

Д. Д. МАХОТИН

К. В. ЗОТОВ

В. П. ЛУНИН, д-р техн. наук, проф.

Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва, Россия)

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ КООРДИНАТ ДЕФЕКТОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ КОЛЬЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Аннотация. В работе предложена методика коррекции систематических погрешностей ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов из высокопрочных анизотропных сталей класса К70. С помощью экспериментальных исследований на изотропных и анизотропных образцах, а также на реальном сварном соединении трубы большого диаметра установлена зависимость измеряемой глубины дефекта от угла ввода луча и рассчитаны поправочные коэффициенты для её компенсации. В заключении изложены рекомендации по настройке ПО, ультразвуковой аппаратуры и интерпретации результатов контроля анизотропных соединений.

Ключевые слова. ультразвуковой контроль, сварное соединение, анизотропия, высокопрочная трубная сталь, поправочный коэффициент.

Введение

Обеспечение безопасной эксплуатации магистральных газопроводов остаётся приоритетной задачей нефтегазовой отрасли. В последние годы для строительства трубопроводов всё чаще используются высокопрочные трубные стали класса К70, изготавливаемые методом контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением. Такая технология формирует вытянутую текстуру металла, из-за чего скорость и затухание ультразвуковых волн начинают зависеть от направления прозвучивания относительно оси проката. Стандартные методики ультразвукового контроля сварных соединений разрабатывались для изотропных сталей и не учитывают эту особенность, поэтому при контроле анизотропных труб луч дефектоскопа отклоняется от расчётной траектории, а измеренная глубина и координаты дефекта смещаются относительно истинных значений. Подобная погрешность способна привести либо к пропуску опасной несплошности сварного шва, либо к неоправданной браковке качественного металла, что делает задачу повышения достоверности контроля практически значимой.

Целью работы является исследование влияния анизотропии акустических свойств стали К70 на результаты ультразвукового контроля сварных соединений и разработка способа коррекции возникающих измерительных искажений. В качестве объекта исследования выбраны сварное соединение трубы большого диаметра из стали К70, контролируемые методом секторного сканирования на образцах и в производственных условиях.

Методика коррекции измерений

Для компенсации искажений, вызванных анизотропией, использован настроечный подход: сначала на образце из той же стали с известной глубиной отражателя [1] выполняется секторное сканирование в рабочем диапазоне углов, затем показания прибора сравниваются с истинной глубиной и для каждого угла рассчитывается поправочный коэффициент. При контроле реального сварного соединения измеренная глубина дефекта умножается на коэффициент, соответствующий углу, под которым получен эхосигнал, что даёт скорректированное значение, близкое к истинному.

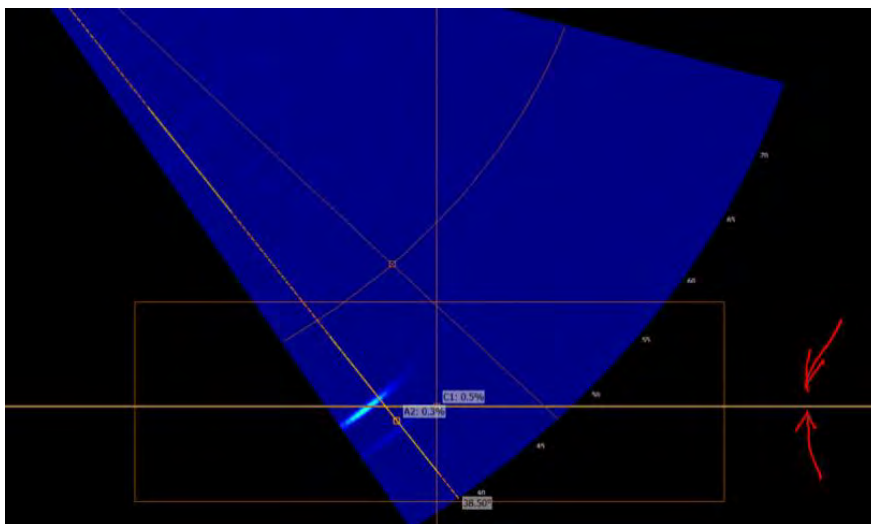


Рис. 1. Пример скана дефекта для изотропного образца (красные стрелки указывают на линию постоянной глубины)

