

สทร. CT-6003:2568

มาตรฐานการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ – การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก
(STANDARD FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF RAIL WELDS
- MAGNETIC PARTICLE TESTING)

1.ทั่วไป

การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (magnetic particle testing: MT) เป็นวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลาย (non-destructive testing: NDT) อาศัยหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กให้กับรางรถไฟชนิดวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic materials) ให้เกิดการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กจากรอยความไม่ต่อเนื่องบริเวณผิวรางรถไฟที่ทดสอบสู่อากาศ เมื่อใส่อนุภาคแม่เหล็กในบริเวณผิวทดสอบรางรถไฟ อนุภาคแม่เหล็กจะถูกกักไว้บนผิวรางในตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กและการเกาะตัวของอนุภาคแม่เหล็กจะสังเกตเห็นได้เป็นรอยบ่งชี้บนผิวของรางรถไฟภายใต้สภาพแสงที่เหมาะสม การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กนี้สามารถใช้ทดสอบเพื่อหารอยบกพร่องบนผิวรอยเชื่อมรางรถไฟ เช่น รอยร้าวบนรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อน รอยกัดขอบแนวเชื่อม หรือการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรางรถไฟในบริเวณอื่น ๆ ได้ ด้วยเหตุนี้การทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินคุณภาพของรอยเชื่อม ในด้านความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมเพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยของการเดินรถไฟ

1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 เพื่อกำหนดวิธีการทดสอบรอยเชื่อมของรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งครอบคลุมการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อนของรางรถไฟ
- 1.1.2 เพื่อกำหนดเกณฑ์การยอมรับรอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อมรางรถไฟจากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

1.2 ขอบข่าย

- 1.2.1 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ โดยวิธีการตรวจพินิจบริเวณรอยเชื่อมต่อรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมวาบ (flash butt welding) กระบวนการเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding) และรอยเชื่อมซ่อมหัวรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมอาร์ค (arc welding) หรือรอยเชื่อมซ่อมหัวรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding)
- 1.2.2 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับการทดสอบ โดยไม่ทำลายวิธีอนุภาคแม่เหล็ก บนรอยเชื่อมรางรถไฟที่ผลิตจากวัสดุรางเกรด R200 R220 R260 R260Mn R320Cr R350HT และ R350LHT โดยมีน้ำหนักต่อความยาวไม่น้อยกว่า 46 kg/m ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน EN

13674-1:2011 หรือรางรถไฟตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า ตามที่อ้างอิงในมาตรฐาน มขร. – C – 005 – 2566

1.2.3 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพรอยเชื่อมในงานก่อสร้างและซ่อมบำรุงรางรถไฟประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มขร. – C – 001 – 2564 ซึ่งครอบคลุมทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง และทางรถไฟสำหรับปฏิบัติการในย่าน

1.2.4 การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กตามมาตรฐานฉบับนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมพื้นผิวรางรถไฟทดสอบ เทคนิคการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กด้วยอุปกรณ์โยก (Yoke) เป็นหลัก ข้อกำหนดและแนวทางในการใช้อุปกรณ์แม่เหล็ก ข้อกำหนดการควบคุมสภาพการมองเห็นสำหรับการทดสอบ ตลอดจนการการแปลผลและบันทึกผลการทดสอบ

1.2.5 การทดสอบรอยเชื่อมรางโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กตามมาตรฐานฉบับนี้สามารถดำเนินการได้ทันทีหลังจากการเชื่อมเย็นตัวลงถึงอุณหภูมิที่ระบุให้สามารถทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กได้ เช่น ข้อกำหนดอุณหภูมิของการใช้งานเครื่องมือและวัสดุอนุภาคแม่เหล็ก ในกรณีที่ต้องการทดสอบหารอยร้าวขณะเย็น (cold crack) ต้องทดสอบหลังจากการเชื่อมแล้วเสร็จไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง

1.2.6 มาตรฐานฉบับนี้กำหนดเกณฑ์การยอมรับรอยบ่งชี้ของอนุภาคแม่เหล็กบนรอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรางรถไฟ เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินผล นอกเหนือจากเกณฑ์การยอมรับรอยบ่งชี้ตามมาตรฐานฉบับนี้ต้องได้รับการอนุมัติจากองค์กร

1.2.7 มาตรฐานฉบับนี้ใช้หน่วยวัดในระบบสากล SI Units (International System Of Units) เป็นหลัก

2. มาตรฐานอ้างอิง

2.1 มขร. – C – 001 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (track classification)

2.2 มขร. – C – 005 มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (track components)

2.3 EN 13674-1 Railway applications – Track – Rail – Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above

2.4 ASNT SNT-TC-1A Personnel qualification and Certification in Nondestructive testing

2.5 ISO 9712 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel

2.6 ISO 9934: Non-destructive testing: Magnetic particle testing Part 1: 2016- General principle, Part 2– Detection media, Part 3: 2015 – Equipment

2.7 EN 10250-2, Open steel die forgings for general engineering purposes - Non-alloy quality and special steels

มาตรฐานอ้างอิงในมาตรฐานฉบับนี้ให้ใช้ฉบับล่าสุด แต่ทั้งนี้ต้องไม่ขัดแย้งกับมาตรฐานฉบับนี้

3. นิยาม

“การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก” (magnetic particle testing) หมายถึง วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำชิ้นงานวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกให้เป็นแม่เหล็ก และใช้อนุภาคแม่เหล็กแห้งหรือเปียกในการแสดงตำแหน่งของความไม่ต่อเนื่องที่อยู่บนผิวหรือใกล้ผิวของวัสดุ

“การเชื่อมวาบ” (flash butt welding) หมายถึง การเชื่อมชนความต้านทานซึ่งชิ้นงานเคลื่อนเข้ากันอย่างช้า ๆ โดยมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเฉพาะจุดสัมผัสทำให้โลหะเย็น และเมื่ออุณหภูมิเชื่อมสูงถึงจุดที่กำหนดแล้วจะมีแรงดันชิ้นงานเข้าหากัน

“การเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก” (aluminothermic welding) หมายถึง การเชื่อมหลอม (fusion welding) ซึ่งความร้อนในการเชื่อมได้จากการเกิดปฏิกิริยาของสารผสมเทอร์มิก ทำให้โลหะเกิดการหลอมเหลวกลายเป็นโลหะเชื่อมชิ้นงานที่ถูกทำให้ร้อนไว้ก่อนแล้ว

“เกณฑ์การยอมรับ” (acceptance criteria) หมายถึง เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินการยอมรับของรอยความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อมซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

“ความไวในการทดสอบ” (sensitivity) หมายถึง ขีดจำกัดการตรวจจับของวิธีการทดสอบในการตรวจจברอยความไม่ต่อเนื่องที่กำหนดไว้แตกต่างกัน สำหรับการทดสอบด้วยวิธีนี้จะหมายถึง ขีดจำกัดการมองเห็นอนุภาคแม่เหล็กค้ำบนผิวของรอยความไม่ต่อเนื่อง

“ฐานราง” (rail foot) หมายถึง ส่วนล่างของรางที่รองรับและถ่ายน้ำหนักลงบนหมอนรองราง

“บริเวณกระทบร้อน” (heat-affected zone: HAZ) หมายถึง บริเวณโลหะชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนจากการเชื่อม การเชื่อมประสาน การบัดกรี หรือการตัดด้วยความร้อน ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลหรือโครงสร้างจุลภาคได้เปลี่ยนแปลง

“ใบรายงานการทดสอบ” (testing report) หมายถึง ใบแสดงรายละเอียดของการทดสอบพร้อมด้วยผลการทดสอบ

“ใบสั่งเทคนิคการทำงาน” (written procedure) หมายถึง เอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดวิธีการทดสอบ ที่ใช้กับรางรถไฟหรือรอยเชื่อมรางรถไฟโดยเฉพาะ โดยต้องระบุขั้นตอน วิธีการ เงื่อนไข และรายละเอียดที่เกี่ยวข้องอย่างครบถ้วนตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐานฉบับนี้

“ผู้ทดสอบ” (examiner หรือ inspector) หมายถึง ผู้ทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

“พื้นที่ทดสอบ” (testing area) หมายถึง บริเวณพื้นที่ทดสอบที่สามารถสังเกตรอยบ่งชี้จากอนุภาคแม่เหล็กได้จากการวางอุปกรณ์โยกแม่เหล็กไฟฟ้า

