

УДК 658.562.6

Н.П. Аleshин<sup>1</sup>, М.В. Григорьев<sup>1</sup>, Д.М. Козлов<sup>1</sup>, Н.В. Крысько<sup>1</sup>, А.Л. Попович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Москва, Россия).

## Неразрушающий контроль качества сварных соединений трубопроводов, выполненных контактной сваркой оплавлением

В данной статье приведены сведения о возможностях технологии и оборудования для стыковой контактной сварки оплавлением, применяемой при сооружении магистральных трубопроводов, характерных для этой сварки типов дефектов, выявление которых должно обеспечиваться средствами неразрушающего контроля. Предложено с учетом потенциальной опасности классифицировать все типы дефектов на две группы: плоскостные и объемно-плоскостные. Плоскостные дефекты характеризуются локальным изменением структуры и химического состава металла сварного соединения, в том числе вызванных наличием тонких оксидных пленок при сохранении конструкционной целостности металла шва во внутренней области дефекта. Объемно-плоскостные дефекты характеризуются нарушением конструкционной целостности металла сварного шва во внутренней области дефекта как выходящие и не выходящие на поверхность. Для выявления этих дефектов и идентификации их параметров представлен комплекс «АВТОКОН-АР», обеспечивающий проведение автоматизированного ультразвукового контроля стыковых сварных соединений, выполненных контактной сваркой оплавлением. Данный комплекс оснащен ультразвуковыми преобразователями на фазированных решетках и реализует эхо-импульсный и дифракционный амплитудно-временной методы ультразвукового контроля. Дифракционный амплитудно-временной метод основан на регистрации дифракционных сигналов от концов дефектов на разных углах ввода и определении типа дефекта (плоскостной или объемно-плоскостной) по амплитуде принятого сигнала. Приведены результаты квалификационных испытаний вышеуказанного комплекса в ПАО «Газпром» для двух контрольных сварных соединений, одно из которых было выполнено с нарушением термообработки, а другое – с отклонением режимов сварки (величина осадки и конечная скорость оплавления были меньше допустимых). Приведены примеры микрошлифов плоскостных и объемно-плоскостных дефектов и их индикации в интерфейсе комплекса. По результатам проведенных исследований предложены нормы оценки качества сварных соединений, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением для автоматизированного ультразвукового контроля.

**Ключевые слова:** контактная стыковая сварка оплавлением, дефекты, автоматизированный ультразвуковой контроль, фазированные решетки, оценка качества, технология контроля.

.....

*N.P. Aleshin<sup>1</sup>, M.V. Grigoryev<sup>1</sup>, D.M. Kozlov<sup>1</sup>, N.V. Krysko<sup>1</sup>, A.L. Popovich<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Welding and Control Research and Training Center Federal State Autonomous Institution at Bauman MSTU (Moscow, Russia).

## Non-destructive testing of pipelines welded joints made by flash butt welding

This article provides information about the possibilities of technology and equipment for flash butt welding used during the main pipelines construction typical for this type of welding defects, their identification must be ensured by means of non-destructive testing. It is proposed in view of the potential hazard to classify all types of defects in two groups: plane and space-flat. Plane defects are characterized by a local change in weld metal structure and chemical composition, including those caused by the presence of thin oxide films while maintaining the structural integrity of the seam metal in the inner area of the defect. Space-plane defects are characterized with the weld metal structural integrity breach in the inner area of the defect as breaking surface as not. To detect these defects and identify their parameters the AVTOKON-AP complex is presented that performs automated ultrasonic testing of butt-welded joints made by flash butt welding. This complex is equipped with ultrasonic transducers phased array and implements pulse echo and diffraction amplitude-time ultrasonic inspection methods. Diffraction amplitude-time method is based on recording the diffraction signals from all defects at the different input angles and the type of defect determination (plane or space- plane) by the amplitude of

the received signal. The results of the qualification tests of above mentioned complex in Gazprom PJSC are represented for two test weld joints, one of them has been made in violation of the heat treatment, and the other – with a deviation of welding modes (the value of collapse and the final velocity is less than the allowable ones). Examples of plane and space-plane defects micro sections and their display in the complex interface are represented. Under the results of the studies the norms of welded joints quality assessment made by contact butt-welding for automated ultrasonic testing were proposed.

