

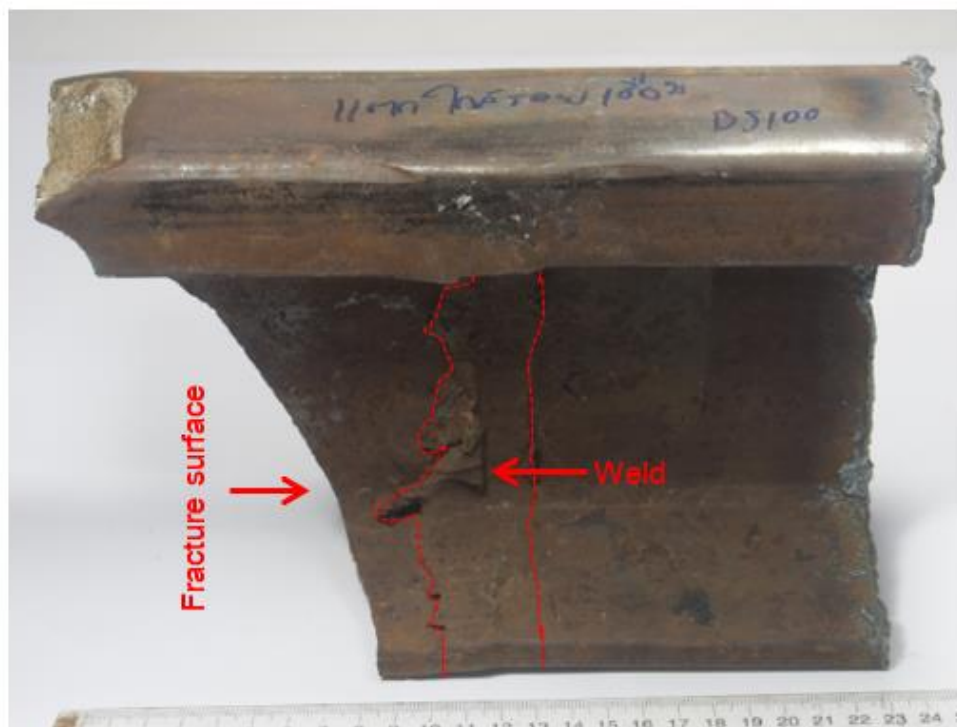
ตัวอย่างกรณีศึกษาความเสียหายของรางรถไฟในประเทศไทย

ทีมวิจัยเทคโนโลยีการผลิตและการซ่อมบำรุง ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีระบบรางและการขนส่งสมัยใหม่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้ขอความอนุเคราะห์ตัวอย่างรางรถไฟที่เกิดความเสียหายในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากการรถไฟแห่งประเทศไทย เพื่อศึกษารูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับรางรถไฟที่ใช้งานในประเทศไทย และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้รางรถไฟแตกหักเพื่อเป็นข้อมูลในการหาแนวทางป้องกันความเสียหายในอนาคต

กรณีศึกษาที่ 1

ข้อมูลเบื้องต้น

การรถไฟแห่งประเทศไทยตรวจพบการแตกหักของรางรถไฟที่อยู่ระหว่างการใช้งานในเขตพื้นที่ภาคเหนือ การตรวจสอบเบื้องต้นพบว่ารางแตกหักใกล้กับตำแหน่งที่มีการเชื่อมต่อราง **รูปที่ 54** แสดงรางรถไฟที่เสียหาย



รูปที่ 54 รางรถไฟที่เสียหาย

ขั้นตอนการตรวจสอบและผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพบริเวณที่เกิดความเสียหายด้วยสายตา (Visual Examination) พร้อมถ่ายภาพที่กำลังขยายต่ำด้วยกล้องดิจิทัล (Digital Camera) เพื่อศึกษาลักษณะความเสียหายและลักษณะอื่นๆ

การตรวจสอบชิ้นส่วนที่เสียหาย พบว่ารางรถไฟเกิดการแตกหักใกล้รอยเชื่อมต่อราง รางที่เสียหายแตกหักอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 54 ผิวแตกที่พบบริเวณหัวรางมีลักษณะมันวาว ในขณะที่บริเวณฐานรางรถไฟ พบสนิมหรือเหล็กออกไซด์ปกคลุมผิวหน้า นอกจากนี้พบการยุบตัวของเนื้อวัสดุ (Collapsed or deformed) บริเวณฐานรางรถไฟดังแสดงในรูปที่ 55



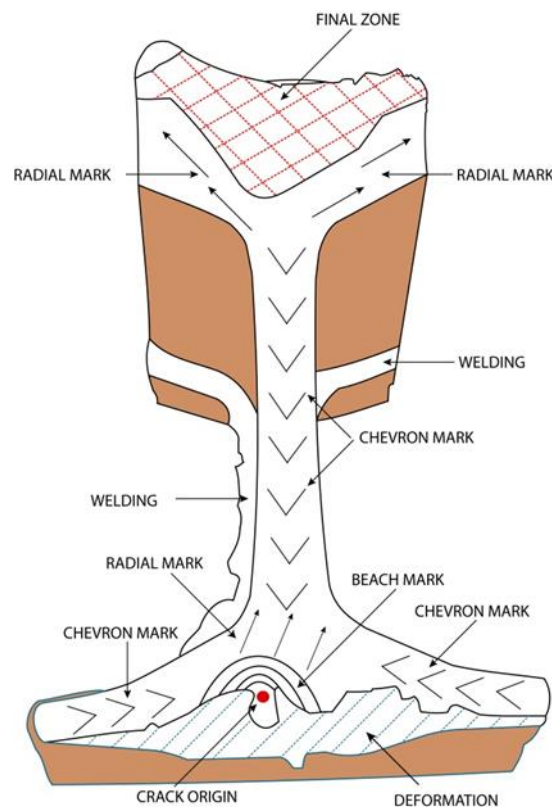
รูปที่ 55 ลักษณะฐานรางรถไฟที่ยุบตัวและเสียรูป

การวิเคราะห์ผิวหน้าแตก

ตัดชิ้นส่วนของรางรถไฟที่เกิดการแตกหักไปตรวจสอบผิวหน้าแตก (Fracture Surface Analysis) ด้วยเทคนิคการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Examination) และกล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัล (Digital Camera)