“เฟอร์โรแมกเนติก” (ferromagnetic) หมายถึง สมบัติของวัสดุที่ยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านและซึมซาบเข้าไปในเนื้อวัสดุจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นวัสดุแม่เหล็กแบบชั่วคราวหรือถาวรได้

“แม่เหล็กไฟฟ้า” (Electromagnet) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่สร้างขึ้นเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าหรือขดลวดเท่านั้น แม่เหล็กไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อรักษาสถาปัตยกรรมแม่เหล็ก

“โยก” (Yoke) หมายถึง อุปกรณ์แบบพกพาที่ใช้เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเฉพาะพื้นที่สำหรับตรวจหารอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวและใต้ผิวของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก

“ราง” (rail) หมายถึง รางเหล็กที่รับน้ำหนักและถ่ายเทภาระจากล้อรถไฟไปยังหมอนรองรางรถไฟและเป็นตัวประกอบกรวดของรถไฟ

“รอยความไม่ต่อเนื่อง” (discontinuity) หมายถึง รอยแยกในเนื้อวัสดุ

“รอยเชื่อม” (weld) หมายถึง รอยที่เกิดจากการเชื่อมโลหะ

“รอยบกพร่อง” (defect) หมายถึง รอยความไม่ต่อเนื่องรอยหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งที่เกินเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด

“รอยบ่งชี้” (indication) หมายถึง สิ่งที่แสดงออกให้เห็นจากการทดสอบโดยไม่ทำลายซึ่งอาจเกิดจากรอยบกพร่องหรือไม่ก็ได้ สำหรับการทดสอบโดยวิธีนี้จะหมายถึง อนุภาคแม่เหล็กค้ำบนผิวของรอยความไม่ต่อเนื่อง

“รอยบ่งชี้แบบกลม” (round indication) หมายถึง รอยบ่งชี้ของอนุภาคแม่เหล็กค้ำบนผิวพื้นทดสอบโดยมีลักษณะคล้ายวงกลมหรือวงรีหรือมีความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับสามเท่าของความกว้าง

“รอยบ่งชี้แบบยาว” (linear indication) หมายถึง รอยบ่งชี้ของอนุภาคแม่เหล็กค้ำบนผิวพื้นทดสอบโดยมีความยาวมากกว่าสามเท่าของความกว้าง

“รอยร้าวขณะเย็น” (cold crack) หมายถึง รอยร้าวที่เกิดหลังการเชื่อม ขณะโลหะเย็นลงใกล้อุณหภูมิห้อง โดยมีสาเหตุจากไฮโดรเจนตกค้าง ความเค้นตกค้าง และโครงสร้างเปราะ

“หน่วยงานทดสอบ” (agency) หมายถึง หน่วยงานซึ่งคู่สัญญาเป็นผู้แต่งตั้งให้ ทำหน้าที่ทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

“หัวราง” (rail head) หมายถึง ส่วนของรางด้านบนที่รองรับล้อรถไฟ

“เอวราง” (rail web) หมายถึง ส่วนของรางที่อยู่ระหว่างหัวรางและฐานราง

“อนุภาคแม่เหล็ก” (magnetic particle) หมายถึง อนุภาคนาโนที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ใช้ในการทดสอบโดยไม่ทำลายวิธีอนุภาคแม่เหล็กเพื่อตรวจจับข้อบกพร่องบนพื้นผิวและใต้พื้นผิวเล็กน้อยของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก

“องค์กร” (railway authority) หมายถึง หน่วยงานที่กำกับดูแลด้านการขนส่งทางราง หรือเจ้าของโครงการ หรือผู้ว่าจ้าง ซึ่งเป็นเจ้าของโครงสร้างพื้นฐาน

4. เงื่อนไขการทดสอบ

4.1 ใบสังเทคนิคการทำงาน

ก่อนการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก หน่วยงานทดสอบต้องได้รับการอนุมัติใบสังเทคนิคการทำงาน (written procedure) จากองค์กร ซึ่งต้องจัดทำและลงนามรับรองโดยบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ระดับ 3 ตามมาตรฐานที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 5 โดยใบสังเทคนิคการทำงานต้องระบุหัวข้อหลักอย่างน้อย ดังต่อไปนี้

4.1.1 ชื่อใบสังเทคนิคการทำงาน เลขที่เอกสาร วันที่จัดทำ ชื่อผู้จัดทำ ชื่อผู้อนุมัติ และชื่อองค์กร

4.1.2 วัตถุประสงค์ ขอบเขต และเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง

4.1.3 เงื่อนไขการทดสอบ

4.1.4 คุณสมบัติของผู้ทดสอบ

4.1.5 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

4.1.6 ขั้นตอนการทดสอบ

4.1.7 เทคนิคการทดสอบที่ใช้งาน

4.1.8 สภาพพื้นผิวก่อนทดสอบ

4.1.9 การยืนยันประสิทธิภาพของการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กโดยรวม

4.1.10 เกณฑ์การยอมรับ

4.1.11 รูปแบบและรายละเอียดการรายงานผลการทดสอบ

4.1.12 วิธีการดำเนินการเมื่อผลการทดสอบไม่เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ

4.2 สภาพการมองเห็น

สภาพการมองเห็นขณะทดสอบต้องทำให้มองเห็นอนุภาคแม่เหล็กบนพื้นผิวรางรถไฟทดสอบได้อย่างชัดเจน เมื่อสภาพการมองเห็นถูกกีดขวาง อุปกรณ์หรือส่วนประกอบที่เกิดขวางการมองเห็นจะต้องเคลื่อนย้ายเพื่อให้สามารถมองเห็นทุกพื้นที่ ต้องระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่ารอยบ่งชี้จะไม่ถูกรบกวนหลังจากการทำให้เป็นแม่เหล็กหยุดลง โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.2.1 การทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติหรือแสงประดิษฐ์ ระดับแสงสว่างในบริเวณที่พื้นผิวทดสอบต้องมีค่าตั้งแต่ 500 lx ขึ้นไป โดยค่าความสว่างที่แนะนำควรอยู่ที่ 1,000 lx ภายใต้สภาพการทำงาน โดยใช้เครื่องวัดระดับแสงสว่างที่เชื่อถือได้

4.2.2 กรณีทดสอบในที่มืด บริเวณพื้นผิวทดสอบต้องมีระดับแสงสว่างไม่เกิน 20 lx หรือน้อยกว่า และระดับแสงสว่างที่มองเห็นได้ในสภาพแวดล้อมจะต้องไม่เกิน 20 lx โดยใช้เครื่องวัดระดับแสงสว่างที่เชื่อถือได้ ผู้ปฏิบัติงานต้องปรับสายตาในที่มืดอย่างน้อย 1 min ก่อนการทดสอบ

4.2.3 การใช้อนุภาคแม่เหล็กเรืองแสงในที่มืดต้องทดสอบภายใต้แหล่งกำเนิดแสง UV-A ชนิดแอลอีดี (LED) หรือ ไอปรอท (mercury vapor) ต้องมีความเข้มมากกว่า 10 W/m²

(1,000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) ที่ความยาวคลื่นในย่าน 320-400 nm มีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 365 nm $\pm$ 5 nm และมีระดับแสงสว่างไม่เกิน 20 lx เพื่อลดแสงสะท้อน พื้นหลังโดยการวัดความเข้มแสง UV-A ต้องวัดภายใต้สภาวะการทำงานบนพื้นผิวทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความเข้มแสง UV-A ที่เชื่อถือได้ และควรทดสอบความไม่สม่ำเสมอของแหล่งให้กำเนิดแสงขณะทำการทดสอบ

4.2.4 การสอบเทียบช่วงการทำงานของเครื่องวัดระดับแสงสว่าง และ เครื่องวัดความเข้มแสง UV-A ต้องสอบเทียบตามความถี่ที่แนะนำโดยผู้ผลิตโดยใช้เครื่องมือและระบบที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานแห่งชาติ

5. คุณสมบัติของผู้ทดสอบ

การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟ โดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กและการประเมินผลเพื่อการยอมรับ ต้องดำเนินการโดยบุคลากรที่มีคุณสมบัติและความสามารถที่เหมาะสม มาตรฐานฉบับนี้กำหนดให้บุคลากรที่ทดสอบต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานอย่างน้อยหนึ่งมาตรฐาน ดังนี้ (1) มาตรฐาน ISO 9712 (2) มาตรฐาน ASNT SNT-TC-1A หรือมาตรฐานอื่นที่มีระดับเทียบเท่า ซึ่งได้รับการยอมรับจากองค์กร หรือเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของสัญญา

6. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

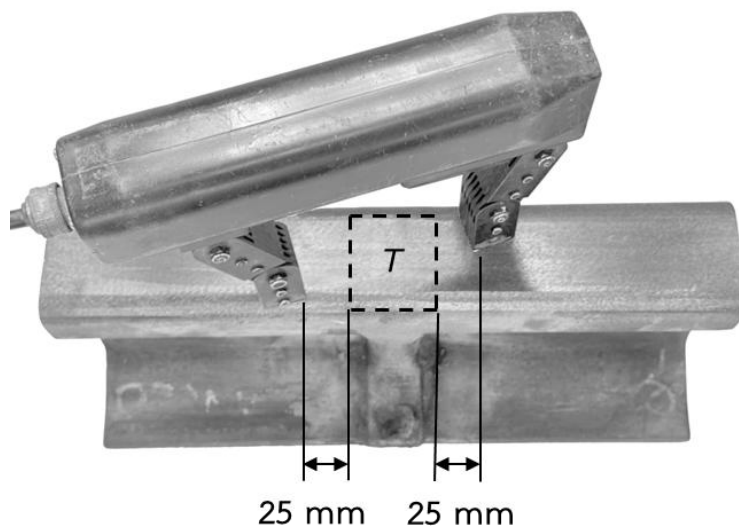
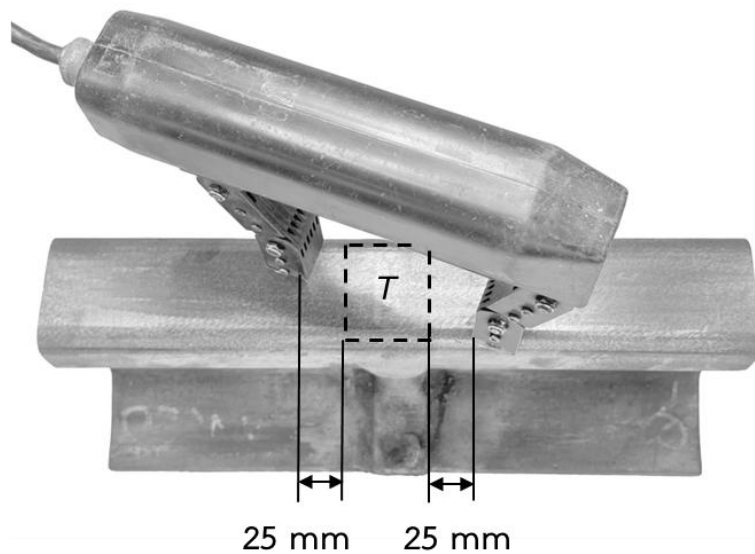
6.1 อุปกรณ์เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเพื่อทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ให้ใช้เทคนิคการสร้างสนามแม่เหล็กด้วยอุปกรณ์โยก (Yoke) ที่มีข้อกำหนดดังนี้

- 6.1.1** อุปกรณ์โยกต้องเป็นแบบแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current: AC) การใช้ อุปกรณ์โยกแบบแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสตรงหรือแม่เหล็กถาวรอาจใช้ทดสอบได้โดยต้องได้รับการอนุมัติจากองค์กร
- 6.1.2** อุปกรณ์โยกต้องสามารถปรับระยะห่างของขาโยกทั้งสองข้างเพื่อวางสัมผัสกับผิวของรางรถไฟทดสอบอย่างแนบสนิท ระยะระหว่างขาโยกทั้งสองข้างจะต้องครอบคลุมพื้นที่ทดสอบ
- 6.1.3** พื้นที่ทดสอบบนผิวรางรถไฟ (T) ต้องอยู่ระหว่างขาโยกทั้งสองข้างและต้องไม่รวมพื้นที่ติดกับขาทั้งสองข้างของโยกดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอ โดยทั่วไปควรห่างจากขอบขาโยกด้านในข้างละ 25 mm ซึ่งระยะของพื้นที่ทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟสำหรับรอยเชื่อมแบบต่าง ๆ สามารถระบุได้ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 8.1
- 6.1.4** ขาโยกทั้งสองข้าง ต้องปรับวางบนรางรถไฟทดสอบให้ได้อย่างน้อย 2 ทิศทาง ณ พื้นที่ทดสอบเดียวกัน เพื่อให้แสดงรอยบ่งชี้จากรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีทิศทางแตกต่างกันได้ดังแสดงในรูปที่ 1

6.2 อนุภาคแม่เหล็ก

อนุภาคแม่เหล็กต้องอยู่ในรูปของอนุภาคแม่เหล็กชนิดเปียก (wet particle) ที่เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO 9934-2 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดเตรียมไว้พร้อมใช้งานจากผู้ผลิตโดยต้องประกอบด้วยอนุภาคแม่เหล็กสีหรือเรืองแสงที่ละเอียดเป็นสารแขวนลอย ในของเหลวตัวพาซึ่งบรรจุไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่พร้อมใช้งาน เมื่อเขย่าจะทำให้อนุภาคแม่เหล็กแขวนลอยผสมเข้ากับของเหลวตัวพาเป็นเนื้อเดียวกัน ผลิตภัณฑ์อนุภาคแม่เหล็กชนิดเปียกต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานอ้างอิงที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้ เช่น ASME MIL หรือ AMS เป็นต้น



รูปที่ 1 การวางอุปกรณ์โยกแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ทิศทาง ในการทดสอบรอยเชื่อมบนรางรถไฟ

7 การทดสอบผลการเหนี่ยวนำและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

7.1 การทดสอบผลการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก

การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟ ต้องเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กผ่านอุปกรณ์โยกในแนวขนานกับพื้นผิวของรางรถไฟ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีความแรงเพียงพอสำหรับการทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรางรถไฟ การทดสอบผลของการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กบนผิวชิ้นงานต้องกระทำตามวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

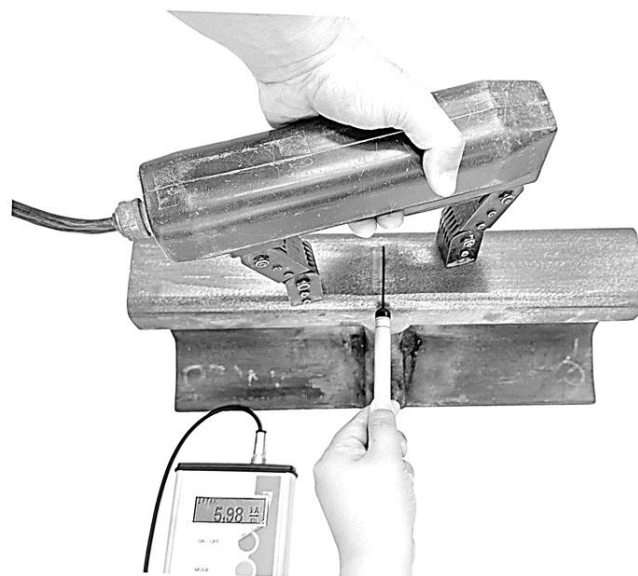
7.1.1 ให้ทดสอบแรงแม่เหล็กจากการใช้อุปกรณ์โยกยกค้ำน้ำหนักต้องเป็นวัสดุที่มีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดหมายเลข C22 (1.0402) ในมาตรฐาน EN 10250-2: 2022 และที่มีขนาดเหมาะสมกับการปรับระยะห่างของขาโยกทั้งสองข้าง วางบนค้ำน้ำหนักระหว่างขาโยกทั้งสองข้างต้องเป็นไปตามระยะที่ใช้งานทดสอบจริง รูปแบบในการวางขาโยกบนค้ำน้ำหนักระบุที่รูปที่ 2 โดยอุปกรณ์โยกต้องยกค้ำน้ำหนักระหว่างขาโยกทั้งสองข้าง โดยวัดสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับผิวรางทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลของค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 1 โดยต้องทดสอบทั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงานทุกครั้ง