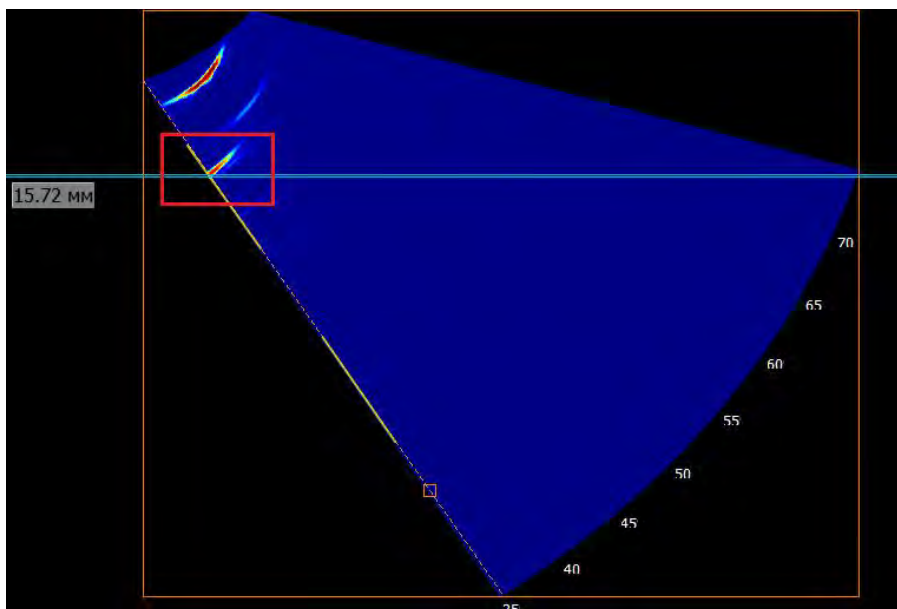


Рис. 2. Пример скана дефекта для анизотропного образца (красные стрелки указывают на линию постоянной глубины)

Измерения выполнялись ультразвуковым дефектоскопом с фазированной решёткой (32 элемента), установленной на наклонную призму. Сканирование

проводилось в диапазоне углов ввода от 35° до 65°, с фиксацией значений каждые 5°, начиная с 35°. Скорость ультразвука определялась однократно на изотропном образце из стали 20 (рис. 1) и в дальнейшем не изменялась, так в эксперименте удалось выявить именно влияние анизотропии (рис. 2), а не погрешность настройки прибора. Корректность настройки прибора проверялась на изотропном образце (рис. 3 и 4): глубина дефекта [2] при изменении угла ввода оставалась стабильной в пределах паспортной погрешности, что подтвердило отсутствие систематических ошибок оборудования.

