У ИСТОКОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБ В ПОТОЧНЫХ ЛИНИЯХ ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ СТАНОВ

БОБРОВ Владимир Тимофеевич
Д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, ведущий научный сотрудник ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва

В 60-е гг. XX столетия, в период образования СКБ УЗД и Всесоюзного научно-исследовательского института по разработке неразрушающих методов и средств контроля качества материалов (ВНИИНК) я уже работал инженером радиолаборатории при заводе «Электроточприбор» в Кишиневе. Это было время, когда руководство промышленностью было передано Совнархозам, поэтому тематика деятельности наших организаций определялась директивно, и нам не приходилось искать заказчиков, а общее направление было определено — ультразвуковая дефектоскопия.

Поскольку это были годы интенсивного развития таких важнейших отраслей народного хозяйства СССР, как нефтедобыча и нефтепереработка, добыча и транспортировка газа, энергомашиностроение, станкостроение, авиация, атомная энергетика и т.д., потребовалось ускорение развития трубной промышленности. Опыт применения электросварных труб в ответственных системах и сооружениях свидетельствовал о возможности замены дорогостоящих бесшовных труб электросварными во многих случаях. В связи с этим производство электросварных труб осуществлялось на трубоэлектросварочных станах, представляющих собой высокопроизводительные технологические линии. В их составе большое количество различной аппаратуры, нарушение режимов работы которой и всевозможные отклонения в технологическом процессе сварки труб приводит к появлению дефектов сварного шва, снижению качества шва труб и эффективности работы трубоэлектросварочных станов.

Необходимость своевременного обнаружения отклонений в режиме сварки и предупреждения массового брака по дефектам сварного шва выдвинула на первый план проблему автоматического контроля качества сварных швов труб и оперативного контроля технологического процесса сварки труб. Исследования и разработки СКБ УЗД и ВНИИНК были связаны с государственными комплексными целевыми научно-техническими программами и программами по решению важнейших научно-технических проблем металлургии, машиностроения и приборостроения и выполнялись в соответствии с постановлениями ЦК КПСС, Совмина СССР и ГКНТ СССР, координационными планами АН СССР по проблемам «Ультразвук», «Неразрушающие физические методы контроля» и единым планом МНТК «ИЭС им. Е. О. Патона».

Работы по созданию установок для ультразвуковой дефектоскопии сварных швов труб для вновь построенных трубоэлектросварочных станов и цехов новомосковского металлургического, московского и северского трубного заводов выполнялись на основании соответствующих постановлений Совета министров СССР и ЦК КПСС. Разработка и производственные испытания установок ДУК-15ЦЛАМ (рис. 1), УТК-СТ-1 и «АИСТ-1» проводились с участием коллективов лабораторий и конструкторских бюро ВНИИНК, ЦЛАМ Укрглавтрубостали и заводов. В связи с боль-

Рис. 1. Электронная стойка установки ДУК-15 ЦЛАМ

Рис. 2. Механизм слежения установки ДУК-15 ЦЛАМ в линии ТЭС

шим диапазоном толщин стенок труб установка ДУК-15ЦЛАМ обеспечивала контроль тонкостенных труб (до 4 мм) волнами Лэмба, а с увеличением толщины стенок контроль ведется сдвиговыми волнами. Установки УТК-СТ-1 и «АИСТ-1» работают с применением волн Лэмба.

Задание по созданию установки для автоматизированного ультразвукового контроля качества сварных швов в поточной линии трубоэлектросварочного стана 159–529 для строящегося цеха Новомосковского трубного завода (г. Новомосковск, Днепропетровская область) было получено от генерального подрядчика по проектированию и строительству стана Электростальского завода тяжелого машиностроения (ЭЗТМ, г. Электросталь, Московская область). Специалистов, хотя бы отдаленно имевших представление о путях решения этой проблемы, в нашей организации не было, руководить этой разработкой поручили автору этих воспоминаний.

