ค. 074 – 0001 – 0966

การตรวจสอบแนวเชื่อมตัวเรือเหล็ก
ด้วยวิธี Phased Array Ultrasonic Testing

มาตรฐานงานช่างกรมอู่ทหารเรือ

ค. 074 – 0001 – 0966

การตรวจสอบแนวเชื่อมตัวเรือเหล็ก
ด้วยวิธี Phased Array Ultrasonic Testing

แก้ไขครั้งที่ ..... เมื่อ .....
แก้ไขครั้งที่ ..... เมื่อ .....
แก้ไขครั้งที่ ..... เมื่อ .....

ประกาศกรมอู่ทหารเรือ
เรื่อง กำหนดคำแนะนำทางช่างกรมอู่ทหารเรือ
พ.ศ.๒๕๖๖

อาศัยอำนาจความในข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๒ แห่งระเบียบกรมอู่ทหารเรือว่าด้วยมาตรฐานงานช่าง พ.ศ. ๒๕๕๑ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ จึงกำหนดคำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ หมายเลข ค. ๐๗๔-๐๐๐๑-๐๙๖๖ การตรวจสอบแนวเชื่อมตัวเรือเหล็กด้วยวิธี Phased Array Ultrasonic Testing ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ กันยายน พ.ศ.๒๕๖๖

พลเรือตรี
(กริช ขันธอุบล)
เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

<u>รายการแก้ไข</u>

หมายเลขหน้า การแก้ไขครั้งที่

บันทึกการแก้ไข

วัน เดือน ปี	รายการแก้ไข

ค. 074-0001-0966
การตรวจสอบแนวเชื่อมตัวเรือเหล็กด้วยวิธี Phased Array Ultrasonic Testing

1. <u>เอกสารอ้างอิงและคำแนะนำทางช่างที่อ้างถึง</u>

คำแนะนำทางช่างนี้ใช้แนวทางจากมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1.1 AWS D1.1/D1.1 M:2020 Structural Welding Code-Steel (An American National Standard)

2. <u>การแจกจ่าย</u>

ดูหน้าการแจกจ่ายท้ายเล่ม

3. <u>ความมุ่งหมาย</u>

กรมอู่ทหารเรือมียุทธศาสตร์ที่ตอบสนองและรองรับยุทธศาสตร์กองทัพเรือ พ.ศ.๒๕๕๘ - ๒๕๖๗ และ นโยบายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะมีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนและพัฒนากรมอู่ทหารเรือให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในการปฏิบัติงานตามพันธกิจและบรรลุวิสัยทัศน์ของกรมอู่ทหารเรือที่ว่า “เป็นเลิศในงานซ่อมและสร้างเรือ ด้วยการบริหารจัดการที่มีคุณภาพ” โดยกรมอู่ทหารเรือเป็นหน่วยขึ้นตรงกองทัพเรือ และตามพระราชกฤษฎีกาแบ่งส่วนราชการและกำหนดหน้าที่ของส่วนราชการกองทัพเรือ กองทัพไทย กระทรวงกลาโหม พ.ศ.๒๕๕๒ มาตรา ๒๗ ระบุว่า “กรมอู่ทหารเรือ มีหน้าที่อำนวยการ ประสานงาน แนะนำ กำกับการและดำเนินการเกี่ยวกับ การซ่อมสร้างดัดแปลง ทดสอบ วิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเรือ ยานรบและอุปกรณ์การช่างที่เกี่ยวข้อง การส่งกำลัง พัสดุสายช่าง ตลอดจนให้การฝึกและศึกษาวิชาการช่างและวิชาการอื่นตามที่ได้รับมอบหมาย มีเจ้ากรมอู่ทหารเรือเป็นผู้บังคับบัญชารับผิดชอบ” และอีกหน้าที่ของกรมอู่ทหารเรือที่ชัดเจนตามคำสั่งกองทัพเรือ (เฉพาะ) ที่ ๒๑๑/๒๕๕๔ ลง ๓๐ มี.ค. ๕๔ เรื่อง การซ่อมบำรุงยุทโธปกรณ์ของกองทัพเรือ ข้อ ๒.๑ ระบุว่า “กรมอู่ทหารเรือ เป็นหน่วยเทคนิคในการซ่อมบำรุงเรือที่เกี่ยวข้องกับงานด้านตัวเรือ กลจักร ไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่น ๆ ตลอดจนอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัด อุปกรณ์สายช่าง และเครื่องทุ่นแรงที่เกี่ยวกับการซ่อมบำรุงเรือ” ปัจจุบันกรมอู่ทหารเรือได้จัดให้มีการตรวจสอบสภาพตัวเรือของเรือรบและบริหารจัดการซ่อมทำตัวเรือรบตามระยะเวลา ได้มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาตรวจสอบการซ่อมทำตัวเรือรบ คือ วิธีการตรวจสอบด้วย Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) ซึ่งยังไม่มีหลักเกณฑ์อ้างอิงการตรวจสอบและหลักการปฏิบัติ โดยการปฏิบัติที่ผ่านมามีการจัดหาเครื่อง PAUT พร้อมการฝึกอบรมการใช้งานให้กับบุคลากรที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานการใช้งานเครื่อง PAUT ต้องอ้างอิงจาก ASME Section V ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายของหม้อน้ำ (Boiler) ถังอัดกำลังดัน (Pressure Vessel) และท่อทาง (Piping) โดยมาตรฐานดังกล่าวไม่ได้กล่าวถึงงานที่เกี่ยวกับการเชื่อมโครงสร้าง (Structural Welding) ซึ่งเอกสารที่ควรนำมาใช้อ้างอิงนั้นควรเป็นไปตาม AWS D1.1 แต่อย่างไรก็ตามมาตฐาน AWS D1.1 นั้นก็ไม่ได้กล่าวอ้างอิงจนมาถึงการอัพเดทล่าสุดของ AWS D1.1/D1.1 M:2020 Structural Welding Code-Steel (An American National Standard) ใน Annex H ซึ่งถือเป็นการยอมรับและสามารถใช้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดตามการใช้งานของกรมอู่ทหารเรือ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดแนวทางการตรวจสอบและหลักการปฏิบัติการตรวจสอบตัวเรือเหล็ก ด้วยวิธี PAUT เพื่อให้เป็นตามมาตรฐานสากลและมีคุณภาพในการซ่อมทำต่อไป โดยในอนาคตอาจมีการนำเอาการตรวจสอบโดยวิธี PAUT มาทดแทนการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยภาพฉายรังสี (RT) อีกทั้งยังสามารถรองรับการตรวจสอบตัวเรือดำน้ำในอนาคตได้อีกด้วย

4. <u>คำแนะนำ</u>

ตามข้อกำหนดใน Annex H นี้ สามารถใช้งาน PAUT เป็นทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบแนวเชื่อมตัวเรือเหล็ก แต่จำเป็นต้องมีการเขียน Procedures (Written procedures) การฝึกอบรมบุคลากรขั้นสูง (Advanced Personnel Training) การผ่านคุณสมบัติ (Qualification) และกระบวนการการสอบเทียบโดยเฉพาะของ PAUT (Calibration Methods Specific to PAUT)

4.1 บุคลากรที่ใช้เครื่องมือ PAUT นี้ต้องควรได้รับการอบรม UT Level II มาก่อน และอบรม PAUT Level II (ตาม ASNT-SNT-TC-1A) ตามลำดับเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของ Code AWS D1.1 2020

4.2 บุคลากรใช้เครื่องมือ PAUT ต้องเข้าใจในการตีความตามมาตรฐานเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจสอบชิ้นงาน การทำรายงานว่าชิ้นงานนั้น ๆ ตกหรือผ่าน ตามเกณฑ์การยอมรับที่ระบุ (ใน Code AWS D1.1 2020)

4.3 บุคลากรใช้เครื่องมือ PAUT ต้องสามารถทำกระบวนการสอบเทียบโดยเฉพาะของ PAUT ได้ก่อนการเริ่มทำการตรวจสอบชิ้นงาน

4.4 ผู้ที่ศึกษาหรือนำคำแนะนำทางช่างนี้ไปใช้งาน ถ้ามีข้อสงสัยใด ๆ ให้ไปศึกษาเพิ่มเติมได้จากต้นฉบับ AWS D1.1/D1.1 M:2020 Structural Welding Code-Steel (An American National Standard) Annex H (Normative) Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) เนื่องจากผู้จัดทำได้แปลมากจาก Annex H แต่ในเนื้อหาที่แปลบางส่วนได้มีการอ้างอิงไปที่ต้นฉบับ หากมีข้อสงสัยอื่นๆ เกี่ยวกับคำแนะนำทางช่างฉบับนี้ให้ติดต่อมาได้ที่ E-mail: Thanakit45102@gmail.com น.ท.ธนกิจ ศรีแสง

5. <u>ขอบเขต</u>

คำแนะนำทางช่างฉบับนี้นำมาใช้ในการทดสอบด้วย PAUT กับงานเชื่อมแบบต่อชน (Groove Welds) รวมไปถึงบริเวณที่ได้รับผลกระทบความร้อนจากการเชื่อม heat-affected zones (HAZ) ที่ชิ้นงานการตรวจสอบเป็นเหล็ก (Steel) สำหรับงานที่มีความหนา 5-200 มม. ใช้ encoded linear scanning Procedures และมาตรฐานนี้ไม่รวมถึงการตรวจสอบ PAUT กับงานที่มีลักษณะเป็น Tubular T, Y and K connection welds

6. <u>คำจำกัดความและเทคนิคการใช้งาน</u>

6.1 Azimuthal Scan คือการสแกนที่เป็นลำดับของ Focal Law ที่สร้างขึ้นมีลักษณะเป็นรูปพัด เป็นลำของคลื่นอัลตราโซนิกฉายผ่านช่วงที่กำหนด ใช้การเซตกับผลึกในหัวโพรบโดยกระทำหลายๆมุม

6.2 Bandpass Filtering ฟังก์ชันของวงจรรับ (receiver circuit in most modern) ในเครื่องรุ่นใหม่ของ UT และ PAUT ออกแบบมาเพื่อกรองความถี่เสียงที่ไม่ต้องการส่งกลับให้ออกไปนอกความถี่ที่ใช้สำหรับการสร้างคลื่นเสียง ความถี่ของเสียงที่ส่งกลับมามีช่วงที่กว้างกว่าช่วงความถี่ที่ส่งเข้าไปในชิ้นงานทดสอบ

6.3 Channel วงจรการรับ/ส่ง ในเครื่อง Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) แสดงถึงจำนวนช่องที่สั่งงานจำนวนมากที่สุดของผลึกในแต่ละเครื่องที่สามารถรองรับตามที่มีได้ทั้งหมด

6.4 Dead Elements ผลึกที่ไม่สามารถใช้งานได้จากสาเหตุสายสัญญาณของผลึกนั้นชำรุด จุดต่อสายสัญญาณหรือผลึกนั้นๆ เสียหาย

6.5 Electronic Scan ลำดับของ Focal Law ที่สร้างขึ้นหลายๆ ลำสัญญาณเสียงให้เกิดที่มุมที่กำหนด (มุมใดมุมหนึ่ง) โดยใช้การเซตของหลายๆผลึกในหัวโพรบ PAUT

6.6 Element ผลึกแต่ละผลึกเรียกอีกอย่างว่า crystal, search unit (ผลิตมาจาก piezo-composite material) ในหัวโพรบของ PAUT

6.7 Encoded เป็นข้อมูลการตรวจสอบ PAUT โดยเก็บมาจากการใช้งาน Encoder

6.8 Encoder อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามตำแหน่งสำหรับหัวโพรบ (อาจมีมากกว่า 1 หัว) ตามการใช้งานแบบใช้ด้วยมือและใช้งานแบบอัตโนมัติ เคลื่อนที่ตามแนวเชื่อมหรือส่วนประกอบอื่นๆ

6.9 Encoding การใช้ Encoder ในระหว่างการรับข้อมูล

6.10 Focal law การทำงานของเครื่อง PAUT โดยนำไฟล์ข้อมูลที่กำหนดผลึกของหัวโพรบที่จะใช้งานและเวลาที่หน่วงสำหรับการส่ง/รับสัญญาณ ด้วยการจัดการกับทิศทางของลำเสียง Focal laws จะรวมถึงลำดับของรูปแบบของหลายๆมุม (Azimuthal scans) หรือ มุมใดมุมหนึ่ง (Electronic scans)