7.1.2 ให้ทดสอบความเข้มสนามแม่เหล็กโดยการวัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับผิวของชิ้นงานทดสอบอ้างอิง เช่น ใช้เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กชนิดฮอลล์เซ็นเซอร์ (Hall's Sensor) หรือชนิดแมกนีโตรเรซิสทีฟ (Magneto-resistive) เป็นเครื่องมือวัด โดยวางอุปกรณ์วัดบนรางทดสอบ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขาโยกทั้งสองข้าง โดยวัดสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับผิวรางทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลของค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 1 โดยต้องทดสอบทั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงานทุกครั้ง

หมายเหตุ การใช้ตัววัดแบบจำลองตำหนิเทียม เช่น พายเกจ (pie gauge) หรือแผ่นชิมที่วางติดแนบกับพื้นผิวชิ้นงานทดสอบชนิด QQIs (quantitative quality indicators) จะถูกใช้งานเพื่อแสดงผลความชัดเจนของรอยบ่งชี้การจับตัวอนุภาคแม่เหล็กจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กบนผิวชิ้นงานทดสอบ แต่ไม่ควรใช้เพื่อยืนยันว่าความเพียงพอของสนามแม่เหล็กได้



รูปที่ 2 ปรับระยะห่างของขั้วโยกทั้งสองข้างวางบนดัมน้ำหนักและการยกดัมน้ำหนักด้วยโยก



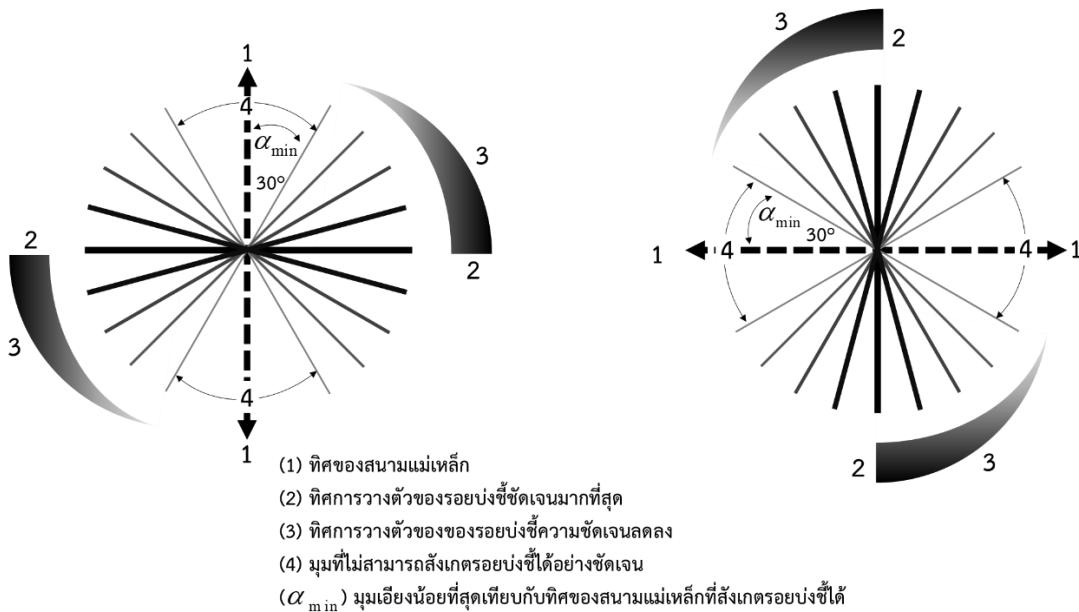
รูปที่ 3 วิธีวัดสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับชิ้นงานโดยใช้อุปกรณ์วัดสนามแม่เหล็ก

7.2 การทดสอบผลของทิศทางของสนามแม่เหล็ก

7.2.1 ความชัดเจน (detectability) รอยความไม่ต่อเนื่องบนรอยเชื่อมรางจากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กขึ้นอยู่กับทิศทางของการสร้างสนามแม่เหล็กและทิศทางของรอยความไม่ต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อให้แน่ใจว่าทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องได้ในทุกทิศทาง ควรสร้างสนามแม่เหล็กในสองทิศทางให้ตั้งฉากกันโดยประมาณ หรือควรมีมุมเอียงการสร้างสนามแม่เหล็กทั้งสองทิศทางอย่างน้อย 30° ($\alpha_{\min} = 30^\circ$) ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์โยกตามหัวข้อที่ 6 ทั้งนี้ไม่แนะนำให้ทดสอบด้วยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเพียงทิศทางเดียวแต่อาจทำได้ โดยต้องได้รับการอนุมัติจากองค์กร

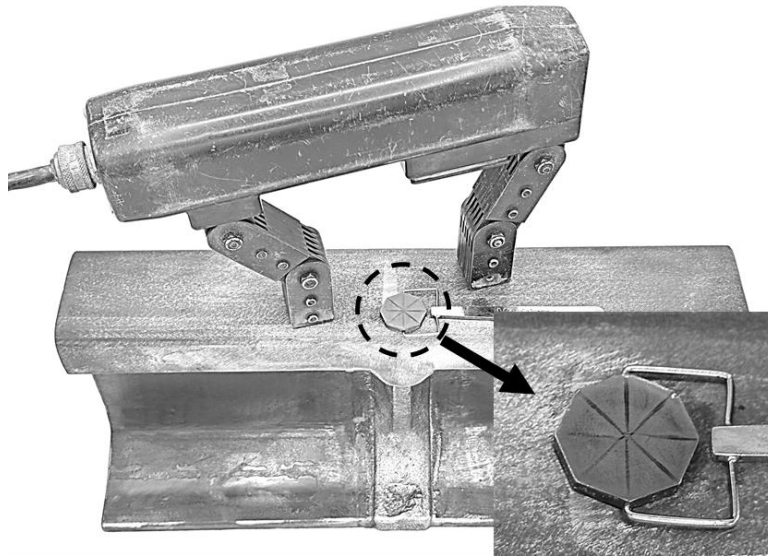
ตารางที่ 1 ค่าทางเทคนิคในการยกตั้มเหล็กแผ่นด้วยอุปกรณ์โยกแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
(ข้อ 7.1 และ 7.2)

ตัวแปร	ค่าทางเทคนิค
ระยะห่างของขั้วโยกทั้งสองขั้ว	50 - 150 mm
น้ำหนักที่ยกได้	มากกว่า 44 N / 4.5 kg
เวลาที่ยกค้าง	มากกว่า 5 s
ความเข้มสนามแม่เหล็ก	มากกว่า 2 kA / m



รูปที่ 4 ทิศทางของรอยบ่งชี้และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อความชัดเจนในการแสดงผลรอยบ่งชี้

- 7.2.2 ให้ทดสอบหาความชัดเจนในการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องบนรอยเชื่อมรางโดยการวางชิ้นงานอ้างอิงที่มีตำหนิจริงหรือมีตำหนิเทียม ขณะเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในบริเวณพื้นที่ทดสอบ (T) ณ ตำแหน่งที่ทดสอบได้ยากที่สุดของพื้นทดสอบบนรางรถไฟ เช่น ตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางระหว่างขาโยกทั้งสองข้างและอยู่เยื้องจากแนวขาโยกไปทางด้านข้าง ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5 เพื่อประเมินความสามารถของสนามแม่เหล็กในการตรวจพบรอยความไม่ต่อเนื่องในสภาพการใช้งานจริง



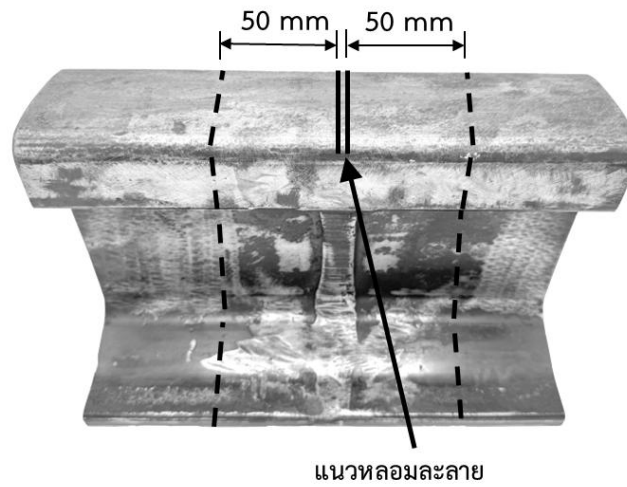
รูปที่ 5 ตัวอย่างทดสอบความชัดเจนรอยบ่งชี้โดยการใช้ตำหนิเทียมบริเวณพื้นที่รางทดสอบ

8. รายละเอียดการทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

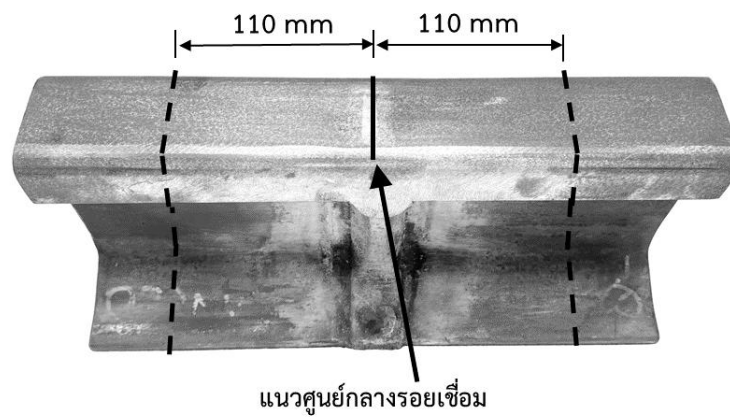
8.1 ขอบเขตพื้นที่ทดสอบบนรอยเชื่อมรางรถไฟประเภทต่าง ๆ

การทดสอบรอยเชื่อมให้กำหนดระยะของพื้นที่ทดสอบจากอุปกรณ์โยกแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กให้ครอบคลุมบริเวณทดสอบรางรถไฟ โดยพื้นที่ทดสอบที่ถูกเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความกว้างของแนวเชื่อมรวมถึงบริเวณกระทบร้อน โดยขอบเขตพื้นที่ทดสอบรอยเชื่อมแบบต่าง ๆ ต้องทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กโดยมีรายละเอียดดังนี้

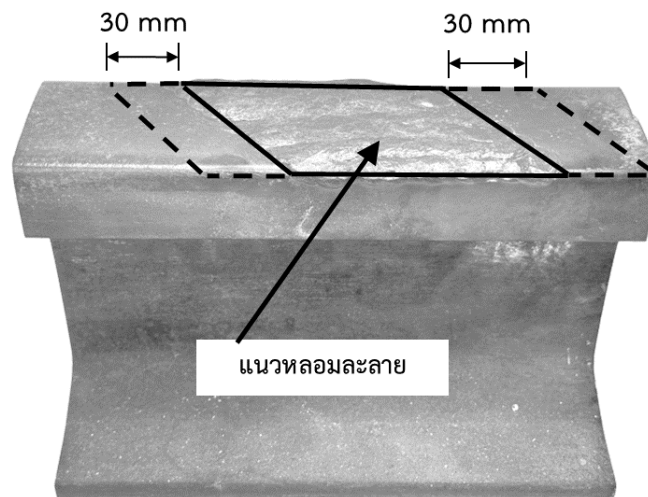
- 8.1.1 รอยเชื่อมวาบ (flash butt) ต้องทดสอบทั้งสองด้านจากแนวรอยหลอมละลาย อย่างน้อย 50 mm ดังแสดงในรูปที่ 6
- 8.1.2 รอยเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding) ต้องทดสอบทั้งสองด้านจากเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม 110 mm ดังแสดงในรูปที่ 7
- 8.1.3 รอยเชื่อมอาร์ก ต้องทดสอบทั้งสองด้านจากแนวรอยหลอมละลาย อย่างน้อย 30 mm ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 6 ระยะทดสอบรอยเชื่อมวาบครอบคลุมจากแนวรอยหลอมละลายอย่างน้อยข้างละ 50 mm

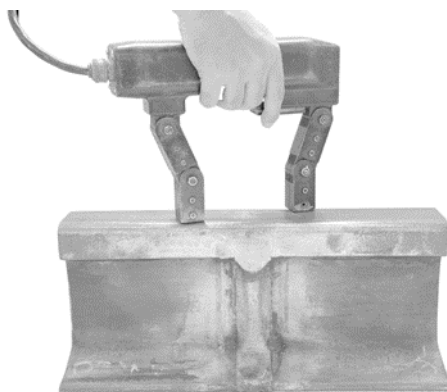


รูปที่ 7 ระยะทดสอบรอยเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิกครอบคลุมจากเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อมอย่างน้อยข้างละ 110 mm

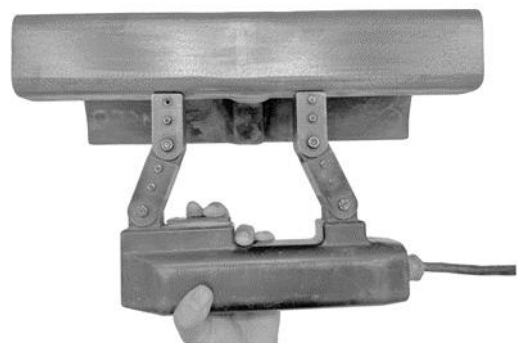


รูปที่ 8 ระยะทดสอบรอยเชื่อมอาร์กครอบคลุมจากแนวรอยหลอมละลายอย่างน้อยข้างละ 30 mm

การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กต้องครอบคลุมหัวราง เหวราง และฐานราง โดยเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจากอุปกรณ์โยก ในพื้นที่ทดสอบเดียวกันอย่างน้อยสองทิศทางเพื่อแน่ใจว่าตำแหน่งที่ระบุไว้เหล่านี้ได้รับการทดสอบอย่างครอบคลุม ควรทดสอบข้างฐานรางและใต้ฐานรางด้วย หากสามารถเข้าถึงได้ ดังตัวอย่างการวางอุปกรณ์โยกบนพื้นที่ทดสอบแสดงในรูปที่ 9

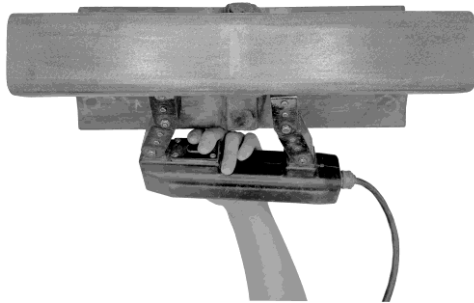


การวางอุปกรณ์โยกบนหัวรางรถไฟ

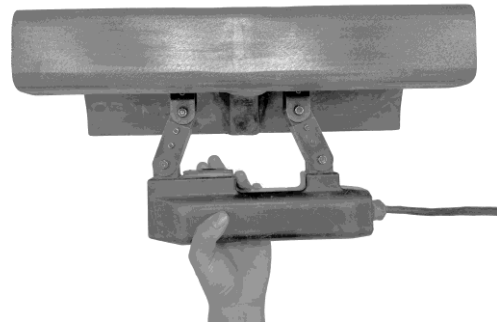


การวางอุปกรณ์โยกข้างหัวรางรถไฟ

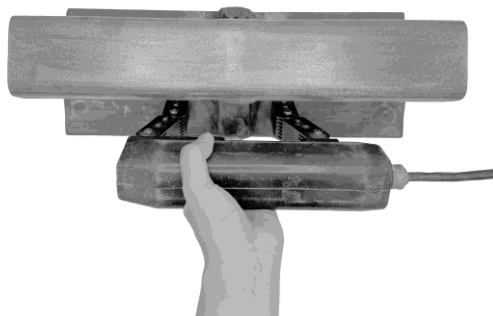
รูปที่ 9 ตัวอย่างการวางอุปกรณ์โยกบนตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นที่ทดสอบบนรอยเชื่อมรางรถไฟ



