ค. 091 – 0002 – 0966

การตรวจหารอยร้าวในโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค

มาตรฐานงานช่างกรมอู่ทหารเรือ

ค. 091 – 0002 – 0966

การตรวจหารอยร้าวในโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค

แก้ไขครั้งที่ ๑ เมื่อ ก.ย.๖๖

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.๐๙๑-๐๐๐๒-๐๙๖๖ การตรวจหารอยร้าวในโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ กันยายน พ.ศ.๒๕๖๖

พลเรือตรี
(กริช ขันธอุบล)
เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

รายการแก้ไข

หมายเลขหน้า

การแก้ไขครั้งที่

บันทึกการแก้ไข

วัน เดือน ปี	รายการแก้ไข

ค. 091-0002-0966
การตรวจหารอยร้าวในโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค

1. <u>เอกสารอ้างอิงและคำแนะนำทางช่างที่อ้างถึง</u>

ข้อกำหนดต่าง ๆ ในมาตรฐานฉบับนี้ อ้างอิงมาจากมาตรฐานในปัจจุบัน ซึ่งอาจมีการแก้ไขปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอในอนาคต ดังนั้น ผู้ที่ใช้มาตรฐานฉบับนี้ควรตรวจสอบมาตรฐานอ้างอิงที่มีความทันสมัยในขณะนั้นประกอบการพิจารณาประกอบด้วย

1.1 American Bureau of Shipping Guide for Nondestructive Inspection Of Hull Welds 2002.

1.2 ASTM E 164 – 97 Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments.

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

1.4 ISO 17640:2010 Non-destructive testing of welds - Ultrasonic testing - Techniques, testing levels, and assessment.

1.5 MIL – STD – 271E (SHIPS) Nondestructive Testing Requirements for Metal

1.6 NAVSHIP 0900-3010 Ultrasonic Inspection Procedure & Acceptance Standards for Hull.

2. <u>การแจกจ่าย</u>

ดูหน้าการแจกจ่ายท้ายเล่ม

3. <u>ความมุ่งหมาย</u>

เพื่อเป็นแนวมาตรฐานการปฏิบัติการตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิคกับงานโลหะชนิดต่าง ๆ แก่เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ ให้สามารถปรับตั้งเครื่องและใช้เทคนิคในการตรวจสอบที่ถูกต้อง

4. <u>ขอบเขต</u>

คำแนะนำทางช่างฉบับนี้ ใช้ในงานตรวจสอบหารอยร้าวในโลหะทุกชนิดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยเทคนิคคลื่นสะท้อนแบบสัมผัส (Contact Pulse Echo Technic) ทั้งแบบใช้หัวตรวจตรง (Normal Beam Probe) และหัวตรวจมุม (Angle Beam Probe) โดยกล่าวถึง วิธีการมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องการใช้แท่งปรับมาตรฐานและเทคนิคในการตรวจหารอยบกพร่องในงานโลหะชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรอยเชื่อมประสาน

5. <u>คำจำกัดความ</u>

5.1 อัลตราโซนิค (Ultrasonic) คือช่วงที่มีค่าความถี่สูงกว่า 20kHz ในงานทดสอบแบบไม่ทำลายนี้ จะใช้ความถี่ที่อยู่ระหว่าง 0.5 – 15MHz

5.2 วัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกลางเสียงคล้ายกัน (Acoustically Similar Material) เป็นวัตถุชนิดเดียวกับที่เราต้องการตรวจ ซึ่งได้ทดลองแล้วว่าเสียงจะมีความเร็วแตกต่างในวัตถุนั้นกับวัตถุที่จะตรวจไม่เกิน 3% และการอ่อนตัวลงของเสียง (Attenuation) ที่ความถี่เดียวกับที่จะใช้ตรวจไม่เกิน 0.26 dB/นิ้ว ในวัตถุที่จะตรวจ โดยใช้แบบการแพร่คลื่น (Mode) ในการตรวจอย่างเดียวกัน

5.3 ความสูงของสัญญาณ (Amplitude) หมายถึงความสูงของสัญญาณที่ปรากฏบนจอภาพ (CRT) โดยวัดระยะตั้งฉากจากจุดต่ำสุด ถึงจุดสูงสุดของสัญญาณนั้น

5.4 ระดับความสูงของสัญญาณที่ไม่ยอมรับ (ABL, Amplitude Rejection Level) คือเส้นในแนวระดับบนจอภาพซึ่งได้มาจากการปรับสัญญาณสูงสุดของคลื่นสะท้อนจากรอยบกพร่องที่ทำเทียบขึ้นในแท่งทดสอบมาตรฐาน

5.5 การตรวจแบบคลื่นมุม (Angle Beam Testing) เป็นเทคนิคการตรวจสอบโดยหัวตรวจ (Transducer) จะส่งคลื่นเป็นมุมที่ไม่ใช่มุมฉากเข้าไปในวัตถุผ่านตัวกลางเสียงรูปลิ่มของหัวตรวจ

5.6 คลื่นสะท้อนหลัง (Back Reflection) สัญญาณของคลื่นที่สะท้อนจากขอบหลังของวัตถุที่ทดสอบ

5.7 การปรับตั้งเครื่อง (Calibration) คือปรับตั้งระบบตรวจด้วยอัลตราโซนิคให้สามารถใช้สัญญาณตามที่ต้องการอันได้แก่ ความสูง และตำแหน่งของสัญญาณโดยใช้แท่นทดสอบมาตรฐาน

5.8 คลื่นตามยาว (Longitudinal or Compression Wave) คือคลื่นที่เกิดจากการสั่นของอะตอมในวัตถุมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้น

5.9 ตรวจกวาดอย่างต่อเนื่อง (Continuous Scan) เป็นการเคลื่อนที่กวาดหัวตรวจซึ่งในแต่ละครั้งมีพื้นที่เหลื่อมทับกับการกวาดแนวแรก ๆ ไม่ต่ำกว่า 25%

5.10 การเชื่อมโยงคลื่น (Couplant) วัตถุในสภาพของเหลวหรือกึ่งของเหลว (Semi-liquid) ใช้เพื่อช่วยให้การส่งผ่านคลื่นระหว่างหัวตรวจกับชิ้นงานที่จะตรวจสอบเป็นไปได้ดีขึ้น

5.11 ความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) การเปลี่ยนแปลงในเนื้อวัตถุซึ่งจะกีดขวาง หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับคลื่นอัลตราโซนิคซึ่งอาจตรวจจับได้

5.12 ระดับความสูงของสัญญาที่ไม่นำมาพิจารณา (DRL-Disregard Level) คือเส้นในแนวระดับบนจอภาพซึ่งได้ระดับเส้นนี้เป็นความสูงของสัญญาณรบกวน และสัญญาณที่ไม่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการตรวจสอบ

5.13 เส้นโค้งระยะทาง – ความสูงคลื่นที่ถูกต้อง (Distance – Amplitude Correction Curve) เส้นโค้งระยะทาง – ความสูงคลื่น เป็นเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความสูงของสัญญาณ และพื้นผิวสะท้อนคลื่นที่มีขนาดเดียวกับที่ทำให้เกิดสัญญาณสูงเท่ากันนั้นที่ระยะห่างจากหัวตรวจต่างๆ กันโยใช้แท่งทดสอบมาตรฐานในการสร้างเส้นโค้งชนิดนี้

5.14 ความถี่คลื่น (Frequency, f) จำนวนครบรอบของคลื่นต่อหน่วยเวลา

5.15 ความสูงเต็มสกรีน (Full Soreen Height) จุดสูงสุดบนจอภาพที่ใช้ในการประเมินผล และบันทึกผลการตรวจสอบโดยให้ความสูงเต็มสกรีนเป็น 100%

5.16 การควบคุมเกม (Gain Control) การควบคุมการขยายสัญญาณของคลื่นอัลตราโซนิค เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมความไว (Sensitivity Control)

5.17 สัญญาณบนจอภาพ (Indication) เส้นโค้งที่มอบเห็นในจอภาพ ซึ่งเกิดจากการสะท้อนกลับของคลื่นจากภายในชิ้นงานหรือจากผิวรอยต่อ

5.18 สัญญาณแรก (Initial Pulse) สัญญาณริมซ้ายสุดบนจอภาพซึ่งเกิดจากการสะท้อนกลับระหว่างผิวสัมผัสของหัวตรวจและชิ้นงาน

5.19 ผิวสัมผัสร่วม (Interface) ผิวนอกที่สัมผัสร่วมกันระหว่างวัตถุ 2 ชนิด

5.20 ความตรง (Linearity) เป็นคุณลักษณะของเครื่องอัลตราโซนิคที่แสดงความเป็นอัตราส่วนตรง ในการเปลี่ยนแปลงความสูงของสัญญาณสะท้อนแบ่งเป็นความตรงทางตั้ง (Vertical Linearity) ซึ่งดูจากการพล็อตการเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงของสัญญาณ จากพื้นที่สะท้อน 2 แห่งที่มีขนาดต่างกัน และความตรงทางนอน (Horizontal Linearity) ซึ่งดูจากการพล็อตการเปลี่ยนระยะที่สัญญาณตั้งอยู่ระหว่างการกวาดหัวตรวจไปบนวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา

5.21 สัญญาณสูงสุด (Peak Indication) ขนาดสูงสุดของสัญญาณที่ได้รับจากผิวสะท้อนอันใดอันหนึ่ง โดยใช้การตั้งแบบเกนคงที่ (Constant Gain Setting)

5.22 หลักการคลื่นสะท้อนกลับ (Pulse – Echo Principle) คือการส่งคลื่นเสียงเข้าไปในวัตถุ เป็นช่วง ๆ (Pulse) พร้อมกับบันทึกเวลาที่แต่ละช่วงคลื่นนั้นเดินทางผ่านวัตถุตัวกลางและสะท้อนกลับมายังหัวตรวจอีกครั้งหนึ่ง

5.23 การหักเห (Refraction) คือการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เนื่องจากการที่คลื่นเดินทางผ่านจากตัวกลางอันหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวกลางเสียง (Acoustic Properties) ต่างกัน การเปลี่ยนแปลงความเร็วในวัตถุตัวกลางเป็นเหตุให้เกินการเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่

5.24 ความชัดเจนในการตรวจ (Resolution) คือความสามารถของระบบตรวจสอบในการที่จะแยกสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากผิวสะท้อน 2 อัน หรือมากกว่าที่อยู่ใกล้เคียงกันให้เป็นเป็น 2 สัญญาณหรือมากกว่าได้อย่างชัดเจน

5.25 หลักการกำธรของความถี่ (Resonant Frequency Principle) คือการใช้คลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดคลื่นหลัก (Standing – Wave) ภายในหน้าตัดของวัตถุซึ่งต้องการวัดความหนาการเกิดกำธร (Resonate) ในหน้าตัดทำให้เกิดผลกับหัวตรวจ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยเครื่องแสดงความถี่ที่ทำให้เกิดกำธรและความหนาของหน้าตัดอันนั้นออกมา

5.26 การกวาดหัวตรวจ (Scanning) คือการเคลื่อนที่หัวตรวจไปตามผิวของวัตถุที่จะตรวจ เพื่อให้ครอบคลุมปริมาตรทั้งหมดของวัตถุบริเวณที่เราต้องการจะตรวจ

5.27 ความไวในการตรวจ (Sensitivity) คือความสามารถของระบบตรวจด้วยคลื่นอัลตราโซนิค ในการตรวจจับความไม่ต่อเนื่องในวัตถุ ถ้าตรวจพบความไม่ต่อเนื่องได้ขนาดเล็กมากก็เรียกว่ามีความไวมาก

5.28 คลื่นทางขวาง (Shear or Transverse Wave) คือคลื่นเสียงที่เกิดจากการสั่นของอะตอมในวัตถุมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้น

5.29 ระยะสคิป (Skip Distance) ของการตรวจแบบคลื่นมุม คือระยะทางบนผิวของวัตถุที่มีผิว 2 ด้านขนานกัน ซึ่งอยู่ระหว่างจุดที่ส่งคลื่นเข้าและจุดแรกที่คลื่นสะท้อนจากด้านหลังขึ้นมาสู่ผิวที่ส่งคลื่น

5.30 แท่งปรับมาตรฐาน IIW (IIW Block) แท่งทดสอบปรับตั้งมาตรฐาน ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเช็คการทำงานระบบตรวจด้านอัลตราโซนิคและหัวตรวจ เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป

5.31 แท่งทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Block) แท่งวัตถุชนิดเดียวกับชิ้นงานที่จะตรวจสอบ จัดทำให้มีความสูงที่เหมาะสมเพื่อใช้ตั้งระยะจากผิวสะท้อนคลื่นได้อย่างถูกต้อง แท่งทดสอบมาตรฐานนี้ใช้ในการวัดหรือหาลักษณะใดๆ ของระบบตรวจด้วยอัลตราโซนิค

6. ข้อกำหนดด้านบุคลากร (Personnel Requirements)

6.1 บุคลากรที่สามารถใช้เครื่องอัลตราโซนิค ควรได้รับการอบรม NDT (UT) Level II ตามมาตรฐาน ASNT-SNT-TC-1A

6.2 NDT (UT) Level II and III คือ บุคลากรที่สามารถเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจหารอยร้าวในโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค สำหรับบุคลากร NDT (UT) Level I อาจเป็นผู้ช่วยในการรวบรวมข้อมูลของคลื่นเสียงอัลตราโซนิคภายใต้การกำกับดูแลโดยตรงของบุคลากรผู้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด

6.3 Certification Requirements การรับรองบุคลากร NDT (UT) Level I and II ต้องดำเนินการโดยบุคลากรที่มีคุณสมบัติเป็น NDT (UT) Level III

7. อุปกรณ์

เครื่องอัลตราโซนิค คือ เครื่องอิเล็คทรอนิคที่ส่งคลื่นเสียงความถี่สูงผ่านหัวส่งเข้าไปในเนื้อวัตถุ คลื่นอัลตราโซนิคจะสะท้อนกลับเมื่อเคลื่อนที่ไปพบกับรอยบกพร่องภายในวัตถุมายังหัวรับเพื่อแปลงกลับมาเป็น

สัญญาณไฟฟ้าแสดงบนจอภาพ สามารถอ่านประเมิน ชนิด ขนาดและตำแหน่งของรอยบกพร่องได้ ระบบตรวจด้วยอัลตราโซนิค ประกอบด้วย