เพื่อตรวจสอบหาจุดเริ่มต้นของรอยแตก (Fracture Origins) รูปแบบของผิวหน้ารอยแตก (Fracture Mode) และสเก็ทซ์ภาพผิวหน้าแตก

การตรวจสอบผิวหน้าแตกพบเหล็กออกไซด์ปกคลุมผิวหน้าแตกบริเวณฐานรางรถไฟ ลักษณะดังกล่าว บ่งชี้ว่าบริเวณฐานรางเกิดการแตกหักก่อนตำแหน่งอื่น ๆ สอดคล้องกับผลการตรวจสอบผิวแตกโดยละเอียด เนื่องจากพบรูปแบบ Beach marks และ chevron mark บริเวณฐานราง ซึ่งเป็นรูปแบบการแตกหักจาก กลไกการล้า (Fatigue Mechanism) ทิศทางการขยายตัวของ Beach marks และ chevron mark บ่งชี้ว่า บริเวณฐานรางเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหัก (Crack Origin) จากนั้นรอยแตกจึงขยายตัวเข้าสู่บริเวณเอวราง และบริเวณหัวราง **รูปที่ 56** แสดงลักษณะการขยายตัวของรอยแตก

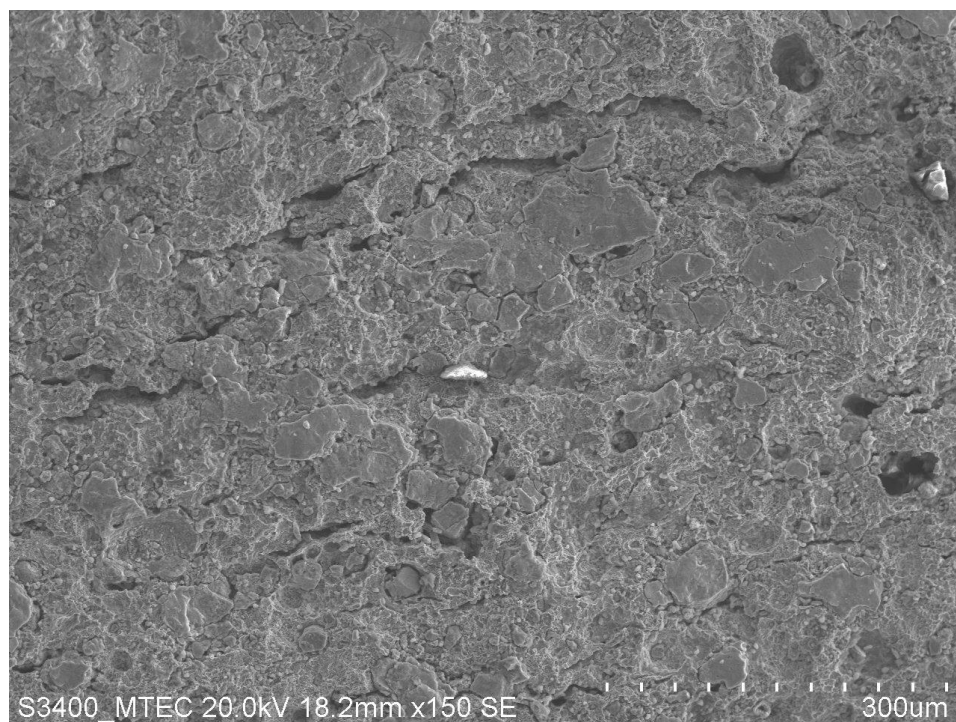
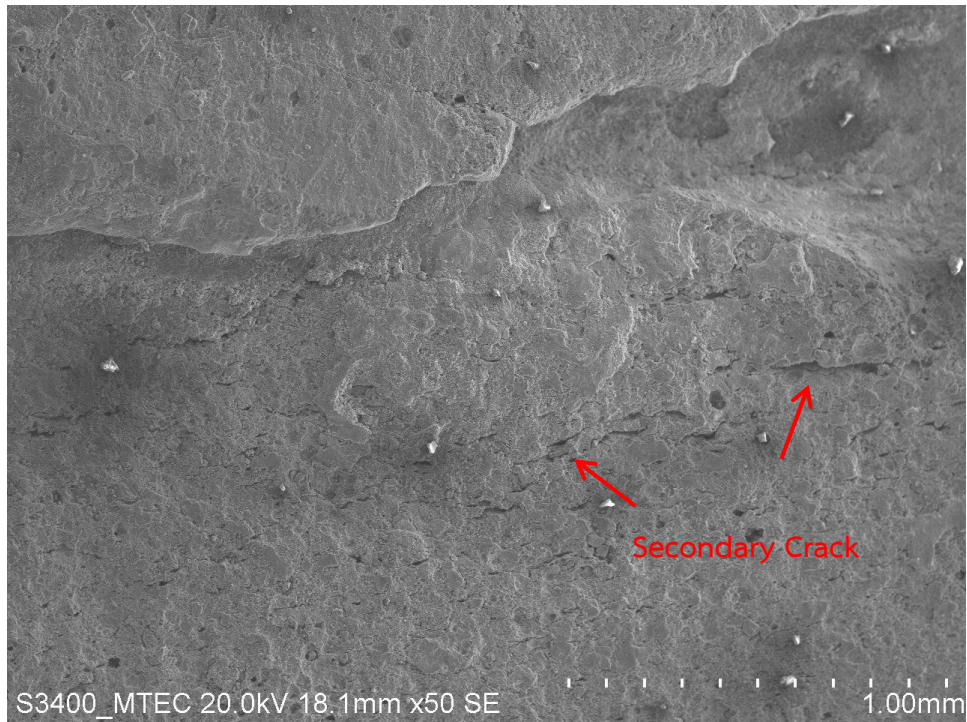


รูปที่ 56 ภาพสเก็ทซ์ผิวหน้าแตกหักของรางรถไฟ

การวิเคราะห์ผิวหน้าแตกด้วย SEM

นำผิวหน้าแตกบริเวณจุดเริ่มรอยแตกไปตรวจสอบที่กำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM)