6.11 Full Screen Height (FSH) อ้างถึงแนวแกนตั้งของจอแสดงผลและหน่วยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Amplitude (กราฟ) ของสัญญาณเสียงส่งกลับคืน นำมาเปรียบเทียบกับความสูงเต็มของหน้าจอแสดงผล

6.12 Imaging Views ภาพที่กำหนดโดยมุมมองของแต่ละระนาบ ระหว่างแกนการเคลื่อนที่ของเสียงอัลตราโซนิก แกนการเคลื่อนที่ของลำเสียงที่กวาดไปและแกนการเคลื่อนที่ของหัวโพรบ (รูปที่ 2)

6.12.1 A-Scan มุมมองที่แสดงการรับคลื่นอัลตราโซนิกเป็นรูปแบบ Pulse Amplitude ที่ได้รับเปรียบเทียบกับเวลาในแต่ละครั้งที่คลื่นถูกส่งออกไป หรือเรียกอีกอย่างว่ารูปคลื่น (Waveform) โดยจะแสดงให้เห็นในลักษณะของกราฟคล้าย Pulse Graph ที่ถูกตัดแกน Y ด้านลบออก

6.12.2 B-Scan มุมมอง 2 มิติของข้อมูลคลื่น A-Scan ที่บันทึกไว้ซึ่งแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนคลื่นอัลตราโซนิก เส้นทางการเคลื่อนที่ของโพรบตามแนวแกน (Scan Axis) และมีรหัสสีเพื่อแสดง Amplitude ในมุมมอง 2 มิติ มีให้เลือกหลายรูปแบบรวมถึงมุมเอียง VPA (ตามหัวข้อ 3.25 ใน AWS D1.1 2020) เดี่ยวและรูปแบบมุมเอียง VPA รวมกัน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจคือเป็นมุมมองด้านความหนาหรือความลึกเป็นภาพตัดตามยาวของชิ้นงานขนานกับแนวเชื่อมที่ทำการตรวจสอบ PAUT

6.12.3 C-Scan มุมมอง 2 มิติหรือมุมมองด้านบน (ด้าน Top View) ของข้อมูล A-Scan ที่บันทึกไว้จากการแสดงการเคลื่อนที่ตามแนวแกนคลื่นอัลตราโซนิกเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของโพรบตามแนวแกน (Scan Axis) ใช้ Amplitude สูงสุดของ A-Scans ที่ตำแหน่งตามขวางแต่ละตำแหน่งของ C-Scan อาจถูกนำเสนอในรูปแบบของปริมาตร

6.12.4 D-Scan เหมือนกันกับ S-Scan เป็นมุมมองภาพที่ไม่ค่อยนิยมสำหรับการตรวจสอบแนวเชื่อม โดยจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Axis) เปรียบเทียบกับแกนการเคลื่อนที่ของลำคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Index Axis) D-Scan ต่างจาก S-Scan ตรงที่ถูกกำหนดให้แสดง A-Scan ทั้งหมดที่รวบรวมผ่านทั้งหมดหรือบางส่วนที่สแกน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจตามรูปที่ 2 D-Scan คือภาพตัดขวางแนวเชื่อม

6.12.5 S-Scan ภาพตัดขวางแบบ 2 มิติทั้งหมดของ A-Scan ซึ่งได้รับการแก้ไขการเวลาหน่วงและการหักเหของมุมคลื่นเสียง S-Scan จะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Axis) เปรียบเทียบกับแกนการเคลื่อนที่ของลำคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Index Axis) และแสดงเป็นส่วน ๆ ของแต่ละ Focal Laws (แต่ละลำดับของ Focal Law) ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของโพรบเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจตามรูปที่ 2 S-Scan คือระนาบของภาพฉายลำคลื่นเสียงที่ออกจากหัวโพรบไปยังทิศทางที่สแกน เกิดเป็นภาพข้อมูลระนาบ 2 มิติที่บันทึกค่าได้ แสดงจากมุมตกกระทบ มุมสะท้อนของแต่ละลำดับของ Focal Law ของคลื่นเสียงสะท้อนกับมาแสดงให้เห็นเป็นภาพ (ภาพฉายในแนวเชื่อม)

6.13 Line Scan เทคนิคการสแกนแบบ Electronic Scan, Azimuthal Scan หรือทั้ง 2 อย่างรวมกันโดยการทำให้ทิศทางของลำคลื่นเสียงตั้งฉากและระยะทางคงที่กับแนวเชื่อม แสดงให้เห็นเพื่อให้ครอบคลุมรอยเชื่อมทั้งหมด เรียกอีกอย่างว่าการสแกนเชิงเส้น

6.14 PAUT Phased array ultrasonic testing การทดสอบโดยเทคนิคคลื่นความถี่สูงแบบเรียงเฟส

6.15 Phased Array Instrument เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการทำงานของผลึกภายในโพรบ (หลายผลึก) โดยการหน่วงเวลา/Focal Law เมื่อมีการส่งและรับสัญญาณก่อนที่จะทำการรวบรวมข้อมูล

6.16 Phased Array Technique เทคนิคของข้อมูล UT ถูกสร้างขึ้นโดยการสร้าง Phase interference formed โดยหลายผลึกจะควบคุมจากการหน่วงเวลาของ Pulses ที่แม่นยำ เทคนิคนี้สามารถทำการกวาดลำคลื่นอัลตราโซนิกผ่านระยะเชิงมุม (Azimuthal Scan) การสแกนลำคลื่นอัลตราโซนิกที่มุมคงที่ (Electronic Scans) การโฟกัสลำคลื่นเสียง การสแกนด้านข้างและการสแกนอื่น ๆ ที่หลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการจัดเรียง (Array) และการเขียนโปรแกรม

6.17 Phased Array Probe หัวโพรบที่ประกอบด้วยผลึกที่ทำมาจาก Piezoelectric จำนวนหลายชิ้นเชื่อมต่อกัน เพื่อให้สัญญาณที่ส่งหรือรับ (อาจแยกกันหรือรวมกันได้ตามต้องการ) แต่ละผลึกสามารถส่งสัญญาณ Pulse ได้อย่างอิสระ/พร้อมกัน (ขึ้นอยู่กับเครื่อง PAUT เครื่องนั้นๆว่ามี Pulser จำนวนกี่ตัว) หรือให้เป็นรูปแบบแต่ละอย่างที่สัมพันธ์กันเพื่อสร้างมุมลำเสียงอัลตราโซนิกหรือรูปแบบการสแกน

6.18 Pitch ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางระหว่าง 2 ผลึก ภายในหัวโพรบของ PAUT

6.19 Pulser ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่สร้าง Pulse ไฟฟ้าไปยังแต่ละผลึกให้หัวโพรบ จำนวนของ Pulser เป็นสิ่งกำหนดให้จำนวนของผลึกในหัวโพรบจำนวนเท่าไหร่ถึงจะสามารถสร้างให้มี Focal Law ได้

6.20 Saturated Signal สัญญาณที่ไม่สามารถวัด Amplitude สูงสุดที่แท้จริงได้ในไฟล์ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ เนื่องจากปัญหาของระบบ PA (Phased Array)

6.21 Scan Plan ข้อมูลที่ระบุตัวแปรของกระบวนการที่สำคัญของผลึก (ในหัวโพรบ) เช่น รายละเอียดอุปกรณ์ การตั้งค่า Focal Law ตำแหน่งของหัวโพรบในขณะที่จะทำการตรวจสอบ ทั้งนี้จะแสดงให้เห็นแนวเชื่อมและครอบคลุม HAZ (Heat Affected Zone)

6.22 Scanner อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยึดหัวโพรบ PA ในขณะที่ทำการเก็บข้อมูลโดยหมายถึง Encoder Scanner ประกอบด้วย Encoder และอาจจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังนี้

6.22.1 Automated Scanner อุปกรณ์ (Mechanized) ที่ทำให้หัวโพรบ PAUT เคลื่อนไหวโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือใช้รีโมทคอนโทรลในการบังคับ

6.22.2 Semi-Automated Scanner คือ Scanner ที่เคลื่อนที่ด้วยตัวเอง (ด้วยผู้ตรวจสอบ) ตามแนวเชื่อม

6.23 Sound-Path or Depth Calibration (Horizontal Linearity) การดำเนินการเปรียบเทียบเพื่อชดเชยและปรับเปลี่ยนการหน่วงของเวลาทั้งหมดของ Focal Laws สำหรับ Wedge ที่มีรูปทรงเฉพาะ โดยการสอบเทียบ (Calibration) ความลึกหรือระยะทางของเสียง (sound-path) โดยทั่วไปแล้วทำกับ Calibrate Block

6.24 Time Corrected Gain (TCG) เรียกอีกอย่างว่า Time Varied Gain (TVG) เป็นเทคนิคการสอบเทียบในการหาหน่วยการคำนวณความแตกต่างเป็น dB (Decibel) ที่จำเป็นในการปรับสมดุลตัวสะท้อนการสอบเทียบมาตรฐาน (เช่น รูเจาะด้านข้าง Side Drill Hole) ที่ความลึกต่าง ๆ แล้ววัดค่าออกมาเป็น Amplitude แสดงไปยังหน้าจอ เมื่อดำเนินการแล้วเสร็จตัวสะท้อนคลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะมีขนาดความสูงของ Amplitude เท่ากันทั้งหมดโดยประมาณและไม่คำนึงถึงระยะทางเส้นเสียงที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วทำกับ Calibrate Block ที่มี Side Drill Hole มากกว่าหรือเท่ากับ 3 รูขึ้นไป

6.25 Virtual Probe Aperture (VPA) จำนวนของผลึกในหัวโพรบของ PAUT ที่ใช้ขณะทำการตรวจสอบ

6.26 Volume Correction คุณลักษณะการแก้ไขภาพ ซึ่งสามารถทำการแก้ไขตำแหน่งจุด A-Scan ที่แสดงและอ้างอิงข้อมูลตำแหน่งจริงที่สัมพันธ์กับมุมที่ใช้ระหว่างการตรวจสอบ

7. ข้อกำหนดด้านบุคลากร (Personnel Requirements)

7.1 PAUT Level II and III คือ บุคลากรที่สามารถเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล PAUT ต้องมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 8.14.6.1 และ 8.20 (ใน Code AWS D1.1 2020) รวมไปถึงผู้ตรวจสอบ PAUT ต้องมีเอกสารบ่งชี้ว่ามีประสบการณ์การทำงาน PAUT อย่างน้อย 320 ชั่วโมง สอบข้อปฏิบัติเป็นไปตามหัวข้อ 8.20 (ใน Code AWS D1.1 2020) ต้องประกอบด้วย 2 ชิ้นงานตัวอย่างที่บกพร่อง (Flawed) แสดงประเภทการต่อชิ้นงาน (Joint Type) ที่ทำการสอบอย่างน้อย 2 ประเภท แต่ละชิ้นงานทดสอบต้องประกอบด้วยอย่างน้อย 2 ข้อบกพร่อง (Flaws) สำหรับบุคลากรที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดเหล่านี้ อาจเป็นผู้ช่วยในการรวบรวมข้อมูลของ PAUT ภายใต้การกำกับดูแลโดยตรงของบุคลากรผู้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด

7.2 Certification Requirements การรับรองบุคลากร PAUT ระดับ II และ ระดับ III ต้องดำเนินการโดยบุคลากรที่มีคุณสมบัติเป็น NDT Level III ที่ตรงตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.1 (ใน Code AWS D1.1 2020)

8. อุปกรณ์ (Equipment)

8.1 Phased Array Instruments การตรวจสอบต้องดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ PA Pulse-Echo ซึ่งมีคุณลักษณะตรงตามข้อกำหนดในหัวข้อ 8.21 (ใน Code AWS D1.1 2020) และได้รับการสอบเทียบตามข้อ 11 เครื่องมือ Phased Array ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

8.1.1 Number of Pulsers ต้องเป็นอุปกรณ์ (เครื่องมือ) ที่ติดตั้งอย่างน้อย 16 Pulser และ 16 ช่องสัญญาณ (Channels) (16:16 minimum) ต้องมีอย่างน้อย 16:64 ในการใช้ Electronic Scans