**Keywords:** flash butt-welding, defects, automated ultrasonic testing, phased array, quality assessment, test procedure.

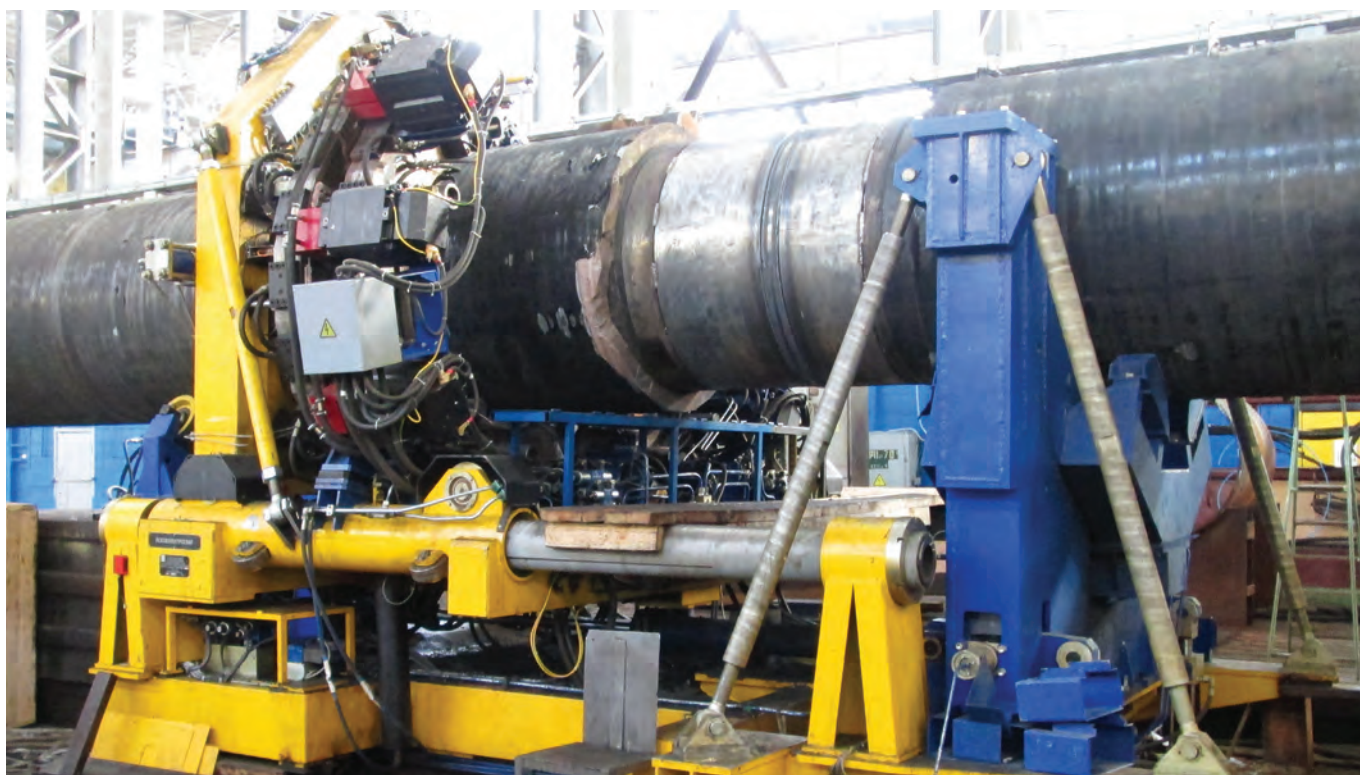


Рис. 1. Общий вид оборудования для КСО  
Fig. 1. Equipment general layout CSR

Контактная сварка оплавлением (КСО), широко применяемая в 1980–1990 гг., сегодня может служить примером инновационной технологии, позволяющей существенно повысить производительность труда при проведении сварочно-монтажных работ в процессе сооружения газопроводов, снизить их стоимость, а также сократить потребление сварочных материалов, поставляемых, как правило, из-за рубежа. Благодаря работам ряда промышленных предприятий (ЗАО «Псковэлектросвар», ЗАО «Ультракraft»), научных

организаций (ОАО «Газпром ВНИИГАЗ», ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана»), строительных организаций (ОАО «Межрегионтрубопроводстрой», ЗАО «ЮгСтройМонтаж») в настоящее время применяемые ранее технологии и оборудование существенно усовершенствованы за счет внедрения современных средств управления.

С помощью КСО решена в т.ч. проблема соединения высокопрочных труб, использование которых предусмотрено в проектах «Сила Сибири», «Северный

