сварного шва в режиме TOFD. Температура сварного образца измерялась пирометром UT302B.

В качестве настроечных образцов использовался контрольный образец с цилиндрическими отверстиями и пропилами. Настройку прибора производили при нормальной температуре, т. е. при 22°C .

Сварной образец поместили в контейнер и залили горячей водой и дискретно через 10°C , при остывании образца, сканировали его в температурном диапазоне от 60°C до 22°C .

В процессе сканирования сварного образца были выявлены четыре реальных дефекта: 1 – несплошность в виде поры; 2 – несплошность в виде трещины; 3 – несплошность в виде скопления пор; 4 – непровар в корне шва.

Полученные результаты эксперимента были расшифрованы с помощью программы Suprog Up. Программа позволяет определить глубину залегания дефекта, протяженность, а также координаты расположения дефекта от начала сканирования. На рис. 8 приведена развертка для дефекта в виде поры. По результатам контроля были построены графики зависимости измеряемых параметров от температуры (рис. 9 и 10).

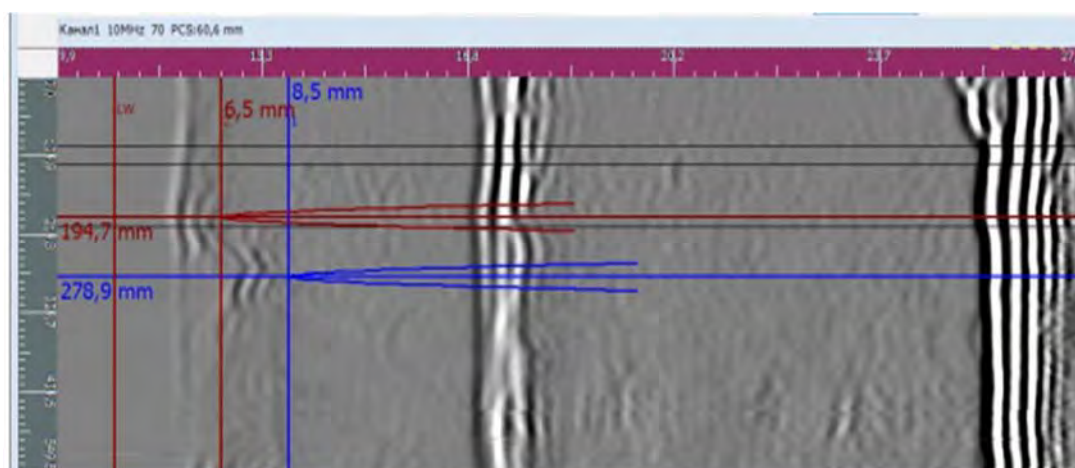


Рис. 8. Отображение на экране дефектоскопа несплошности в виде поры

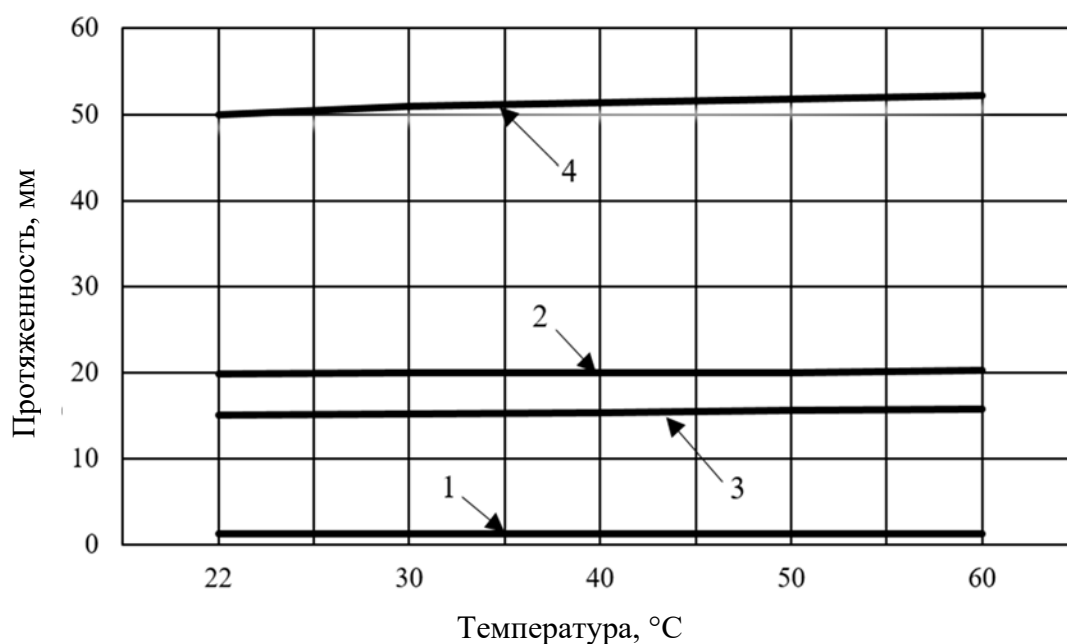


Рис. 9. График зависимости линейной протяженности различных дефектов от температуры