8.1.2 Imaging Views เครื่องมือ PA ต้องมีการแสดงผลที่เพียงพอเพื่อแสดงมุมมอง A-Scan, B-Scan, C-Scan และ S-Scan ได้ การใช้ Encoded Scans เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียดที่ผ่านการสแกนในทางยาว (ขนานกับแนวเชื่อม) และข้อมูลการสแกนผ่านแนวลำคลื่นเสียงอัลตราโซนิกทั้งหมด

8.2 Straight-Beam (Longitudinal Wave) Probes หัวโพรบที่มีลำคลื่นเสียงอัลตราโซนิกตามยาว ต้องผลิตในช่วงความถี่ 1 ถึง 6 MHz ขนาดของหัวโพรบต้องเล็กพอที่สัญญาณคลื่นนิ่งไม่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผล หัวโพรบ PA ต้องเป็นแบบ Linear ที่ตรงตามข้อกำหนดในหัวข้อ 8.27.1.3 (ใน Code AWS D1.1 2020) หรือหัวโพรบของ UT อาจเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 8.21.3 (ใน Code AWS D1.1 2020)

8.3 Angle-Beam Search Units หัวโพรบอัลตราโซนิกที่ทำมุมลำเสียง ต้องประกอบด้วยหัวโพรบ PA และ Angle Wedge (วัสดุที่เอาไว้ต่อกับหัวโพรบลักษณะคล้ายลิ่ม ใสคล้ายอะคริลิค) ที่ทำให้เกิดการหักเหของลำเสียงอัลตราโซนิก

8.3.1 Phased Array Probe หัวโพรบต้องเป็นแบบ Linear Array ประกอบด้วยผลึกอย่างน้อย 16 ผลึก ต้องสามารถสร้างความถี่ได้ระหว่าง 1–6 MHz ระยะ Pitch ต้องเล็กพอจนสัญญาณคลื่นนิ่งปรากฏบนจอแสดงผล

8.3.2 Angled Phased Array Wedge มุมของลิ่ม (Wedge) PA ต้องมีมุมตกกระทบที่เพียงพอที่จะสร้างคลื่นตามขวาง (Shear Waves) ในวัสดุด้วยมุมระหว่าง 40°-70° Wedge ต้องใช้ภายในช่วงมุมดังกล่าวที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต

8.4 Encoder ต้องเป็นแบบดิจิตอลและสามารถสแกนเป็นเส้นตรง (แถว) ได้

8.5 Scanner การทำ Encoding ต้องเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 6.22

8.6 Couplant สาร/วัสดุ ที่ต้องใช้ระหว่างหัวโพรบและชิ้นงานที่ตรวจสอบ ต้องใช้สาร/วัสดุ ชนิดเดียวกันในการสอบเทียบกับการทดสอบชิ้นงานจริง สามารถใช้ commercial couplant, น้ำ น้ำมัน สำหรับการสอบเทียบและการทดสอบชิ้นงานจริง

8.7 Basic Calibration Standard for Determining SSL เป็นมาตรฐานตัวสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกสำหรับใช้กำหนดมาตรฐานระดับคุณภาพการหาความไม่ต่อเนื่องที่วัดได้ Standard Sensitivity Level (SSL) ต้องใช้การเจาะรู (Side Drill Hole) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 1.5 มม. (0.060 นิ้ว) ในบล็อก IIW type block ตามมาตรฐาน ASTM E164 อุณหภูมิมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบต้องอยู่ภายใน ±14 องศาเซลเซียส (±25 องศาฟาเรนไฮต์) ของอุณหภูมิที่จะไปทำการตรวจสอบชิ้นงานจริง

8.7.1 Supplemental Reference Block บล็อกสำหรับสอบเทียบอ้างอิงเพิ่มเติมต้องสามารถสร้าง TCG อย่างน้อย 3 จุด ตลอดระยะ (ความหนา) ที่ถูกระบุไว้ใน Scan Plan สำหรับมุมที่กำหนดทั้งหมด บล็อกต้องทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) มีความหนาและความยาวเพียงพอเพื่อให้สามารถทำการสอบเทียบตัวสะท้อนได้ (สอดคล้องกับความหนาชิ้นงานที่จะไปทำการทดสอบ) แต่ละบล็อกอ้างอิงต้องมีการเจาะรู (Side Drill Hole) อย่างน้อย 3 รู ที่ระยะของความลึกจะครอบคลุมความหนาที่ใช้ทดสอบชิ้นงานจริง แต่ละรูที่เจาะต้องถูกตรวจจับโดยระบบ PAUT ตามการกำหนดค่าของ Scan Plan และคุณภาพการหาความไม่ต่อเนื่องที่วัดได้ต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้มากกว่าหรือเท่ากับ SSL ยกตัวอย่างบล็อกนี้แสดงในรูปที่ 3 แต่บล็อกใดๆ ที่ตรงตามข้อกำหนดของข้อนี้อาจรวมถึง NAVSHIP หรือบล็อกที่ทำขึ้นเอง (Custom Machined Block)

8.7.2 Mockup Verification Block สำหรับวัสดุ (ชิ้นงานจริง) มีความหนามากกว่า 50 มม. (2 นิ้ว) เมื่อวิศวกรต้องการหรือนอกเหนือจากตัวเลือกของบุคลากรที่ใช้ PAUT ต้องการความสามารถในการตรวจจับของตัวสะท้อนมาตรฐาน (รูเจาะด้านข้างขนาด 1.5 มม.) ต้องได้รับการตรวจสอบจากการใช้ชิ้นงานจำลอง (Mockup) หรือส่วนของชิ้นงานจริง เมื่อใช้จากการเชื่อมชิ้นงานจำลองหรือส่วนของชิ้นงานจริง ตัวสะท้อนต้องอยู่ในตำแหน่งที่ยากต่อการนำลำเสียงอัลตราโซนิก จึงจะมั่นใจได้ว่าทำให้ตรวจจับความไม่ต่อเนื่องสำหรับพื้นที่ที่สนใจทั้งหมดได้ ตัวสะท้อนของชิ้นงานจำลองต้องมีขนาดอย่างน้อย 1.5 มม.(0.006 นิ้ว) โดยไม่มีสิ่งกีดขวางใดจากผิวหน้าที่เกิดจากการเชื่อม ตัวอย่างมาตรฐานของคุณภาพการสะท้อนของสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกในชิ้นงานจำลองหรือชิ้นส่วนของชิ้นงานจริงที่ตัดมาทดสอบแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 เมื่อใช้พิสูจน์ได้ว่าบล็อกดังกล่าวนี้สามารถใช้งานได้จริงๆ การตรวจจับของตัวสะท้อนมาตรฐานต้องตรวจจับได้เหนือ DRL ที่เป็นไปตามหัวข้อ 11.2.4.2 Scan Plan ต้องสามารถปรับจนกระทั่งมีการตรวจจับสัญญาณที่เพียงพอที่จะได้รับเหนือ DRL

9. คุณสมบัติของอุปกรณ์ (Equipment Qualification)

9.1 System Linearity การตรวจสอบระบบความเป็นเส้นตรง ต้องได้รับการตรวจสอบในช่วงเวลาสูงสุดไม่เกิน 12 เดือน การตรวจสอบความถูกต้อง ต้องดำเนินการตามข้อ 17

9.2 Internal Reflections การสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิกภายในหัวโพรบ ต้องได้รับการยืนยันจากบุคลากรที่ทำงาน PAUT ที่งานมาเป็นระยะเวลา 40 ชม. และตรวจสอบตามหัวข้อ 8.28.3 (ใน Code AWS D1.1 2020)

9.3 Resolution Requirements การทดสอบความละเอียด (ความคมชัดของสัญญาณ) ของการรวมหัวโพรบกับเครื่อง PAUT ต้องดำเนินการตามหัวข้อ 8.22.3 (ใน Code AWS D1.1 2020)

9.4 Probe Operability Checks การตรวจสอบการทำงานของผลึกต้องดำเนินการโดยบุคลากร PAUT ก่อนการเริ่มทำการสอบเทียบ (calibration) และการใช้งานในแต่ละสัปดาห์ ต้องตรวจสอบว่ามีผลึกใดที่ไม่

ทำงาน (inactive) หรือชำรุดอยู่ในหัวโพรบของ PAUT การตรวจสอบความสามารถในการทำงานของโพรบโดยใช้คุณสมบัติของการตรวจสอบอัตโนมัติของเครื่องมือหรือด้วยตัวเอง โดยสแกนผ่านแต่ละผลึกด้วยโพรบที่ด้านข้างของบล็อคประเภท IIW หรือบล็อคอ้างอิงใดๆ และให้สังเกตสัญญาณเสียงของด้านที่ลึกที่สุด (ด้านตรงข้ามหัวโพรบที่ทำการวัดหรือ Back Wall) ต้องมีจำนวนผลึกไม่เกิน 10% ที่อาจเสียในการรับสัญญาณและต้องเสียไม่เกิน 2 ผลึกอยู่ติดกันภายใต้การรับสัญญาณเสียงอัลตราโซนิกที่กำหนด การตรวจสอบนี้ต้องดำเนินการในช่วงเวลาภายใน 8 ชม. ขณะใช้งาน นอกจากนี้แต่ละผลึกภายในโพรบต้องได้รับการประเมินเพื่อตรวจสอบการตอบสนองของ Amplitude เพื่อเปรียบเทียบได้ว่าเสียงนั้นผ่านช่องรับสัญญาณเสียงแต่ละผลึกต้องได้รับการตรวจสอบว่าให้อยู่ภายใน 6 เดซิเบล (แสดงที่หน้าจอ A-Scan) ของการตอบสนองเฉลี่ยผ่านช่องรับสัญญาณเสียง ถ้า Amplitude ของผลึกใดๆ ภายในโพรบให้การตอบสนองเกิน 6 เดซิเบล ให้ถือว่าผลึกนั้นตาย/เสีย (Dead)

10. แบบแผนของการสแกน (Scan Plans)

10.1 Scan Plans แผนการสแกน กำหนดไว้ในหัวข้อ 6.21 ต้องได้รับการพัฒนามาจากการตรวจสอบการเชื่อมที่จะทำการตรวจสอบ (ตามการออกแบบการเชื่อมจากชิ้นงานจริงที่จะไปทำการตรวจสอบ) Scan Plans ต้องจัดเตรียมคุณลักษณะเฉพาะที่จำเป็นเพื่อให้ครอบคลุมการตรวจสอบรวมทั้งตัวแปรของวัสดุ และรูปแบบทางเรขาคณิตที่ไม่ได้ระบุไว้ในขั้นตอนทั่วไปตามลักษณะของชิ้นงานจริงที่จะไปตรวจสอบ เช่น ความหนา การเตรียมแนวเชื่อม (Joint Design) ชนิดของวัสดุ เป็นต้น โดยเนื้อหาของ Scan Plans ต้องพิจารณาไปตามตัวแปรที่สำคัญ (Essential Variable) ที่ระบุอยู่ในตารางที่ 1 ทั้งหมด

10.1.1 Scan Plan Qualification สำหรับความหนาที่มากกว่า 2 นิ้ว (50 มม.) หรือเมื่อมีความต้องการจากวิศวกร การตรวจสอบบล็อกจำลองต้องใช้เพื่อแสดงความสามารถในการตรวจจับคุณภาพของสัญญาณ PAUT และการครอบคลุมปริมาตรงานเชื่อม (HAZ) ตามที่อ้างอิงในหัวข้อ 5.7.2

10.1.2 Scan Plan ต้องแสดงให้เห็นโดยการพล็อตหรือการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ถึงมุมหักเหที่เหมาะสมที่ใช้ระหว่างการตรวจสอบรูปทรงของร่องที่ใช้ในการเชื่อม (Groove Weld Geometry) และพื้นที่ที่สนใจจะตรวจสอบ (ลักษณะบริเวณรอบ ๆ ของชิ้นงานที่จะตรวจสอบ) Scan Plan ต้องแสดงให้เห็นและจัดทำเป็นเอกสารครอบคลุมปริมาณการตรวจสอบที่ต้องการ การดำเนินการผ่านการสอบเทียบ เช่น ระยะห่างของลำเสียงฯ ถึงเส้นผ่านศูนย์กลางแนวเชื่อม (Beam Index point) และมุมของลำเสียง (Beam Angle)

10.1.3 เมื่อมีการพัฒนา (ปรับปรุง) Scan Plan แล้วต้องกำหนดตัวแปรที่สำคัญตามตารางที่ 1 และจัดทำเป็นเอกสารด้วยในการสอบเทียบเบื้องต้น (Initial Calibration) การสอบเทียบเบื้องต้นต้องดำเนินการโดยบุคลากรที่ผ่านการรับรอง PAUT Level II or Level III เพื่อทำการยืนยันความครอบคลุมของเสียงอัลตราโซนิกที่กำหนดค่าไว้

