

ПРЕПЯТСТВУЮТ ЛИ НЕОДНОРОДНОСТИ ВАЛИКОВ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ КОНТРОЛЮ СВАРНЫХ ШВОВ ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ?

© 2025 г. Л.Ю. Могильнер^{1,2,*}

¹ФГУВО «МГТУ» им. Н.Э. Баумана, Россия 105005 Москва, Бауманская 2-я ул., 5, стр. 1

²Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана», Россия 105005 Москва, Бауманская 2-я ул., 5, стр. 1

E-mail: *mogilner@mail.ru; mogilner@bmstu.ru

Традиционный ультразвуковой контроль качества сварных швов эхометодом часто сталкивается с проблемой выявления сигналов от дефектов на фоне помех от неровностей сварного шва. В статье приведен пример того, как конструктивные особенности сварных швов, которые обычно мешают проведению дефектоскопии, можно использовать для подавления таких помех и разработки высокопроизводительной и достоверной технологии ультразвукового контроля. В данном случае речь идет о сварных стыках труб малого диаметра. Описано решение этой задачи с применением хордовой схемы прозвучивания, дана краткая историческая справка об этом решении и примеры реализации, в том числе — при контроле сварных стыков с неоднородными характеристиками.

Ключевые слова: сварной шов, неоднородности, ультразвуковой контроль, подавление помех, хордовые преобразователи.

DO BEAD ROUGHNESS INTERFERE WITH ULTRASONIC TESTING OF WELDS OF LIMITED THICKNESS?

© 2025 L.Yu. Mogilner^{1,2,*}

¹Bauman Moscow State Technical University, Russia 105005 Moscow, Baumanskaya 2nd street, 5, building 1

²Federal State Autonomous Institution "Scientific and Educational Center «Welding and Testing» of MSTU n.a. Bauman, Russia 105005 Moscow, Baumanskaya 2nd street, 5, building 1

E-mail: *mogilner@mail.ru; mogilner@bmstu.ru

Traditional ultrasonic testing of weld quality using the echo method often faces the problem of detecting signals from defects against the background of interference from weld irregularities. The article provides an example of how design features that usually interfere with flaw detection of welds can be used to suppress such interference and develop a highly productive and reliable ultrasonic testing technology. In this case, we are talking about ultrasonic testing welded joints of small-diameter pipes. The features of solving this problem using a chord sounding scheme are described, a brief historical background of this solution and examples of implementation in testing welded joints are given, including for inhomogeneous materials.

Keywords: welds, roughness, ultrasonic testing, noise, chord type probes.

DOI: 10.31857/S0130308225020067

Когда-то считалось, что сварные швы труб малого диаметра можно контролировать только радиографией. Разработчики многих зарубежных стандартов до сих пор придерживаются такого мнения при контроле труб поверхностей теплообмена в котлах на тепловых электростанциях. Например, речь идет о трубах с номиналом 32×6 мм или 51×2,5 мм (диаметр×толщина стенки) и аналогичных. Однако радиография в данном случае слишком затратна и малопродуктивна.

Применение традиционной ультразвуковой дефектоскопии казалось неэффективным из-за помех, создаваемых поверхностями сварных швов таких труб: шероховатыми валиками, большой кривизной наружной поверхности трубы и малой толщиной ее стенки. Поэтому вопрос в заголовке статьи может показаться риторическим. Ведь хорошо известно, что сигнал от валиков сварного шва — одна из основных помех при ультразвуковом контроле. С одной стороны, опытные дефектоскописты используют эти сигналы, чтобы «чувствовать», что параметры настройки и акустический контакт сохраняют стабильность при сканировании. С другой стороны, такой самоконтроль лучше проводить по слабым шумам из зоны контакта преобразователь—изделие, которые всегда можно видеть на дисплее. Поэтому, устранив сигналы от валиков, можно существенно упростить выявление дефектов шва и тем самым повысить достоверность контроля. Однако как это сделать, если валики шва не удалены? Да еще с учетом того, что при контроле сварных швов малой толщины совмещенным наклонным пьезопреобразователем (ПЭП) к шумам, создаваемых шероховатостью валиков, добавляются отражения от поверхностей основного металла.