จากการตรวจสอบจุดเริ่มรอยแตกด้วย SEM พบรอยแตกร้าวทุติยภูมิ (Secondary Crack) ขนาดเล็ก กระจายตัวอยู่ทั่วไป และพบออกไซด์เกาะติดหนาแน่นที่ผิวแตก ดังแสดงในรูปที่ 57



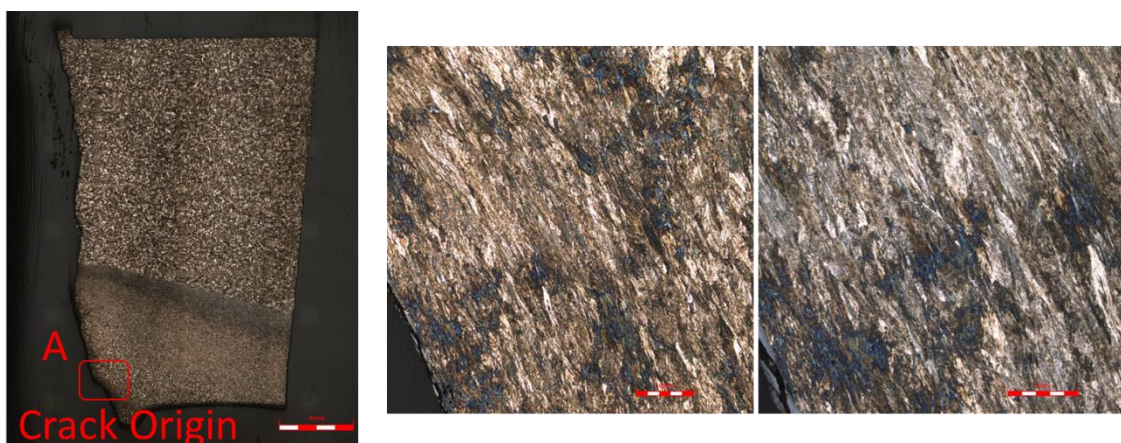
รูปที่ 57 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะสภาพผิวแตกของชิ้นส่วนรางรถไฟ

การวิเคราะห์ภาคตัดขวางและโครงสร้างจุลภาค

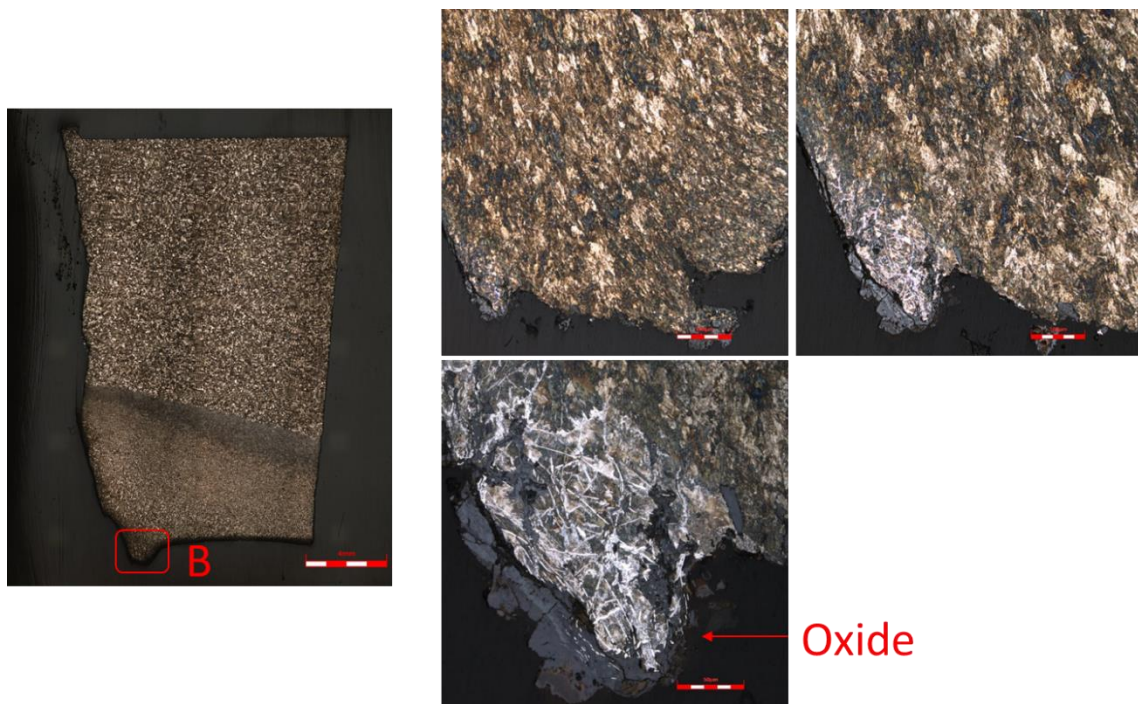
ตัดชิ้นส่วนรางรถไฟตามแนวภาคตัดขวางผ่านบริเวณที่เกิดรอยแตกร้าว นำไปเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ภาคตัดขวางและโครงสร้างทางจุลภาค โดยเริ่มจากการขัดหยาบ ขัดละเอียด และกัดผิวหน้า เพื่อให้ปรากฏโครงสร้างด้วยสารละลายไนตอล (Nital Solution) ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ชนิดแสงสะท้อน (Optical Reflected Light Microscope, OM)

รูปที่ 58 แสดงโครงสร้างจุลภาคในบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกหรือตำแหน่ง A การตรวจสอบพบลักษณะการเสียรูปร่างอย่างรุนแรงของเนื้อโลหะพบการไหลตัว (Flow) ของเนื้อโลหะในทิศทางเดียวกับการขยายตัวของรอยแตก โครงสร้างจุลภาคที่พบในตำแหน่งนี้คือโครงสร้างเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ซึ่งเป็นโครงสร้างปกติของเหล็กที่ใช้ผลิตเหล็กรางรถไฟ