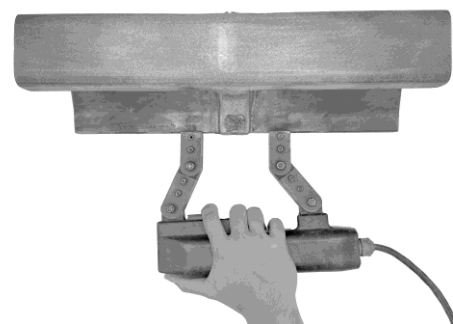
การวางอุปกรณ์โยกใต้หัวรางรถไฟ



การวางอุปกรณ์โยกบนเอวรางรถไฟ



การวางอุปกรณ์โยกบนฐานรางรถไฟ



การวางอุปกรณ์โยกข้างฐานรางรถไฟ

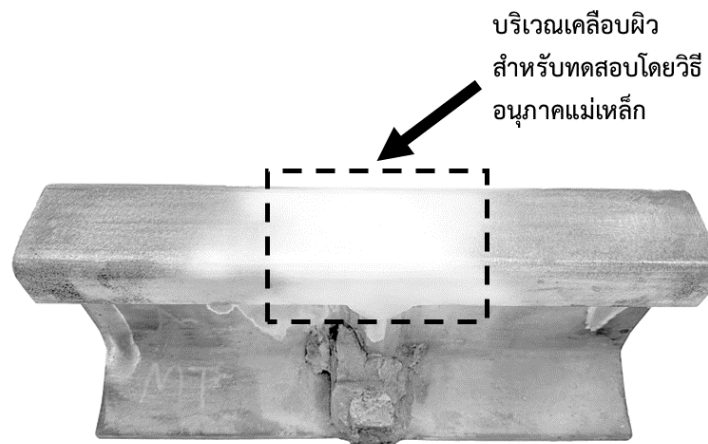
รูปที่ 9 ตัวอย่างการวางอุปกรณ์โยกบนตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นที่ทดสอบบนรอยเชื่อมรางรถไฟ (ต่อ)

8.2 การเตรียมผิว

8.2.1 ผิวรอยเชื่อมและพื้นที่โดยรอบการทดสอบตามหัวข้อ 8.1 ต้องอยู่ในสภาพแห้ง และปราศจากสิ่งปนเปื้อนหรือสารปนเปื้อนต่าง ๆ เช่น คราบสกปรก ขี้เกลือ สนิม สะเก็ดเชื่อม จาระบี น้ำมัน และวัสดุแปลกปลอมอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความไวในการทดสอบ เว้นแต่มีการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อทดสอบในสภาพผิวเปียก

8.2.2 เตรียมผิวก่อนทำการทดสอบ เช่น ขัดด้วยกระดาษทรายหรือขัดเฉพาะจุด เพื่อให้สามารถตีความรอยบ่งชี้ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ การทำความสะอาดหรือการเตรียมพื้นผิวใด ๆ ต้องไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อรางรถไฟที่ทดสอบ

- 8.2.3 วัสดุที่ใช้ทำความสะอาดผิว รวมถึงอนุภาคแม่เหล็กที่ใช้ทดสอบ ต้องใช้งานภายใต้ อนุภาคน้ำมันที่อยู่ในขอบเขตที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้
- 8.2.4 คุณภาพของผิวขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของความไม่ต่อเนื่องที่ต้องการทดสอบ สำหรับกรณีเทคนิคการทดสอบที่ ไม่ได้ ใช้อนุภาคแม่เหล็กเรืองแสง ต้องเตรียมผิวให้ สามารถแยกแยะรอยบ่งชี้ที่เกี่ยวข้องได้อย่างชัดเจนเป็นไปตามข้อกำหนด ที่ระบุไว้ใน มาตรฐาน ISO 9934-1 โดยการเคลือบผิวบาง ๆ บริเวณที่ทดสอบด้วยวัสดุเคลือบสีขาว ที่ไม่เป็นวัสดุแม่เหล็กความหนาไม่เกิน 50 μm เพื่อช่วยให้เห็นความแตกต่างระหว่างรอย บ่งชี้จากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน เช่น สีที่ใช้ต้องยึดเกาะแน่น ไม่มีรอยแตกร้าว และ ไม่ลดทอนความไวในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเคลือบผิวรางทดสอบก่อนการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

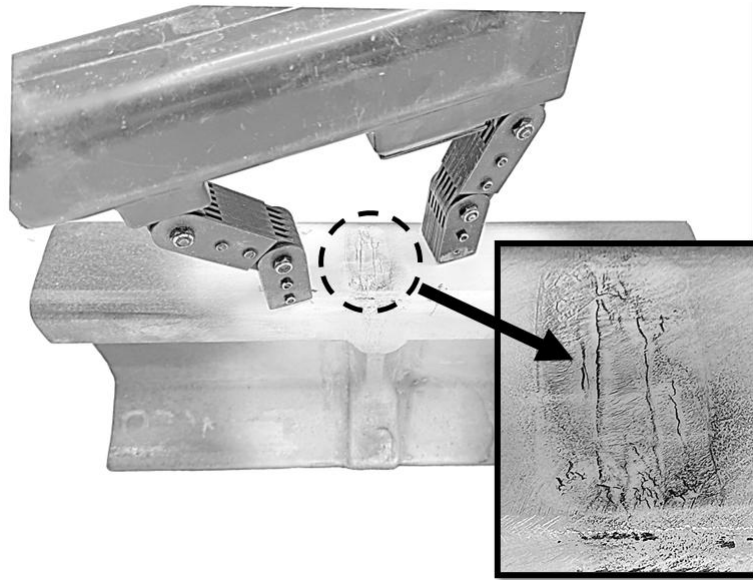
8.3 การใช้งานอนุภาคแม่เหล็ก

- 8.3.1 การใช้งานอนุภาคแม่เหล็กชนิดเปียกสำหรับการทดสอบต้องเป็นตามคำแนะนำของ ผู้ผลิต เช่น การเขย่าภาชนะบรรจุอนุภาคแม่เหล็กให้เป็นเนื้อเดียวกันและต้องนำไปใช้ โดยการพ่นละอองลอย (Aerosol) ทันทีระหว่างการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กให้กับราง รถไฟทดสอบ นอกจากนั้นต้องสร้างสนามแม่เหล็กต่อเนื่องไประยะเวลาหนึ่งในการสร้าง ตัวบ่งชี้ด้วยอนุภาคแม่เหล็กก่อนที่จะเอาสนามแม่เหล็กออก โดยจะต้องมีการพิสูจน์เวลา ที่เหมาะสมในการสังเกตรอยบ่งชี้ได้ชัดเจน

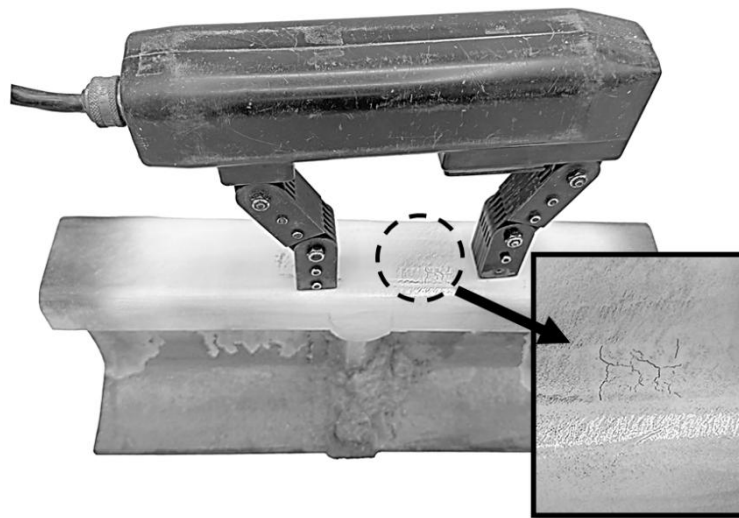
- 8.3.2 เมื่อใช้อ่อนภาคแม่เหล็กชนิดเปียกแบบสารแขวนลอยในของเหลวตัวพาซึ่งใช้งานแบบพ่น ต้องสร้างสนามแม่เหล็กคงไว้ในชิ้นงานทดสอบจนกว่าของเหลวตัวพาของอนุภาคแม่เหล็กส่วนใหญ่จะระบายออกจากพื้นผิวทดสอบเพื่อป้องกันไม่ให้รอยบ่งชี้ล้างออก
- 8.3.3 เมื่อนำเอาสนามแม่เหล็กออกจากชิ้นงานทดสอบ อาจมีสนามแม่เหล็กตกค้างในบริเวณที่เป็นข้อบกพร่องแม่เหล็ก โดยขึ้นอยู่กับวัสดุที่ทดสอบสภาพพื้นผิวและความสามารถในการนำแม่เหล็ก ซึ่งไม่แนะนำให้ทำการทดสอบแบบสนามแม่เหล็กตกค้าง เว้นว่าได้รับพิสูจน์และการยินยอมจากสัญญาการทดสอบ