7.1 ตัวเครื่อง ประกอบด้วยตัวนับเวลา (Time Base) ตัวส่งคลื่น (Transmitter or Pulser) ตัวรับคลื่น (Receiver or Echo Amplifier) และจอภาพ (A – scan Indicator)

7.2 หัวตรวจ (Transducer) ซึ่งทำด้วยผลึกของสารที่สามารถเปลี่ยนพลังงานกลและไฟฟ้ากลับไปมาระหว่างกันได้ (Piezoelectric Crystal) ซึ่งจะเป็นตัวให้กำเนิดและรับคลื่นอัลตราโซนิคทางยาว (Longitudinal Ultrasonic Wave) หัวตรวจนี้ บางชนิดก็ใช้ทั้งส่งและรับคลื่นโดยหัวเดียวบางครั้งก็แบ่งซีกด้านหนึ่งส่งด้านหนึ่งรับ (TR – Probe) หรือบางทีก็แยกเป็นหัวส่งอันหนึ่งและหัวรับอันหนึ่งเป็นอิสระจากกันทีเดียว หัวตรวจแต่ละอันอาจจะแตกต่างกันด้วย ขนาด ชนิด (มุมของการส่งคลื่น) หรือความถี่ (Frequency) ของคลื่นที่ส่งออกมา หัวตรวจทั้งสองชนิดสามารถนำไปใช้กับวิธีการตรวจสอบ 2 แบบ คือแบบสัมผัสโดยตรง (Direct Contact) และแบบจุ่มทั้งหัวตรวจและวัตถุในของเหลว (Immersion) เนื่องจากคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของหัวตรวจและวิธีการทดสอบจะมีผลต่อการตรวจสอบทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องบันทึกรายละเอียดของหัวตรวจ ได้แก่ ขนาด ชนิด(มุมของการส่งคลื่น) ชนิดของผลึก และความถี่ รวมทั้งวิธีการทดสอบในรายงานการตรวจสอบด้วย เพื่อใช้ในการประเมินผลต่อไป

7.3 สายต่อ (Interconnecting) ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างหัวตรวจกับตัวเครื่องบ่อยครั้งที่สายต่อจะต้องมีอิมพีแดนซ์ (Impedance) เข้ากันได้ (Matching) กับหัวตรวจและเครื่อง จึงควรจะเขียนรายละเอียดของสายต่อไว้ในรายงานผลการตรวจด้วย

7.4 มาตรฐานการตั้งเครื่อง (Calibration Standard) เพื่อให้ได้เกณฑ์พื้นฐานที่จำเป็นในการตรวจด้วยอัลตราโซนิค ได้แก่ การตั้งระยะและการประเมินขนาดของรอยบกพร่องที่พบ โดยใช้แท่งปรับหรือแท่งทดสอบมาตรฐาน จึงควรเขียนรายละเอียดการตั้งเครื่องและแท่งทดสอบมาตรฐานที่ใช้ไว้ในรายงานผลการตรวจสอบด้วย

7.5 สารเชื่อมโยงคลื่น (Couplant) ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่น จาระบีหรือวาสลิน มีหน้าที่ช่วยให้การส่งถ่ายพลังงานคลื่นเสียงจากหัวตรวจไปยังชิ้นงานได้ดีขึ้น

7.6 แท่งปรับหรือแท่งทดสอบมาตรฐาน (Reference Block) วิธีการเดียวที่จะเทียบการปฏิบัติการตรวจสอบด้วยอัลตราโซนิคให้เป็นไปตามแบบอย่างที่เป็นมาตรฐานอันเดียวกัน ก็ต้องอาศัยใช้แท่งปรับมาตรฐานที่แน่นอนอันใดอันหนึ่งในการตั้งตัวแปรและข้อมูลที่ได้จากการตรวจ เพื่อให้แน่ใจว่าการประเมินผลการตรวจสอบถูกต้องเป็นแบบเดียวกันเปรียบเทียบกันได้ คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องทำการปรับเทียบโดยแท่งมาตรฐาน ได้แก่ ความตรงทั้งทางตั้งและทางระดับ (Vertical and Horizontal Linearity) กับความไวและความชัดเจน (Sensitivity and Resolution) ในการตรวจ

8. <u>วิธีการตรวจสอบ</u>

8.1 พื้นผิวที่จะทำการตรวจสอบ ผิวของโลหะที่จะตรวจจะต้องสะอาดปราศจากฝุ่นละอองสนิมหรือสีที่หลุดล่อนออกง่าย หรือวัตถุแปลกปลอมที่หลุดล่อนง่ายอื่น ๆ (แต่อาจยอมให้มีสีกันสนิมที่ติดแน่นเคลือบได้) ความละเอียดของผิวที่จะทำการตรวจ ควรจะมีความหยาบ (Roughness Height Rating, RHR) ไม่เกิน 250 ไมโครนิ้ว (RMS) ผิวหน้าที่มีความโค้งจะต้องไม่มากถึงกับรบกวนการตรวจสอบ และอุณหภูมิขณะตรวจสอบอยู่ในช่วง 0 °C ถึง 60 °C

8.2 ความเร็วในการตรวจสอบ ควรจะควบคุมให้อยู่ในระดับความสามารถที่ผู้ตรวจจะอ่านผลได้ทันและให้พอดีกับความสามารถของเครื่องที่จะแสดงผลออกมาได้

8.3 การปรับตั้งเครื่อง (Calibration) ต้องทำการปรับตั้งเครื่องทุกครั้งก่อนทำการตรวจสอบ วิธีปรับตั้งเครื่องโดยทั่ว ๆ ไปใช้แท่งปรับมาตรฐานให้ดูตามวิธีการใน ผนวก กสำหรับงานเฉพาะแต่ละชนิดอาจทำแท่งทดสอบมาตรฐานขึ้นมาเองเพื่อใช้ในแต่ละกรณีไป

8.4 โลหะตีขึ้นรูป (Forging) รีดขึ้นรูป (Wrought) และดึงขึ้นรูป (Extruded)

8.4.1 ให้ทำการตรวจสอบชิ้นงานโดยใช้ความถี่เดียวกับที่ใช้ปรับตั้งเครื่อง และเมื่อปรับตั้งเครื่องแล้วไม่ควรจะทำการเปลี่ยนแปลงอะไรระหว่างการทดสอบอีก การพิจารณาขนาดของรอยบกพร่องให้ใช้เทียบกับรูในแท่งทดสอบมาตรฐานที่จัดทำขึ้นตามตารางที่ 1 กรณีเป็นการทดสอบด้วยคลื่นทางยาว

8.4.2 การปรับตั้งสำหรับการตรวจโดยวิธีคลื่นทางยาว ให้ส่งคลื่นเข้าไปในวัตถุที่ต้องการตรวจ แล้วดูสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับจากผิวด้านหลังแล้วปรับความไวของเครื่อง (ปรับปริมาณ dB) โดยเทียบจากแท่งทดสอบมาตรฐาน ให้สัญญาณจากรูเจาะก้นแบบในแท่งมาตรฐานตาม**Error! Reference source not found.** ขึ้นสูงประมาณ 80% ของความสูงเต็มสเกล

8.4.3 การทดสอบโดยใช้คลื่นทางยาว ใช้วิธีการกวาดอย่างต่อเนื่อง (Continuous Scan Method) โดยการกวาดทั้งตามแนวแกนและแนวเส้นรอบวง ควรจะมีสัญญาณจากคลื่นสะท้อนหลังอันแรกอยู่บนจอภาพด้วย เพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพในการส่งผ่านคลื่นและสัญญาณจากรอยบกพร่องใด ๆ ก็จะปรากฏอยู่ระหว่างสัญญาณแรก (Initial Pulse) และสัญญาณสะท้อนหลังอันแรกนี้ ถ้าพบรอยบกพร่องแล้วให้วางตำแหน่งหัวตรวจเพื่อที่จะทำให้สัญญาณจากรอยบกพร่องสูงสุด เพื่อใช้ในการประเมินขนาด

ความหนาของวัตถุ (นิ้ว)	เส้นผ่าศูนย์กลางของรูก้นแบบ (Flat Bottomed Hole) FBH (นิ้ว + 0.005)
น้อยกว่า 1/2	1/32
1/2 ถึงน้อยกว่า 1 1/2	1/16
1 1/2 ถึงน้อยกว่า 2 1/2	3/32
2 1/2 ถึงน้อยกว่า 3 1/2	1/8
3 1/2 ถึงน้อยกว่า 4 1/2	5/32
4 1/2 ถึงน้อยกว่า 5 1/2	3/16
5 1/2 ถึงน้อยกว่า 6 1/2	7/32
6 1/2 ขึ้นไป	1/4

ตารางที่ 1 การปรับเครื่องตามขนาดของรูสำหรับคลื่นทางยาว

8.4.4 การหมายตำแหน่งรอยบกพร่อง ตำแหน่งของรอยบกพร่องทั้งหมดที่ประเมินขนาดแล้วว่าใหญ่เกินเกณฑ์ยอมรับ จะต้องหมายตำแหน่งไว้บนผิววัตถุที่ตรวจด้วย

8.5 โลหะแผ่นและแผ่นบาง (Plate and Sheet)

8.5.1 การปรับตั้งสำหรับการตรวจโดยใช้คลื่นทางขวาง จะต้องเตรียมทำชิ้นทดสอบมาตรฐานสำหรับปรับตั้งเครื่องจากชิ้นงานหรือจากวัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกลางเสียงคล้ายกับที่ชิ้นงาน โดยเจาะรูเตรียมไว้ตามขนาดในตาราง 2 ควรใช้หัวตรวจมุม 45° ที่ความถี่ 2.25 MHz ปรับจนสัญญาณจากรูที่ปรากฏบนจอของเครื่องที่ครึ่งและเต็มสคิปตามลำดับ

ความลึก (เป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนา)	3% + 1/2% หรือ 0.005 นิ้ว ค่าใดค่าหนึ่งที่มากกว่า
ความกว้าง	2 x ความลึก
ความยาว	อย่างน้อย 1 นิ้ว

ตาราง 2 ขนาดของรูก้นเหลี่ยมหรือรูก้นตัวยูที่จะเจาะบนชิ้นทดสอบมาตรฐาน

ความสูงของสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับจากชิ้นทดสอบมาตรฐานที่ระยะสคิป ต้องปรับให้สูง 80% ของเต็มจอ แล้วขีดหมายความสูงสัญญาณที่ได้จากชิ้นทดสอบมาตรฐานเช่นกันแต่ที่เต็มระยะสคิปบนจอเอาไว้ แล้วลากเส้นโยงระหว่างระดับความสูงทั้ง 2 กรณีนี้ รอยบกพร่องในชิ้นงานแผ่นหรือแผ่นบางจะทำการประเมินผลโดยอาศัยเส้นตรงเส้นนี้

8.5.2 การตรวจสอบโดยใช้คลื่นทางขวางกวาดหัวตรวจอย่างต่อเนื่อง (Continuous Scanning Procedure) ให้หัวตรวจส่งคลื่นตามขวาง กวาดอย่างต่อเนื่อง ไปบนผิวหลักของวัตถุนั้นใน 2 ทิศทางซึ่งจะทำให้บีมของคลื่นเสียงเดินทางขนานและตั้งฉากกับแกนตามยาวหรือทิศทางที่แผ่นงานถูกรีด หัวตรวจจะถูกกวาดในทิศทางขนานซ้อนกันไปจนกระทั่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด

8.5.3 การปรับเครื่องโดยใช้คลื่นทางยาว ใช้หัวตรวจส่งคลื่นทางยาวที่มีพื้นที่หน้าตัดราว 1 ตารางนิ้ว ส่งคลื่นความถี่ 2.25 MHz วางบนบริเวณที่แน่ใจว่าจะไม่มีรอยบกพร่องในชิ้นงาน ปรับเกน (Gain) บนเครื่องจนกระทั่งสัญญาณจากคลื่นสะท้อนหลังอันแรกขึ้นเต็มสเกลบนจอและใช้ความไว (Sensitivity) ของเครื่องในระดับนี้

8.5.4 การตรวจสอบโดยใช้คลื่นทางยาว ทำได้ 2 วิธี คือการกวาดอย่างต่อเนื่องบนผิวหลักของวัตถุที่จะตรวจเต็ม 100 % และการวางหัวตรวจอยู่กับที่ที่จุดตัดของเส้นที่ตีเป็นตารางสีเหลี่ยม (Grid) ถ้าใช้กับแผ่นวัตถุที่มีความหนาตั้งแต่ 1/2 นิ้ว ถึง 2 1/2 นิ้ว เส้นที่ตีตารางสี่เหลี่ยมจะกินเนื้อที่ 2 ตารางฟุต ถ้าหนาเกินกว่า 2 1/2 นิ้วขึ้นไปจะต้องมีพื้นที่ 8 ตารางนิ้ว ถ้าพบรอยบกพร่องที่ใดให้กวาดหัวตรวจอย่างต่อเนื่องรอบบริเวณรัศมี 1 ฟุต เพื่อหาขนาดและขอบเขตของรอยบกพร่องนั้น

8.6 ท่อไร้ตะเข็บ (Pipe and Tubes - Seamless)

8.6.1 สาหรับรอยบกพร่องชนิดตามแนวรัศมีและวางตัวยาวไปตามแกนท่อให้ใช้การกวาดหัวตรวจอย่างต่อเนื่อง

8.6.2 การปรับตั้งเครื่องเพื่อตรวจหารอยบกพร่องตามแนวรัศมี เลือกท่อที่ทำด้วยวัตถุชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากับงานที่จะตรวจสอบ ใช้เป็นแท่งทดสอบมาตรฐานเจาะรู 2 รู ด้านในหนึ่งและด้านนอกหนึ่ง ให้แกนของรูทั้งสองขนานกัน รูนี้ควรอยู่ห่างประมาณ 1 1/2 นิ้ว จากปลายของท่อ เจาะให้ด้านข้างเรียบ ความสูงของสัญญาณสะท้อนจากรูทั้งสอง เมื่อวางหัวตรวจตามแนวเส้นรอบวงห่างเป็นระยะไม่น้อยกว่าเต็มระยะสคิป ควรจะเท่ากัน ถ้าไม่เท่าให้ปรับมุมส่งคลื่นใหม่ ถ้าทำไม่ได้ให้ใช้สัญญาณที่เล็กกว่าในการประเมินค่าผลการตรวจสอบ