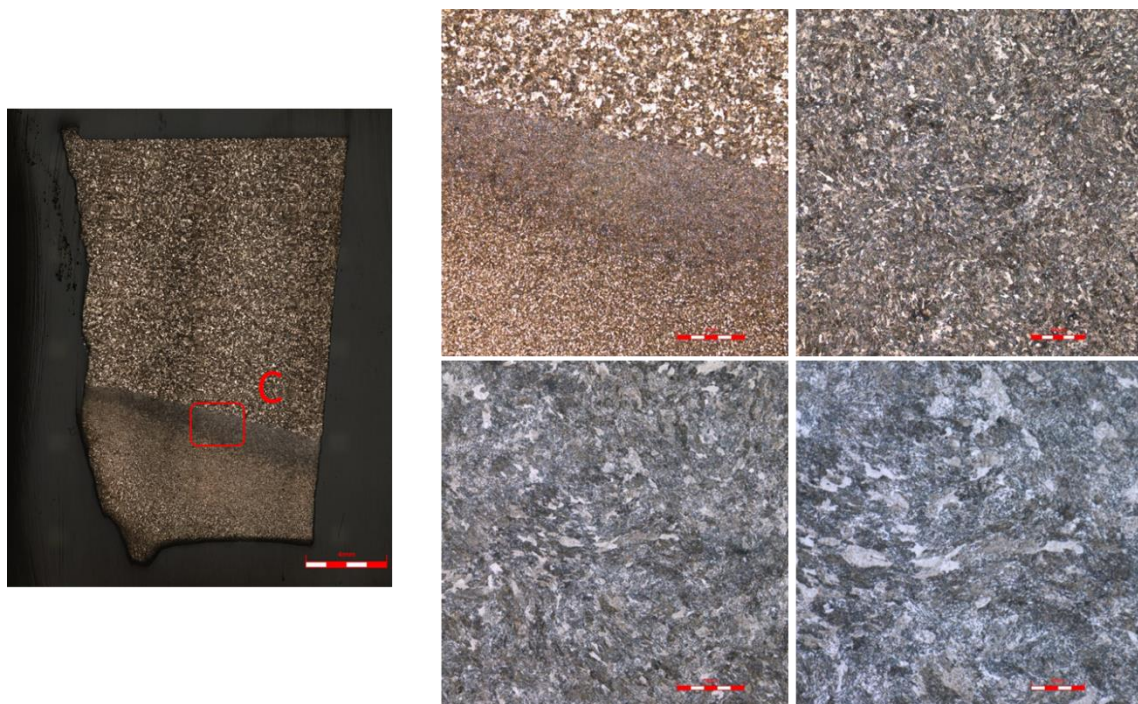
เมื่อตรวจสอบฐานรางที่ตำแหน่ง B พบออกไซด์ปกคลุมอย่างหนาแน่น และพบการเสียรูปของเนื้อโลหะเช่นเดียวกันแต่ไม่รุนแรงเท่ากับที่ตำแหน่ง A และเมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง C และตำแหน่ง D ที่อยู่ห่างออกไปพบว่าการเสียรูปของเนื้อโลหะลดลงเมื่อห่างจากจุดเริ่มต้นรอยแตกมากขึ้น โดยบริเวณ D สามารถเห็นลักษณะโครงสร้างปกติของเหล็กรางรถไฟซึ่งเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลท์ที่มีลักษณะเกรนแบบสมมาตร (Equiaxed Grain)



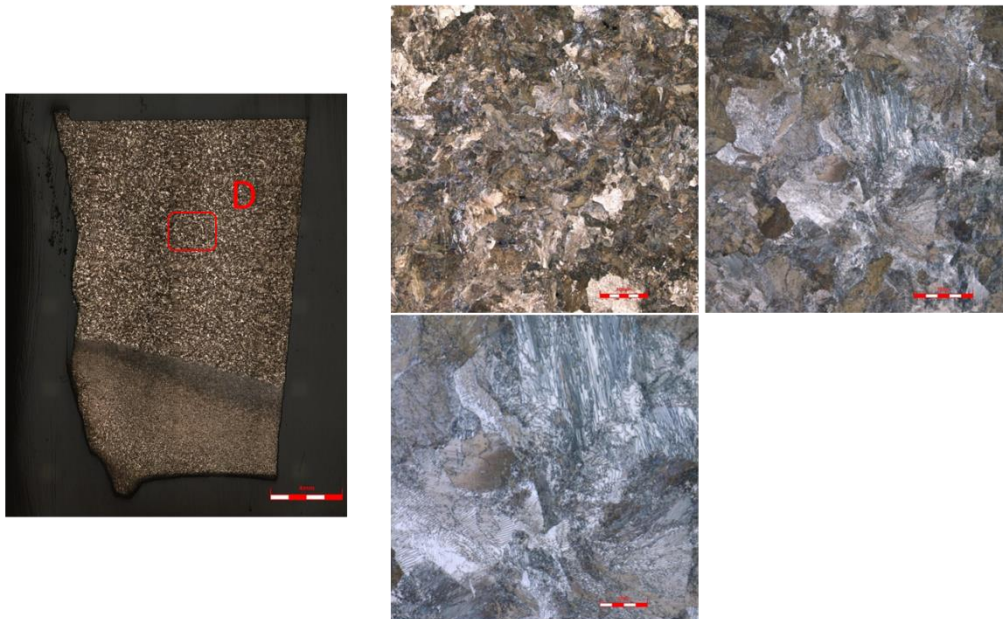
รูปที่ 58 โครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง A



รูปที่ 59 โครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง B



รูปที่ 60 โครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง C



รูปที่ 61 โครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง D

การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานตัวอย่างแสดงในตารางที่ 8 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ชิ้นส่วนรางรถไฟที่เสียหายมีปริมาณธาตุคาร์บอนเกินกว่าข้อกำหนดของมาตรฐาน UIC Grade 900A เล็กน้อย

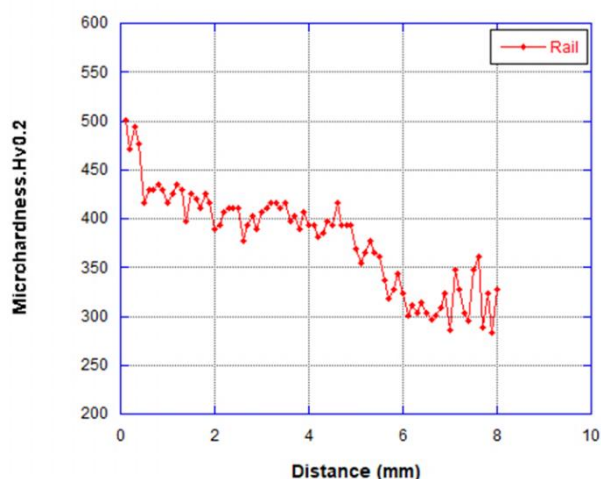
ตารางที่ 8 ส่วนผสมทางเคมีของรางรถไฟเทียบกับมาตรฐาน