10.2 Focal Law Configuration. Focal laws ต้องได้รับการกำหนดค่าเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การเชื่อม (Weld Volume) ตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 10.4 การสแกนในแนวราบ (Azimuthal Scans) ต้องใช้เป็นการสแกนหลักเพื่อทำให้ครอบคุมและเหมาะสมที่สุด และต้องกำหนดค่าในเพิ่มการกวาดเชิงมุม (Angular Sweep) ไม่เกิน 1° Electronic scans อาจใช้อธิบายตามที่อธิบายเพิ่มเติมสำหรับการสแกนในแนวราบแต่ห้ามใช้เป็นเทคนิคนี้ทำการตรวจสอบเพียงอย่างเดียว

10.2.1 Index Positions (ตำแหน่งดัชนี) กำหนดตัวเลขสำหรับ Index Positions ต้องมีจำนวนเพียงพอ เพื่อให้ครอบคลุมตามหัวข้อ 10.4 สิ่งเหล่านี้อาจเป็น Index Positions ทางกายภาพ electronic index positions หลายตำแหน่งหรือทั้งสองอย่างรวมกัน การสแกนต้องมีการซ้อนทับกันเพียงพอที่จะแสดงให้

เห็นความครอบคลุมทั้งหมดใน Scan Plans (เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย Index Positions คือ ระยะห่างจากแนวเส้นศูนย์กลางแนวเชื่อมจนถึงระยะที่ลำคลื่นส่งออกไปจากหัวโพรบ)

10.2.2 Focusing เมื่อตรวจสอบงานที่มีความหนา 8 มม. การโฟกัสความลึกที่แท้จริง (True Focus Depth) ต้องสอดคล้องกับความลึกที่เสียงเข้าสู่บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Volume) สำหรับการตรวจสอบงานที่มีขนาดหนากว่า 8 มม.การโฟกัสอาจทำที่อัตราส่วน 4 ต่อ 1 ของสัญญาณเสียงถูกแสดงให้เห็นบน TCG ทั้งหมดในตัวสะท้อนเปรียบเทียบ (calibration reflectors)

10.2.3 Supplemental Electronic Scans อาจใช้เพิ่มเติมเพื่อเสริมการสแกนแบบ azimuthal scans เมื่อใช้ Electronic Scans จะต้องกำหนดค่าทับซ้อนขั้นต่ำ 50% ของแต่ละ VPA และต้องมีรายละเอียดทั้งหมดตามที่ระบุไว้ใน Scan Plan

10.2.4 Grouping เป็นการรวมกันของ multiple azimuthal หรือ azimuthal และ electronic scans อาจใช้การจัดกลุ่มเพื่อช่วยให้การสแกนครอบคลุมแนวเชื่อม เมื่อรวมกันแล้วความเหลื่อมล้ำน้อยสุดแต่ละครั้งของการสแกนต้องครอบคลุม 10%

10.3 Adjustments to Scan Plans การเปลี่ยนแปลงตัวแปรใดที่ทำตามในตารางที่ 1 หลังจากสร้าง Scan Plan มาแล้วและได้รับการอนุมัติให้ใช้ ต้องมีการพัฒนา ปรับปรุง Scan Plan ใหม่ การสอบเทียบใหม่ และหากทำได้ให้ทำการสาธิตใหม่กับบล็อคการตรวจสอบจำลอง (mock-up verification block)

10.4 Phased Array Testing of Welds ชิ้นงานโลหะ (Base Metal) ที่ต้องทำการทดสอบให้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก ต้องได้รับการทดสอบการสะท้อนการแบ่งชั้นของโลหะ Laminar โดยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกจากหัวโพรบแบบตรง (Straight-Beam) ไปเป็นตามหัวข้อ 8.2 หากพื้นที่ใด ๆ ของชิ้นงานโลหะมีการแสดงผลการสูญเสียการสะท้อนกลับหรือบ่งชี้ว่าเท่ากันหรือมากกว่าการสะท้อนกลับเดิมที่อ้างถึงในหัวข้อ 12.2.2

10.4.1 แผนการสแกนที่ใช้การกำหนดค่า Array ที่ระบุในหัวข้อ 10.2 ต้องแสดงให้เห็นถึงความครอบคลุมของคลื่นอัลตราโซนิกเต็มรูปแบบใน 2 ทิศทาง (ขาไปและขากลับของคลื่น) เพื่อครอบคลุมพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน HAZ โดยมีมุมลำเสียงระหว่าง 40–60 องศา และเต็มแนวเชื่อมปริมาตรรวมครอบคลุมผิวหน้าของ การหลอม (weld fusion face) ภายในแนวเชื่อมใน ±10° ของแนวตั้งฉาก (90° กับผิวหน้าของการหลอม) สำหรับการสแกนแบบ azimuthal scans หรือ ±5° ของแนวตั้งฉากสำหรับการสแกนแบบ electronic scans เพิ่มเติมหากทำได้ แนวเชื่อมและพื้นที่ HAZ ต้องทดสอบโดยใช้หัวโพรบ PAUT ที่สอดคล้องข้อกำหนดตามหัวข้อ 8.3

10.4.2 การตรวจสอบแนวเชื่อมแบบต่อชน (Butt Joint) โดยการใช้ PAUT ต้องทดสอบจากหน้าเดียวกันของผิวชิ้นงานและถ้าเป็นไปได้ก็ให้ทำทั้งสองด้านของชิ้นงาน แนวเชื่อมที่มุม (Welds in corner) และเชื่อมรูปตัว T (T-joints) ต้องทดสอบจากด้านใดด้านหนึ่งของแกนเชื่อมเท่านั้น รอยเชื่อมทั้งหมดต้องได้รับการทดสอบโดยการสแกนตามเส้นที่เกี่ยวข้องหรือรูปแบบการสแกนที่จำเป็นในการตรวจจับความไม่ต่อเนื่องได้ทั้งตามยาวและตามขวาง

10.4.3 Scanning Near Edges หากการเข้าถึงขอบและมุมหรือส่งผลให้เกิดข้อจำกัดอื่น ๆ สำหรับการให้ Encoded PAUT พื้นที่เหล่านี้อาจสแกนโดยใช้ทิศทางตรงกันข้ามไปยังขอบหรือโดยไม่ใช้ Encoded รูปแบบการสแกนนี้อธิบายในบทที่ 8 ของ AWS D1.1 2020 การใช้ PAUT โดยไม่ Encoded ต้องระบุไว้ในรายงานการตรวจสอบ (examination report)

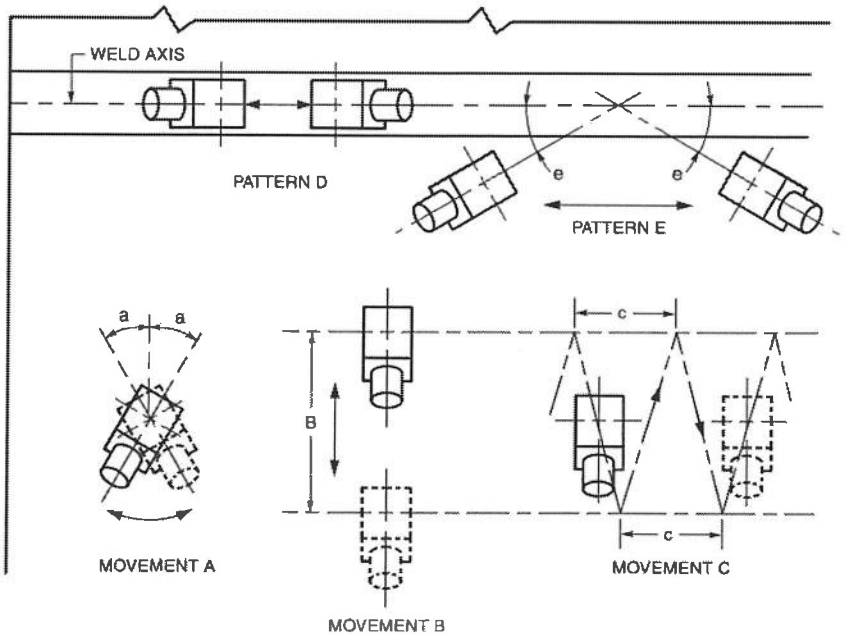
10.4.4 Restricted Access Welds ร่องของแนวเชื่อมในแนวต่อชน (Butt Joint) ที่ไม่สามารถตรวจสอบได้จากทั้งสองด้านของแนวเชื่อม แกนที่ใช้จะใช้เทคนิคการสแกนลำเสียงอัลตราโซนิกลักษณะเป็นมุม

ต้องสแกนจากอีกด้านหนึ่งที่สามารถรับประกันความครอบคลุมของ HAZ ได้ สาเหตุนี้เองต้องได้รับการแก้ไขด้วยการปรับเปลี่ยน Scan Plan และบันทึกไว้ในการทำรายงานการตรวจสอบ

10.4.5 Backing สำหรับการกำหนดค่าร่วมกันของการใช้แผ่นรองหลังขณะเชื่อม (Backing) ที่เหลืออยู่ หลังจากการเชื่อม Scan Plan ต้องพิจารณาถึงผลกระทบของ Backing ดูในหัวข้อ C-8.25.12 สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจสอบแนวเชื่อมที่มี Steel Backing (ใน Code AWS D1.1 2020)

10.4.6 Inspection for Transverse Indications แนวเชื่อมที่ถูกเจียร์เรียบต้องได้รับการตรวจสอบตามขวาง ใช้รูปแบบการสแกน D ดังแสดงในรูปที่ 1 รูปแบบการสแกน E ต้องใช้กับแนวเชื่อมที่มีความนูนจากผิว (Reinforcement) ในแนวต่อชน (Butt Joint) Encoding ไม่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบตัวบ่งชี้ทางขวาง (transverse indication inspection) หรือ Defect ตามขวาง

10.5 Setup File Storage การตั้งค่าการจัดเก็บไฟล์ ค่าพารามิเตอร์ของ Scan Plan ต้องกำหนดในระบบของ PAUT และจัดเก็บในลักษณะที่จะช่วยให้สามารถตรวจสอบซ้ำได้ในภายหลัง



Notes:
1. Testing patterns are all symmetrical around the weld axis with the exception of pattern D, which shall be conducted directly over the weld axis.
2. Testing from both sides of the weld axis shall be made wherever mechanically possible.

รูปที่ 1 Plan Views of UT Scanning Patterns

11. Calibration for Testing

การกำหนดค่าของ PAUT ตามที่จัดเตรียมไว้ใน Scan Plan ต้องได้รับการตรวจสอบเป็นระยะตามหัวข้อ 8.24.3 (ใน Code AWS D1.1 2020) และอธิบายตามหัวข้อดังนี้

11.1 Straight Beam Calibration (การสอบเทียบโพรบหัวตรง) ช่วงของคลื่นอัลตราโซนิกในหัวโพรบต้องปรับโดยใช้ Electronic Scan ที่ตั้งค่าไว้ 0° (หรือเป็นหัวโพรบ UT แบบตรง) ซึ่งจะทำให้แผ่นชิ้นงานมีความหนาเทียบเท่ากันอย่างน้อย 2 แผ่นบนจอแสดงผล คุณภาพของสัญญาณที่วัดได้ต้องถูกนำมาใช้ในตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งบ่งชี้ (Defect ใด ๆ) เพื่อให้สะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกกลับครั้งแรกจากด้านไกลของแผ่นชิ้นงานจะเป็น

80% ± 5% of FSH (Full Screen Height) สามารถปรับแต่งคุณภาพของสัญญาณเล็กน้อยเพื่อรองรับกับชิ้นงานที่มีพื้นผิวที่หยาบ

11.2 Shear Wave Calibration (การสอบเทียบหัวโพรบคลื่นตามขวาง Shear Wave)

11.2.1 Beam Angle Verification บุคลากร PAUT ต้องตรวจสอบมุมลำเสียงให้อยู่ภายใน 2° ของค่าต่ำสุด และมุมสูงสุดที่กำหนดค่าในการสแกนแนวราบ (azimuthal scans) หรือภายใน 2° แรก และค่าสุดท้ายที่ถูกกำหนดไว้ใน VPAs สำหรับ electronic scans ให้ใช้ procedure ที่มีขั้นตอนตามหัวข้อ 8.27.2.2 (ใน Code AWS D1.1 2020)