Ознакомившись с информацией о зарубежных и отечественных разработках, было принято решение о посещении Центральной лаборатории автоматизации и механизации (ЦЛАМ) Укрглавтрубостали (г. Днепропетровск), где под руководством А. В. Малинки была разработана и внедрена в линии трубоэлектросварочного стана 51–152 трубопрокатного завода им. В. И. Ленина автоматическая ультразвуковая установка ДСТ-5М. В результате ознакомления с этой разработкой и обсуждения проблемы создания установки для стана 159–529 была достигнута договоренность о содружестве и состоялась передача технических решений.

В разработке аппаратуры и механической части установки ДУК-15ЦЛАМ (рис. 1, 2) принимали активное участие специалисты СКБ УЗД и ВНИИНК инженеры Ю. А. Дружаев, В. И. Журавель, В. И. Минаков, А. А. Чернобельский и др. Электронная стойка представляла собой двухканальное устройство на электронных лампах. Механизм слежения состоял из криволинейной прямоугольного сечения направляющей с беговыми дорожками. По ней перемещался ползун в пределах ±30°, одна сторона которого выполнена в виде направляющих, несущих кронштейн с установленным на нем пневмоцилиндром. На штоке пневмоцилиндра закреплена каретка с искательными головками (ультразвуковыми преобразователями). Каретка обеспечивает точную ориентацию искателей относительно трубы и друг относительно друга. Акустический контакт осуществляется через струю воды, подаваемой через штуцер и щель в корпусе.

В 1965 г. были проведены исследования по отработке методики и выбору режимов контроля на трубах диаметром 273 и 325 мм с толщиной стенки 7 — 8 мм, сваренных радиочастотной сваркой, решены

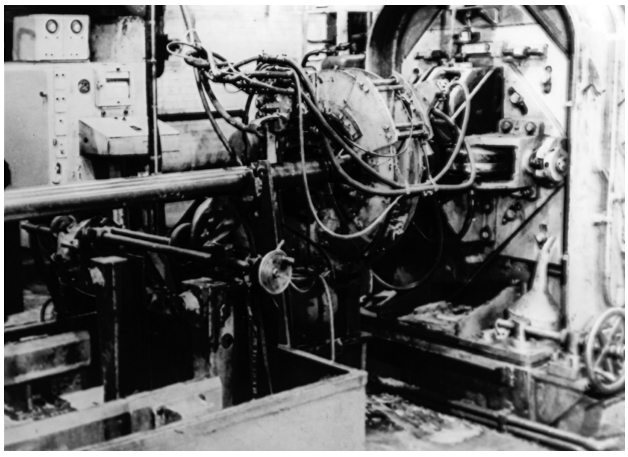

Рис. 3. Общий вид установки УТК-СТ-1 в поточной линии трубосварочного стана 20–102 Северского трубного завода

вопросы эталонирования. В результате магнитографического и металлографического исследований, а также ультразвукового контроля ручным дефектоскопом партии из 117 образцов, забракованных установкой, и 106 годных было установлено, что на забракованных 80 образцах после поломки и изломов визуально наблюдались непровары и несплошности по неметаллическим включениям и расслоениям в зоне термического влияния. На девяти забракованных образцах после поломки дефекты не обнаружены. На основании исследований в мае 1966 г. установка ДУК-15ЦЛАМ была внедрена как прибор технологического контроля, она обеспечивала контроль сварных швов труб в поточной линии стана со скоростью до 1 м/с.

В целях выяснения возможности замены гидроиспытаний труб ультразвуковым контролем с помощью установки ДУК-15ЦЛАМ в 1967 — 1968 гг. были проведены сравнительные испытания труб, при этом было проконтролировано 41 770 труб, годными были признаны 75%, забракованы 25%. Выявленные дефекты различного типа подтвердили, что все трубы с непроварами или разорванные при гидроиспытаниях имеют отметку дефектоскопа. В связи с занятостью специалистов ВНИИНК разработкой следующих установок все дальнейшие исследования и работы по совершенствованию методики контроля установкой ДУК-15ЦЛАМ приняла на себя ЦЛАМ в составе А. В. Малинки, Б. В. Костюкова и др. Опыт проектирования установки ДУК-15ЦЛАМ и большой статистический материал, полученный в результате ее внедрения и эксплуатации в качестве прибора технологического контроля режима сварки, послужили основанием при разработке последующих моделей установок УТК-СТ-1 и «АИСТ-1».