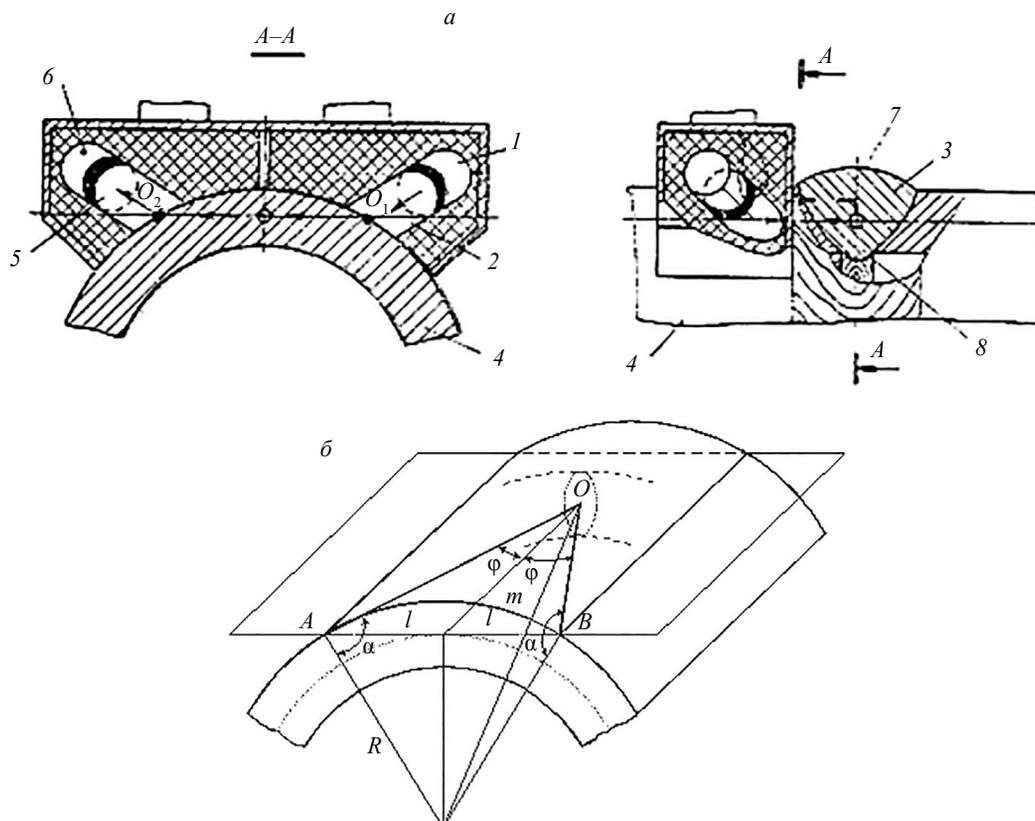


Рис. 1. Хордовая схема прозвучивания сварного шва: выписка из авторского свидетельства № SU491094 (а); расчетная схема (б): 1 — излучатель; 2 — призма излучателя; 3 — сварной шов; 4 — изделие (труба); 5 — призма приемника; б — приемник; 7, 8 — верхний и нижний валики сварного шва.

Задачу можно было бы решить, если ультразвуковой пучок направить так, чтобы он не выходил на неровности валиков и не отражался от поверхностей основного металла. Чаще всего осуществить это на практике не представляется возможным. Но иногда удается. Например, при контроле стыков труб малого диаметра для этого можно использовать кривизну поверхности трубы, которая обычно считается мешающим фактором.

Преобразователи хордового типа, использующие такую возможность, придумали в МГТУ им. Н.Э. Баумана в 70-е годы 20 века Николай Павлович Алешин и Исаак (Александр) Юрьевич Могильнер с коллегами. Идея, зафиксированная в 1973 — 1975 годах авторским свидетельством № SU491094 [1], иллюстрируется на рис. 1 и заключается в следующем. Если правильно подобрать углы призмы и разворот двух наклонных пьезопреобразователей — источника и приемника, то, распространяясь в плоскости АОВ, т.е. в плоскости расположения хорды АВ, лучи не попадают на поверхности сварного шва нигде, кроме как в точках ввода—выхода в основной металл [2]. Должно получиться идеально: ультразвук не рассеивается на неровностях шва и поверхности трубы, соответственно, выявляться должны только сигналы от дефектов в пределах толщины стенки.

Можно ли реализовать такую схему на практике? Да, можно, например, при контроле швов стальных труб диаметром до 325 мм с толщиной стенки до 10 мм.

На рис. 2 приведена фотография хордового преобразователя, изготовленного в 1972 году. Он — из самых первых партий и сохранился так, как показан: со встроенными кабелями, но без разъемов.

В связи с празднованием в ноябре 2024 года юбилея кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (ранее – кафедра сварки, 90 лет) было решено продемонстрировать этот преобразователь в докладе о работах академика РАН Николая Павловича Алешина [3]. Конечно, интересно было узнать, работает ли преобразователь? Ведь ему более 50 лет. Припаяли разъемы, установили ПЭП на образец трубы с плоскостонным отверстием $\varnothing 1$ мм и подключили к дефектоскопу. Работает как новый (рис. 3)!

На дисплее дефектоскопа сигнал, отраженный от отверстия с плоским дном, практически чистый, без помех. Он появляется в узком строб-импульсе длительностью около 3 мкс только при наличии дефектов, расположенных в пределах толщины стенки основного материала трубы.