11.2.2 Horizontal Sweep การกวาด (การรูด) หัวโพรบแนวนอนต้องปรับเพื่อแสดงระยะเส้นทางคลื่นเสียงอัลตราโซนิกในวัสดุนั้น ๆ ตลอดจนมุมที่กำหนดไว้ทั้งหมด โดยใช้บล็อคในการสอบเทียบเป็นแบบ IIW type Block หรือ บล็อกอื่นๆที่แสดงในหัวข้อ 8.22.1 (ใน Code AWS D1.1 2020)

11.2.3 Time Corrected Gain (TCG) การใช้บล็อกในการสอบเทียบอื่น ๆ เป็นไปตามตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 8.7.1. TCG ต้องถูกกำหนดมุมที่ใช้ทั้งหมดอย่างน้อย 3 จุด สอดคล้องกับความหนาของชิ้นงานที่จะตรวจสอบ TCG ต้องปรับความสมดุลจุดของการสอบเทียบ (calibration points) ทั้งหมดภายในแอมพลิจูด ±5% ของกันและกัน (จุดที่กำหนดทำTCG อย่างน้อย 3 จุด เมื่อทำ TCG ออกมาแล้วจะค่ากราฟใน A-Scan แอมพลิจูดทั้ง 3 จุดนั้นจะต้องมีค่าแตกต่างกันได้ไม่เกิน ±5%)

11.2.4 Standard Sensitivity Level (SSL) ระดับคุณภาพของสัญญาณที่เป็นมาตรฐานต้องกำหนดที่ 50% ± 5% FSH (ความสูงสุดของสัญญาณที่แสดงในหน้าจอ A-Scan) จากตัวสะท้อนสัญญาณ (รูที่เจาะขนาด 1.5 มม. หรือ 0.060 นิ้ว) ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 5.7 เมื่อทำการสแกนแบบ Dynamic Line (ระดับของ dB นี้จะถูกบันทึกไว้อ้างอิงเป็นหลักที่เรียกว่า dB ของค่า SSL) ต้องบวกเพิ่มสัญญาณอีก 4 เดซิเบลเพื่อชดเชยการสูญเสียพลังงานของเสียงระหว่างการรับข้อมูล (ระหว่างทำการตรวจสอบ แต่ไม่นำระดับสัญญาณที่เพิ่มอีก 4 เดซิเบลมาอ้างอิง) ไม่จำเป็นต้องเพิ่มระดับสัญญาณเดซิเบลสำหรับการสแกนเพิ่มเติมด้วยตัวเอง (Additional dB is not required for manual supplemental scans)

11.2.4.1 Automatic Reject Level (ARL) ระดับคุณภาพสัญญาณที่ตกเกณฑ์(ตีตก) อัตโนมัติ ARL ต้องถูกกำหนดที่ 5 dB เหนือค่า SSL (+5dB จากค่า SSL) ซึ่งจะเทียบเท่า 89% ของ FSH (อ้างอิงตามรูปที่ 5)

11.2.4.2 Disregard Level (DRL) ระดับคุณภาพสัญญาณที่ไม่สนใจค่า (เป็นค่าสัญญาณที่ผ่านเกณฑ์) DRL ต้องถูกกำหนดที่ 6 dB ใต้ค่า SSL (-6dB จากค่า SSL) ซึ่งจะเทียบเท่า 25% ของ FSH (อ้างอิงตามรูปที่ 5)

11.3 Encoder Calibration encoder ต้องได้รับการตรวจสอบโดยบุคลากร PAUT ผ่านการตรวจสอบประจำวัน (daily in-process checks) ให้อยู่ภายใน 1% ของความยาวที่วัดได้ในการสแกน (ค่าความคลาดเคลื่อนให้ได้ไม่เกิน 1%) ความละเอียดของ Encoder ต้องถูกต้องกำหนดค่าในการใช้งานที่ 1 มม. (เพิ่มขึ้นหรือลดลงทีละ 1 มม.)

12. ขั้นตอนการตรวจสอบ (Examination Procedure)

12.1 X and Y Coordinates การระบุพิกัดต้องกำหนดค่าก่อนการสแกนโดยให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่แสดงในหัวข้อ 8.25.1 และ 8.25.2 (ใน Code AWS D1.1 2020)

12.2 Straight Beam Scanning การใช้ลำคลื่นอัลตราโซนิกแบบตรงในการทดสอบใช้ PAUT อิเล็กโทรนิคสแกนหรือใช้ทดสอบด้วยการสแกน UT ที่มุม 0° ต้องดำเนินการให้คลื่นเสียงผ่านทุกส่วนทั่วชิ้นงาน ซึ่งให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่แสดงในหัวข้อ 8.24.4 (ใน Code AWS D1.1 2020)

12.2.1 หากส่วนของแนวเชื่อมใดที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ในการทดสอบตามแผนการสแกน (Scan plan) เนื่องจากเกี่ยวกับ Laminar ที่ถูกบันทึกตามข้อกำหนดที่แสดงในหัวข้อ 8.24.4 (ใน Code AWS D1.1 2020) ให้ทำการทดสอบโดยใช้ Procedure มากกว่าหนึ่งข้อเป็นทางเลือกตามความจำเป็นเพื่อให้ได้ครอบคลุมเต็มแนวเชื่อม ขั้นตอนการปฏิบัติ (Procedure) ทางเลือกเหล่านี้ต้องนำมาพิจารณาในการสร้างแผนการสแกน (Scan Plan)

12.2.1.1 พื้นผิวแนวเชื่อมต้องถูกทำให้ราบเรียบ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่แสดงในหัวข้อ 7.23.3.1 (ใน Code AWS D1.1 2020)

12.2.1.2 การทดสอบจากผิวหน้าอีกด้าน (จากด้านตรงข้ามที่ไม่สามารถทำการตรวจสอบได้)

12.2.1.3 เพิ่มประเภทการสแกน (Electronic Scan) หรือเลือก Index Points เป็นจุดอื่น

12.2.2 ข้อบ่งชี้ใด ๆ ที่ประเมินว่ามีการสะท้อนคลื่นเสียงที่เกิดจาก laminar ในชิ้นงานซึ่งขัดขวางปริมาณการสแกน ต้องมีการปรับเปลี่ยนเทคนิคการตรวจสอบมุมของลำเสียงเพื่อตรวจสอบปริมาณที่มีความเป็นไปได้และการแก้ไขต้องถูกบันทึกไว้สำหรับการตรวจสอบ ถ้าพื้นที่ใด ๆ สำหรับชิ้นงานแสดงการสูญเสียการสะท้อนกลับหรือการบ่งชี้นั้น (Indication) แสดงในกราฟ A-Scan มากกว่าหรือเท่ากับความสูงของตัวสะท้อนกลับเดิมที่อ้างอิงอยู่ (Original Back Reflection) ที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่จะรบกวนขั้นตอนการสแกนแนวเชื่อมปกติของ Procedure การสแกนขนาดและตำแหน่งต้องถูกกำหนดในรายงานของ UT และถ้ามีการสแกนแนวเชื่อมแบบอื่นนอกเหนือจากนี้ต้องใช้ Procedure อื่น (ทำ Procedure ใหม่)

12.3 Angle Beam Scanning การบันทึกข้อมูลอัตโนมัติของคลื่นอัลตราโซนิกที่จำเป็นด้วยคอมพิวเตอร์ในลักษณะการสแกนเชิงเส้น ต้องลงตามความยาวตามแนวแกนของแนวเชื่อมแต่ละแนว การสแกนต้องเป็นไปตามเอกสารและแบบแผนการสแกน (Scan Plan) ที่ได้รับการอนุมัติตามหัวข้อ 10

12.3.1 Scanning Gain การสแกนสามารถทำได้ที่ระดับคุณภาพของสัญญาณที่เป็นมาตรฐาน (SSL) ตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 8.2.4 (ใน Code AWS D1.1 2020) หากมีการปรับความละเอียดของ dB เล็กน้อยหรือปรับเปลี่ยนสีของกราฟ A-Scan ระหว่างการทำการตรวจสอบเพื่อช่วยในการตรวจจับ (Defect /Refactor) ถ้าการสแกนที่ SSL การปรับความละเอียดของ dB เล็กน้อยต้องเพิ่มขึ้นได้ 6 dB แต่ไม่เกิน 50% ความสูงของหน้าจอแสดงสัญญาณ A-Scan (FSH) ในระหว่างทำการตรวจสอบแนวเชื่อมหากไม่ได้ปรับเปลี่ยนสีของกราฟ A- Scan หรือไม่ได้ปรับความละเอียดของ dB เล็กน้อย การเพิ่มเกน (gain) มากกว่า 6 dB จากระดับอ้างอิงหลัก (Primary Reference Level) ต้องถูกนำไปใช้ระหว่างการสแกนคู่มือเสริมสำหรับใช้ในการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบข้อบกพร่องตามขวาง (Transverse Flaw Detection) การสแกนต้องเพิ่มอย่างน้อย 6 dB จาก SSL

12.3.2 Encoded Scanning ยกเว้นตามที่อนุญาตในหัวข้อ 10.4 การสแกนต้องใช้ Encoder สำหรับ Encoded เส้นทางการสแกนต้องดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ทางกล (Mechanical Fixture) หรือเครื่องมือที่จำกัดการเคลื่อนที่ของหัวโพรบไปตามแกนของ Index ขณะทำการสแกน (ระยะห่างจากแนวกึ่งกลางแนวเชื่อมถึงหัวโพรบขนานไปตามแนวเชื่อม)

12.3.3 Scanning Speed ความเร็วของการสแกน การกำหนดความเร็วสำหรับการสแกนไม่เกินค่าที่กำหนดไว้โดยต้องไม่เกินจากการตั้งค่า หากการบันทึกมีข้อมูลตกหล่น (Dropout) ต้องไม่เกิน 1% ของ

การบันทึกข้อมูลและต้องมีค่าความต่อเนื่องของสัญญาณไม่เกิน 2 ครั้งในแนวนั้น ๆ ถ้าเกินให้ถือว่าเป็นการสแกนที่ผิดพลาด

12.3.4 Data Collection บุคลากร PAUT ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าข้อมูลอัลตราโซนิกนั้นถูกบันทึกในรูปแบบที่ยังไม่ประมวลผล การบันทึกข้อมูลที่สมบูรณ์การตั้งค่าของ A-Scan โดยไม่มีการใช้ Gating (ใช้ในการอ่านค่ากราฟ A-Scan) หรือการกรองอื่น ๆ มากกว่าการรับข้อมูล Bandpass ต้องรวมอยู่ในข้องมูลที่บันทึกด้วย

12.3.5 Delayed Inspection การหน่วงเวลาในการตรวจสอบ สำหรับวัสดุมาตรฐาน ASTM A514, A517 และ A709 Grade HPS 100W [HPS 690W] ต้องทำการตรวจสอบ PAUT ไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง หลังจากเสร็จสิ้นการเชื่อม

13. การประเมินผล (Evaluation) การตีความตกผ่าน

13.1 Evaluation Level ระดับของการประเมินผล ข้อมูลต้องถูกวิเคราะห์โดยคำนึงถึงผลที่ได้จากการสแกนตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 12.3.1 การประเมินผลตัวบ่งชี้ (Indication) ยอมรับ(ผ่าน)/ปฏิเสธ(ตก) ต้องดำเนินการตามการพิจารณาจากระดับของ SSL

13.2 Length Measurements ความยาวที่วัดได้ ความยาวของตัวบ่งชี้ (Discontinuity) ต้องใช้วิธี 6 dB Drop Method โดยอธิบายไว้ในหัวข้อ 8.29.2 (ใน Code AWS D1.1 2020) สำหรับบริเวณที่เต็มไปด้วยตัวบ่งชี้ที่ไม่สามารถวัดหาค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่แท้จริงได้ ให้เพิ่มการสแกนที่ระดับเกณฑ์ที่ต่ำลงมา (Lower Gain Level) โดยต้องดำเนินการสำหรับตัวบ่งชี้ Class B และ Class C ที่มีความยาวใกล้เคียงกับการตกเกณฑ์ (Rejectable Lengths) หรือใกล้เคียงติดกับตัวบ่งชี้หรือแนวเชื่อมที่แยกออกจากกัน (weld intersections) ตามความเหมาะสม อาจกำหนด (วัด) ความยาวได้จากไฟล์ข้อมูลที่เก็บไว้