В условиях поточного производства электросварных труб, когда скорость сварки с применением высокочастотного нагрева достигает 80 — 100 м/мин, представляет большой интерес не только выходной (отбраковочный) контроль сварного шва, но и технологический контроль режима сварки. Во ВНИИНК была разработана и изготовлена установка УТК-СТ-1, предназначенная для ультразвукового технологического контроля продольных сварных швов труб в потоке, выдачи сигнала для ручного управления режимом сварки, отметки дефектных участков и автоматической сортировки труб. В основу работы положена четырехщуповая схема акустического тракта с применением эхотеневого импульсного метода контроля, благодаря которому обеспечивается выявление дефектов различной ориентации и полный самоконтроль акустического и приемно-передающего тракта электронной части установки. Акустический контакт между искательными головками и поверхностью трубы обеспечивается за счет подачи струй воды из бака-отстойника, а поверхность трубы очищается специальным устройством. Симметричное положение искательных головок относительно сварного шва поддерживается системой автоматического слежения за швом, слежение осуществляется по «шумам», представляющим собой отраженные сигналы от грата и неоднородных структурных зон. Электронная схема установки выполнена на транзисторах.

Установка смонтирована в поточной линии трубосварочного стана 20–102 Северского трубного завода (г. Полевской, Свердловская область) между калибровочным станом и трубоотрезным станком, на пульте сварщика размещены выносной самописец и табло с индикаторными лампочками (рис. 3). В 1967 г. установка УТК-СТ-1 прошла испытания в производственных условиях. Она выявляла дефекты типа частичного и полного непровара, смещения кромок и трещины. При этом браковались также трубы с дефектами основного металла по расслоениям и неметаллическим включениям и с дефектами структуры сварного шва. Поверхностные раковины и дефекты холодной сварки (слипания), вскрывающиеся в дальнейшем при операции правки труб, установкой не выявлялись.

Установка четко сигнализировала о нарушениях режима сварки, на диаграммной ленте самописца (рис. 4) фиксировались некачественно сваренные концы рулонов (область 24–1) и протяженные непровары (область 6 + 8 шкалы диаграммы). Применение блока статистической оценки качества сварки упростило оператору расшифровку показаний дефектоскопа, однако отыскание причин отклонения режима сварки от оптимального и принятие решения о корректировке того или иного параметра обеспечивал сварщик. По результатам испытаний

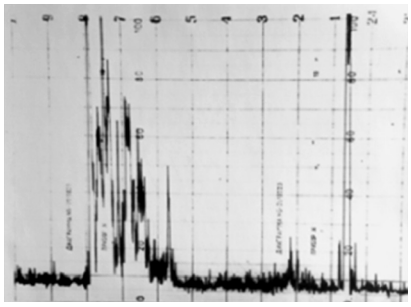

Рис. 4. Характерная запись режима сварки

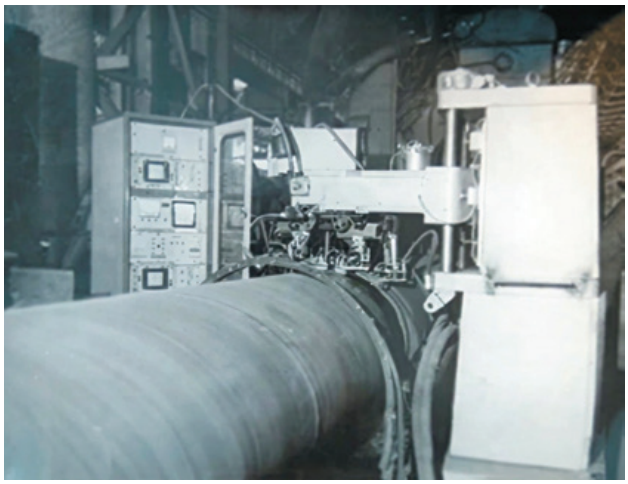

Рис. 5. Установка ДУК-70 в линии стана завода спирально-шовных труб в г. Септември, Болгария

установка была принята заводом для внедрения в качестве прибора технологического контроля режима сварки.