8.6.3 การตรวจสอบรอยบกพร่องตามแนวรัศมี ให้กวาดหัวตรวจไปตามแนวเส้นรอบวงของท่อ ในขณะเดียวกับที่หมุนท่อไปด้วยความเร็วที่ไม่เกินที่ได้ทำการทดลองปรับกับแท่งมาตรฐานตัวอย่างไว้แล้วว่าจะทำให้สามารถตรวจพบรอยบกพร่องได้

8.7 การใช้อัลตราโซนิคตรวจสอบรอยเชื่อม

เทคนิควิธีการตรวจสอบทั้งหมดให้ดูรูปในผนวก ข

8.7.1 การตรวจรอยเชื่อมต่อชนและรอยเชื่อมต่อมุมที่มีการละลายซึมลึกโดยสมบูรณ์ (Full Penetration Butt and Corner Weld)

8.7.1.1 หัวตรวจที่ใช้ควรมีขนาดตัวส่งคลื่นไม่เกิน 1 นิ้ว ความถี่ที่ใช้ไม่น้อยกว่า 2.0 Mc. ถ้าเป็นชนิดหัวตรวจมุม มุมของการส่งคลื่นทางขวางต้อง เป็นไปตามลำดับชั้นความหนาดังนี้

ก) แผ่นหนา 1/2 นิ้ว ถึงไม่เกิน 1 1/2 นิ้ว ใช้หัวตรวจมุม60° ถึง 70°

ข) แผ่นหนา 1 1/2 นิ้ว ถึงไม่เกิน 2 1/2 นิ้ว ใช้หัวตรวจมุม 45° ถึง 60°

ค) แผ่นหนา 2 1/2 นิ้ว และมากกว่า ใช้หัวตรวจมุม 45 °

8.7.1.2 วิธีการปรับตั้งเครื่องให้ดูในผนวก ก

8.7.1.3 วิธีการตรวจสอบพื้นที่ที่จะต้องทำการตรวจทั้งหมดได้แก่รอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลจากความร้อน (HAZ) บนชิ้นงาน ควรตรวจโดยการส่งคลื่นในทิศทางทั้งตามขวางและตามยาวของรอยเชื่อม ดูรูป ข-1 สำหรับรอยเชื่อมต่อชน รูป ข-2 และรูป ข-3 สาหรับรอยเชื่อมมุม

ก) ในการตรวจหารอยบกพร่องตามยาวในรอยเชื่อมที่ไม่มีการเจียระไนผิวเรียบให้วางหัวตรวจบนชิ้นงานและเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวาตามความยาวรอยเชื่อมโดยมีมุมหันประมาน 30° ในระหว่างการเคลื่อนที่เข้าออกตั้งฉากกับแนวเชื่อม การเคลื่อนที่ตามยาวแนวเชื่อมต้องมีระยะไม่เกิน 75% ของความกว้างในการส่งคลื่นของหัวตรวจ ในการเคลื่อนตามยาวครั้งหนึ่งอาจตรวจหางานบนผิวเดียว ตรวจรอยเชื่อม 2 ด้าน หรือตรวจรอยเชื่อมด้านเดียวจากผิวหน้า 2 ผิว ดูรูป ข-4

ข) การตรวจหารอยบกพร่องตามขวางในรอยเชื่อมที่ไม่มีการเจียระไนผิวเรียบ ให้วางหัวตรวจลงบนชิ้นงานที่ขอบรอยเชื่อมส่งคลื่นทำมุมราว 15° กับแกนตามยาวของรอยเชื่อมเข้าไปในรอยเชื่อม กวาดหัวตรวจโดยเคลื่อถี่ไปตามความยาวรอยเชื่อมบริเวณขอบรอยเชื่อมทั้งสองด้านบนผิวข้างเดียว และจากสองทิศทางที่อยู่ตรงข้ามกัน

ค) การตรวจหารอยบกพร่องตามยาวในรอยเชื่อมเจียระไนผิวเรียบ ให้ส่วนหัวตรวจจากซ้ายไปขวาบนแนวเชื่อมโดยตรง โดยมีมุมเอียงระหว่างการเคลื่อนที่ราว 30° ระหว่างการเคลื่อนที่ตั้งฉากเข้าหารอยเชื่อมระยะในการเคลื่อนที่ตามยาว ขนานกับรอยเชื่อมครั้งหนึ่งต้องไม่เกิน 75% ของความกว้างลำคลื่นที่ส่งออกจากหัวตรวจ ควรจะทำการกวาดหัวตรวจจากทั้งสองด้านของรอยเชื่อม ถ้าทำไม่ได้ให้กวาดหัวตรวจทางด้านเดียว แค่จากผิวทั้งสองข้างหรือจากด้านเดียวและผิวข้างเดียว แต่ใช้ระยะการกวาดอย่างน้อยเท่ากับระยะสคิป ดูรูป ข-5

ง) การตรวจหารอยบกพร่องตามขวางในรอยเชื่อมเจียระไนผิวเรียบ จะต้องส่ายหัวตรวจจากซ้ายไปขวาโดยมีมุมเอียงระหว่างการเคลื่อนที่หัวตรวจราว 30° และกวาดไปเหนือรอยเชื่อมโดยตรง ถ้าความกว้างของรอยเชื่อมมากกว่าความกว้างของหัวตรวจ ให้เคลื่อนที่ขนานกันไป 2 ครั้งแทนที่จะเป็นครั้งเดียว โดยให้มีระยะเกยทับกันอย่างน้อย 25% ของความกว้างลำคลื่นจากหัวตรวจ

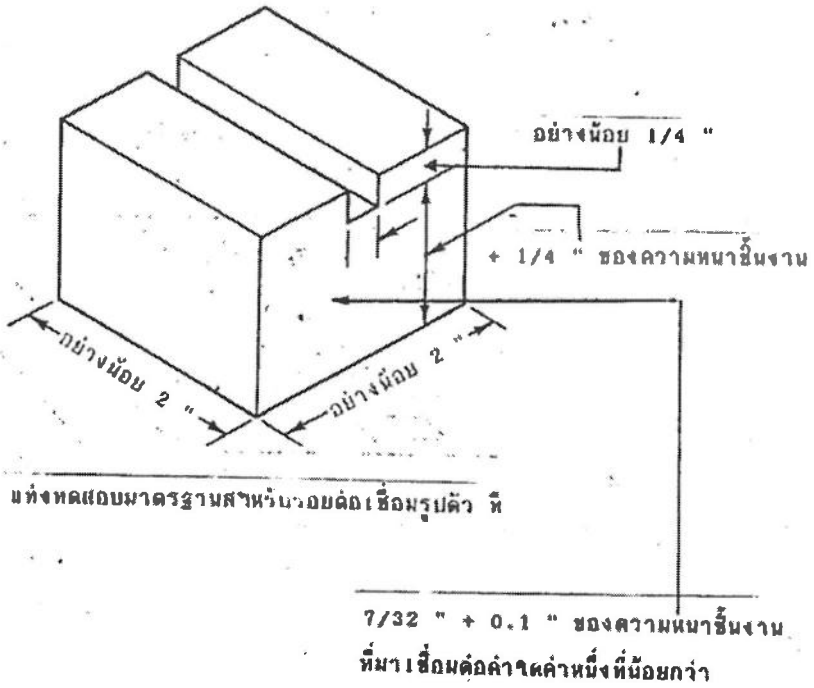
จ) การตรวจหารอยบกพร่องโดยใช้คลื่นทางยาวกวาดหัวตรวจเหนือรอยเชื่อม (ที่เจียระไนเรียบแล้ว) โดยให้มีระยะเกยเหลื่อมกันอยู่ประมาณอย่างน้อย 25%

ฉ) หลังจากที่ตรวจพบรอยบกพร่องแล้ว จะต้องหาตำแหน่งของหัวตรวจที่ให้สัญญาณสะท้อนจากรอยบกพร่องสูงสุดและหาความยาวของรอยบกพร่อง โดยการเคลื่อนที่หัวตรวจขนานไปกับแกนของรอยบกพร่องทั้งสองทิศทางจากตำแหน่งที่ให้สัญญาณสูงสุด ตำแหน่งที่ความสูงของสัญญาณลดลงมาหนึ่งเท่าครึ่งของสัญญาณสูงสุดถือว่าจุดนั้นสิ้นสุดรอยบกพร่องแล้ว สำหรับรอยบกพร่องที่ให้สัญญาณมีความสูงเกินเต็มจอ ให้ใช้ระดับความสูง 50% เป็นครึ่งของสัญญาณสูงสุดและหมายตำแหน่งบนชิ้นงานที่จุดกึ่งกลางหัวตรวจตรงนี้ไว้แล้วกวาดหัวตรวจจนพบตำแหน่งที่มีลักษณะเช่นเดียวกันนี้ซ้ำอีก ระยะระหว่าง 2 จุดนี้คือความยาวของรอยบกพร่อง ตำแหน่งสัญญาณสูงสุด ความยาว ความลึก และตำแหน่งของรอยบกพร่องจะต้องบันทึกไว้ในผลการตรวจตามแบบฟอร์ม ถ้าสัญญาณจากรอยบกพร่องสูงเกิน DRL ส่วนขนาดเล็กสุดที่จะบันทึกไว้ คือ 1/8 นิ้ว แบบฟอร์มการบันทึกให้ดูในผนวก ค

8.7.2 การตรวจรอยเชื่อมต่อรูปตัวที (T - Weld)

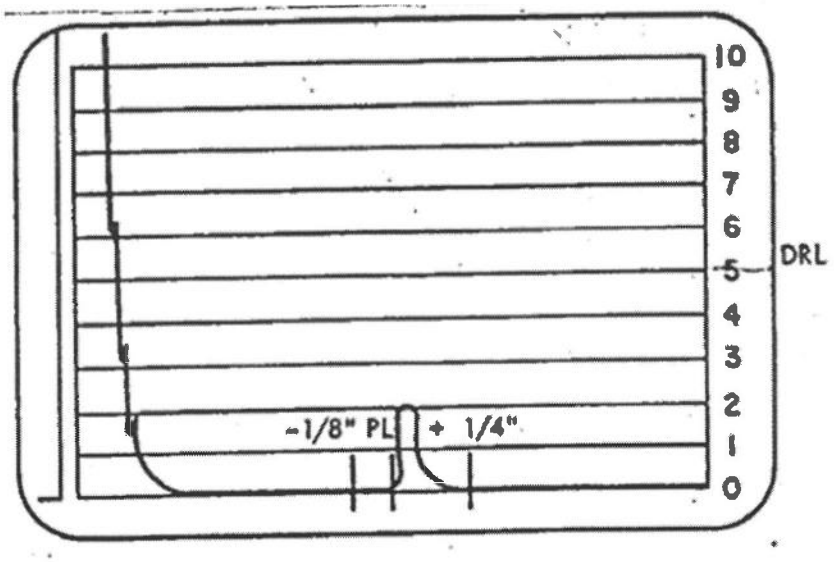
8.7.2.1 รอยเชื่อมรูปตัวทีมีการละลายซึมลึกโดยสมบูรณ์ (Full Penetration Tee weld) ให้ใช้หัวตรวจตรง (คลื่นทางยาว) ความลึกของการตรวจสอบจำกัดอยู่ที่ความหนาของชิ้นงานบวก 1/4 นิ้ว และลบ 1/8 นิ้วความกว้างของพื้นที่ตรวจสอบจำกัดอยู่เพียงเท่ากับความหนาของชิ้นงานที่มาเชื่อมติดด้วย ดูรูป ข-6

ก) การปรับตั้งเครื่อง (Calibration) แท่งทดสอบมาตรฐานที่ใช้การปรับตั้งเครื่อง เพื่อหาการละลายซึมลึกไม่เพียงพอ (Lack or Penetration) แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ ๑ แท่งทดสอบมาตรฐานสำหรับรอยต่อเชื่อมรูปตัว ที

ก-1) เมื่อปรับตั้งเครื่องแบบควบคุมเดซิเบล (Decibel Control) เกนของเครื่องจะต้องถูกปรับจนกระทั่งสัญญาณสูงสุดจากรอยบากบนแท่งทดสอบมาตรฐานเป็น 20% ของความสูงเต็มจอ แล้วจึงเพิ่มเกนขึ้นอีก 12 เดซิเบล ถ้าปรับในลักษณะนี้เส้นความสูง 20% บนจอจะเป็นเส้น DRL และเส้น ARL จะเป็นระดับเส้นที่เห็นเกนขึ้นอีก 12 เดซิเบลนั่นเอง สำหรับการประเมินค่าสัญญาณรอยบกพร่องเหนือเส้น DRL แล้วให้ใช้การปรับตั้งแบบควบคุมเดซิเบลเสมอ ตัวอย่างสัญญาณบนจอภาพแสดงในรูปที่ 2



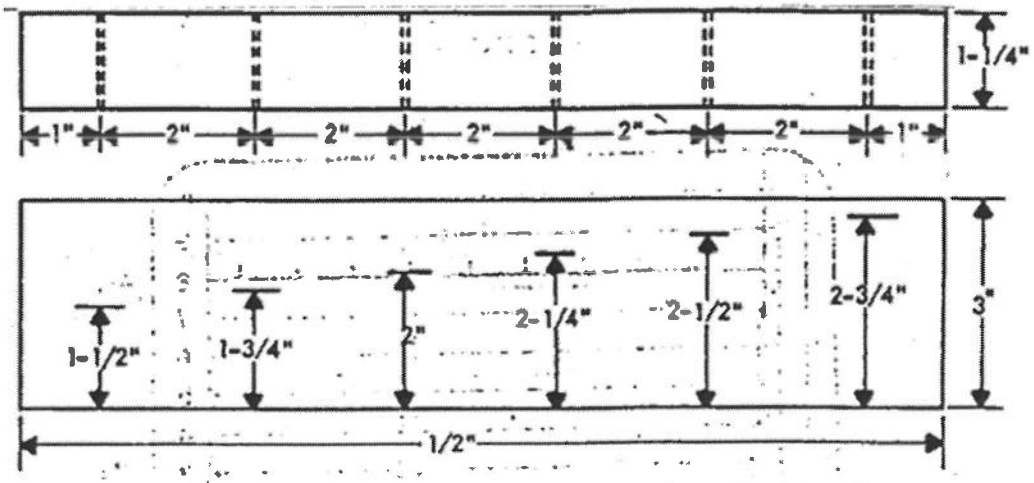
รูปที่ 2 สัญญาณบนจอภาพเมื่อปรับตั้งเพื่อตรวจสอบรอยเชื่อมรูปตัวที แบบควบคุมเดซิเบล