13.3 Acceptance Criteria เกณฑ์การยอมรับ

แนวเชื่อมยอมรับได้ต้องไม่มีตัวบ่งชี้ในแนวระนาบ (Planar Indication) ต้องไม่มีตัวบ่งชี้ใด ๆ ที่มีแอมพลิจูดหรือความยาวเกินกว่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 สำหรับประเภทของการรับภาระแรง (type of loading) ความไม่ต่อเนื่อง ต้องแบ่งประเภทตามแอมพลิจูดสูงสุดที่แสดงในตารางที่ 3 (ดูรูปที่ 5 ประกอบ)

13.3.1 การใช้งาน PAUT เสริม (จากกระบวนการ NDT อื่น) และ/หรือเทคนิค NDT อื่นเป็นทางเลือกเมื่อมีความจำเป็น จำเป็นเพื่อตรวจสอบข้อบ่งชี้ที่สงสัย (จากคำถามต่างๆ) ในการรวบรวมข้อมูล

13.3.2 คุณลักษณะของสิ่งบ่งชี้ที่เป็นรอยร้าว (Crack) ต้องไม่ยอมรับ (Reject/ตกเกณฑ์) โดยไม่สนใจความยาวหรือความสูงของแอมพลิจูด (ใน A-Scan)

13.3.3 ตัวบ่งชี้ Class B และ C (ตามในตารางที่ 2) แต่ละตัวต้องแยกออกจากกันที่อย่างน้อย 2L โดย L คือ ความยาวของตัวบ่งชี้ที่ยาวกว่า ยกเว้นว่าเมื่อสิ่งบ่งชี้ตัวดังกล่าว 2 ตัวหรือมากกว่านั้นไม่ถูกคั่นจากกัน ด้วยความยาวอย่างน้อย 2L แต่ความยาวรวมของตัวบ่งชี้และระยะที่แยกตัวบ่งชี้ดังกว่านั้นเท่ากันหรือน้อยกว่า ความยาวสูงสุดที่อนุญาตให้ผ่านเกณฑ์ได้ตามเกณฑ์ของ Class B และ C ข้อบกพร่องนี้ (ความไม่ต่อเนื่อง/Defect) ให้ถือว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่ยอมรับได้ (Accept/ผ่านเกณฑ์)

13.3.4 ตัวบ่งชี้ Class B และ C (ตามในตารางที่ 2) ต้องไม่เริ่มต้นที่ระยะห่างน้อยกว่า 2L จากจุดสิ้นสุดแนวเชื่อม (ที่แบกรับแรงดึงเริ่มต้น/carrying primary tensile stresses) โดยหมายถึงระยะที่ห่างจากจุดสิ้นสุดของแผ่นชิ้นงานด้วย ถ้ามีระยะห่างน้อยกว่า 2L ข้อบกพร่องนี้ (ความไม่ต่อเนื่อง/Defect) ให้ถือว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่ยอมรับไม่ได้ (Reject/ตกเกณฑ์) โดย L คือ ความยาวของตัวบ่งชี้

13.3.5 สำหรับตัวบ่งชี้ Class C (ตามในตารางที่ 2) ความลึกของความไม่ต่อเนื่องต้องถูกกำหนดโดยตำแหน่งของแอมพลิจูดที่สูงที่สุด (A-Scan) ที่มุมที่สร้างสัญญาณสูงสุด

13.4 Identification of Rejected Areas ความไม่ต่อเนื่องที่ยอมรับไม่ได้แต่ละตัว (Reject) ต้องระบุบนแนวเชื่อมด้วยเครื่องหมาย (มาร์ค/Mark) โดยตรงหรือความไม่ต่อเนื่องนั้นๆ ตลอดความยาว ความลึกจากผิวชิ้นงานและพิกัดตำแหน่งตัวบ่งชี้ต้องระบุบนพื้นที่ใกล้เคียง (กับแนวเชื่อมแนวนั้นๆ)

13.5 Repair การซ่อมแนวเชื่อมที่ถูกตรวจสอบแล้วไม่ผ่านเกณฑ์ (Unacceptable) ด้วยเครื่อง PAUT ต้องดำเนินการตามหัวข้อ 7.25 (ใน Code AWS D1.1 2020) พื้นที่ที่ทำการซ่อมต้องทดสอบใหม่ด้วยการใช้แผนการสแกนเดิม (Same Scan Plan) และเทคนิคเดียวกับที่ใช้ในการตรวจสอบเดิม เว้นแต่แผนการสแกนจะไม่ครอบคลุมพื้นที่การซ่อม ในกรณีนี้ต้องจัดทำแผนการสแกนใหม่สำหรับพื้นที่การซ่อมขั้นต่ำของความยาวที่ทำการซ่อมทำโดยและตรวจสอบใหม่ต้องมีความยาวของพื้นที่การซ่อมบวกไปอีก 2 นิ้วที่ปลายแต่ละด้าน

14. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

14.1 Validation of Coverage ข้อมูลที่บันทึกไว้ต้องได้รับการประเมินผลเพื่อให้แน่ใจว่าได้ดำเนินการตามแผนการสแกนอย่างเต็มรูปแบบมากว่า 100% ของระยะ (Length) ที่ต้องการตรวจสอบ

14.2 Data Analysis and Recording Requirements ข้อกำหนดการวิเคราะห์และบันทึกผล โดยข้อดังต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดสำหรับการประเมินข้อมูล (evaluation of data)

14.2.1 ปริมาณการตรวจสอบทั้งหมดที่กำหนดโดยแผนการสแกนต้องนำไปวิเคราะห์โดยใช้เกท (Gate) และใช้เคอเซอร์ (Cursors) ไปอยู่ยังตำแหน่งและระบุแหล่งที่มา ตำแหน่งและลักษณะสำหรับสิ่งบ่งชี้ทั้งหมดอีกทางหนึ่ง อาจใช้การพล็อตแบบแมนนวล(Manual) เพื่อเพิ่มการวิเคราะห์ On-Board Analysis ตัวอย่างเช่น รูปทรงที่ไม่ขนานกันหรือไม่สอดคล้องกัน (nonparallel or inconsistent geometries)

14.2.2 การตอบสนองที่เกิดจากรูปทรงของแนวเชื่อมที่เกิดจากการเดินแนวเชื่อม (ด้านใต้และช่วงตรงกลาง/Weld Root) และแนวเชื่อมด้านบน (Weld Cap) ต้องได้รับการตรวจสอบและระบุพื้นฐานของการจำแนกประเภท (Basis for This Classification) ควรจดบันทึกในแบบฟอร์มของรายงาน

14.2.3 ข้อบ่งชี้ใด ๆ ที่รับประกันการประเมิน (การตรวจสอบ) ต้องถูกบันทึกไว้เพื่อสนับสนุนการจัดการผลลัพธ์ (Support the Resultant Disposition) สำหรับขอบเขตของการบันทึกต้องเพียงพอสำหรับผู้สอบทาน (Reviewers) และผู้ตรวจสอบย้อนหลัง (Subsequent Examiners to Repeat) ที่จะทำซ้ำจากข้อมูลเดิมและควรอยู่คนเดียวขณะบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร (should stand alone as a written record)

14.2.4 ตัวบ่งชี้ที่ตกเกณฑ์ต้องทำเป็นรายงาน รายงานต้องระบุถึงจุดสูงสุดของแอมพลิจูด (Peak Amplitude) indication rating (d) (ค่า d =a-b-c หน่วยเป็น dB) ความยาวของตัวบ่งชี้ ความลึกใต้ผิวและตำแหน่งสัมพันธ์ที่เพียงพอสำหรับการซ่อมแซม การวางตำแหน่งของเคอร์เซอร์ (Cursor placement) คุณลักษณะการวัดและคำอธิบายประกอบต้องกระชับและชัดเจน (shall clearly support disposition)

15. การจัดการข้อมูล (Data Management)

15.1 Data Management System การจัดการข้อมูลต้องมีรูปแบบการจัดการที่สอดคล้องกับข้อกำหนดและขนาดของงาน

15.2 File Nomenclature การตั้งชื่อไฟล์ ต้องใช้รูปแบบการตั้งชื่อไฟล์อย่างเป็นระบบเพื่อควบคุมการจัดการข้อมูลของการสอบเทียบและการเซ็ตอัพ (ตั้งค่า) ไฟล์ข้อมูลไฟล์ Phased Array และแบบฟอร์มรายงานข้อมูลที่สร้างแบบดิจิตอล

15.3 Raw Data ข้อมูลดิบ ข้อมูลของ Phased Array ทั้งหมดต้องถูกบันทึกในรูปแบบ A-Scan ดั้งเดิมตามที่รวบรวมระหว่างการตรวจสอบ (ทดสอบ) นั่นหมายถึงต้องไม่มีการแก้ไขไฟล์หลังจากที่มีการนำออกมาจากเครื่อง PAUT

15.4 Data Reviewing การตรวจสอบข้อมูล การทบทวนและประเมินผลข้อมูลของ Phased Array (review and evaluation) ต้องไม่เปลี่ยนหรือส่งผลกระทบต่อไฟล์ต้นฉบับ (ข้อมูล A-Scan)

16. เอกสารและการรายงาน (Documentation and Reporting)

16.1 Reporting การรายงาน รายงานการตรวจสอบต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 8.26 (ใน Code AWS D1.1 2020) และอาจส่งออกจากเครื่อง PAUT คุณลักษณะการรายงานของ Phased Array หน่วยที่ให้ข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดรวมอยู่ด้วย จัดทำรายงานได้ด้วยในรูปแบบ UT ธรรมดา (UT conventional) แบบเขียนด้วยตนเองหรือโดยการสร้างจากคอมพิวเตอร์

16.2 ถ้าใช้ PAUT มาแทนการใช้ RT การเขียนรายงานต้องเป็นลายลักอักษรต้องมีลายละเอียดอย่างน้อยประกอบด้วย การใช้ Encoder กับ C-Scan ที่ครอบคลุมความยาวในการตรวจสอบทั้งหมด A-Scan B-Scan C-Scan และ S-Scan views (ดูในหัวข้อ 6.12) ของข้อบ่งชี้ที่รายงานทั้งหมด (all reportable indications) ข้อมูลดิบทั้งหมดของ PAUT ที่ตรวจสอบแทนที่ RT ต้องถูกเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาเดียวกันกับที่เก็บฟิล์มเอ็กซ์เรย์

16.3 การซ่อม (Repairs) ผลลัพธ์จากการตรวจสอบด้วย PAUT ที่ต้องมีการซ่อมแนวเชื่อมต้องจัดแบบฟอร์มตารางในรูปแบบเดิมหรือแบบฟอร์มรายงานเพิ่มเติม และต้องระบุหมายเลขการซ่อมที่เหมาะสม (R1, R2, R3 เป็นต้น)

16.4 Scan Plan Reporting การรายงานแผนการสแกน แผนการสแกนที่ใช้ระหว่างการตรวจสอบต้องมาพร้อมกันกับแบบฟอร์มการรายงาน

17. การตรวจสอบความเป็นลิเนียร์ของระบบ (System Linearity Verification)

17.1 General Requirements ข้อกำหนดทั่วไป การตรวจสอบความถูกต้องเชิงเส้นต้องกำหนดอย่างน้อยทุก 12 เดือนและบันทึกไว้ในรูปแบบที่คล้ายกับที่แสดงในรูปที่ 7 การตรวจสอบต้องดำเนินการโดยบุคลากร PAUT Level II หรือ Level III หรือที่เป็นทางเลือกของผู้รับเหมา (Contractor's option) อุปกรณ์อาจถูกส่งไปยังบริษัทผู้ผลิตเพื่อตรวจสอบ (verification)

17.1.1 เครื่อง PAUT ต้องได้รับการกำหนดค่าให้แสดงผล A-Scan

17.1.2 ฐานเวลาของ A-Scan ต้องถูกปรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อแสดงสัญญาณพัลส์เอคโค (pulse-echo signals) ที่เลือกสำหรับการตรวจสอบความเป็นลิเนียร์โดยเฉพาะ บล็อกในการสอบเทียบประเภท IIW (standard IIW type block) ดูในรูปที่ 8.13 (ใน Code AWS D1.1 2020) หรือบล็อกที่มีความเป็นลิเนียร์ที่อธิบายไว้ใน ASTM E317 ต้องถูกเลือกเพื่อให้สัญญาณประเมินความเป็นลักษณะเชิงเส้นของอุปกรณ์