	ธาตุผสม (Wt. %)				
	C	Mn	Si	P	S
รางรถไฟ	0.874	1.206	0.292	0.019	0.014
เกรด 900A	0.60-0.80	0.80-1.30	0.10-0.50	0.04max	0.04max

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงได้จากการตรวจสอบ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

การตรวจสอบความแข็ง

ชิ้นงานภาคตัดขวางที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคถูกนำมาวัดความแข็งรอบผิวแตกด้วยวิธีวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vicker) โดยวัดตั้งแต่แนวที่เกิดการเสียรูป (Deformation) ของโครงสร้างจุลภาคไปยังโครงสร้างพื้นดังรูปที่ 62 ซ้ายมือ การตรวจสอบใช้น้ำหนักกด 200 กรัม และค้างไว้ 15 วินาที



รูปที่ 62 ความแข็งของรางรถไฟบริเวณที่แตกหัก

การตรวจสอบพบว่าบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกที่พบการเสียรูปของเนื้อโลหะมีค่าความแข็งสูงสุด โดยค่าความแข็งในตำแหน่งนี้มีค่าประมาณ 500 Hv_{0.2} ในขณะที่ตำแหน่งที่ไม่พบการเสียรูปของเนื้อโลหะมีค่าความแข็งประมาณ 300-350 Hv_{0.2} ดังแสดงในรูปที่ 62

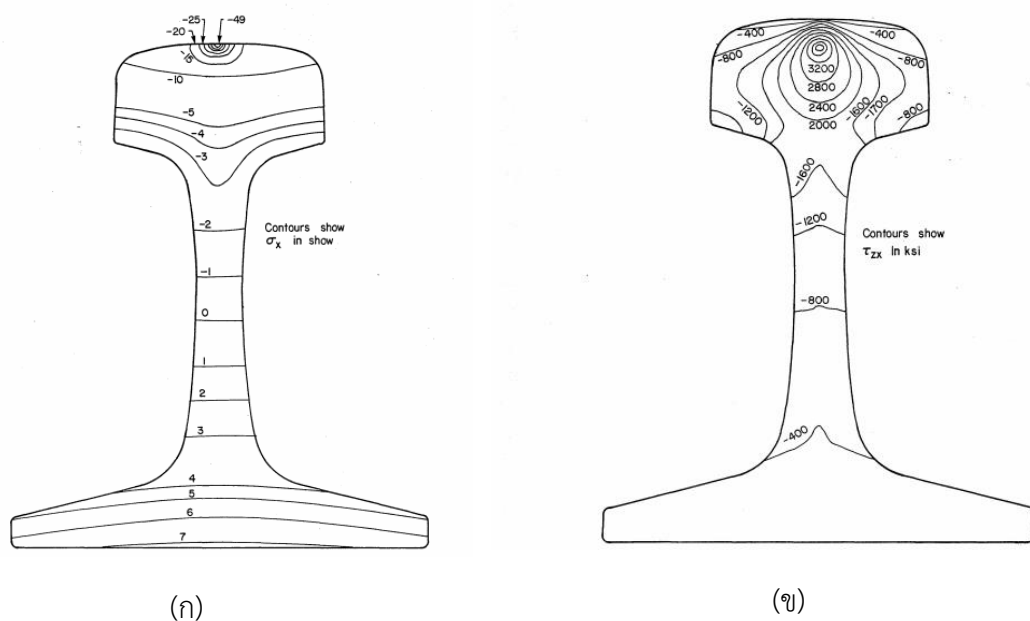
วิเคราะห์ผล

การตรวจสอบรางรถไฟที่เสียหายพบว่ารางแตกหักในรูปแบบของกลไกการล้า เนื่องจากพบรูปแบบ Beach Mark และ Chevron Mark ^[26-29] บ่งชี้ได้ว่ารอยแตกขยายตัวหรือมีจุดกำเนิดจากบริเวณฐานรางที่เกิดการเสียรูปอย่างรุนแรงของเนื้อโลหะ การเสียรูปอย่างรุนแรงในตำแหน่งฐานรางทำให้มีความเค้นสะสมสูง (High Residual Stress) ^[30] และทำให้บริเวณนี้มีความแข็งสูงกว่าความแข็งปกติของรางรถไฟที่มีค่าประมาณ 300-350 Hv_{0.2}

การพบออกไซด์ที่ผิวแตกบริเวณฐานรางยืนยันได้ว่าบริเวณนี้เป็นจุดเริ่มต้นรอยแตก ในขณะที่รอยแตกบริเวณหัวรางที่มีลักษณะแตกหักอย่างรวดเร็วจะมีลักษณะมันวาว ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการแตกหักแบบทันทีทันใด ซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการแตกหักหลังจากรอยแตกขยายตัวจนมีพื้นที่รับแรงเหลือน้อยจนรับภาระใช้งานไม่ได้ ^[26]

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคบริเวณใกล้จุดเริ่มต้นรอยแตก ยังพบว่าเกรนบริเวณรอยแตกหรือบริเวณใกล้ฐานมีขนาดเล็กกว่าเกรนบริเวณหัวรางและมีลักษณะเกรนแบบสมมาตร ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าบริเวณฐานของรางอาจได้รับผลกระทบจากความร้อนจากการเชื่อมต่องาน (Thermit Welding) จนทำให้เกิดการตกผลึกของเกรนใหม่ (Recrystallization) แต่ความร้อนที่ได้รับอาจมีอุณหภูมิต่ำกว่า 723 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เหล็กเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเฟสออสเตไนต์ (Austenite) จึงไม่พบโครงสร้างที่มีความแข็งสูงอย่าง มาร์เทนไซต์ (Martensite) หรือ เบนไนต์ (Bainite) ซึ่งเกิดขึ้นได้ในกรณีที่รางได้รับความร้อนสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเฟสออสเตไนต์และมีการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