поток – 2» и др. Сегодня вышеуказанные промышленные предприятия готовы обеспечить выпуск необходимого количества оборудования для КСО (рис. 1) трубопроводов большого диаметра. Вид сварного соединения, получаемого КСО, представлен на рисунке 2.

#### **ХАРАКТЕРНЫМИ ДЕФЕКТАМИ ДЛЯ КСО ЯВЛЯЮТСЯ [1]:**

- дефекты в виде макронесплошностей, включающие в себя горячие трещины, разрывы, расслоения, раковины и рыхлоты;

Ссылка для цитирования (for references):

Алешин Н.П., Григорьев М.В., Козлов Д.М., Крысько Н.В., Попович А.Л. Неразрушающий контроль качества сварных соединений трубопроводов, выполненных контактной сваркой оплавлением // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 11. С. 44–48.  
Aleshin N.P., Grigoryev M.V., Kozlov D.M., Krysko N.V., Popovich A.L. Non-destructive testing of pipelines welded joints made by flash butt welding (In Russ.). *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 11. P. 44–48.



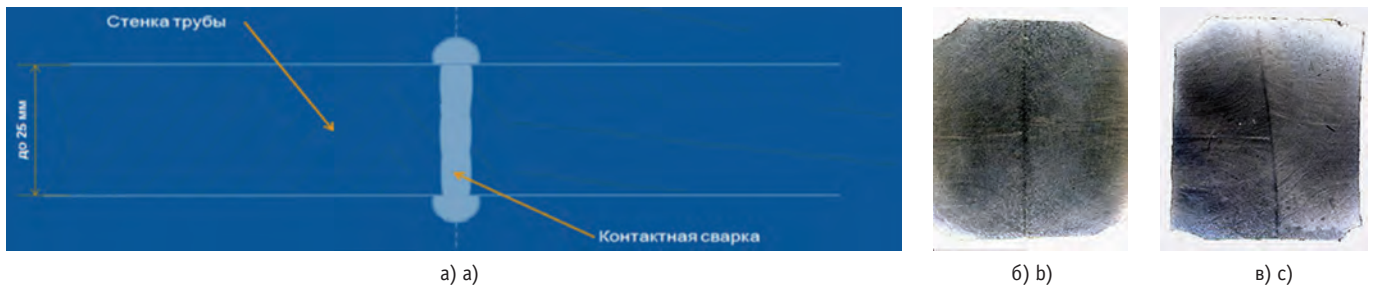


Рис. 2. Сварное соединение, выполненное КСО: а) схема соединения; б) и в) макрошлифы, содержащие зону сплавления без смещения кромок (б), со смещением кромок (в)

Fig. 2. Welded joints made by CSR: a) connection diagram; b) and c) macro sections containing fusion are without joint displacement (b), with joint displacement (c)