17.1.3 Pulser parameters ต้องเลือกสำหรับความถี่และแบนด์พาส (Bandpass) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองจากโพรบที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้น (linearity verifications)

17.1.4 17.1.4 Receiver gain ต้องตั้งค่าให้แสดงสัญญาณที่ไม่อิ่มตัว (non-saturating signals) ที่น่าสนใจบนหน้าจอ สำหรับการแสดงผลความสูงและแอมพลิจูดในการควบคุมการประเมินความเป็นเส้นตรง (หมายความว่าสัญญาณที่ไม่อิ่มตัวต้องไม่เกิน 100% FSH)

17.2 Display Height Linearity Verification Procedure ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องเชิงเส้นของจอแสดงผล

17.2.1 ด้วยเครื่อง Phased Array ที่เชื่อมต่อกับโพรบ (คลื่นตามขวางหรือตามยาว) และเชื่อมต่อกับบล็อคใด ๆ ที่จะสร้างสัญญาณทั้ง 2 สัญญาณ ให้ปรับโพรบเพื่อให้แอมพลิจูดของสัญญาณทั้งสองอยู่ที่ 80% และ 40% ของความสูงหน้าจอแสดงผล

17.2.2 เกน (Gain) ต้องเพิ่มขึ้นโดยการใช้การปรับตัวรับเกนเพื่อให้ได้ 100% FSH ของการตอบสนองที่ใหญ่กว่าความสูงของการตอบสนองที่ต่ำกว่าจะถูกบันทึกที่การตั้งค่าเกนนี้เป็นเปอร์เซ็นต์ของ FSH

17.2.3 ความสูงของการตอบสนองที่สูงขึ้นต้องลดลง 10% Steps ถึง 10% FSH และบันทึกความสูงของวินาทีที่ตอบสนองแต่ละ Steps

17.2.4 สัญญาณที่ใหญ่กว่าต้องถูกส่งกลับเป็น 80% เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณที่เล็กกว่านั้นไม่ได้เบี่ยงเบนไปจากเดิม 40% ระดับเนื่องมาจากความแปรผันของการผูกเข้าเป็นคู่ (การรบกวนกันของสัญญาณทั้ง 2 ตัวซึ่งกันและกัน) (coupling variation) การทำการทดสอบซ้ำถ้าความแปรฝันของสัญญาณที่สองมากกว่า 41% หรือน้อยกว่า 39% FSH

17.2.5 สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ การตอบสนองจากตัวสะท้อนเสียงทั้ง 2 ตัว ต้องมีความสัมพันธ์แบบ 2 ต่อ 1 ภายใน ±3% ของ FSH ตลอดช่วง 10% ถึง 100% (99% ถ้า 100% คือ ความอิ่มตัวของ FSH)

17.2.6 ผลลัพธ์ต้องบันทึกในรูปแบบเชิงเส้นของเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 7

17.3 Amplitude Control Linearity Verification Procedure กระบวนการควบคุมแอมพลิจูดในขั้นตอนการตรวจสอบความเป็นลิเนียร์ (ความเป็นเส้นตรง) แต่ละส่วนประกอบของเครื่องรับพัลส์เซอร์ (pulser-receiver) ต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อกำหนดความเป็นเส้นตรงความสามารถในการขยายของเครื่องมือ (instrument amplification capabilities) สำหรับเครื่องมือที่กำหนดค่าให้อ่านแอมพลิจูดที่มากกว่าที่สามารถมองเห็นได้บนจอแสดงผล อาจจะต้องใช้จุดตรวจมีช่วงที่กว้างสำหรับเครื่องมือนี้ gated output แทนจอแสดงผล A-Scan ต้องได้รับการตรวจสอบหาความเป็นเส้นตรง

17.3.1 หัวโพรบแบบแบน (A flat (normal incidence) linear array phased array probe) ต้องเลือกให้มีผลึกมากพออย่างน้อยเท่ากับจำนวน Pulser ของเครื่อง

17.3.2 เครื่อง PAUT ต้องได้รับการกำหนดค่าโดยใช้โพรบที่มีอิเล็กทรอนิกส์สแกนที่ 0° (electronic scan) แต่ละ Focal Law การสแกนจะเริ่มต้นที่ผลึกแรก (element number 1) และจบ(สิ้นสุด) ที่ผลึกที่แสดงจำนวนสอดคล้องกับจำนวนพัลเซอร์ (pulsers) ของเครื่อง PAUT

17.3.3 หัวโพรบต้องเชื่อมต่อกับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเพื่อให้ได้การตอบสนองของพัลส์เอคโค (pulse-echo) จากแต่ละ Focal Law เสียงสะท้อน (echo) จากด้านหลังของชิ้นงาน (backwall) ที่มีความหนา 1 นิ้ว (25 มม.) ของบล็อก IIW block หรือบล็อกที่มีความคล้ายกันจะเป็นตัวเลือกเป้าหมายที่เหมาะสม อีกทางหนึ่งอาจใช้การทดสอบโดยการจุ่ม (immersion testing)

17.3.4 Channel 1 ของ pulser-receivers ของ เครื่อง PAUT ต้องถูกเลือกให้ใช้กับการแสดงผล A-Scan บนหน้าจอ การตอบสนองจากเป้าหมายที่เลือกและปรับเกน(gain) เพื่อนำสัญญาณไปที่ 40% FSH

17.3.5 เกน (gain) ต้องถูกเพิ่มไปยังตัวรับ (receiver) ของเครื่อง PAUT โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 dB จากนั้น 2 dB จากนั้น 4 dB และ 6 dB ลดอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นหลังจากการเพิ่มขึ้นแต่ละครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณที่ได้กลับไปเป็น 40% FSH บันทึกความสูงที่แท้จริงของสัญญาณเป็นเปอร์เซ็นต์ของความสูงของหน้าจอแสดงผล

17.3.6 สัญญาณต้องปรับเป็น 100% FSH ปรับลดเกนลง 6 dB และบันทึกความสูงที่แท้จริงของสัญญาณเป็นเปอร์เซ็นต์ของความสูงของจอแสดงผล

17.3.7 แอมพลิจูดของสัญญาณอนุญาตให้ตกได้ (Shall Fall) อยู่ในช่วง +/-3% ของความสูงของจอแสดงผลที่ต้องการในช่วงความสูงที่อนุญาตตามรูปที่ 7

17.3.8 ลำดับจากข้อ (4) ถึง (7) ต้องทำซ้ำสำหรับช่องสัญญาณพัลเซอร์-ตัวรับอื่นๆ (other pulser-receiver channels) และผลลัพธ์ต้องถูกบันทึกไว้ในแบบรายงานความเป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 7

17.4 Time-Base Linearity (Horizontal Linearity) Verification Procedure ขั้นตอนการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้น (ความเป็นเส้นตรงในแนวนอน)

17.4.1 เครื่อง PAUT ต้องกำหนดค่าหน้าจอเพื่อแสดงผล A-Scan อยู่ในช่วง 10 นิ้ว (250 มม.)

17.4.2 หัวโพรบที่ใช้คลื่นตามยาวใด ๆ ต้องกำหนดค่าเครื่อง PAUT และต้องแสดงช่วงที่มีการสะท้อนกลับหลายครั้งอย่างน้อย 10 ครั้งจากความหนาของ 1 นิ้ว (25 มม.) wall thickness ที่ทำการสอบเทียบจาก block

17.4.3 เครื่อง PAUT ต้องถูกตั้งค่าเป็นอัตราการแปลงจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลอย่างน้อย 80 MHz

17.4.4 ด้วยหัวโพรบที่ใช้ร่วมกับบล็อกและแสดง A-Scan 10 ลูก ตามรูปที่ 6 ซอฟต์แวร์ในการแสดงผลต้องใช้เพื่อประเมินช่วงเวลาระหว่างสัญญาณ backwall ที่อยู่ติดกัน (คลื่นลูกที่อยู่ติดกัน)

17.4.5 ความเร็วเสียงของบล็อกทดสอบต้องตั้งค่าโดยการสอบเทียบ (อาจใช้ ASTM E494 เป็นแนวทาง) ความเร็วเสียงในซอฟต์แวร์แสดงผลต้องเข้าถึงและหน้าจอต้องกำหนดค่าให้อ่านค่าระยะทาง (ความหนา) ได้

17.4.6 ใช้การอ้างอิงและใช้การวัดค่าโดยเคอร์เซอร์ ช่วงเวลาระหว่างลูกคลื่นแต่ละลูก (หลายลูกคลื่น) ต้องถูกกำหนดและจากช่วงระยะห่างของคลื่นลูกแรกไปอีก 10 ลูก ต้องถูกบันทึก (The interval between each multiple shall be determined and the interval of the first 10 multiples shall be recorded)

17.4.7 การติดตามการหักเหของแต่ละช่วงที่อยู่ระหว่างกลางแต่ละครั้งต้องถูกต้องภายใน 2% ของความกว้างหน้าจอ (Each intermediate trace deflection shall be correct within 2% of the screen width)

Table H.1
Essential Variables for PAUT (see H7.1 and H7.3)

(1)	Element numbers used for focal laws
(2)	Angular range of azimuthal scan
(3)	Manufacturer's documented permitted wedge angular range
(4)	Weld configurations to be examined, including thickness dimensions and base material product form (pipe, plate, etc.)
(5)	Surface curvature along index axis (e.g., for longitudinal weld in tubular member)
(6)	The surfaces from which the examination is performed (top, bottom, etc.)
(7)	Techniques (straight beam, angle beam, contact)
(8)	Search unit types, frequencies, element sizes and shapes
(9)	Phased array unit type – manufacturer and model including acquisition software
(10)	Manual vs. automated/semi-automated scanning
(11)	Method for discriminating geometric from weld defect indications
(12)	Decrease in scan overlap
(13)	Method for determining focal/delay laws if other than on-board equipment algorithms included in the software revision specified
(14)	Acquisition or analysis software type
(15)	Probe manufacturer and model
(16)	Any increase in scanning speed
(17)	Couplant, if not listed in 8.25.4
(18)	Computer enhanced data analysis

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการใช้งาน PAUT

Table H.2
PAUT Acceptance Criteria (see H10.3)

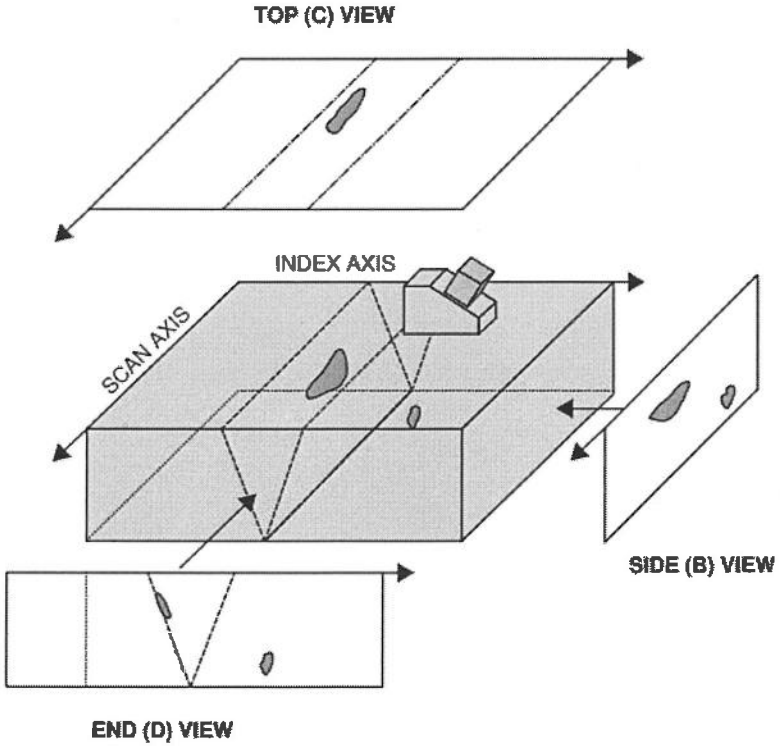
Maximum Discontinuity Amplitude Level Obtained	Maximum Discontinuity Lengths by Type of Loading	
	Static and Cyclic Compression	Cyclic Tension
Class A	None allowed	None allowed
Class B	3/4 in [20 mm]	1/2 in [12 mm]
Class C	2 in [50 mm]	Middle half of weld: 2 in [50 mm] Top or bottom quarter of weld: 3/4 in [20 mm]
Class D	Disregard	Disregard