ก-2) เมื่อปรับตั้งเครื่องแบบไม่ควบคุมเดซิเบล ให้แบ่งจอภาพออกเป็น 3 ส่วนที่ความสูง 20% (DRL) และ 80% (ARL) ของความสูงเต็มสเกลจอภาพ ต้องปรับเกนเพื่อให้ได้สัญญาณสูงสุดจากแท่งทดสอบมาตรฐานถึงเส้น ARL ตามที่แสดงในรูปข้างล่าง

ข) วิธีการตรวจสอบ ควรยึดหมายพื้นที่ที่จะตรวจ (Inspection zone) ไว้บนผิวงาน การกวาดหัวตรวจให้กวาดอยู่ภายในความกว้างของพื้นที่ที่จะตรวจเท่านั้น ถ้าพบรอยบกพร่องแล้วให้วางหัวตรวจในตำแหน่งที่จะทำให้เกิดสัญญาณสูงสุด หาความยาวของรอยบกพร่องตามวิธีเดียวกับ 8.7.2.1 ต้องทำสัญญาณสูงสุด และความยาวของรอยบกพร่อง เพื่อบันทึกรายงานว่าอยู่ในช่วง DRL หรือเกินกว่านั้น

8.7.2.2 รอยเชื่อมรูปตัวที ที่มีการละลายซึมลึก เพียงบางส่วน (Partial Penetration Tee weld) ให้ใช้หัวตรวจมุม (คลื่นตามขวาง) ที่มีมุมตั้งแต่ 45° ถึง 60° ความลึกของการตรวจจำกัดอยู่ที่ความหนาของชิ้นงานลบ 1/4 นิ้ว ความกว้างของพื้นที่ตรวจสอบจำกัดอยู่ที่ความหนาของแผ่นที่มาเชื่อมติดรวมกับรอยพอกเสริมของรอยเชื่อมฟิลเล็ต (Fillet Reinforcement)

ก) การปรับตั้งเครื่องแท่งทดสอบมาตรฐาน เพื่อใช้ในการหารอยบกพร่องทั่ว ๆ ไปในรอยเชื่อมแบบนี้ แสดงให้เห็นในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แท่งทดสอบมาตรฐาน (สำหรับทดสอบความไว) ผิวต้องมีความเรียบประมาณ 250 RMS เจาะรูขนาด 3/64 นิ้ว จำนวน 6 รู โดยตลอด

ข) การกวาดหัวตรวจมุม ถ้าผิวที่อยู่ตรงข้ามกับชิ้นส่วนที่มาเชื่อมผิดสามารถเข้าถึงได้ ถ้าเข้าถึงผิวตรงข้ามไม่ได้แต่เข้าถึงด้านข้างได้ก็ให้ใช้วิธีตามรูป ข-6 อย่างไรก็ตามจะต้องไม่มีส่วนใดมาต่อตรงบริเวณที่คลื่นสะท้อนกลับ ระยะกวาดของหัวจะเริ่มแต่บริเวณใกล้ขา (Toe) ของรอยเชื่อมถึงเลยกึ่งกลางรอยเชื่อม เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณจากรอยเชื่อมฟิลเล็ตอีกด้านหนึ่ง การเคลื่อนที่หัวตรวจไปทางซ้ายหรือขวาให้ใช้มุมเอียงราว 30°

9. <u>การบันทึกและการรายงานผล</u>

การบันทึกผลและการรายงาน มีจุดหมายเพื่อให้ทราบข้อมูล เกี่ยวกับการทดสอบรับรองคุณภาพเครื่องที่ใช้ตรวจและผู้ใช้เครื่อง (Instrument and Operator Qualification) กับผลการตรวจสอบ

9.1 บันทึกเกี่ยวกับเครื่องที่ใช้ตรวจ ต้องมีการทดสอบเครื่องที่ใช้ตรวจให้แน่ใจว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีอยู่เสมอ แล้วบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบรับรองคุณภาพอย่างน้อยตามหัวข้อต่อไปนี้ ดูรูป ค-1 บันทึกการทดสอบรับรองคุณภาพเครื่องอัลตราโซนิค

ก) ผู้ผลิตเครื่อง รุ่น (Model) หมายเลขผลิต (Serial No.)
ข) รายละเอียดเกี่ยวกับหัวตรวจที่ใช้ (Master Transducer Identification)
ค) แห่งมาตรฐานที่ใช้จนการทดสอบ
ง) การปรับตั้งเครื่องระหว่างการทดสอบ และชนิดสารเชื่อมโยงคลื่น
จ) กราฟความตรงของแกนแอมปลิจูด (Amplitude Linearity Plot) ดูรูป ค-2
ฉ) กราฟความตรงของแกนระยะ (Distance Linearity Plot) ดูรูป ค-3
ช) ผลการทดสอบความชัดเจนในการตรวจสอบ (Resolution Test)
ซ) การทดสอบรับรองคุณภาพผู้ใช้เครื่อง (Qualifying Individual)
ฌ) วันทดสอบ

9.2 บันทึกเกี่ยวกับผู้ใช้เครื่อง ต้องมีรายละเอียดอย่างน้อยตามหัวข้อต่อไปนี้

ก) ชื่อ
ข) ชื่อหน่วยงาน
ค) กรรมวิธีการตรวจ และวันที่ผ่านการทดสอบ
ง) การศึกษาและประสบการณ์
จ) ผลการทดสอบ พร้อมลายเซ็นผู้ทดสอบ

9.3 บันทึกข้อมูลผลการตรวจสอบรอยเชื่อมเรือ ควรมีรายละเอียดตามตัวอย่างในรูป ค-4 และตัวอย่างบันทึกข้อมูลการตรวจสอบรอยเชื่อมรูปตัวที ดูรูป ค-5

ผนวก ก.

การปรับตั้งเครื่องอุลตราโซนิคโดยใช้แท่งปรับมาตรฐาน IIW และแท่งปรับมาตรฐานอื่น ๆ

1. ชนิดของแท่งปรับมาตรฐานต่าง ๆ

1.1 แท่งปรับมาตรฐานของ IIW (IIW Calibration Block) รูป ก-1

1.2 แท่งปรับระยะทาง DC (Distance Calibration Block) รูป ก-8 และ รูป ก-9

1.3 แท่งปรับความไว SC (Sensitivity Calibration Block) รูป ก-10 และ รูป ก-11

1.4 แท่งปรับระยะทางและความไว DSC (Distance and Sensitivity Calibration Block) รูป ก-12 และรูป ก-13

2. แท่งปรับมาตรฐานของ IIW ใช้เพื่อ

2.1 ปรับตั้งระยะทาง (Sweep Length) บนจอภาพให้ถูกต้อง

2.2 ปรับพลังงานของคลื่นสะท้อน หรือความสูงของสัญญาณบนจอภาพ (Amplitude)

2.3 ใช้ทดลองเครื่องให้แน่ใจว่าเครื่องยังทำงานได้ดี

2.4 ใช้หาคุณลักษณะการทำงานของหัวตรวจ เช่นความไว (Sensitivity) ตำแหน่งที่ลำคลื่นออก (ในกรณีหัวตรวจมุม) ความหนาของลิ่มในหัวตรวจและมุมการหักเห (Angle of Refraction)

3. การปรับตั้งระยะทาง

3.1 สำหรับหัวตรวจตรงเดี่ยว ตรวจในระยะต่ำกว่า 250 มม. ลงมาให้วางหัวตรวจดังในรูป ก-3 และตั้งระยะระหว่างสัญญาณให้เป็นสเกล 100 มม. โดยมีสัญญาณทั้งหมด 3 อัน ถ้าต้องการปรับตั้งสำหรับระยะทางเกินกว่า 250 มม.ขึ้นไป ให้วางดังในรูป ก-3 เช่นกัน แค่ปรับระยะระหว่างสัญญาณให้เป็นสเกล 100 มม. โดยมีสัญญาณทั้งหมด 6 อัน ก็จะได้สเกลเต็มเป็น 500 มม. ตามต้องการ สัญญาณที่ปรากฏดังในรูป ก-4

3.2 สำหรับหัวตรวจมุมระยะที่ตรวจตั้งแต่ระยะทาง 104 ถึง 254 มม. ให้วางหัวตรวจดังในรูป ก-5 ใช้สัญญาณสะท้อนจากหัวโค้งรัศมี 100 มม. และร่องบวกที่มีรัศมี 25 มม. ระยะที่ปรับตั้งส่วนมากจะเป็น 250 มม. ดังนั้นจึงปรับเลื่อนให้สัญญาณสะท้อนจากผิวโค้งที่สเกล 100 มม. ก็จะได้ระยะเต็มสเกลเป็น 250 มม. ตามต้องการ ถ้าต้องการตรวจที่ระยะมากกว่า 250 มม. อาจวางหัวตรวจไว้ในลักษณะเดียวกับครั้งแรก แต่ในสเกลที่ 100 มม. เข้ามา

3.3 ปรับตั้งระยะที่คลื่นเสียงเดินทางไปในวัตถุที่จะตรวจ ให้วางหัวตรวจตามในรูป ก-6 แก้ระยะสัญญาณที่ได้จากขอบของแท่งมาตรฐาน โดยดูได้จากมาตราส่วนบนแท่งมาตรฐานโดยตรง ที่ระยะสคิปและครึ่งของระยะสคิป

3.4 การปรับความไวของเครื่องต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้

3.4.1 ความถี่ที่ใช้

3.4.2 พลังงานที่ให้ไปกับคลื่นส่ง

3.4.3 สภาพผิวของวัตถุที่ตรวจ

3.4.4 การดูดซึมที่ทำให้คลื่นอ่อนตัวลง (Attenuation) ของวัตถุที่จะตรวจ

3.4.5 ลักษณะการสะท้อนคลื่นของรอยบกพร่อง ระยะ สภาพผิวการวางตัวและชนิดของรอยบกพร่อง

4. การตรวจสอบลักษณะการทำงานของหัวตรวจ (Search Unit Characteristic)

4.1 การหาจุดที่คลื่นออกจากหัวตรวจมุมให้วางหัวตรวจตามในรูป ก-5 เคลื่อนที่หัวตรวจไปด้านหน้าและหลัง จนได้สัญญาณบนจอภาพสูงสุด ยึดบนหัวตรวจที่ตรงกับจุดศูนย์กลางผิวโค้งบนแท่งมาตรฐานนั้นเป็นจุดกึ่งกลางที่ส่งลำคลื่นออกมา

4.2 การหาระยะที่เสียงเดินผ่านในลิ่ม ใช้วิธีการเช่นเดียวกับใน 4.1 ระยะที่เสียงเดินผ่านลิ่ม ยอมเท่ากับระยะระหว่างสัญญาณแรก (Initial Pulse) กับสัญญาณสะท้อนแรกลบด้วยระยะระหว่างสัญญาณสะท้อนแรกและสัญญาณสะท้อนที่สองลบด้วย 25 มม.

4.3 การหามุมของการหักเห (Angle of Refraction) โดยใช้สัญญาณที่สะท้อนมาจากรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ที่เจาะเอาไว้โดยวางหัวตรวจที่ยึดบอกมุมในการส่งคลื่นที่อยู่บนแท่งมาตรฐานนั้น ซึ่งมีตั้งแต่มุม 35° ถึง 75° ตามรูป ก-7

5. การปรับตั้งเครื่องอุลตราโซนิคโดยแท่งปรับมาตรฐานแบบอื่น ๆ ตามรูป ก-14

5.1 หัวตรวจคลื่นตรง (Straight Beam)

5.1.1 การปรับตั้งระยะทาง ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง A บนแท่ง DC หรือตำแหน่ง F บนแท่ง DSC ปรับตั้งเครื่องให้เกิดสัญญาณที่ระยะ 25 51 หรือ 76 หรือ 102 มม. บนจอภาพ

5.1.2 ความสูงของสัญญาณ ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง A บนแท่ง DC หรือตำแหน่ง F บนแท่ง DSC ปรับเกนจนกระทั่งสัญญาณสูงสุดจากคลื่นสะท้อนอันแรกอยู่จนระดับ 40 ถึง 70% ของความสูงบนจอภาพ

5.2 หัวตรวจคลื่นมุม (Angle Beam)

5.2.1 การหาจุดที่คลื่นออกจากหัวตรวจหรือ Index Point ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง C หรือ E บนแท่ง DSC หรือตำแหน่ง B บนแท่ง DC เคลื่อนที่หัวตรวจจนได้สัญญาณสะท้อนจากขอบรัศมีวงกลมสูงสุด จุดที่ตรงกับขีดจุดศูนย์กลางของรัศมีวงกลม คือจุดที่คลื่นออกจากหัวตรวจ

5.2.2 การหามุมส่งคลื่นของหัวตรวจ (Sound Path Angle) ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง ดังนี้

5.2.2.1 D บนแห่ง DSC ที่ยึด 45° จนถึง 70°

5.2.2.2 ตำแหน่ง G บนแท่ง SC สำหรับมุม 70°

5.2.2.3 ตำแหน่ง H บนแท่ง SC สำหรับมุม 45°

5.2.2.4 ตำแหน่ง I บนแท่ง SC สาหรับมุม 60°

เคลื่อนที่หัวตรวจไปทางหน้าและหลัง ผ่านขีดแสดงองศาดังกล่าว จนกระทั่ง ได้สัญญาณสะท้อนกลับระดับสูงสุดจากรัศมีที่หมายนั้นแล้วดูมุมที่ส่งคลื่นจริง โดยลากเส้นระหว่างจุดที่คลื่นออกจากหัวตรวจกับที่หมาย

5.2.3 การปรับตั้งระยะทาง

5.2.3.1 แท่ง DSC ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง C หรือ E (ไม่ว่ามุมใดใด) ปรับตั้งเครื่องจนได้รับสัญญาณสะท้อนที่ 25, 127 และ 229 มม. ตามลำดับ บนจอภาพในตำแหน่ง C หรือปรับตั้งเครื่องให้ได้สัญญาณสะท้อนที่ 76 และ 178 มม. บนจอภาพในตำแหน่ง E

5.2.3.2 แท่ง DC ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง B ปรับตั้งเครื่องจนได้รับสัญญาณสะท้อนที่ 25, 51, 76, 102 มม.ฯ บนจอภาพ

5.2.4 การปรับตั้งความสูงของสัญญาณ (Amplitude) หรือความไวในการตรวจ (Sensitivity)