8.4 การแปลผลรอยบ่งชี้

- 8.4.1 รอยบ่งชี้ (indication) ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กนั้นเป็นสิ่งที่แสดงออกให้เห็นจากกลุ่มอนุภาคแม่เหล็กที่คั่งค้างอยู่บนผิวของรอยเชื่อมที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งอาจเกิดจากรอยบกพร่องหรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างของรอยบ่งชี้จากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กแสดงได้ดังรูปที่ 11
- 8.4.2 ควรระมัดระวังในการแยกแยะระหว่างรอยบ่งชี้ที่ต้องพิจารณา (relevant indication) ที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อมรางรถไฟ และรอยบ่งชี้เท็จ (fault indication) เช่น รอยขีดข่วน บริเวณเปลี่ยนแปลงรูปร่างรางรถไฟ หรือ ขอบรางรถไฟที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างกัน ผู้ทดสอบต้องดำเนินการทดสอบและการสังเกตรอยบ่งชี้ที่เกิดขึ้นเพื่อระบุประเภทของรอยบ่งชี้ และหากเป็นไปได้ให้กำจัดสาเหตุของรอยบ่งชี้เท็จที่เกิดขึ้น
- 8.4.3 รอยบ่งชี้เท็จสามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น การเปลี่ยนแปลงในความสามารถในการซึมซาบสนามแม่เหล็ก ความแตกต่างของขนาด รูปร่าง และการวางตัว ของบริเวณผิวของรางรถไฟทดสอบ เช่น บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน เมื่อสงสัยว่ามีการปกปิดรอยบ่งชี้ให้เตรียมพื้นผิวการทดสอบใหม่ เพื่อทำการทดสอบอีกครั้ง หรือ ใช้วิธีทดสอบโดยไม่ทำลายอื่น ๆ ที่เหมาะสม



รอยบ่งชี้ของอนุภาคแม่เหล็กค้ำบนผิวแนวรอยเชื่อมรางรถไฟ



รอยบ่งชี้ของอนุภาคแม่เหล็กค้ำบนผิวข้างแนวรอยเชื่อมรางรถไฟ

รูปที่ 11 ตัวอย่างของรอยบ่งชี้จากการทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กบนผิวหัวรางรถไฟ

8.5 การบันทึกรอยบ่งชี้

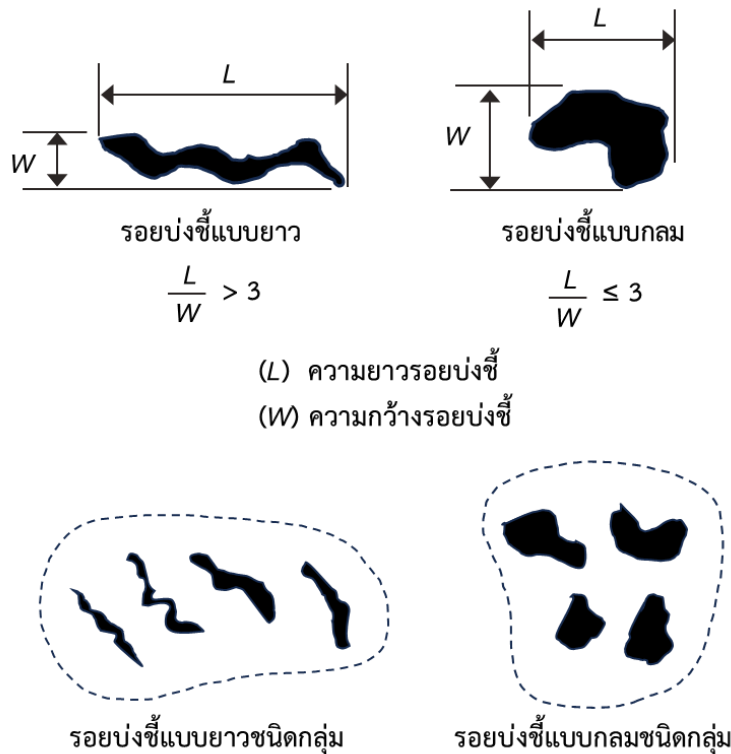
ให้บันทึกรอยบ่งชี้ทั้งหมดที่มั่นใจว่าเป็นรอยบ่งชี้ที่ต้องพิจารณา โดยจะต้องจำแนกและบันทึกประเภทของรอยบ่งชี้ตามคำจำกัดความดังต่อไปนี้ คือรอยบ่งชี้แบบยาว (linear indication) หรือรอยบ่งชี้แบบกลม (round indication) รวมไปถึงรอยบ่งชี้ที่ทั้ง 2 แบบที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มดังแสดงในรูปที่ 12 และต้องบันทึกรายละเอียดเพิ่มเติมตามที่ข้อตกลงหรือสัญญาการว่าจ้างกำหนด วิธีบันทึกรอยบ่งชี้สามารถกระทำได้โดยใช้วิธีใด ๆ อย่างน้อยหนึ่งวิธี ดังต่อไปนี้

8.5.1 การเขียนบรรยาย

8.5.2 การวาดภาพเหมือน

8.5.3 การถ่ายภาพ

8.5.4 การบันทึกวิดีโอ



รูปที่ 12 การจำแนกประเภทรอยบ่งชี้จากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

8.6 การล้างสนามแม่เหล็กคงค้าง

8.6.1 เมื่อมีการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กบนรอยแนวเชื่อมด้วยเทคนิคใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ความเข้มของสนามแม่เหล็กคงเหลือจะอยู่ในระดับต่ำตามปกติและโดยทั่วไปจะไม่จำเป็นต้องล้างสนามแม่เหล็กคงค้างในชิ้นงานทดสอบ

- 8.6.2 หากกำหนดให้ล้างสนามแม่เหล็กคงค้างหลังการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ต้องมีการกำหนดวิธีการล้างสนามแม่เหล็กคงค้างและระดับสนามแม่เหล็กคงค้างในรางรถไฟทดสอบต้องไม่เกิน 3 Gs เว้นแต่กำหนดระดับสนามแม่เหล็กคงค้างสูงสุดที่อนุญาตในข้อตกลงหรือสัญญาจ้างเป็นอย่างอื่น
- 8.6.3 การวัดสนามแม่เหล็กคงค้างโดยใช้อุปกรณ์วัดสนามแม่เหล็กชนิดฮอลล์เซ็นเซอร์ (Hall's Sensor) หรือชนิดแมกนีโตรริซิสทีฟ (Magneto-resistive) หรือวิธีทางกายภาพในข้อตกลงหรือสัญญาจ้าง (เช่น การทดสอบเข็มทิศ)
- 8.6.4 การล้างสนามแม่เหล็กคงค้างโดยใช้สนามแม่เหล็กจากไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำได้โดยการลดความเข้มของสนามแม่เหล็กจากค่าเริ่มต้นที่เท่ากับหรือต่ำกว่าที่ใช้สำหรับการทำแม่เหล็ก ด้วยวิธีการดังเช่น การนำชิ้นงานออกจากการพันขดลวดที่จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ การล้างแม่เหล็กด้วยโยก หรือการกลับทิศของไฟฟ้ากระแสตรงผ่านอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็ก

8.7 การทำความสะอาดชิ้นงานหลังการทดสอบ

หลังจากการทดสอบและการบันทึกผลการทดสอบ หากจำเป็นพื้นที่ทดสอบทั้งหมดต้องทำความสะอาดเพื่อกำจัดอนุภาคแม่เหล็กออกจากรางรถไฟ โดยเทคนิคการทำความสะอาดหลังการทดสอบที่ใช้กันทั่วไปคือ

- 8.7.1 การทำให้อนุภาคเปียกแห้งและการกำจัดออกด้วยการขัดด้วยแปรงหรือด้วยลมอัด
- 8.7.2 การกำจัดอนุภาคเปียกโดยการล้างด้วยตัวทำละลาย
- 8.7.3 เทคนิคการทำความสะอาดหลังการทดสอบอื่น ๆ ที่เหมาะสมสามารถใช้ได้ตามข้อกำหนดในข้อตกลงหรือสัญญาจ้าง

หมายเหตุ นอกจากนี้อาจจำเป็นต้องป้องกันชิ้นงานทดสอบจากการกัดกร่อนตามความเหมาะสม

9. รายงานผลการทดสอบ

การบันทึกและรายงานผลการทดสอบจะต้องจัดทำในใบรายงานผลการทดสอบและมีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้ โดยในภาคผนวก ก แสดงตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบ

- 9.1 ชื่อโครงการและวันที่ทดสอบ
- 9.2 รายชื่อและคุณสมบัติของผู้ทดสอบ
- 9.3 ชื่อหน่วยงานทดสอบ
- 9.4 เอกสารอ้างอิงที่ใช้ทดสอบ เช่นมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง หรือ ใบสั่งเทคนิคการทำงาน
- 9.5 อัตลักษณ์ของรอยเชื่อมทดสอบ เช่น หมายเลขรอยเชื่อม ตำแหน่งราง
- 9.6 ชนิดและขนาดของรางรถไฟทดสอบ
- 9.7 ประเภทของรอยเชื่อม เช่น เชื่อมต่อราง หรือเชื่อมซ่อมหัวราง
- 9.8 กระบวนการเชื่อม

- 9.9 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ พร้อมหมายเลขประจำเครื่องมือและวันสอบเทียบครั้งล่าสุด
- 9.10 สภาพการมองเห็น
- 9.11 อุณหภูมิผิวของรางรถไฟทดสอบและอนุภาคแม่เหล็ก
- 9.12 ข้อมูลขั้นตอนการทดสอบและคำอธิบายของตัวแปรที่ใช้
- 9.13 ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก
- 9.14 ประเภทของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก
- 9.15 ข้อมูลอนุภาคแม่เหล็ก
- 9.16 การเตรียมผิวพื้นที่ทดสอบและวัสดุเคลือบผิว
- 9.17 รายละเอียดผลการทดสอบ พร้อมทั้งขนาดและตำแหน่งของรอยบ่งชี้ที่บันทึกได้ทั้งหมด
- 9.18 ผลการประเมินโดยสรุปตามเกณฑ์การยอมรับที่ใช้ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) พร้อมข้อเสนอแนะ (ถ้ามี)

10. เกณฑ์การยอมรับ

- 10.1 รอยบ่งชี้แบบยาวและรอยบ่งชี้แบบกลมที่บันทึกผลจากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็กต้องวัดขนาดและประเมินด้วยเกณฑ์การยอมรับตามเงื่อนไขในตารางที่ 2 โดยให้ระบुरอยบ่งชี้แบบยาวทั้งแบบเดี่ยวและกลุ่ม ที่มีความยาวเกิน 2 mm จะไม่ได้รับการยอมรับในทุกบริเวณที่ทดสอบ และรอยบ่งชี้แบบกลม ทั้งแบบเดี่ยวและกลุ่ม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 3 mm จะไม่ได้รับการยอมรับในทุกบริเวณที่ทดสอบ
 - 10.2 รอยบ่งชี้ใด ๆ ที่เกินเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดเรียกว่ารอยบกพร่อง ซึ่งต้องทำการระบุไว้ในรายงานผลการทดสอบ
 - 10.3 หากมีการระบุในข้อกำหนดการทดสอบหรืออนุญาตให้กำจัดรอยบกพร่อง ควรทำการเจียผิวเฉพาะที่เพื่อลดหรือกำจัดรอยบกพร่องซึ่งเป็นสาเหตุของรอยบ่งชี้ที่เกินเกณฑ์การยอมรับ และจะต้องทำการทดสอบและประเมินใหม่ด้วยเทคนิคการใช้อนุภาคแม่เหล็กที่ตรงกัน
- หมายเหตุ เกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดและคำแนะนำอื่นนอกเหนือจากมาตรฐานฉบับนี้ ให้เป็นไปตามข้อตกลงหรือสัญญาว่าจ้างการทดสอบ

ตารางที่ 2 เกณฑ์การยอมรับของรอยบ่งชี้จากการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

ชนิดของรอยบ่งชี้	เกณฑ์การยอมรับของขนาดรอยบ่งชี้
รอยบ่งชี้แบบยาว (linear indication) ทั้งชนิดเดี่ยวและกลุ่ม	$\leq 2 \text{ mm}$
รอยบ่งชี้แบบกลม (round indication) ทั้งชนิดเดี่ยวและกลุ่ม	$\leq 3 \text{ mm}$

11. เอกสารอ้างอิง (references)

- 11.1 ISO 17638: 2016 Non-destructive testing of welds - Magnetic particle testing
- 11.2 ISO 3059: 2016 Non-destructive testing - Penetrant testing and magnetic particle testing - Viewing conditions
- 11.3 AREMA Chapter 4 Part 3: 2011 American Railway Engineering and Maintenance of Way Association: Joining of rail
- 11.4 ASTM E709-21 Standard Guide for Magnetic Particle Testing
- 11.5 AS 1085.20: 2020 Railway track materials, Part 20: Welding of steel rail

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ – การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

โลโก้ หน่วยงานทดสอบ	ใบรายงานผลการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก				ชื่อ-ที่อยู่ หน่วยงานทดสอบ			
ชื่อโครงการ:		เลขที่รายงาน:		วันที่ทดสอบ:				
ชื่อผู้ทดสอบ:		คุณสมบัติผู้ทดสอบ:		หมายเลขใบรับรอง:				
ใบสั่งเทคนิคการทำงาน:		เอกสารอ้างอิง:		เอกสารอื่น:				
หมายเลขรอยเชื่อม:		ตำแหน่งราง:		ชนิดของราง:		ขนาดของราง:		
ประเภทของรอยเชื่อม: ☐ เชื่อมต่อราง ☐ เชื่อมซ่อมหัวราง		กระบวนการเชื่อม: ☐ Flash Butt Welding ☐ Aluminothermic welding ☐ Arc welding						
รายการเครื่องมือและอุปกรณ์:								
อุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็ก		☐ โยค (Yoke) ☐ อื่นๆ		ชนิดกระแสไฟฟ้า: ☐ AC ☐ DC ☐ แม่เหล็กถาวร				
ยี่ห้อ:		รุ่น:		หมายเลขเครื่อง:		ระยะขาโยค:		
เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง		ยี่ห้อ:		รุ่น:		หมายเลขเครื่อง:		
อนุภาคแม่เหล็ก		☐ หมึกแม่เหล็กสีดำ ☐ หมึกแม่เหล็กเรืองแสง ☐ ผงแห้ง						
ยี่ห้อ:		รุ่น:		หมายเลขผลิตภัณฑ์:		วันหมดอายุ:		
วัสดุเคลือบผิว		ยี่ห้อ:		รุ่น:		หมายเลขผลิตภัณฑ์:		
ยี่ห้อ:		รุ่น:		หมายเลขผลิตภัณฑ์:		วันหมดอายุ:		
การทดสอบความเพียงพอสันแม่เหล็ก / ความชัดเจนของรอยบั้งซี / รายละเอียดการทดสอบ								
ยกน้ำหนัก		☐ 4.5 kg (AC) ☐ 18.1 kg (HWDC / DC)		วันสอบเทียบ:				
วัดความเข้มสนามแม่เหล็ก		☐ เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก ☐ ≥ 2 kA / m		วันสอบเทียบ:				
ทดสอบความชัดเจนของรอยบั้งซี		☐ พายเกจ (pie gauge) ☐ แผ่นซึม QOI ☐ วิธีวางขาโยค		☐ อื่นๆ				
การเตรียมผิว / สภาวะการมองเห็น		☐ เชีย ☐ ขัดด้วยแปรง ☐ น้ำยาทำความสะอาด ☐ เคลือบผิว ≤ 50 μm						
☐ อุณหภูมิผิวรางทดสอบ.....°C ☐ แสงขาว ≥ 500 lx ☐ แสง UV-A ≥ 10W/m2 ☐ ความมืด ≤ 20 lx								
วิธีใช้อนุภาคแม่เหล็ก / การสังเกต:		☐ พื้น ☐ อื่นๆ		☐ วิธีต่อเนื่อง (continuous) ☐ วิธีคงค้าง (residual)				
ระบุตำแหน่งรอยความไม่ต่อเนื่องบนรางรถไฟ								
รอยบั้งซีที่พิจารณา (relevant indication) หน่วย: ☐ mm ☐ อื่นๆ								
หมายเลข	ตำแหน่ง	ความยาว (L)	ความกว้าง (W)	L / W	ประเภทรอยบั้งซี	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	
					☐ กลม / ☐ ยาว			
					☐ กลม / ☐ ยาว			
					☐ กลม / ☐ ยาว			
					☐ กลม / ☐ ยาว			
สรุปผลการประเมิน								
☐ ผ่านเกณฑ์ ☐ ไม่ผ่านเกณฑ์								
ข้อเสนอแนะ:								
ชื่อ - นามสกุล	ผู้ทดสอบ	ผู้ตรวจสอบ				ผู้อนุมัติ		
ลายมือชื่อ								
ตำแหน่ง								
วัน/เดือน/ปี								