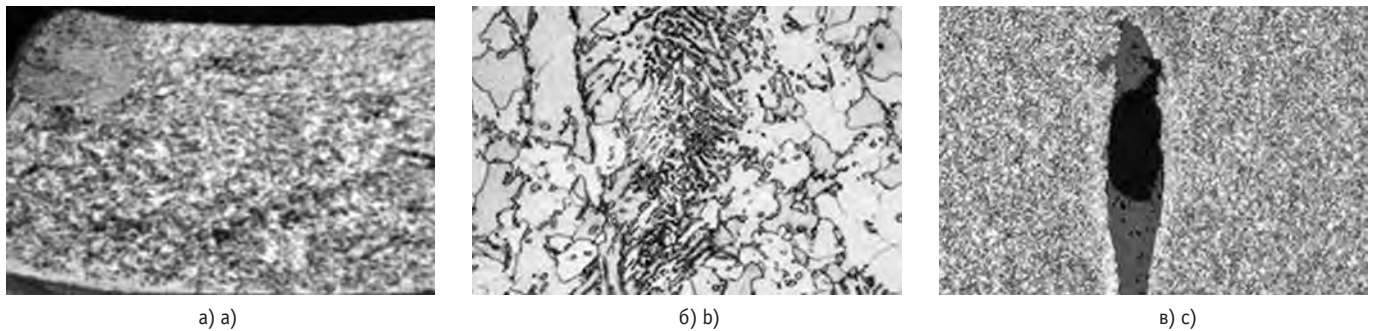


Рис. 3. Дефекты КСО. Плоскостные: скопления неметаллических включений (а), матовое пятно (б). Объемно-плоскостное: несплавление (в)

Fig. 3. Defects CSR. Plane: accumulation of non-metallic inclusions (a), matt spot (b). Space-plane: Lack of fusion (c)

• дефекты монолитной структуры, включающие в себя несплавления, слипания и матовые пятна. Все данные дефекты, как правило, создаются оксидными пленками.

Указанные типы дефектов предложено разделять на две группы: плоскостные и объемно-плоскостные. Плоскостные дефекты характеризуются локальным изменением структуры и химического состава металла сварного соединения, в том числе вызванных наличием тонких оксидных пленок при сохранении конструкционной целостности металла шва во внутренней области дефекта (рис. 3а, 3б). К ним относятся скопления неметаллических включений и матовые пятна.

Объемно-плоскостные дефекты характеризуются нарушением конструкционной целостности металла сварного шва во внутренней области дефекта как выходящего, так и не выходящего на поверхность (рис. 3в). Значительный вклад в обеспечение высоких требований, предъявляемых к качеству сварных соединений, выполненных КСО, вносят технологии и средства неразрушающего контроля, позволяющие своевременно диагностировать возможные плоскостные и



Рис. 4. Комплекс для автоматизированного ультразвукового контроля стыковых сварных соединений КСО