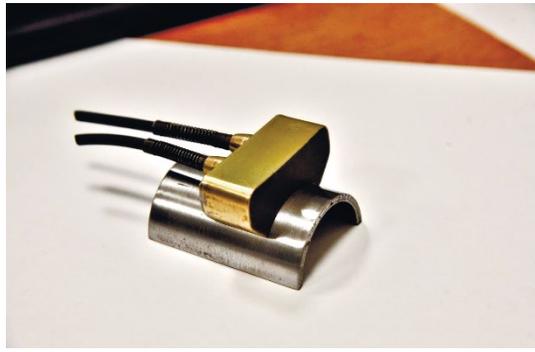


Рис. 2. Хордовый преобразователь для контроля стыков стальных труб $\varnothing 40 \times 4$ мм. Музейный экземпляр.



Рис. 3. Хордовый преобразователь из первых партий 1970-х годов. В красном стробе сигнал от отражателя $\varnothing 1$ мм, в зеленом — от торца образца.

Возможность применения ультразвуковых преобразователей хордового типа неоднократно обсуждалась в разных источниках. Примеры выявляемых дефектов приведены на рис. 4. Сигналы от валиков шва практически не мешают контролю: они возникают только за стробом и имеют малую амплитуду. Для сравнения: хорошо известно, что при контроле стыков толщиной в единицы миллиметров наклонным совмещенным ПЭП сигналы от валиков превышают по амплитуде сигналы от шлаковых включений, пор или от непроваров малой площади.

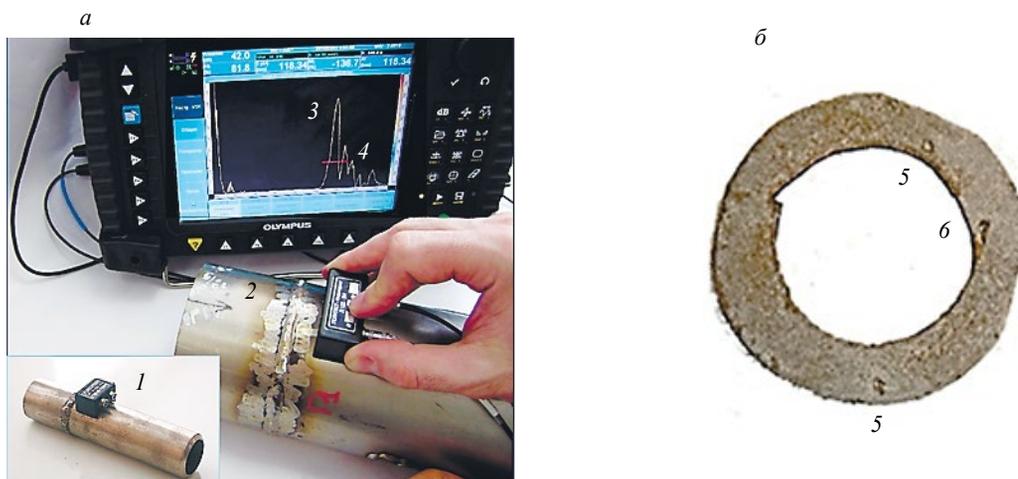


Рис. 4. Хордовые преобразователи для контроля сварных швов стальных труб: выполнение контроля (а); дефекты (б), выявленные в сварном шве труб $\varnothing 26 \times 3$ мм; 1, 2 — стыки труб из углеродистой и аустенитной сталей; 3 — сигнал от дефекта; 4 — сигнал от неровностей сварного шва за строб-импульсом; 5, 6 — поры и непровар в сечении шва.

После многократных апробаций хордовые преобразователи были внесены в несколько нормативных документов, например, для тепловой энергетики — в [4]. Их можно применять для контроля сварных швов труб из углеродистых и аустенитных сталей. Правда, следует иметь в виду, что в последнем случае швы имеют ярко выраженную анизотропию и неоднородность структуры, при которой дендриты в наплавленном металле могут отклонять ультразвуковые лучи в сторону облицовки шва. При этом амплитуда помех от валиков может несколько возрастать. Также возможна неоднородность чувствительности хордовых преобразователей в сечении шва [5]. Однако такая неоднородность связана не столько с особенностями схемы контроля, сколько с качеством сборки ПЭП: в раздельно-совмещенном преобразователе очень важно строго выдерживать взаимную ориентацию источника и приемника в привязке к толщине, диаметру и материалу трубы.

Интересно, что контроль ведется путем перемещения хордового преобразователя только вдоль шва, т.е. без поперечного сканирования. При этом на прозвучивание одного стыка требуется, ориентировочно, 1 — 2 минуты. Конечно, при этом нельзя определить глубину залегания дефекта, поскольку каждое сечение шва контролируется из одного положения ПЭП. Но для труб толщиной в несколько миллиметров это обычно и не требуется.