การเสียรูปอย่างรุนแรงของเนื้อโลหะบริเวณฐานรางเป็นไปได้ว่าเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานภายหลังจากการเชื่อมต่องาน (Thermit Welding) เพราะการตกผลึกใหม่จะเพิ่มความแข็งในเนื้อวัสดุลดลงและทำให้ความเค้นตกค้างภายในลดลง^[37] ตำแหน่งที่เสียรูปจึงอาจเป็นผลจากบริเวณฐานรางไม่อยู่ในสภาวะการใช้งานที่ปกติ เช่น อาจเกิดการสูญเสียเนื้อบางส่วนจากกระบวนการกัดกร่อน (จากการตรวจสอบผิวแตกและโครงสร้างจุลภาคพบออกไซด์เกาะผิวหนาแน่น) ทำให้ฐานรางซึ่งปกติแล้วจะมีความเค้นต่ำกว่าบริเวณหัวราง (รูปที่ 63 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นในรางขณะรถไฟเคลื่อนที่)^[31] กลายเป็นจุดสะสมความเค้น (Stress Concentrator) และทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดการเสียรูปอย่างถาวรและเป็นจุดเริ่มต้นของรอยแตก



รูปที่ 63 การกระจายตัวของความเค้นในรางรถไฟที่รับน้ำหนัก 19,000 ปอนด์

(ก) longitudinal Plane Stress (ข) Vertical Shear Stress^[31]

สรุป

จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ในครั้งนี้ สามารถสรุปความน่าจะเป็นของสาเหตุการเสียหายได้ดังนี้

1. รางรถไฟเกิดแตกหักจากกลไกการล่า โดยบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกอยู่ที่บริเวณฐานของรางรถไฟ
2. พบการเสีรูปอย่างรุนแรงและพบออกไซด์ขึ้นปกคลุมบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตก
3. บริเวณฐานรางรถไฟซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณแนวเชื่อมต่อรางรถไฟพบการเกิดผลึกใหม่เกิดขึ้น
4. ความแข็งที่บริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ

กรณีศึกษาที่ 2

1. ข้อมูลเบื้องต้น

การรถไฟแห่งประเทศไทยตรวจสอบพบรางรถไฟแตกหักในเขตพื้นที่ภาคเหนือ การตรวจสอบเบื้องต้นพบว่ารางแตกหักใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เชื่อมต่อรางด้วยแผ่นประกบ **รูปที่ 64** รางรถไฟที่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 64 ชิ้นส่วนรางรถไฟที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหาย

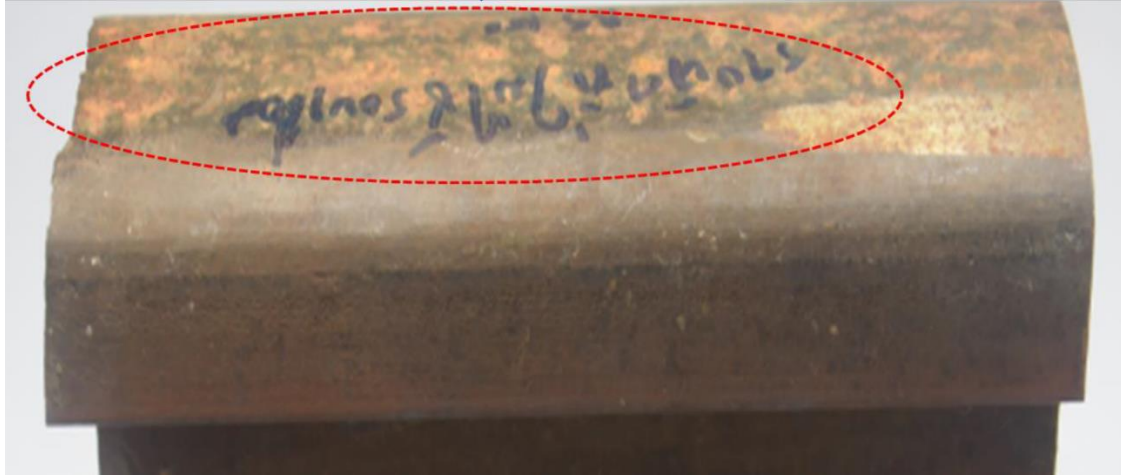
ขั้นตอนการตรวจสอบและผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและผิวแตก

ตรวจสอบชิ้นงานที่แตกหักด้วยสายตา (Visual Examination) เพื่อหาลักษณะทางกายภาพ และลักษณะอื่น ๆ หาจุดเริ่มต้นของรอยแตก (Fracture Origins) และรูปแบบของผิวหน้ารอยแตก (Fracture Mode) จากนั้นจึงทำการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และกล้องจุลทรรศน์แบบแสงสะท้อนชนิดสเตอริโอ

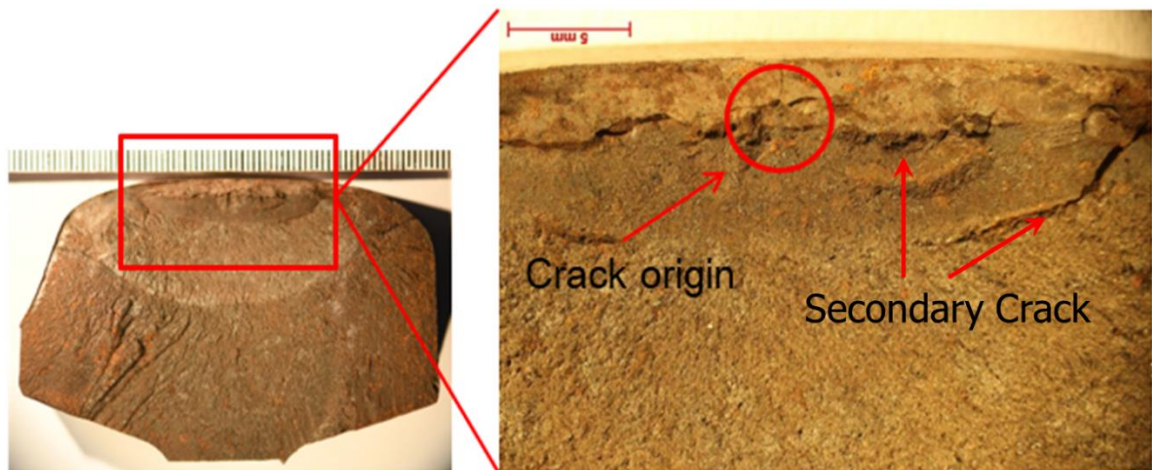
จากการตรวจสอบด้วยสายตา พบว่า บริเวณที่เกิดความเสียหายเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) เกิดขึ้น โดยสามารถสังเกตเห็นการยุบตัวของเนื้อวัสดุได้อย่างชัดเจนดังแสดงใน**รูปที่ 65**