В 1968 г. начальником цеха по производству электросварных труб в поточной линии стана 20–102 на Северском трубном заводе был Николай Александрович Богатов. Там автору пришлось столкнуться с проблемой низкого качества сварки труб и в острых спорах с заводскими технологами выяснять ее причину.

В рамках экспортного заказа совместно с ЭЗТМ специалистами ВНИИНК в 1974–1975 гг. были разработаны и поставлены металлургическим заводам Румынии (г. Яссы) и Болгарии (г. Септември) установки «АИСТ-2» и ДУК-70 (рис. 5) для автоматизированного ультразвукового контроля сварных швов труб в потоке трубоэлектросварочных станов [1]. Установки УД-82УА, ДУК-70М и другие длительное время изготавливались заводом «Электроточприбор» ПО «Волна» (г. Кишинев), всего выпущено более 140 установок, которые были внедрены на российских заводах — Челябинском трубопрокатном, Выксунском металлургическом, Волжском трубном, на украинских — Новомосковском и Харцызском трубных и др. Более 15 лет использовалась на Новомосковском трубном заводе (Украина) разработанная совместно с ЦЛАМ Укрглавтрубостали (канд. техн. наук А. В. Малинка, Б. В. Костюков и др.) установка ДУК-15 ЦЛАМ для технологического контроля сварки труб в поточной линии трубоэлектросварочного стана 159–529.

На Московском трубном заводе установка ультразвукового технологического контроля режима сварки «АИСТ-1» в линии стана 19–102 обеспечивала контроль при температуре сварного шва 900 — 1000 °С.

По итогам работы в очередной пятилетке за успехи в труде и научные достижения Владимир Тимофеевич Бобров в 1971 г. был награжден орденом Трудового Красного Знамени. В число лауреатов 1971 г. за разработку и внедрение машин, механизмов и приборов для автоматизации и интенсификации трубного производства вошел канд. техн. наук Анатолий Васильевич Малинка.

Одним из узких мест оказалось качество исходного проката, в связи с чем при ультразвуковом контроле качества сварного шва с применением автоматизированных систем разработки западногерманской фирмы «Крауткремер» (ФРГ) имели место перебраковка труб и пропуски дефектов.

К анализу сложившейся ситуации были привлечены специалисты ВНИИНК Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР (г. Кишинев), Всесоюзного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института трубной промышленности (ВНИТИ) Министерства черной металлургии СССР (г. Днепропетровск) и ЦЛАМ Днепропетровского трубопрокатного завода им. В. И. Ленина. В результате тщательной проработки вопроса, многочисленных обсуждений и жарких споров с представителями завода, анализа шлифов вырезанных образцов с дефектами было подтверждено наличие в сварных швах неметаллических включений. Руководством Волжского трубного завода (ВТЗ) в 1972 г. было принято решение направить группу специалистов для обмена опытом на родственные предприятия в Венгрию и Польшу. Группу возглавил тогда главный инженер ВТЗ канд. техн. наук Николай Александрович Богатов. В группу вошли зав. лабораторией НК ВТЗ инженер Виктор Андреевич Щипанов, зав. отделом ВНИИНК канд. техн. наук Владимир Тимофеевич Бобров, зав. отделами ВНИТИ кандидаты техн. наук Захар Осипович Княжинский и Александр Тимофеевич Николаенко и начальник отдела НК ЦЛАМ канд. техн. наук Анатолий Васильевич Малинка.

В феврале 1972 г. группа специалистов выехала поездом из Москвы в Венгрию, г. Дунауйварош (Dunaújváros) на завод «Дунауйвашмю» (рис. 6). И во время официальных бесед, и при посещении цехов и лабораторий завода мы чувствовали добро-

Рис. 6. Делегация специалистов СССР на заводе Дунауйвашмю, г. Дунауйварош, ВНР

Рис. 7. Беседа группы советских специалистов во главе с инженером Н. А. Богатовым (ВТЗ) с польскими коллегами с завода «Гута Феррум» (фото опубликовано в газете Dunaújváros HiRlap, 1972. Febr. 22)