Fig. 4. The complex for automated ultrasonic testing of butt welded joints CSR

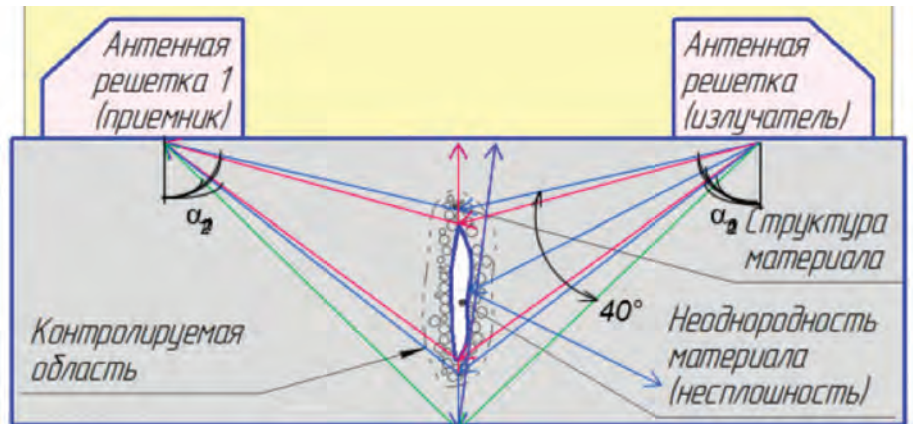


Рис. 5. Схема контроля дифракционным амплитудно-временным методом

Fig. 5. Monitoring diagram for the diffraction amplitude-time method

объемно-плоскостные дефекты в материале сварного шва при сооружении газопроводов.

Созданию технологий и средств для неразрушающего контроля сварных соединений КСО большое внимание уделяется во ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана». Центром совместно с ЗАО «Ультракraft» создан комплекс «АВТОКОН-АР» для автоматизированного ультразвукового контроля стыковых сварных соединений КСО (рис. 4).

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ДАННОГО ПРИБОРА ЯВЛЯЮТСЯ:

- полная автономность работы системы;
- возможность проводить контроль, используя различные методы: эхо-импульсный, реализованный на базе фазированных антенных решеток и дифракционный амплитудно-временной на базе фазированных антенных решеток;
- автоматическое отслеживание уровня акустического контакта с изделием;
- автоматическое отслеживание и контроль заданного положения акустической системы относительно сварного шва;
- управление сканером-дефектоскопом и передача информации на внешний персональный компьютер может осуществляться как по Wi-Fi, так и по Ethernet.

Следует обратить внимание, что технологической основой методики контроля, реализованной в данном комплексе, является применение дифракционного амплитудно-временного метода (рис. 5), основанного на регистрации дифракционных сигналов от концов дефектов на разных углах ввода и определении типа дефекта (плоскостной или объемно-плоскостной) по амплитуде принятого сигнала.

При эхо-импульсном методе информация о результатах контроля представляется в виде С-, S- и А-скана (рис. 6). При дифракционном амплитудно-временном методе информация о результатах контроля представляется в виде С-, В- и А-скана (рис. 7).

Представленный комплекс «АВТОКОН-АР» и реализованная в нем техно-

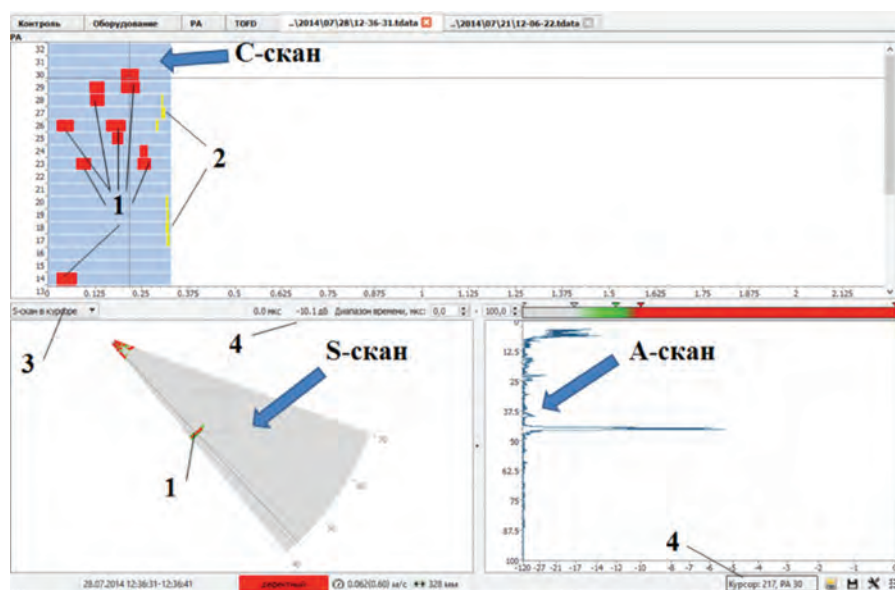


Рис. 6. Представление информации при эхо-импульсном методе: 1 – индикация дефекта, 2 – индикация потери акустического контакта, 3 – переключение типов представления данных (S-скан, В-скан), 4 – параметры положения курсора