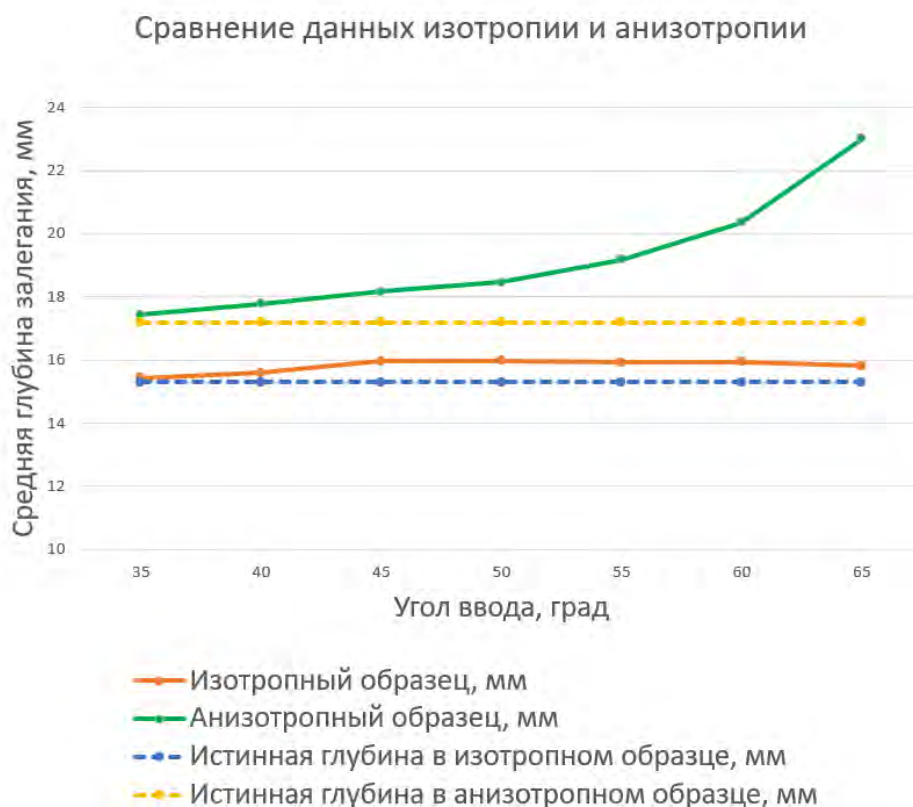


Рис. 3. Данные сравнения экспериментов настроечных образцов

Угол ввода, град	Изотропный образец		Анизотропный образец	
	Среднее , мм	Отклоне ние, %	Среднее , мм	Отклоне ние, %
Истинное значение глубины, мм	15,3		17,2	
35	15,43	0,85	17,44	1,04
40	15,6	1,96	17,78	3,37
45	15,96	4,31	18,17	5,64
50	15,97	4,38	18,46	7,33
55	15,93	4,12	19,18	11,51
60	15,94	4,18	20,36	18,37
65	15,82	3,4	23,01	33,78

Рис.4. Таблица с данными настроечных образцов

Экспериментальные результаты

На анизотропном образце из стали К70 при тех же настройках прибора выявлено систематическое возрастание измеренной глубины дефекта с увеличением угла ввода в отличие от изотропного образца, где отклонения носили случайный характер и не превышали 7%

$$K(\theta) = \frac{H_{\text{ист}}}{H_{\text{изм}}(\theta)}$$

На основе полученных данных рассчитаны поправочные коэффициенты $K(\theta)$ для каждого угла ввода на рисунках 5 и 6.

Истинная глубина залегания дефекта 17,2 мм		
Угол ввода, град	Средняя измеренная глубина, мм	Поправочный коэффициент
35	17,44	0,986
40	17,78	0,967
45	18,17	0,946
50	18,46	0,932
55	19,18	0,897
60	20,36	0,845
65	23,01	0,747

Рис. 5. Расчет поправочного коэффициента

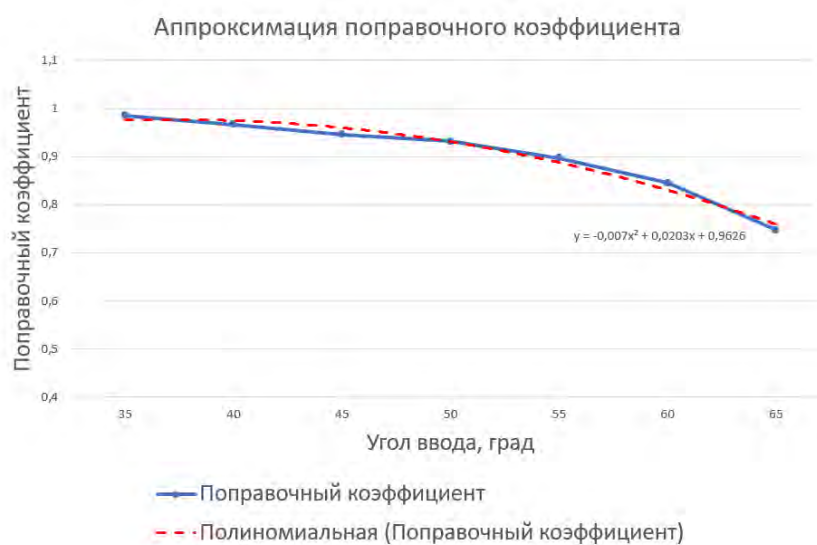


Рис. 6. График поправочного коэффициента и аппроксимации

Применение коэффициентов на реальном сварном соединении трубы большого диаметра из стали К70 позволило существенно снизить расхождение между отображением одного и того же дефекта на прямом и однократно отражённых лучах - как по глубине, так и по смещению (рис. 7).