желательное, дружеское отношение венгерских товарищей. Нам показали в работе аналогичные станы по сварке труб большого диаметра, установки для ультразвукового контроля сварных швов труб, разработанные специалистами завода под руководством инженера Йожефа Тара. Мы убедились, что наши венгерские друзья сталкиваются с теми же проблемами, что и волжане. А причина заключалась в том, что исходный прокат, использующийся в производстве сварных труб, содержит значительное количество неметаллических включений, которые при сварке не растворяются в расплавленном металле, а остаются в виде инородных включений, отражающих ультразвук. Это приводит к браковке сваренной трубы, хотя не влияет на ее прочностные свойства. А попытка устранения сигналов от включений путем снижения чувствительности аппаратуры, напротив, приводит к пропуску дефектов. С единым мнением специалистов по неразрушающему контролю о причинах неоднозначных результатов контроля были вынуждены согласиться и технологи ВТЗ.

В соответствии с программой обмена опытом делегация из Венгрии отбыла поездом в Польшу, на завод «Гута Феррум», г. Катовице, где мы общались с руководством завода и польскими специалистами (рис. 7).

Как на ВТЗ и «Дунауйвашмю», специалисты «Гута Феррум» столкнулись с аналогичными проблемами: перебраковка из-за низкого качества исходного проката составляла значительную долю забракованных труб [2]. Плюс ко всему из-за высокой температуры околошовной зоны часто выходили из строя пьезоэлектрические преобразователи той же западногерманской фирмы, которая поставила аппаратуру на ВТЗ. Представители фирмы не принимали претензий.

Возвращались в Москву мы через Варшаву. Как мне помнится, я первым вошел в вагон и остановился... В коридоре стоял Константин Симонов. Проходя мимо него к своему купе, я поклоном поприветствовал знаменитого писателя, он же доброжелательно подал мне руку, как старому знакомому, и, улыбнувшись, поздоровался. Вслед за мной поднялись мои спутники, с которыми он также приветливо поздоровался. Для моего поколения Константин Симонов был и остается символом патриотизма, образцом мужества и личной отваги, властителем дум и образцом для подражания. Неожиданная встреча с ним, как подарок судьбы, осталась в памяти навсегда.

По результатам поездки были сформулированы более жесткие требования к поставщикам исходного листового проката, а также было принято решение о создании отечественного оборудования ультразвукового контроля сварного шва труб, которое было разработано во ВНИИНКе под руководством автора воспоминаний и в течение ряда лет выпускалось серийно (всего было поставлено металлургическим заводам около 150 установок).

25 августа 1965 г. Верховный Совет СССР издал распоряжение № 141р «О строительстве комплекса трубоэлектросварочного цеха для выпуска газопроводных труб диаметром 530 — 1420 мм в г. Волжском». Решение было продиктовано возрастающей потребностью страны в трубах большого диаметра, резко наращивался объем добычи нефти и газа. Причина заключалась в том, что в 1961 г. ФРГ ввела эмбарго на поставку в СССР труб большого диаметра. Строительство трубного завода — это целая эпоха в истории города Волжского, которая стала судьбоносной для тысяч волжан и их семей. В начале 70-х гг. прошлого столетия на Волжском трубном заводе осваивалось производство спиральношовных труб большого диаметра, предназначавшихся для строительства газопроводов. Поставку

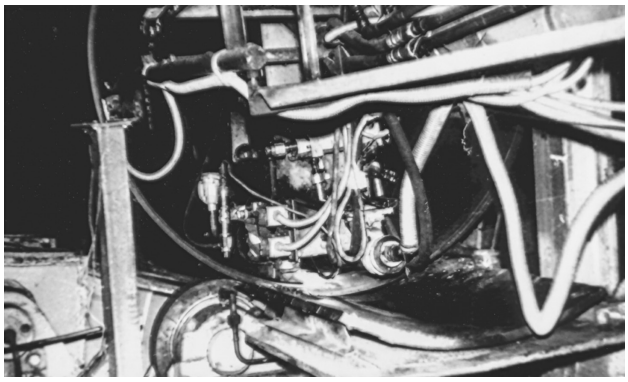

Рис. 8. Механизм ориентации ЭМАП в потоке производства многослойных сварных труб ВМЗ