ตำแหน่งที่รางยุบตัว

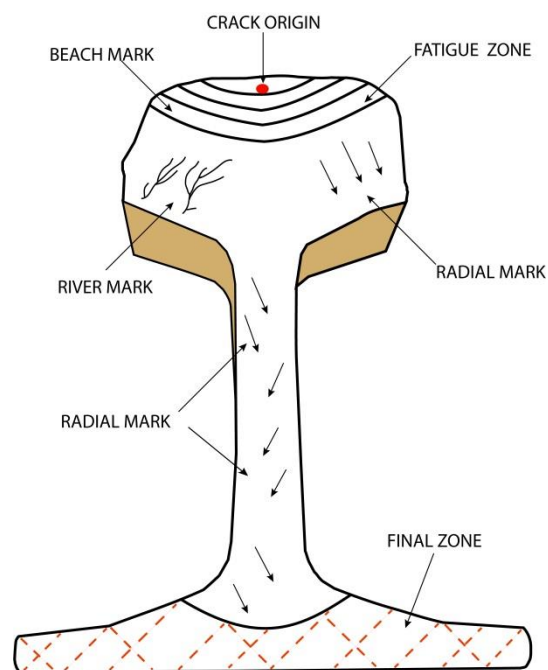


รูปที่ 65 บริเวณหัวรางที่ยุบตัว

การตรวจสอบผิวแตกพบว่าจุดเริ่มต้นของรอยแตกอยู่ที่บริเวณใต้ผิวหน้าของรางที่สัมผัสกับล้อรถไฟ เนื่องจากพบ Beach Mark และ Radial Mark ขยายตัวออกมาจากตำแหน่งดังกล่าว จากนั้นรอยแตกขยายตัวผ่านเอวรางและเข้าสู่ฐานรางและพบลักษณะของ River Mark ที่มีการแผ่เข้าสู่จุดเริ่มต้นรอยแตก นอกจากรอยแตกร้าวปฐมภูมิ (Primary Crack) ยังพบรอยแตกทุติยภูมิที่บริเวณหัวรางใกล้กับตำแหน่งของจุดเริ่มต้นรอยแตก **รูปที่ 66** แสดงลักษณะผิวแตกที่ปรากฏ และ**รูปที่ 67** แสดงภาพสเก็ชการขยายตัวของรอยแตกและลักษณะของรอยต่าง ๆ ที่พบบนผิวแตก



รูปที่ 66 ลักษณะผิวหน้าแตกหักของรางรถไฟ

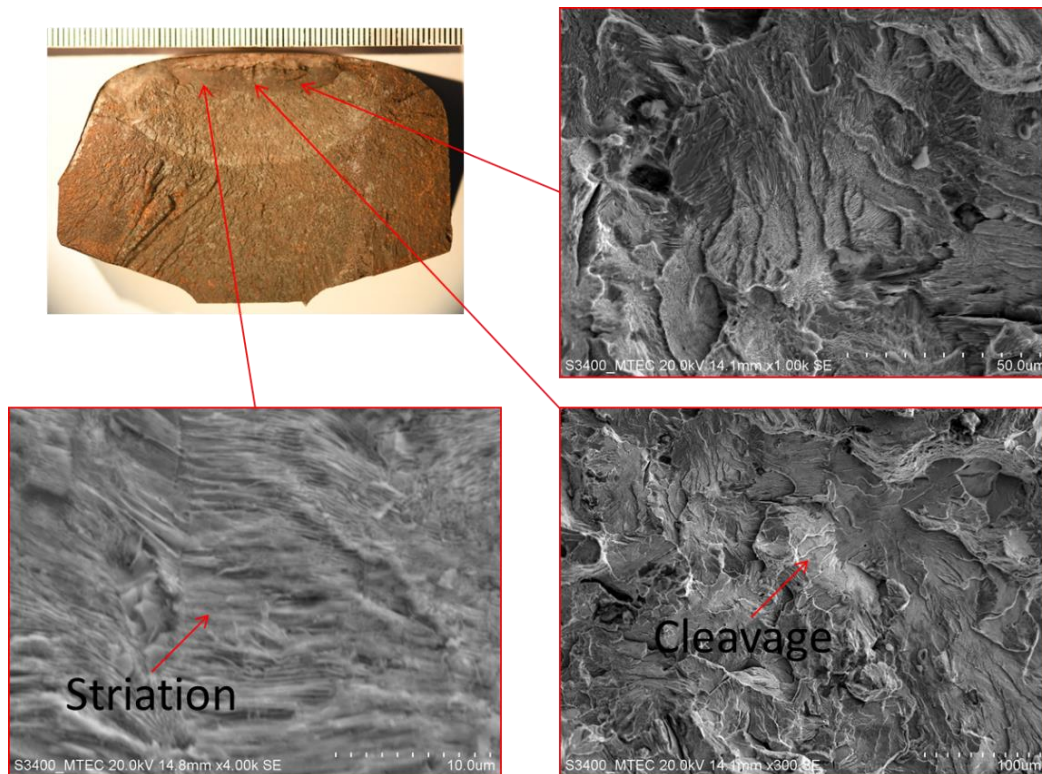


รูปที่ 67 ภาพสเก็ชผิวหน้าแตกหักของรางรถไฟ

การวิเคราะห์ผิวหน้าแตกด้วย SEM

นำผิวหน้าแตกหักบริเวณจุดเริ่มรอยแตกไปตรวจสอบที่กำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