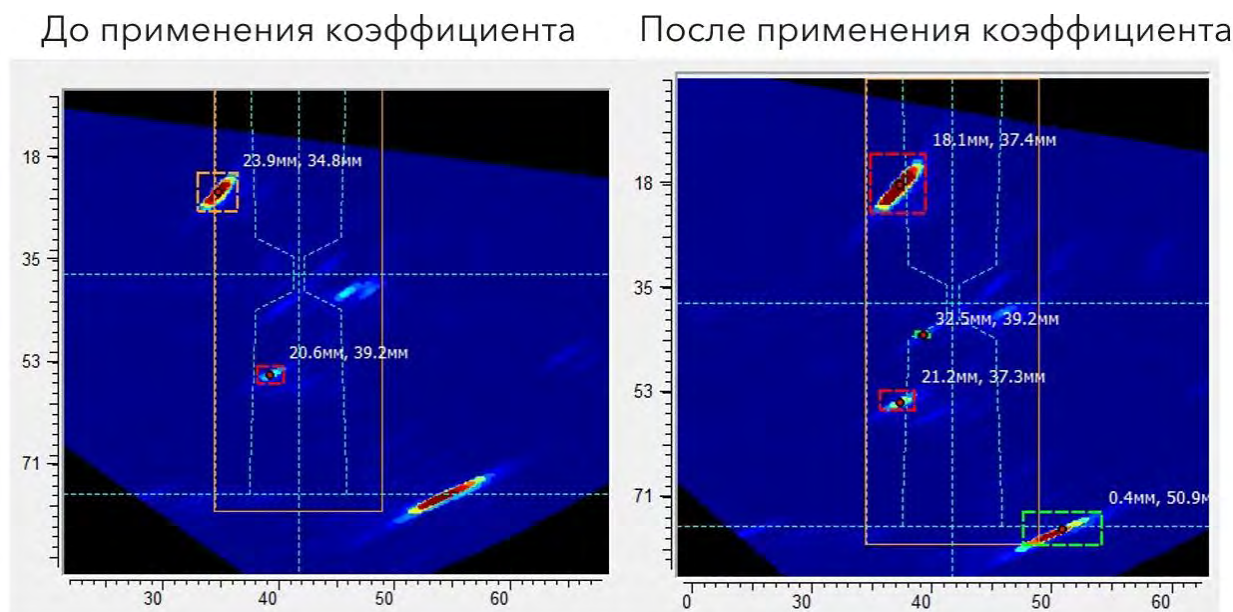


Рис. 7. Скан дефекта в реальном образце до и после применения поправочного коэффициента

Заключение

Результаты проведённого исследования позволили выявить, что анизотропия акустических свойств стали К70 приводит к систематической, а не случайной погрешности измерения глубины дефектов при ультразвуковом контроле сварных соединений, причём величина искажения растёт с увеличением угла ввода луча. Предложенная методика настройки и расчёта поправочных коэффициентов позволяет скомпенсировать искажение без доработки оборудования и применима на любом дефектоскопе с функцией секторного сканирования. Дальнейшие исследования целесообразно направить на проверку устойчивости коэффициентов при изменении марки стали, партии проката и толщины стенки трубы.

Список литературы

- 1 Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. - М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.
- 2 Неразрушающий контроль: Справочник в 8 томах. Том 1: Визуальный и измерительный контроль / Под ред. В. В. Клюева. - М.: Машиностроение, 2003. - 560 с.

Контакты:

MakhotinDD@mpei.ru (Махотин Данила Дмитриевич),
ZotovKonV@mpei.ru (Зотов Константин Владимирович),
LuninVP@mpei.ru (Лунин Валерий Павлович).