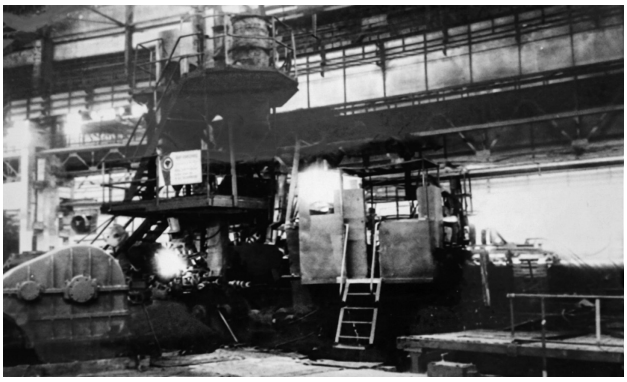

Рис. 9. Установка ДУК-70М в линии стана спиральношовных труб ВТЗ, г. Волжский, Волгоградская область

оборудования для завода обеспечили специалисты из Чехословакии.

Совместно с НПО «ВНИИАвтоматпром» (г. Рустави, Грузия) и ПО «Электростальтяжмашзавод» была разработана подсистема акустической дефектоскопии (АД) качества продукции АСУТП ТЭСА-1420М ВМЗ. В состав подсистемы АД входит установка внутреннего нахлесточного шва обечаек УД-78БМ (рис. 8, 9). Установка состоит из: электронно-акустической части, электромагнитно-акустических преобразователей, средств механизации и локальной автоматизации, обеспечивающих транспортировку, загрузку и ориентацию обечаек и управление акустического блока, и информационно-измерительной системы на базе микроЭВМ. В 1983 г. установка была внедрена в четырех линиях производства электросварных труб ТЭСА-1420 ВМЗ.

В процессе опытной эксплуатации и промышленного контроля были проведены испытания установки на достоверность контроля в сравнении с ручным дефектоскопом с ПЭП, средствами магнитографического и рентгентелевизионного контроля на 49 тыс. обечаек, показавшие, что АД обеспечивает в 5 — 10 раз более высокую выявляемость дефектов сварного шва типа непроваров и трещин. Металлографический анализ подтвердил, что характерные дефекты сварки — непровары, горячие трещины, поры выявляются с помощью установок достаточно надежно. В процессе исследований в линии ТЭСА наиболее эффективно нарушения технологического процесса сварки обнаруживались по данным автоматизированного контроля средствами АД.

Технические решения, реализованные в установке УД-78БМ, защищены авторскими свидетельствами СССР [3 — 5] и патентами США, Великобритании, Франции, ФРГ и Японии.

К сожалению, пришлось отказаться от способа производства многослойных труб, несмотря на высокую оценку качества АД и аппаратуры НК и усилия технологов и авторов способа их производства,

Библиографический список

1. **Бобров В. Т.** Автоматическая дефектоскопия сварных швов труб // Автоматическая сварка. 1967. № 8. С. 62 — 65.
2. **Бобров В. Т.** Исследование вопросов ультразвуковой дефектоскопии электросварных труб волнами Лэмба и разработка средств контроля режима сварки: дис. ... канд. техн. наук. (05.206) / ЦНИИТМАШ. М., 1970. 29 с.
3. **А.с. СССР № 177098.** 42k, 46/06. G 01b. Устройство для автоматической сортировки однотипных деталей по размерам / Ю. А. Дружаев, В. Т. Бобров и А. И. Березин. Заявл. 18.05.1964; опубл. 01.12.1965, Бюл. № 24.
4. **А.с. СССР № 198777.** Кл. 42k, 46/06. Каретка к ультразвуковому дефектоскопу / В. Т. Бобров, Ю. А. Дружаев, А. А. Чернобельский. Заявл. 24.05.1965; опубл. 28.06.1967, Бюл. № 14.
5. **А.с. СССР № 216355.** G 01n. Устройство для ультразвукового контроля сварных швов труб / В. Т. Бобров, С. С. Железнов, Л. В. Казаков. Заявл. 31.03.1966; опубл. 11.04.1968, Бюл. № 14.