ตารางที่ 2 เกณฑ์การยอมรับการใช้งาน PAUT

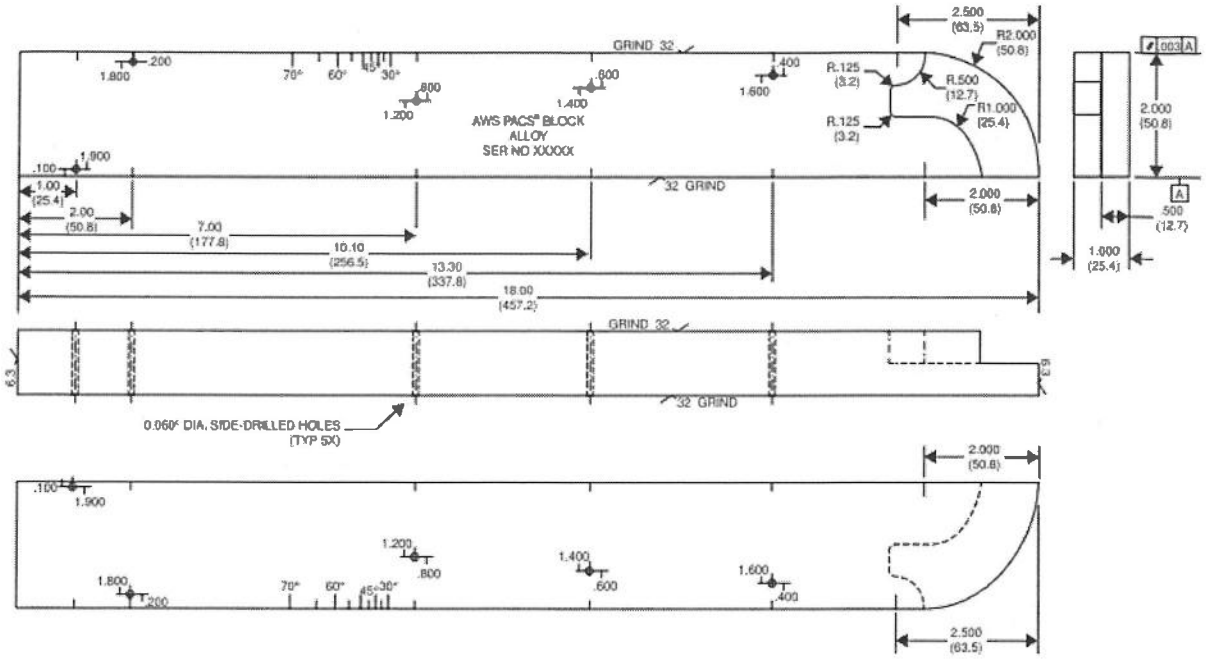
Table H.3 (see H8.2.4)
Discontinuity Classification

Discontinuity Classification	Description
A	> ARL
B	> SSL, ≤ ARL
C	> DRL, ≤ SSL
D	≤ DRL

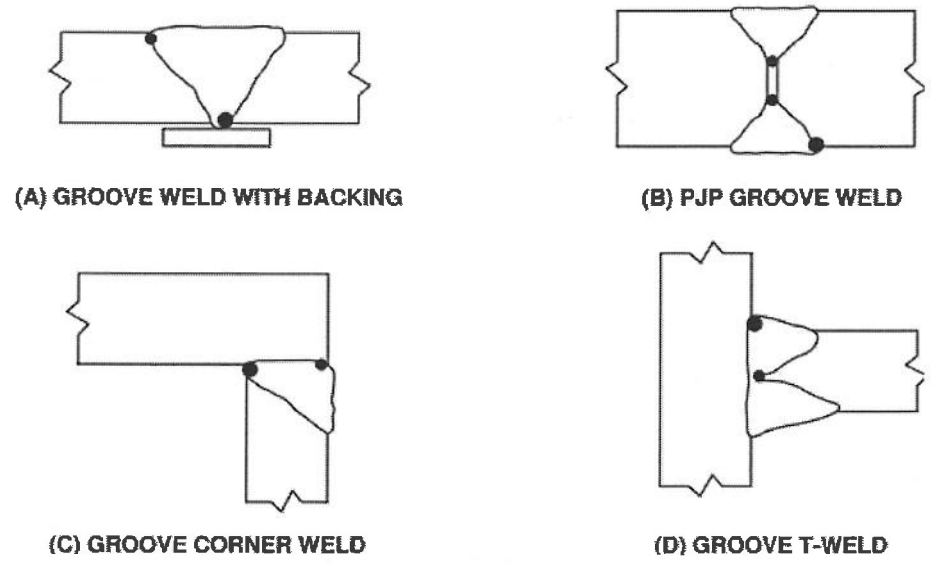
ตารางที่ 3 การจัดกลุ่มความไม่ต่อเนื่องที่ตรวจพบ



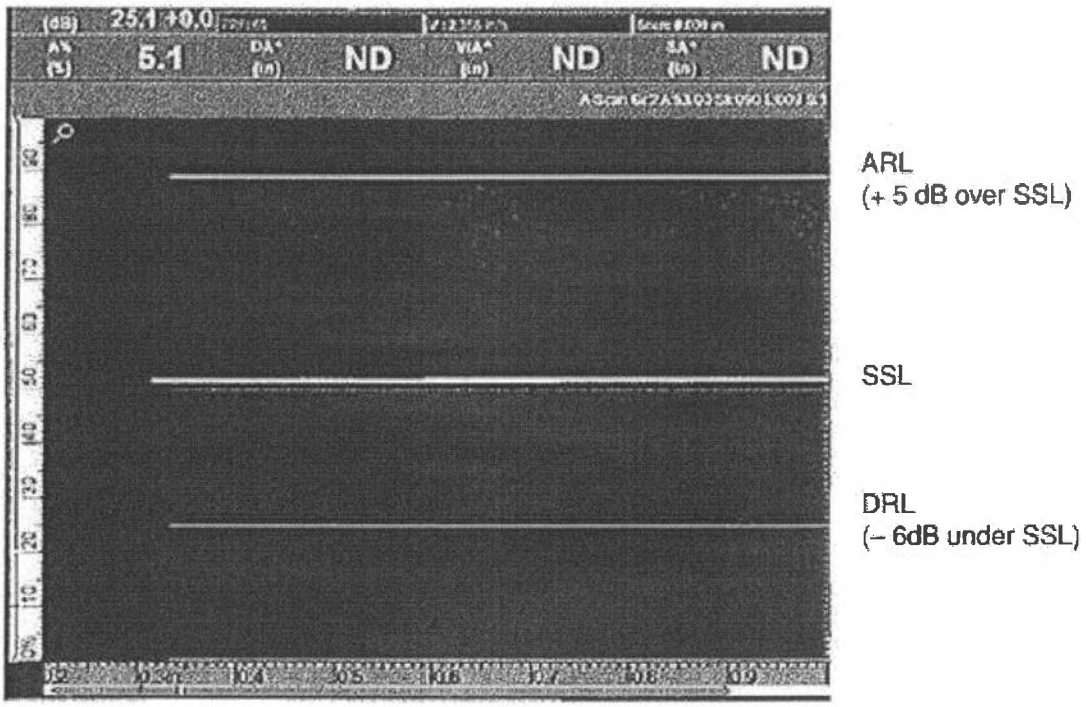
รูปที่ 2 ภาพมุมมองแต่ละมิติของ PAUT



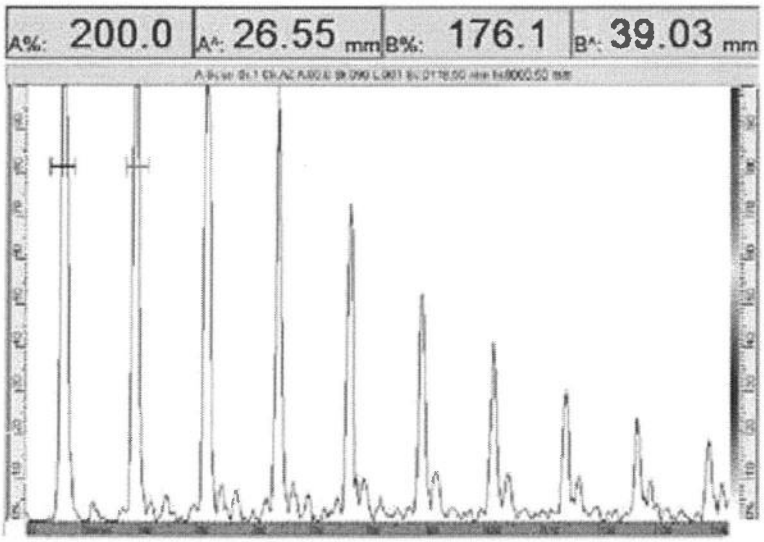
รูปที่ 3 ตัวอย่างบล็อกอ้างอิงเพิ่มเติม



รูปที่ 4 การจำลองลักษณะงานเชื่อมตัวตามอย่างตามมาตรฐานแสดงตำแหน่งสะท้อนคลื่นเสียง



รูปที่ 5 ระดับคุณภาพของสัญญาณ



รูปที่ 6 ตัวอย่างขั้นตอนการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้น

Figure H.6
Linearity Verification Report Form (see H14)

Location:		Date:	
Operator Personnel:		Signature:	
Instrument:		Couplant:	
Pulser Voltage (V):	Pulse Duration (ns):	Receiver (band):	Receiver Smoothing:
Digitization Frequency (MHz):		Averaging	

Display Height Linearity			Amplitude Control Linearity		
Large %	Small Allowed Range %	Small Actual %	Ind. Height %	dB	Allowed Range %
100	47–53		40	+1	42–47
90	42–48		40	+2	48–52
80	40	40	40	+4	60–66
70	32–38		40	+6	77–83
60	27–33		40	–6	17–23
50	22–28		100	–6	47–53
40	17–23				
30	12–18				
20	7–13				
10	2–8				

Amplitude Control Linearity Channel Results: (Note any channels that do not fall in the allowed range)

Channel (Add more if required for 32 or 64 pulser-receiver units)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Time Based (Horizontal) Linearity (for 1 in [25 mm] IIW Blocks)

Multiple	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thickness	1 in [25 mm]	2 in [50 mm]	3 in [75 mm]	4 in [100 mm]	5 in [125 mm]	6 in [150 mm]	7 in [175 mm]	8 in [200 mm]	9 in [225 mm]	10 in [250 mm]
Measured Interval										
Allowed deviation (Yes/No)										

รูปที่ 7 รายงานการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้น

การแจกจ่าย

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
กพช.อร.		
จก.กพช.อร.	1	
ผ.วิชาการ กวจพ.กพช.อร.	1	
ห้องสมุด กวจพ.กพช.อร.	5	
กคภ.กพช.อร.	2 (รวมต้นฉบับ)	
กผช.อร.		
กผงร.กผช.อร.	1	
กอร.กผช.อร.	1	
กอจ.กผช.อร.	1	
กอฟ.กผช.อร.	1	
อธบ.อร.		
กผป.อธบ.อร.	1	
กงน.อธบ.อร.	1	
อจปร.อร.		
ห้องสมุด อจปร.อร.	3	
กพ.อจปร.อร.		
คป.อจปร.อร.		
กผป.อจปร.อร.	1	
กพห.อจปร.อร.		
กอบ.อจปร.อร.	1	
กพด.อจปร.อร.	1	
กคภ.อจปร.อร.	1	
กชส.อจปร.อร.		
กรก.อจปร.อร.	1	
กรล.อจปร.อร.	1	
กบต.อจปร.อร.	1	
กบก.อจปร.อร.		

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
อรม.อร.		
กจก.อรม.อร.	1	
กพ.อรม.อร.	1	
กบ.อรม.อร.	1	
กผป.อรม.อร.	1	
กคภ.อรม.อร.	1	
กรก.อรม.อร.	1	
กรล.อรม.อร.	1	
กฟฟ.อรม.อร.	1	
กสน.อรม.อร.		
กพด.อรม.อร.		
กรง.ฐท.สส.		
กผกช.กรง.ฐท.สส.	1	
กงน.กรง.ฐท.สส.	1	
ฐท.สข.		
กงน.ฐท.สข.	1	
ฐท.พง.		
กงน.ฐท.พง.	1	