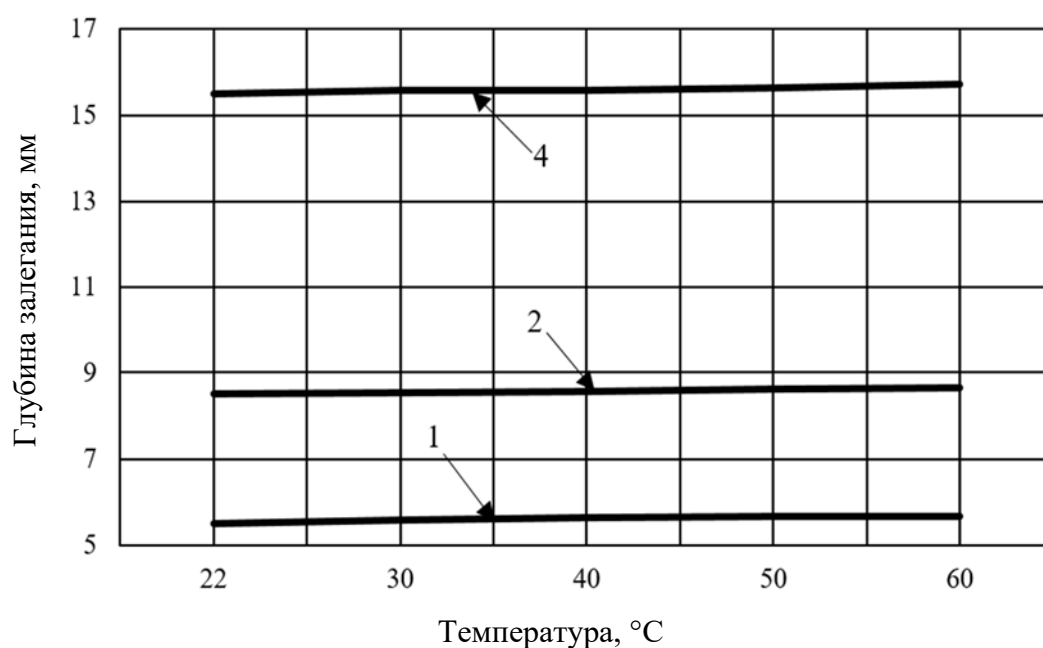


Рис. 10. График зависимости глубины залегания различных дефектов от температуры

Из графиков видно, что в рабочем диапазоне температур измеряемые параметры изменяются незначительно, однако имеется незначительный тренд к увеличению измеренных геометрических параметров с ростом температуры.

Заключение

Зависимость скорости ультразвуковых волн от температуры в материалах особенно важна для амплитудных методов контроля. Если введенное в дефектоскопе значение скорости ультразвука не

соответствует действительному значению скорости в материале, то это может привести к большим погрешностям в определении координат дефектов, а также к изменению расчетной амплитуды эхосигнала. Это, в свою очередь, может привести к пропуску недопустимых дефектов или перебраковке объектов и другим ошибкам при контроле.

Перед проведением контроля для обеспечения достоверности результатов необходимо с максимальной точностью настроить в дефектоскопе скорости ультразвуковых волн в объекте контроля и в призме преобразователя с учетом их реальной температуры при контроле. Зависимости скорости ультразвуковых волн от температуры в материалах объекта и призмы можно определить экспериментально.

Примеры влияния температуры на результаты контроля с соответствующими температурными зависимостями, приведенные ранее, относятся к конкретному случаю применения технологий ФАР и TOFD и не распространяются на другие возможные применения без экспериментальной проверки.

Для контроля объектов с более высокой температурой, кроме учета температурных зависимостей, необходи-

мо применять высокотемпературные средства контроля: преобразователи, акустические призмы, контактные жидкости. При этом важно также сокращать время контакта преобразователя с нагретым объектом контроля и по возможности периодически охлаждать преобразователи.

Температура объекта и преобразователя значительно влияет на показания дефектоскопа. Погрешности в измерении размеров дефектов весьма существенны, что может привести к ошибочному толкованию результатов контроля и перебраковке. Чтобы этого избежать, необходимо перед началом контроля измерить температуру объекта контроля и затем провести настройку прибора на нагретых до этой же температуры контрольных образцах либо на самом объекте. При настройке нужно применять ту же контактную жидкость, что и при контроле, включая контактную жидкость, наносимую между преобразователем и сменной призмой. Все это, вместе взятое, позволит учесть влияние температуры на различные измеряемые параметры контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воронов, Е. Д.** Исследование влияния температуры объекта на результаты ультразвукового контроля TOFD-методом / Е. Д. Воронов, Р. А. Толкачев, С. С. Сергеев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2024. – С. 295–296.

Статья сдана в редакцию 26 июля 2024 года

Контакты:

sss.bru@tut.by (Сергеев Сергей Сергеевич);

egorv6806@gmail.com (Воронов Егор Дмитриевич);

rtolkachev777@gmail.com (Толкачев Родион Александрович).

S. S. SERGEEV, E. D. VORONOV, R. A. TOLKACHEV

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF OBJECT TEMPERATURE ON THE RESULTS OF ULTRASONIC TESTING BY VARIOUS METHODS

Abstract

Experimental studies have been carried out to determine how the temperature of a test object and transducers influences the results of ultrasonic testing in the two technologies used – the pulse-echo method on phased arrays and the TOFD method. It has been established that with an elevation of temperature of the measuring path for the pulse-echo method, the amplitude of a signal from a defect increases significantly, which has a significant impact on the measured dimensions of the defect. In addition, with a temperature increase, a slight decrease in the measured depth of reflectors (defects) is observed. For the TOFD method, errors in measuring the dimensions of reflectors (defects) and the depth of their occurrence do not exceed 5 % in the object temperature range of 20 °C...60 °C, which is allowed by the regulatory documents. Practical recommendations are given for reducing errors in measuring the defect parameters during high-temperature control.

Keywords:

ultrasonic testing, phased arrays, temperature, welded joint, defect.

For citation:

Sergeev, S. S. Investigation of the influence of object temperature on the results of ultrasonic testing by various methods / S. S. Sergeev, E. D. Voronov, R. A. Tolkachev // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2024. – № 4 (85). – P. 48–56.