Fig. 6. Information display for the pulse-echo method: 1 – indication of the defect, 2 – acoustic contact loss indication, 3 – data indication types switching (S-scan, B-scan) 4 – cursor position parameters

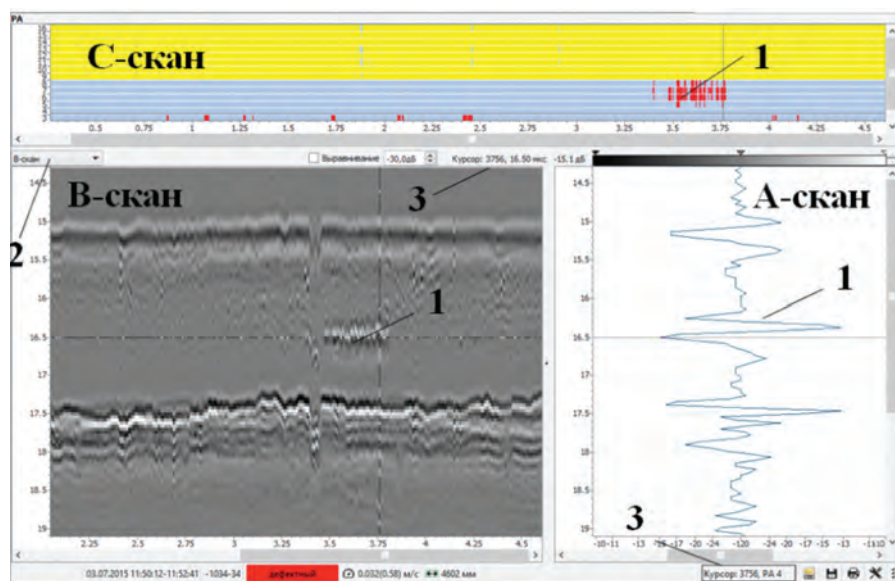


Рис. 7. Представление информации при дифракционном амплитудно-временном методе: 1 – индикация дефекта, 2 – переключение типов представления данных (S-скан, В-скан), 3 – параметры положения курсора

Fig. 7. Information display at the diffraction amplitude-time method: 1 – indication of the defect, 2 – data indication types switching (S-scan, B-scan) 3 – cursor position parameters

логия проходят квалификационные испытания в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, действующей в ПАО «Газпром».

В процессе испытаний исследовались два контрольных сварных соединения

(КСС 1 и КСС 2). КСС 1 было выполнено с нарушением термообработки, а КСС 2 – с отклонением режимов сварки (величина осадки и конечная скорость оплавления были меньше допустимых).



Результаты контроля приведены в таблице 1.

На рисунках 8 и 9 приведены примеры микрошлифов, выявленных дефектов и соответствующие им А- и В-сканы. На основании проведенных исследований были сформулированы предложения для критериев оценки качества сварных соединений КСО (табл. 2).

**ПРИ ЭТОМ СЛЕДУЕТ ЗАМЕТИТЬ, ЧТО УСЛОВНАЯ ВЫСОТА ВЫЯВЛЕННОГО ДЕФЕКТА ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:**

- 1) при выявлении дефекта в пределах одной зоны контроля в качестве условной высоты дефекта следует принять установленную (принятую) при настройке комплекса высоту данной зоны контроля;
- 2) при выявлении нескольких дефектов в одной, двух или более зонах контроля в качестве условной высоты каждого из выявленных дефектов следует принять высоту зоны, в которой был выявлен данный дефект.