5.2.4.1 แท่ง DSC ให้วางหัวตรวจที่ตำแหน่ง E ปรับให้ได้สัญญาณสูงสุดจากร่องขนาด 1/32 นิ้ว (0.8 มม.) เพื่อให้ได้ระดับความสูงของสัญญาณอ้างอิง

5.2.4.2 แท่ง SC ให้วางหัวตรวจในตำแหน่ง C สำหรับหัวตรวจมุม 70° ตำแหน่ง H สำหรับมุม 45° หรือตำแหน่ง I สำหรับมุม 60° ปรับตั้งจนได้สัญญาณสะท้อนสูงสุดจากรูเจาะขนาด 1/16 นิ้ว (1.6 มม.) เพื่อให้ได้รับความสูงอ้างอิง

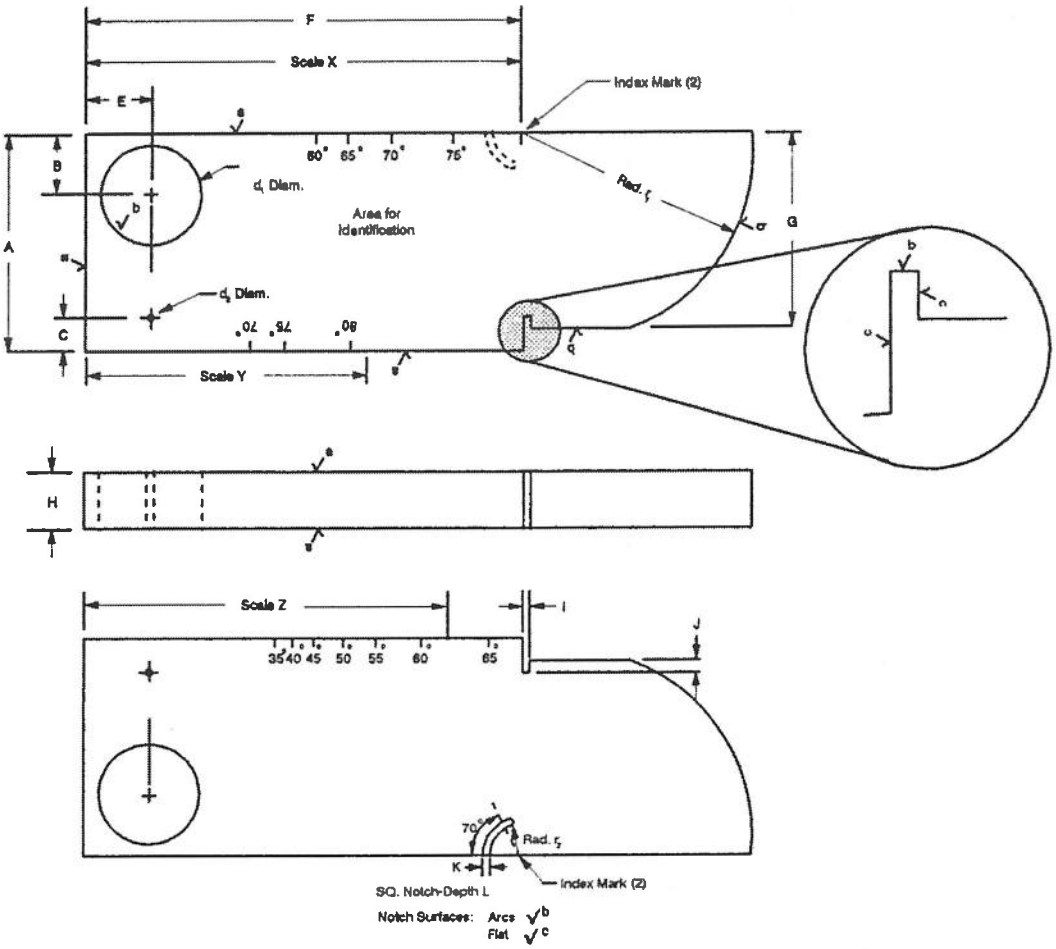


Table of Dimensions

Symbol	U.S. Customary Block		Metric Block	
	Dimension (in.)	Tolerance (in.)	Dimension (mm)	Tolerance (mm)
A	4.000	0.005	100	0.1
B	1.200	0.005	30	0.1
C	0.600	0.005	15	0.1
d_1	2.000	0.01	50	0.2
d_2	0.060	0.001	1.5	0.02
E	1.400	0.005	35	0.1
F	8.000	0.005	200	0.1
G	3.640	0.005	91	0.1
H	1.000	0.005	25	0.1
I	0.080	0.005	2	0.1
J	0.240	0.005	6	0.1
K	0.120	0.005	3	0.1
L	0.060	0.005	1.5	0.1
r_1	4.000	0.01	100	0.2
r_2	1.000	0.01	25	0.2
Surfaces/finish R_a	a		32 μin. max	0.8 μm max
	b		63 μin. max	1.6 μm max
	c		125 μin. max	3.2 μm max
		Scales		
X	1.200 tanα + 1.400	0.005	30 tanα + 35	0.1
Y	0.600 tanβ + 1.400	0.005	15 tanβ + 35	0.1
Z	2.800 tanγ + 1.400	0.005	70 tanγ + 35	0.1

NOTE 1—Material as specified. Note 2—Scale X is 60°–75°, 1° increments, legends at 60°, 65°, 70°, & 75°.

Note 3—Scale Y is 70°–80°, 1° increments, legends at 70°, 75°, & 80°.

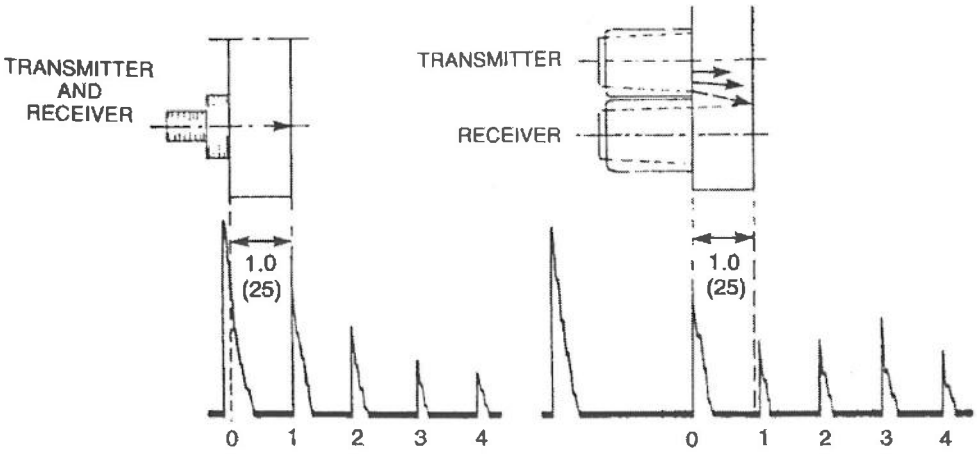
Note 4—Scale Z is 35°–65°, 1° increments, legends at 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60° & 65°.

Note 5—In order to avoid sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.020 in. [0.5 mm].

Note 6—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.1 Reference Blocks for Ultrasonic Testing

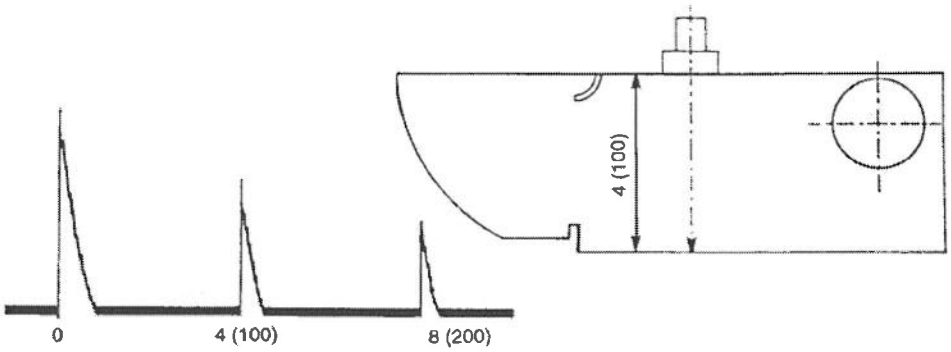
รูป ก-1 แท่งปรับมาตรฐานของ International Institute of Welding (IIW)



NOTE 1—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.2 Screen Images for a 4-in. (100-mm) Range Setting

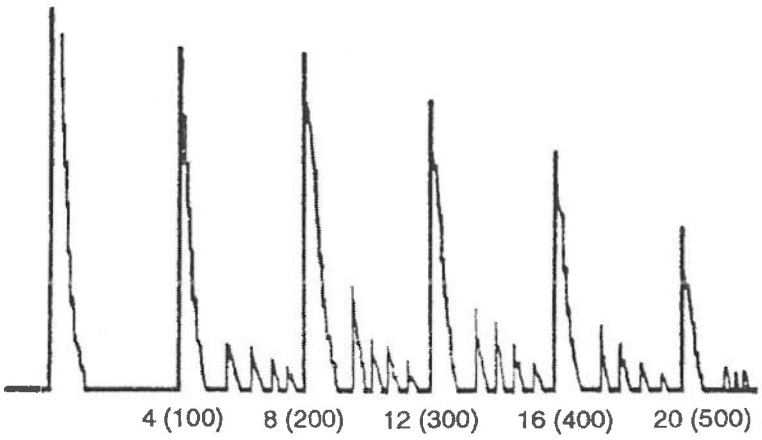
รูป ก-2 สัญญาณบนจอภาพในการตั้งระยะช่วง 4 นิ้ว (102 มม.)



NOTE 1—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.3 Position for a Single Straight-Beam Longitudinal Wave Search Unit

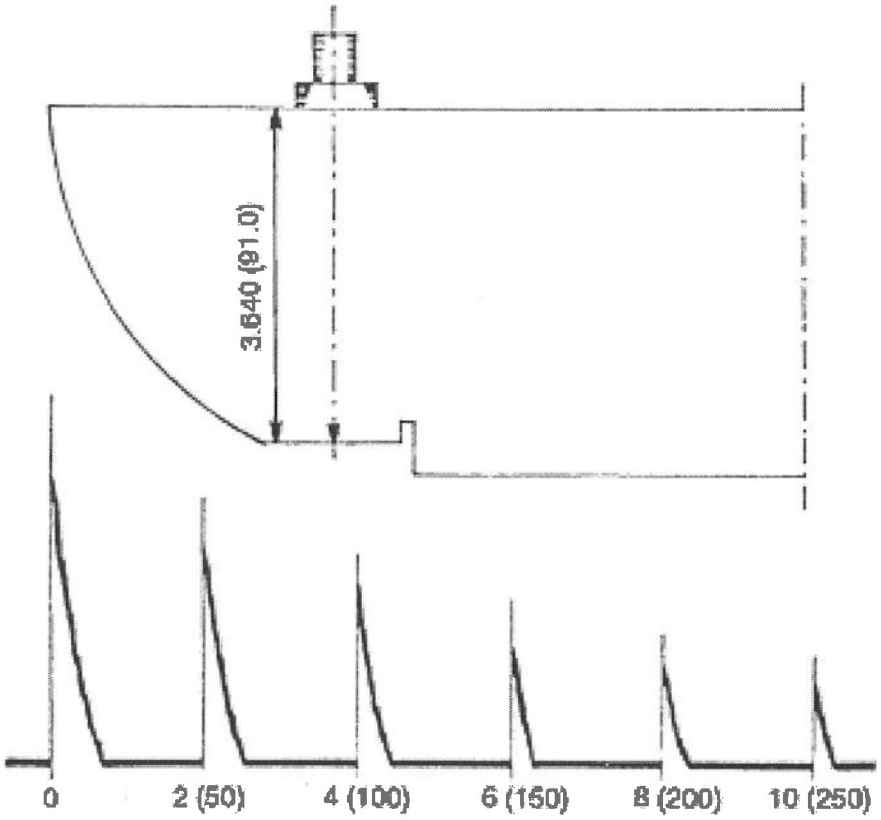
รูป ก-3 ตำแหน่งสัญญาณในการตั้งระยะหัวตรวจตรง



NOTE 1—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.4 Screen Pattern Showing Indications Caused by Mode Conversion

รูป ก-4 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการรบกวนของการเกิดคลื่นทางขวาง



NOTE 1—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metri Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.6 Longitudinal Wave Calibration of Sweep for Angle-Beam Shear Wave Examination

รูป ก-5 ตำแหน่งสัญญาณในการตั้งระยะหัวตรวจมุม

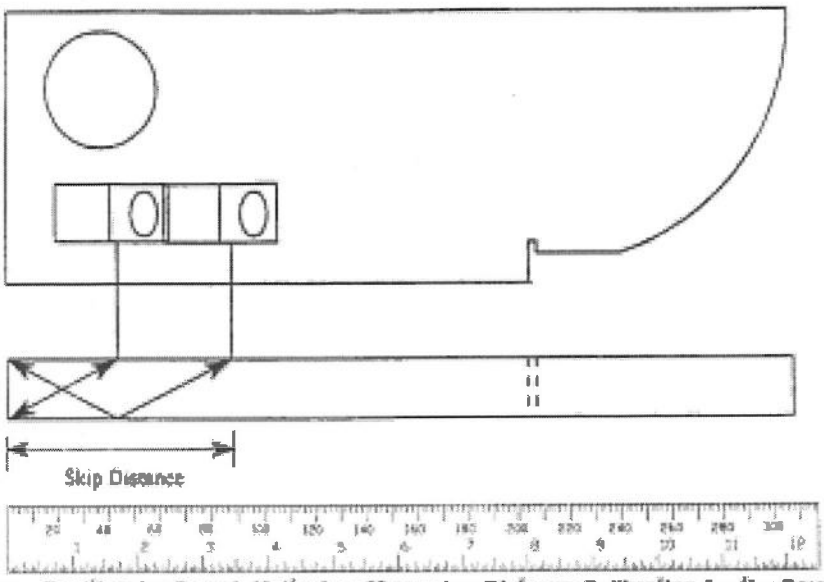


FIG. A1.7 Position for Search Unit when Measuring Distance Calibration for the Sound Path