Более существенно, что при контроле сварных стыков труб, выполненных контактной сваркой, плохо выявляются полупрозрачные для ультразвука вертикально ориентированные дефекты, так называемые матовые пятна [6]. Впрочем, это — общая особенность любых вариантов эхометода ультразвукового контроля.

В целом же хордовые преобразователи оправдали себя [6—8]. Они обеспечивают возможность проведения высокопроизводительного ультразвукового контроля в условиях, при которых ранее он казался неэффективным. Так разработка оригинальной схемы прозвучивания сварного шва позволила использовать его конструктивные особенности для устранения помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алешин Н.П., Могильнер И.Ю., Райхман А.З., Кудряшов Ю.М., Волков А.С., Клишкин Г.П.* А.с. № SU491094. Способ ультразвукового контроля. Опубликовано 1975.11.05. Бюл. № 41 // Открытия. Изобретения. 1975. № 12. С. 62.
2. *Алешин Н.П., Могильнер И.Ю.* Определение оптимальных углов наклона пьезопластин призматических раздельно-совмещенных искателей для контроля сварных стыков труб // Дефектоскопия. 1977. № 3. С. 58—64.
3. *Вопилкин А.Х., Могильнер Л.Ю.* Воспоминания об академике Николае Павловиче Алешине / Сварка и диагностика: Всероссийская научно-техническая конференция имени академика РАН Н.П. Алешина. Москва. 11—13 ноября 2024 года. Сборник тезисов. ФГБОУВО МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. С. 224—228.
4. РД 34.17.302-97 Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды. Сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения (ОП 501 ЦД-97). М.: НПП «Норма», 1997. 138 с.
5. *Ушаков В.М., Михалев В.В., Давыдов Д.М.* О чувствительности дефектоскопа при ультразвуковом контроле хордовыми преобразователями // Дефектоскопия. 2008. № 11. С. 41—46.
6. *Кучук-Яценко С.И., Радько В.П., Казымов Б.И., Зяخور И.В., Никольников А.В.* Выявляемость дефектов при ультразвуковом контроле соединений труб, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением // Автоматическая сварка. 2007. № 1 (645). С. 39—43.
7. *Гиллер Г.А., Могильнер Л.Ю.* Ультразвуковой контроль сварных соединений труб. Новые технологии и оборудование // Дефектоскопия. 2000. № 1. С. 83—87.
8. *Чернов В.С.* Контроль сварных стыков тонкостенных труб: рентген или ультразвук // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 2 (16). С. 32—34.

REFERENCES

1. USSR Patent No. SU491094. Method of Ultrasonic Testing. Aleshin N.P., Isaac Yu. Mogilner, Raikhman A.Z., Kudryashov Yu.M., Volkov A.S., Klimkin G.P. Published 1975.11.05. Bulletin No. 41 // Discoveries. Inventions. 1975. No. 12. P. 62.
2. *Aleshin N.P., Mogilner Isaac Yu.* Determination of optimal tilt angles of piezoelectric plates of prismatic separate-combined detectors for testing welded pipe joints // Defektoskopiya. 1977. No. 3. P. 58—64.
3. *Vopilkin A.Kh., Mogilner L. Yu.* Memories of Academician Nikolai Aleshin / Welding and Diagnostics: Russian Scientific and Technical Conference named after Academician of the Russian Academy of Sciences N.P. Aleshin. Moscow. November 11—13, 2024): abstracts. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2024. P. 224—228.

4. Russian Code RD 34.17.302-97 Steam and Hot Water Boilers. Steam and Hot Water Pipelines. Vessels. Welded Joints. Quality Control. Ultrasonic Testing. Basic Provisions (OP 501 CD-97). Moscow: NPP Norma, 1997. 138 p.

5. *Ushakov V.M., Mikhalev V.V., Davydov D.M.* On the sensitivity of a flaw detector during ultrasonic testing with chord probes // *Defektoskopiya*. 2008. No. 11. P. 41—46.

6. *Kuchuk-Yatsenko S.I., Radko V.P., Kazymov B.I., Zyakhov I.V., Nikolnikov A.V.* Detectability of defects during ultrasonic testing of pipe joints made by contact butt welding // *Automatic welding*. 2007. No. 1 (645). P. 39—43.

7. *Giller G.A., Mogilner L.Yu.* Ultrasonic testing of welded pipe joints. New technologies and equipment // *Defektoskopiya*. 2000. No. 1. P. 83—87.

8. *Chernov V.S.* Welded joints of thin-walled pipes inspection: X-ray or ultrasound // *In the world of non-destructive testing*. 2002. No. 2 (16). P. 32—34.