**ВЫВОДЫ**

1. Технологии автоматизированного ультразвукового контроля, базирующи-

Таблица 1. Результаты контроля КСС1 и КСС2

Table 1. Monitoring results of the control weld joint 1 and the control weld joint 2

№ контрольного сварного соединения No. of a control weld joint	Выявлено дефектов Revealed defects	
	Эхо-метод Echo method	Дифракционный амплитудно-временной метод Diffraction amplitude-time method
1	–	12
2	40	40

Таблица 2. Оценка качества сварных соединений, выполненных КСО

Table 2. Assessment of welded joints quality made by CSR

Тип дефектов Type of defects	Максимально допустимая условная высота, мм Maximum allowable nominal height, mm	Максимально допустимая условная протяженность, мм The maximum permissible nominal length, mm
Плоскостные Plane	6	25
Объемно-плоскостные Space-plane	До 1 включительно To 1 inclusive	75
	От 1 до 2 включительно From 1 to 2 inclusive	25
	От 2 до 3 включительно From 2 to 3 inclusive	5
	От 3 до 5 включительно From 3 to 5 inclusive	4

ся на использовании эхо-импульсного и дифракционного амплитудно-временного метода, обеспечивают выявление характерных дефектов для КСО.

2. Эффективным средством контроля сварных швов, выполненных КСО, может служить комплекс «АВТОКОН-АР» для автоматизированного УЗ-контроля.

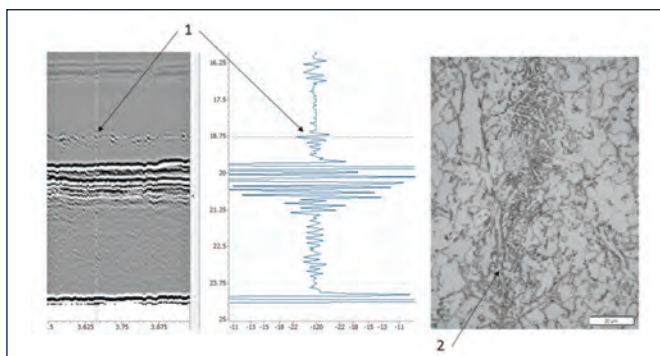


Рис. 8. Микрошлиф плоскостного дефекта: 1 – индикация на В- и А-сканах; 2 – изображение плоскостного дефекта  
Fig. 8. Micro section of plane defect: 1 – indication on the B- and A-scans; 2 – Plane defect display

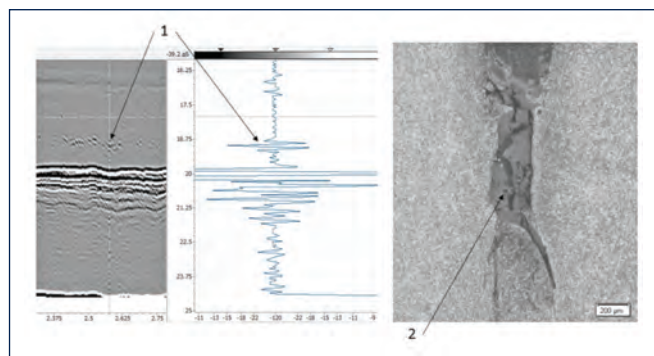


Рис. 9. Микрошлиф объемно-плоскостного дефекта: 1 – индикация на В- и А-сканах; 2 – изображение объемно-плоскостного дефекта  
Fig. 9. Micro section of space-plane defect: 1 – indication on the B- and A-scans; 2 – space-plane defect display

**Литература:**

1. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: Учебное пособие / Под ред. Г.Г. Чернышова и Д. М. Шашина. СПб.: Изд-во «Лань», 2013. 464 с.: ил.

**References:**

1. *Oborudovanie i osnovy tehnologii svarki metallov plavleniem i davleniem: Uchebnoe posobie* [Metals fuse and pressure welding equipment and procedure basis: Textbook]. Under editorship of G.G. Chernysheva and D. M. Shashina. Saint-Petersburg, Lan Publishing House, 2013. 464 pp.