รูป ก-6 ตำแหน่งการวางหัวตรวจมุมเมื่อต้องการตั้งระยะที่คลื่นเดินทาง

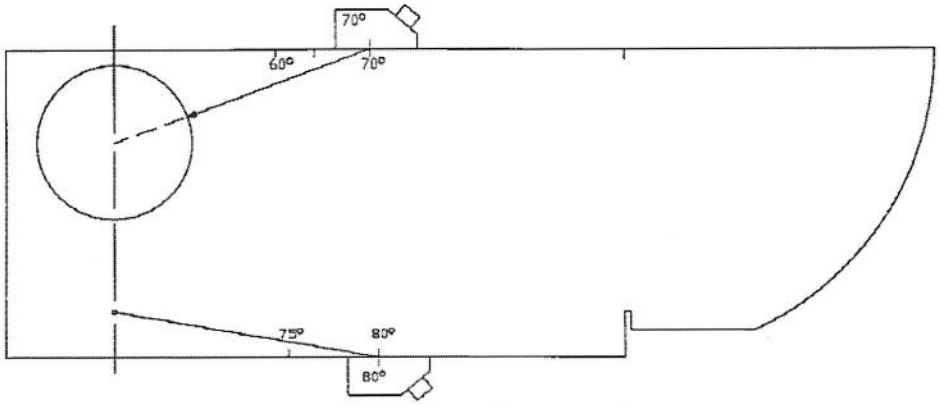


FIG. A1.8 Determination of the Angle of Refraction

รูป ก-7 การหามุมของคลื่นที่ส่งออกจากหัวตรวจ

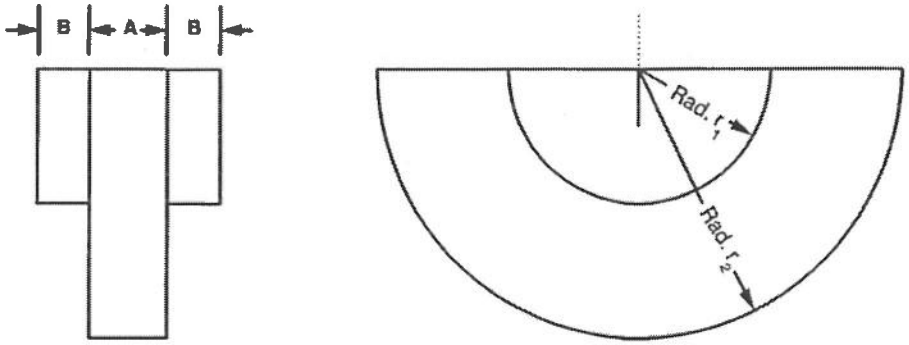


Table of Dimensions

Symbol	U.S. Customary Block		Metric Block	
	Dimension (in.)	Tolerance (in.)	Dimension (mm)	Tolerance (mm)
A	0.500	0.010	12.5	0.2
B	0.250	0.010	6.3	0.2
Rad. r_1	1.000	0.010	25.0	0.2
Rad. r_2	2.000	0.010	50.0	0.2

NOTE 1—Material to be as specified; refer also to A1.5.1.

NOTE 2—All surfaces: Ra 125 μin. (3.2 μm) max.

NOTE 3—Index mark at center of curvature to be engraved as shown, two sides.

NOTE 4—In order to avoid sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.020 in. (0.5 mm).

NOTE 5—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.9 Type DC Distance Calibration Blocks

รูป ก-8 แท่งปรับระยะมาตรฐานชนิด Distance Calibration Block (DC)

รูป ก-9 แท่งปรับระยะมาตรฐานชนิด Distance Calibration Block (DC)

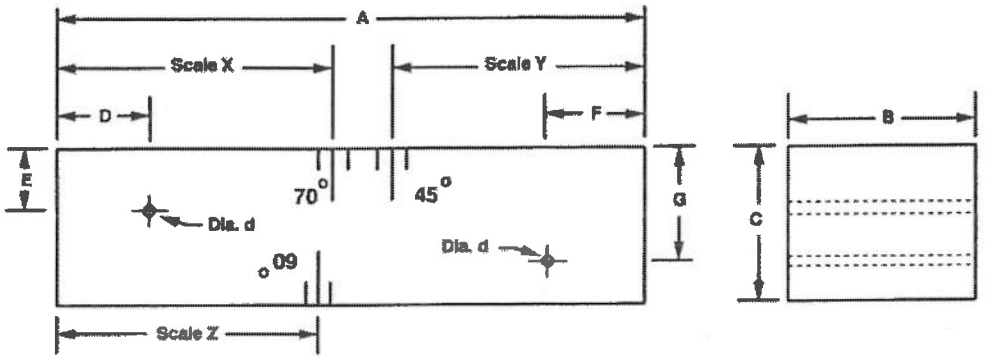


Table of Dimensions

Symbol	U.S. Customary Block		Metric Block	
	Dimension (in.)	Tolerance (in.)	Dimension (mm)	Tolerance (mm)
A	3.000	0.005	75.0	0.1
B	1.250	0.05	32.0	1.0
C	0.905	0.005	22.6	0.1
D	0.500	0.005	12.5	0.1
E	0.384	0.005	9.6	0.1
F	0.500	0.005	12.5	0.1
G	0.727	0.005	18.2	0.1
Dia. d	0.0625	0.0005	1.6	0.02
SCALE X				
70°	1.450	0.005	36.3	0.1
	1.555	0.005	38.9	0.1
	1.682	0.005	42.1	0.1
SCALE Y				
45°	1.178	0.005	29.5	0.1
	1.227	0.005	30.7	0.1
	1.280	0.005	32.0	0.1
SCALE Z				
60°	1.334	0.005	33.4	0.1
	1.402	0.005	35.1	0.1
	1.480	0.005	37.0	0.1

NOTE 1—Material to be as specified; refer also to A1.5.1.

NOTE 2—Surface finish: External surfaces—Ra 125 μin. (3.2 μm) max.
ID of test holes—Ra 32 μin. (0.8 μm) max.

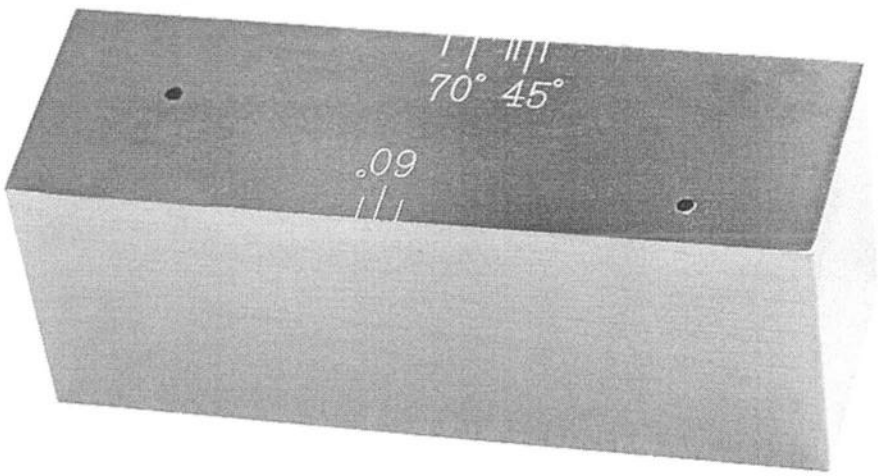
NOTE 3—Scale marks and legends to be engraved at positions indicated.

NOTE 4—In order to avoid sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.020 in. (0.5 mm).

NOTE 5—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.10 Type SC Sensitivity Calibration Blocks

รูป ก-10 แท่งปรับความไวมาตรฐานชนิด Sensitivity Calibration Block (SC)



รูป ก-11 แท่งปรับความไวมาตรฐานชนิด Sensitivity Calibration Block (SC)

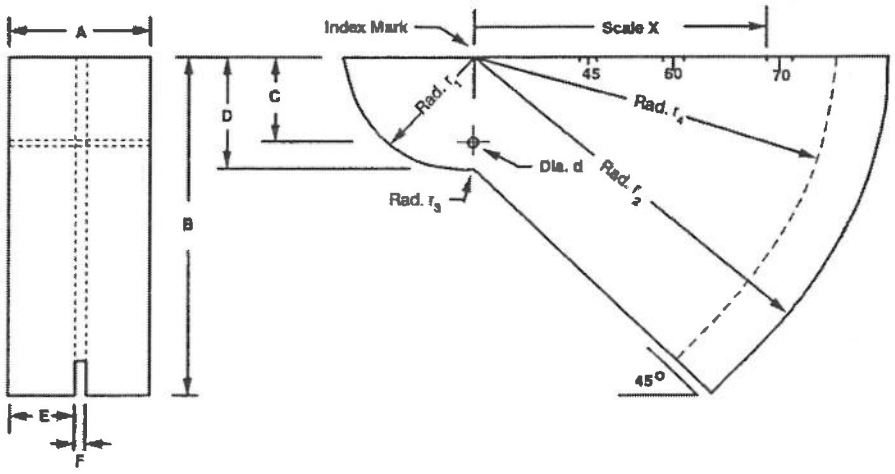


Table of Dimensions

Symbol	U.S. Customary Block		Metric Block	
	Dimension (in.)	Tolerance (in.)	Dimension (mm)	Tolerance (mm)
A	1.000	0.005	25.0	0.1
B	2.500	0.005	62.5	0.1
C	0.750	0.005	18.8	0.1
D	1.000	0.005	25.0	0.1
E	0.484	0.005	12.1	0.1
F	0.032	0.005	0.8	0.1
Dia. d	0.125	0.002	3.2	0.05
Rad. r_1	1.000	0.005	25.0	0.1
Rad. r_2	3.000	0.005	75.0	0.1
Rad. r_3	0.25	0.02	6.3	0.5
Rad. r_4	2.625	0.005	65.6	0.1
SCALE X				
45°	0.699	0.005	17.5	0.1
	0.750	0.005	18.8	0.1
	0.804	0.005	20.1	0.1
60°	1.200	0.005	30.0	0.1
	1.299	0.005	32.5	0.1
	1.410	0.005	35.2	0.1
70°	1.856	0.005	46.4	0.1
	2.061	0.005	51.5	0.1
	2.308	0.005	57.7	0.1

NOTE 1—Material to be as specified; refer also to A1.5.1.

NOTE 2—Notch at radius r_4 to have rectangular cross section.

NOTE 3—Surface finish: External surfaces—Ra 125 μin. (3.2 μm) max.
ID of test hole—Ra 32 μin. (0.8 μm) max.
OD of square notch—Ra 32 μin. (0.8 μm) max.

NOTE 4—Index mark at center of curvature to be engraved as shown.

NOTE 5—Scale marks and legends to be engraved at positions indicated.

NOTE 6—In order to avoid sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.020 in. (0.5 mm).

NOTE 7—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.11 Type DSC Distance and Sensitivity Calibration Blocks

รูป ก-12 แท่งปรับระยะ และความไวมาตรฐานชนิด Distance and Sensitivity Calibration Block (DSC)

รูป ก-13 แท่งปรับระยะ และความไวมาตรฐานชนิด Distance and Sensitivity Calibration Block (DSC)

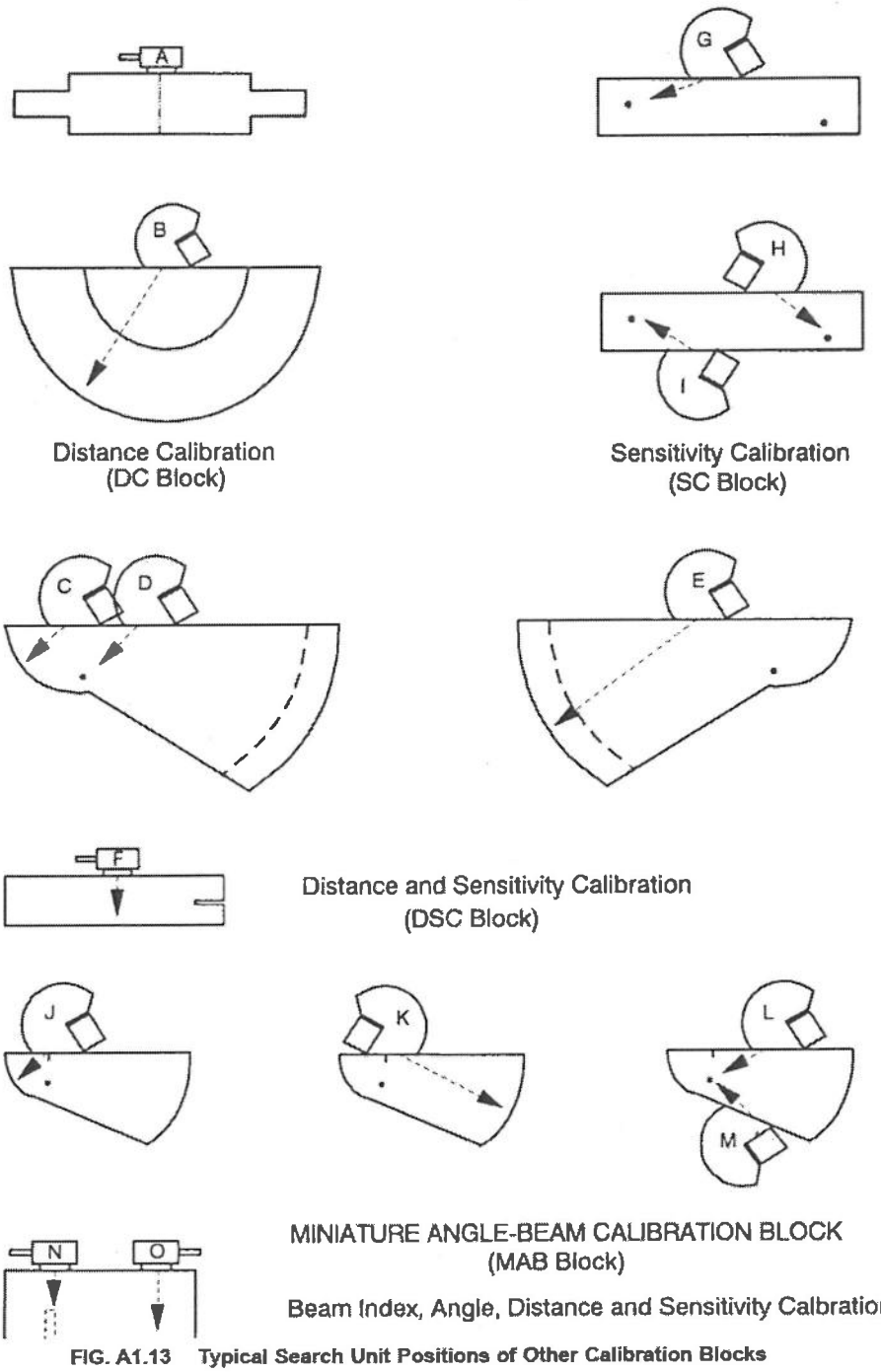
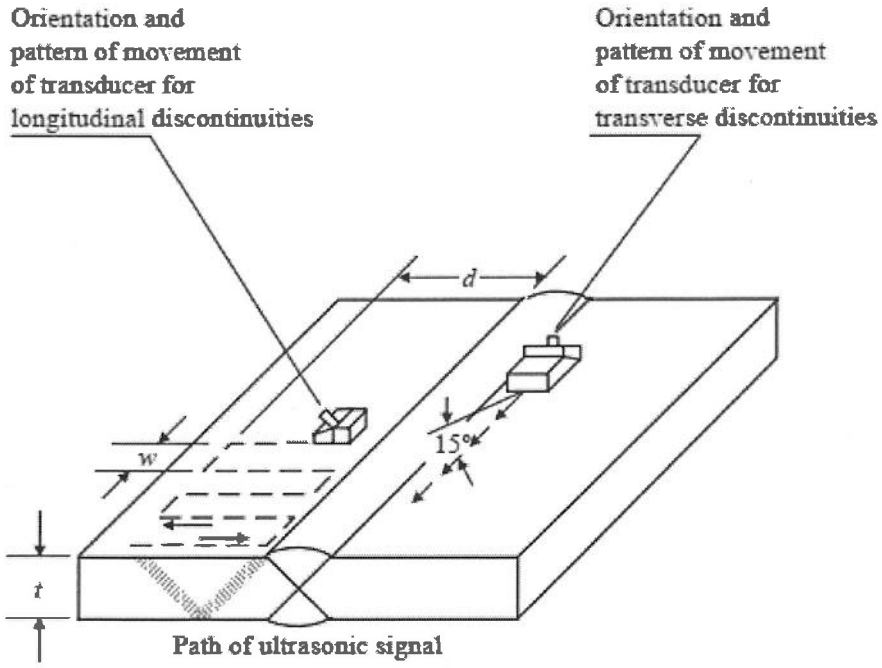


FIG. A1.13 Typical Search Unit Positions of Other Calibration Blocks

รูป ก-14 ตำแหน่งการวางหัวตรวจในการปรับตั้งกับแท่งปรับมาตรฐานชนิดต่างๆ

<u>ผนวก ข.</u>

เทคนิควิธีการตรวจสอบรอยเชื่อม



w - is to be less than 90% of transducer crystal width (10% overlap)
t - material thickness
θ - transducer shear wave angle (see 3/3.9)
d - >2*t*(tan θ) + 3.2 mm (0.125 (1/8) in.)

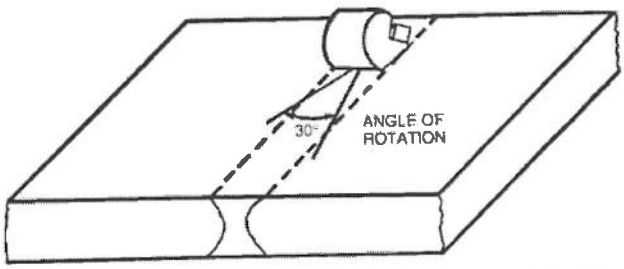


FIG. 3 Supplementary Technique 2, for Inspecting Butt Welds for Suspected Cross-Cracking when the Weld Bead is Ground Flush

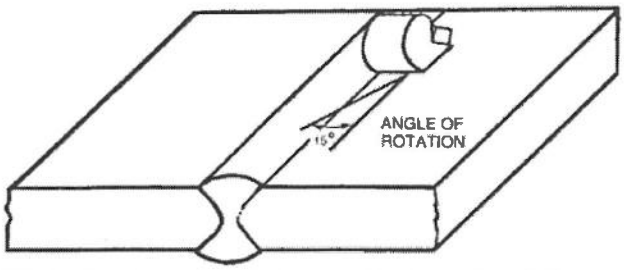


FIG. 4 Supplementary Technique 3, for Inspecting Butt Welds for Suspected Cross-Cracking when the Weld Bead is not Ground Flush

รูป ข-1 วิธีการกวาดหัวตรวจสำหรับรอยเชื่อมต่อชนที่เจียระไนผิวเรียบและไม่ได้เจียระไนผิวเรียบ

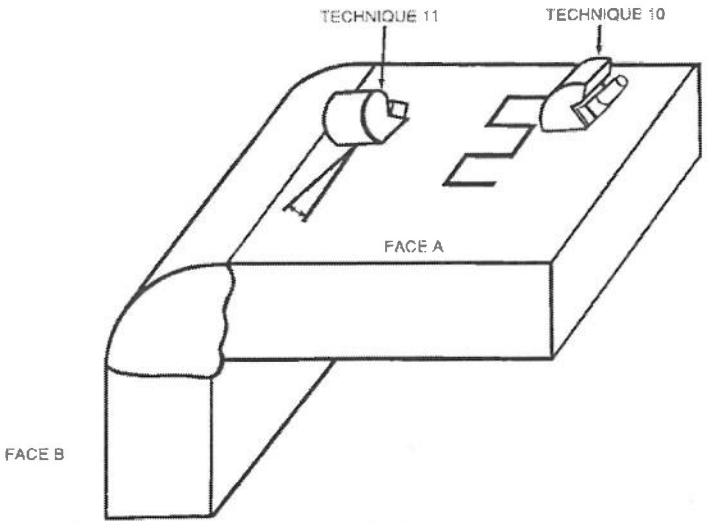
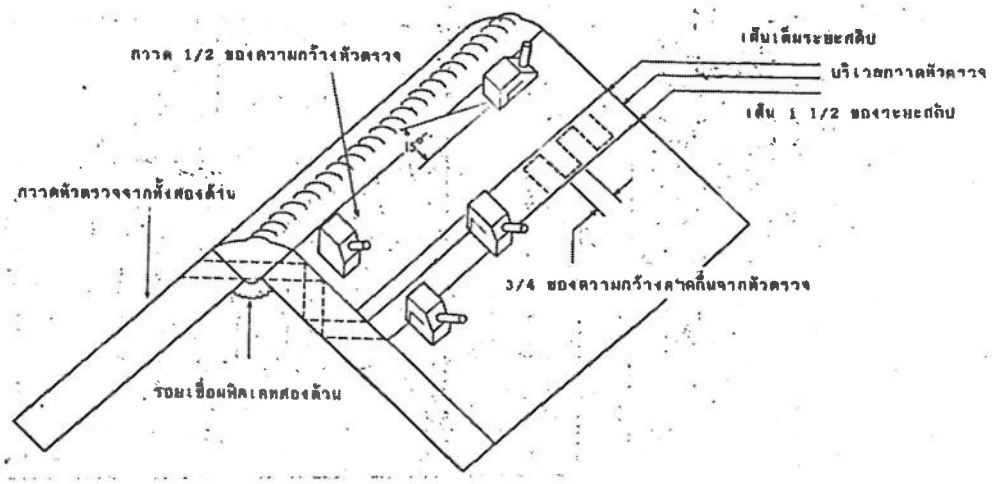


FIG. 11 Techniques 10 and 11, for Inspecting Full-Penetration Double-Fillet Corner Welds



รูป ข-2 วิธีการกวาดหัวตรวจสำหรับรอยเชื่อมฟิลเล็ตต่อมุมมีการละลายซึมลึกโดยสมบูรณ์

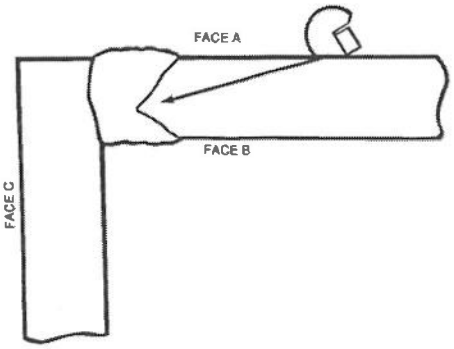


FIG. 9 Technique 8, for Inspecting the Weld Volume of Double-Vee Corner Welds

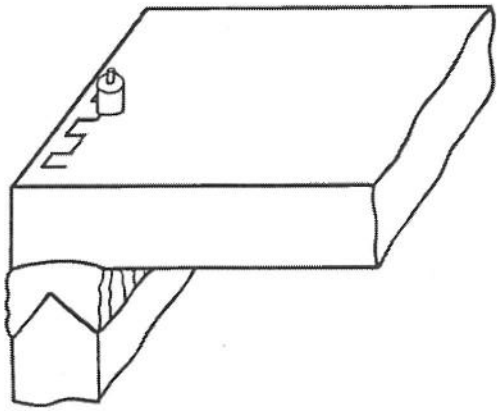
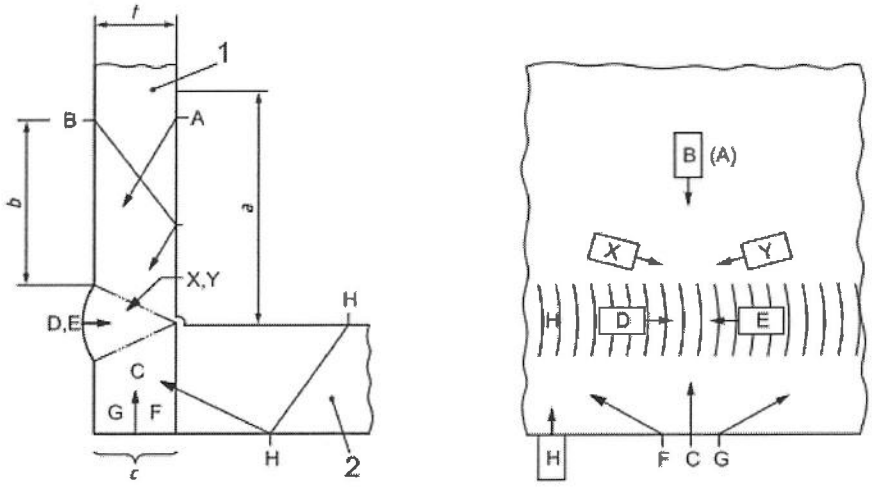


FIG. 10 Technique 9, for Inspecting the Fusion Zone of Double-Vee Corner Welds



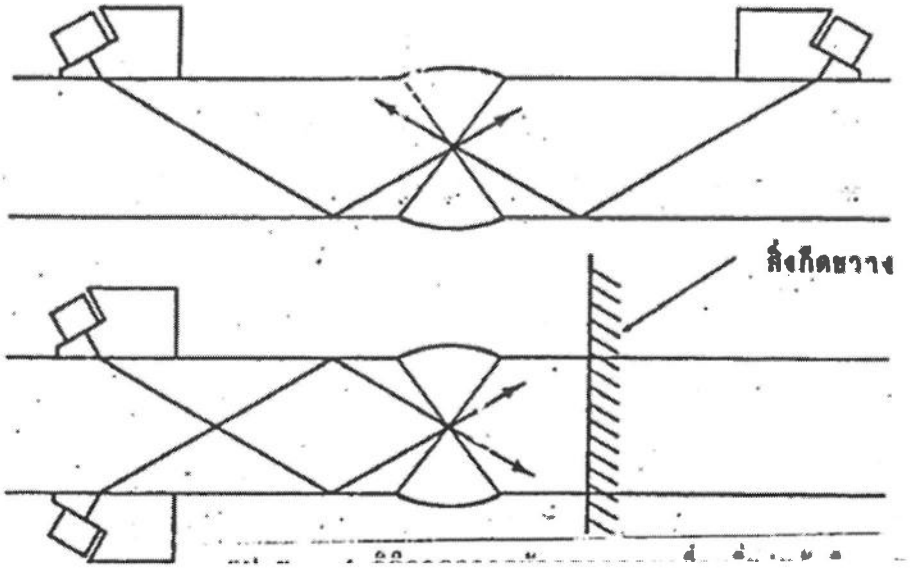
a) Cross-section b) End view

Key

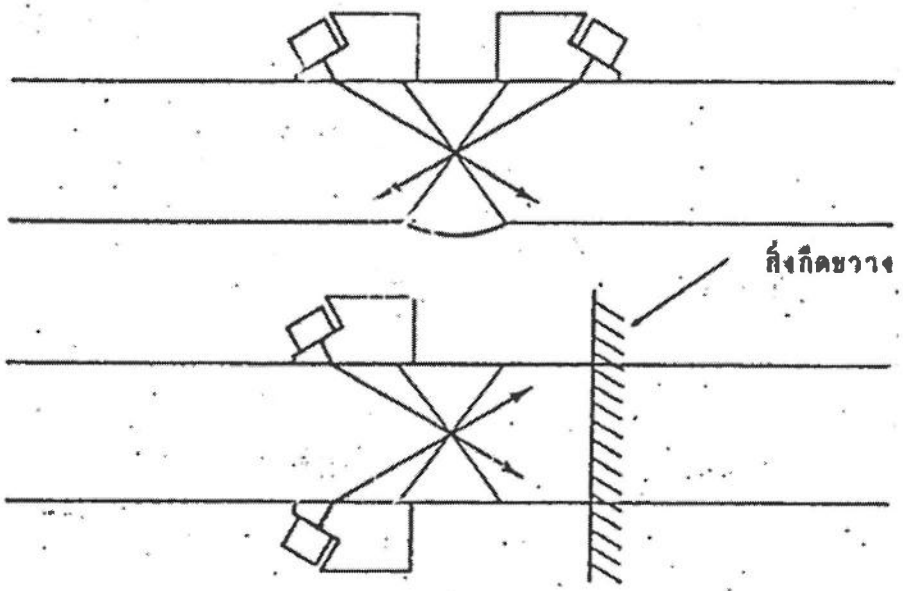
1	component 1, nozzle
2	component 2, shell
A, B, C, D, E, F, G, H, X, Y	probe positions
a, *b*, *c*	scanning zone width indicators
t	thickness

Figure A.4 — Structural L-joints

รูป ข-3 วิธีการกวาดหัวตรวจสำหรับรอยเชื่อมต่อมุมแบบขอบเรียบมีการละลายซึมลึกโดยสมบูรณ์



รูป ข-4 วิธีการกวาดหัวตรวจสำหรับรอยเชื่อมที่ไม่ได้เจียระไน



รูป ข-5 วิธีการกวาดหัวตรวจสำหรับรอยเชื่อมที่เจียระไนผิวเรียบ

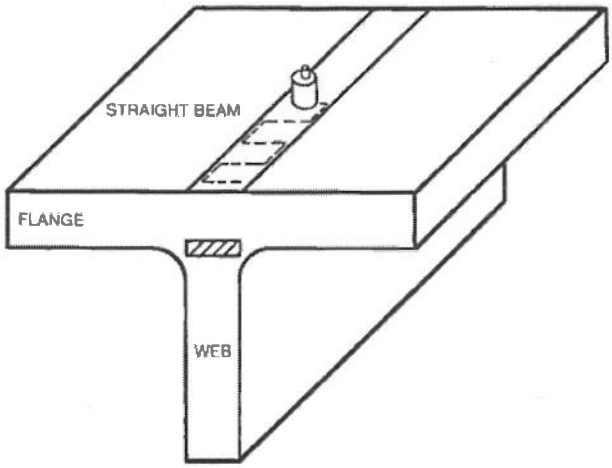
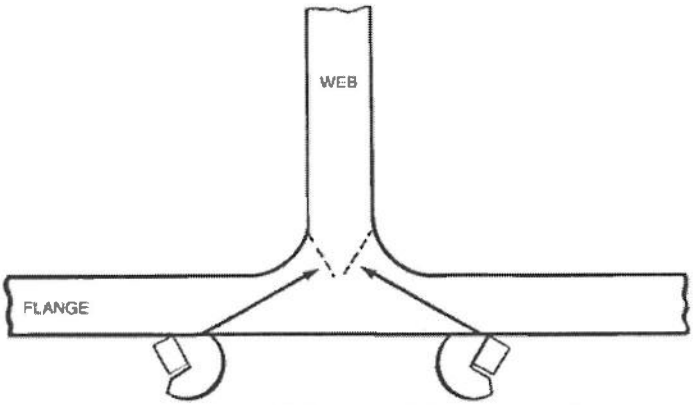


FIG. 7 Technique 6, for Inspecting the Fusion Zone of T-Welds



8(a) Technique 7, for Searching T-Welds for Discontinuities

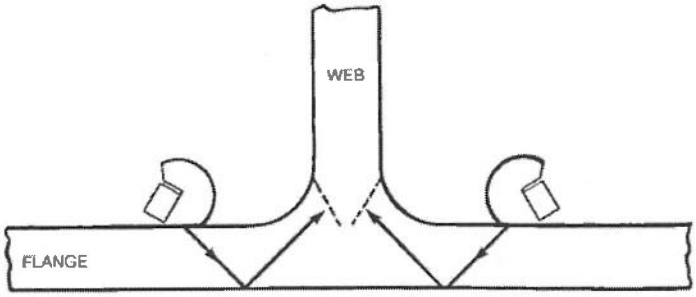


FIG. 8 (b) Alternative Technique 7, for Searching T-Welds for Discontinuities

รูป ข-6 วิธีการกวาดหัวตรวจสำหรับรอยเชื่อมรูปตัวที โดยใช้หัวตรวจตรง

ผนวก ค.

ตัวอย่างกราฟและการบันทึกผลการตรวจสอบต่าง ๆ

ตัวเครื่อง

ผู้ผลิต.....รุ่น (Model).....เลขลำดับ(S/N).....

การตั้งเครื่องระหว่างการทดสอบ Linearity Test

กำลังคลื่น (Gain) รวม.....เกนหยาบ.....เกนละเอียด.....

Suppression.....Damping.....Filter.....

Sweep Rate.....Swept Gain.....Delay.....

หัวตรวจ (Probe)

ชนิด.....ขนาด.....เลขลำดับ.....ความถี่.....

แท่งทดสอบมาตรฐาน.....

สารเชื่อมโยงคลื่น (Couplant)

การตรวจสอบการควบคุมการทำงาน

.....

.....

ผลการทดสอบความชัดเจนในการตรวจสอบ (Resolution Test)

.....

.....

วันที่ทดสอบ..... **ผู้ทดสอบ**.....

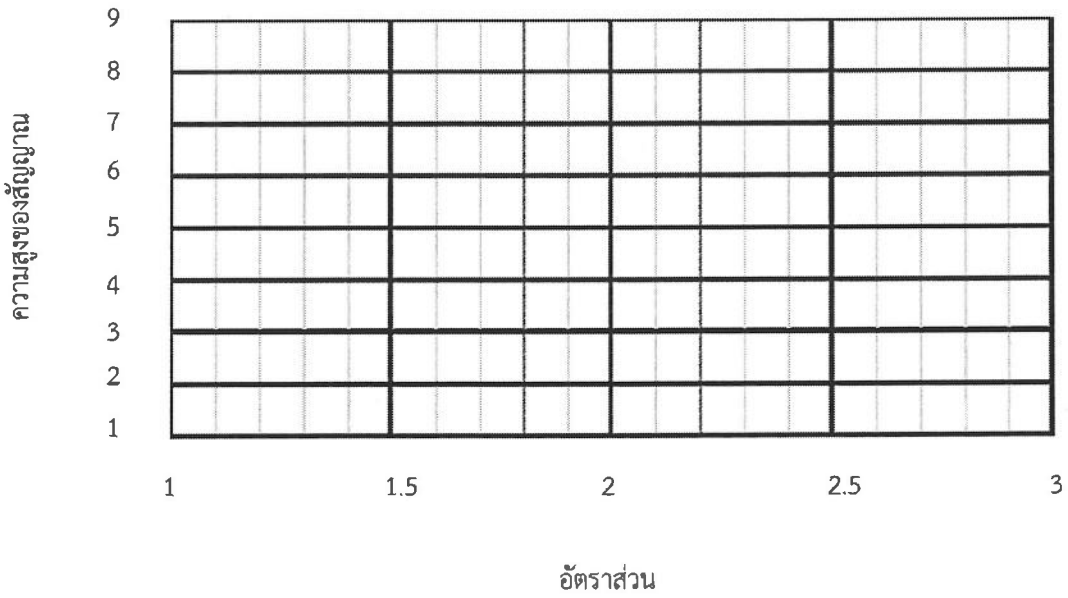
รูป ค-1 บันทึกการทดสอบรับรองคุณภาพเครื่องอัลตราโซนิค

ผู้ผลิตเครื่อง.....รุ่น (Model).....เลขลำดับ(S/N).....

ผู้ผลิตหัวตรวจ.....รุ่น (Model).....เลขลำดับ(S/N).....

ขนาด.....ความถี่.....เกน (Gain).....

ผู้ทดสอบ..... **ว.ด.ป.**.....



รูป ค-2 กราฟความตรงตามแกนความสูงหรือแกนตั้ง (Amplitude Linearity Plot)

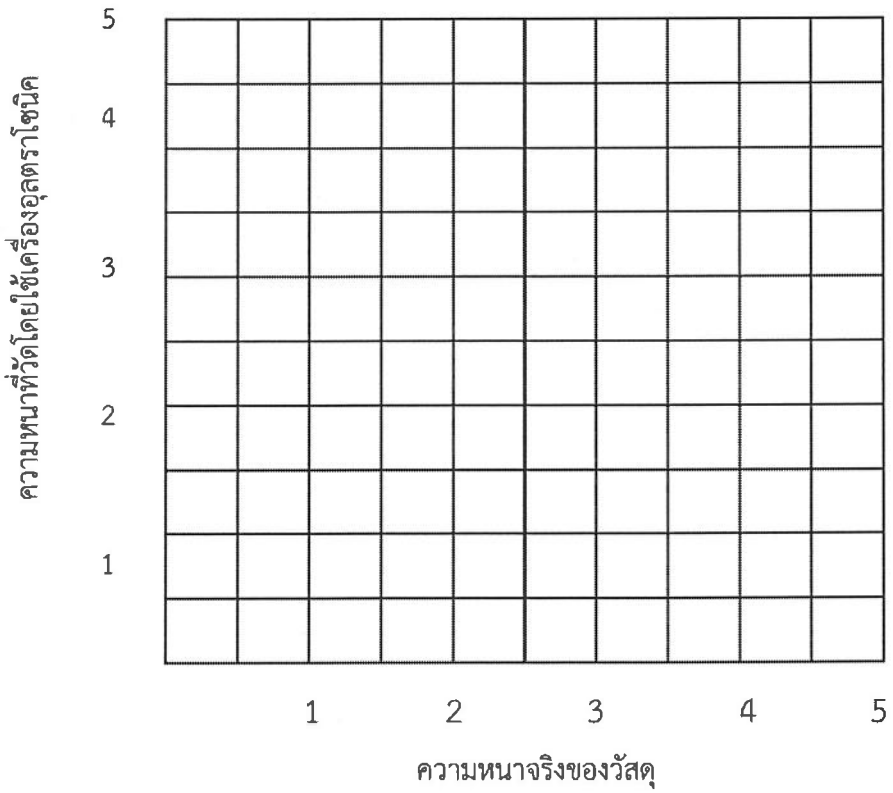
ผู้ผลิตเครื่อง.....รุ่น (Model).....เลขลำดับ(S/N).....

ผู้ผลิตหัวตรวจ.....รุ่น (Model).....เลขลำดับ(S/N).....

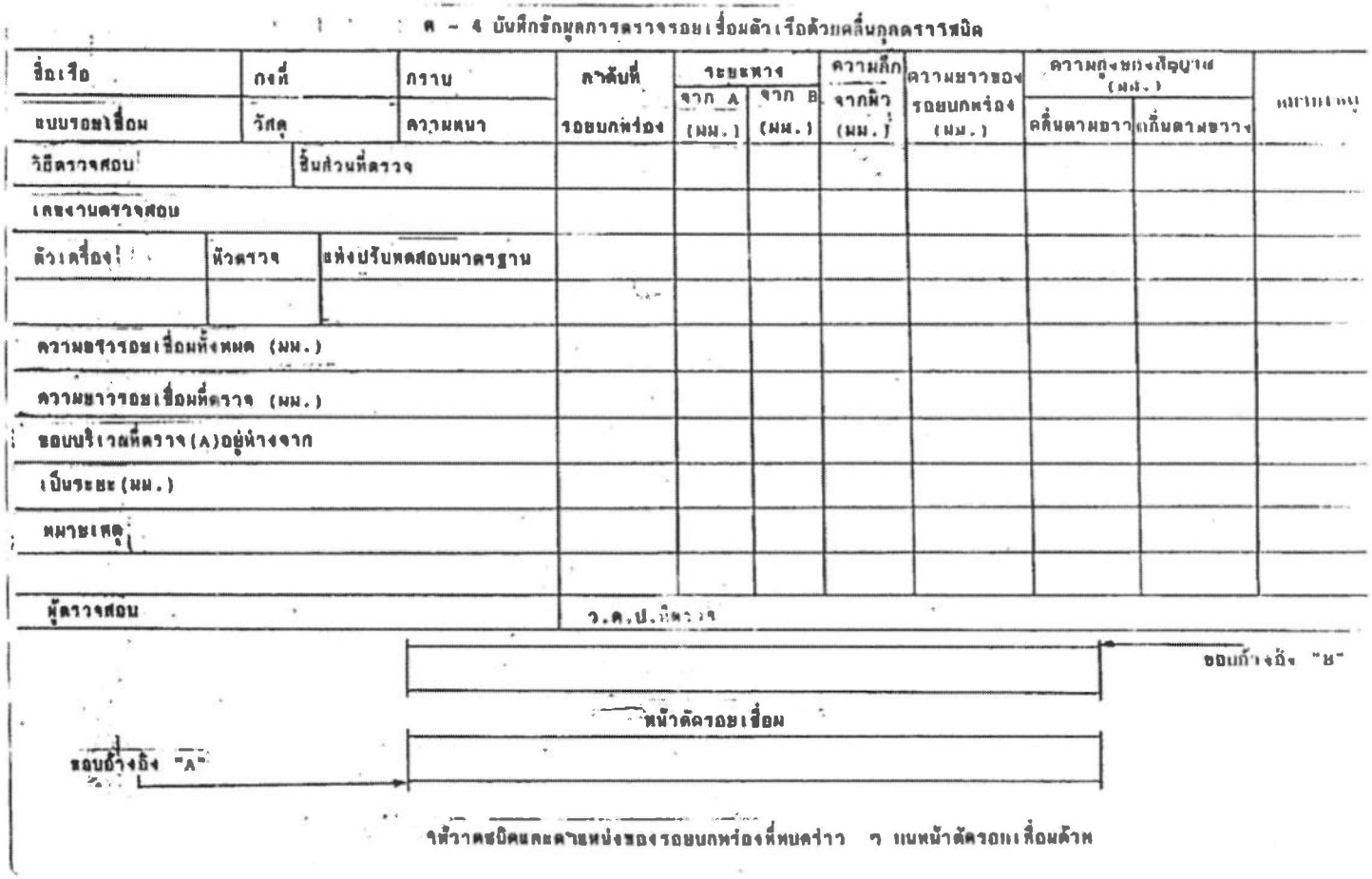
ขนาด.....ความถี่.....เกน (Gain).....

แท่งทดสอบมาตรฐาน.....

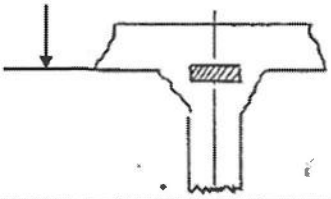
ผู้ทดสอบ..... **ว.ด.ป.**.....



รูป ค-3 กราฟความตรงแกนระยะทางหรือแกนนอน (Distance Linearity Plot)



รูป ค-4 บันทึกข้อมูลการตรวจรอยเชื่อมด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

ชื่อเรือ		ระดับแผ่นงาน  พื้นที่ตรวจสอบ (ระดับแผ่นงาน +1/4 -1/8 นิ้ว X ความหนาเวป)					
กงที่	กราบ						
ชิ้นส่วนที่ตรวจ							
วิธีตรวจสอบ							
เลขงานตรวจสอบ							
วัสดุ		ลำดับที่รอยบกพร่อง	ระยะจาก A (มม.)	ความยาวรอยบกพร่อง (มม.)	ความลึกจากผิว (มม.)	ความสูงของสัญญาณ	ยอมรับหรือไม่
ความหนาเวป (มม.)	ความหนาแผ่น (มม.)						
ตัวเครื่อง	หัวตรวจ	1					
แท่งปรับทดสอบมาตรฐาน		2					
จุดอ้างอิง A ห่างจาก		3					
เป็นระยะทาง (มม.)		4					
หมายเหตุ		5					
		6					
		7					
		8					
		9					
		10					
		11					
		12					
ผู้ตรวจ.....		13					
วันที่ตรวจ.....		14					

รูป ค-5 บันทึกข้อมูลการตรวจรอยเชื่อมรูปตัวที ด้วยอัลตราโซนิค

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	