จากการตรวจสอบบริเวณจุดเริ่มรอยแตกด้วย SEM พบว่าบริเวณจุดเริ่มต้นการแตกหักพบการขยายตัวของรอยแตกระดับจุลภาคที่เรียกว่า Striation ซึ่งเป็นรูปแบบการแตกหักจากการล้า การเกิด Striation แสดงให้เห็นถึงคาบของความเค้นหรือแรงแต่ละรอบที่กระทำกับชิ้นงาน เมื่อตรวจสอบในบริเวณถัดไปเล็กน้อยพบรูปแบบการแตกหักแบบ Cleavage ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการแตกหักแบบเปราะ ดังแสดงในรูปที่ 68



รูปที่ 68 ลักษณะสภาพผิวแตกของชิ้นส่วนรางรถไฟ

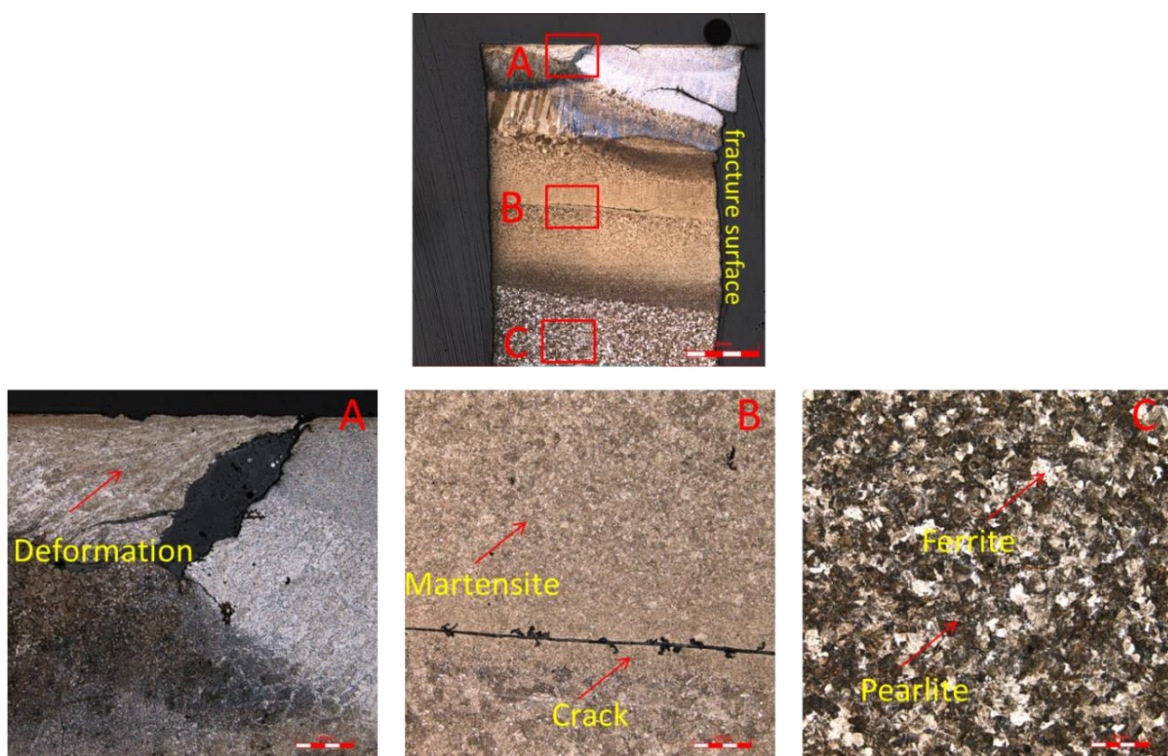
การวิเคราะห์ภาคตัดขวางและโครงสร้างจุลภาค

ตัดชิ้นส่วนรางรถไฟตามแนวภาคตัดขวางผ่านบริเวณที่เกิดรอยแตกร้าว นำไปเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ภาคตัดขวางและโครงสร้างทางจุลภาค โดยเริ่มจากการขัดหยาบ ขัดละเอียด และกัดผิวหน้า เพื่อให้ปรากฏโครงสร้างด้วยสารละลายไนตอล (Nital Solution) ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดแสงสะท้อน

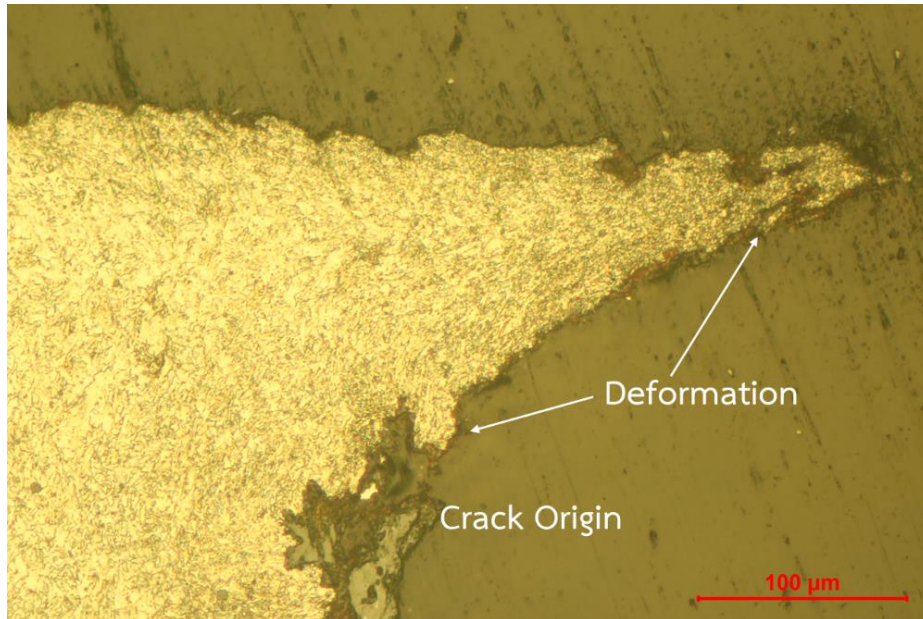
การตรวจสอบโครงสร้างจุลภากดังแสดงในรูปที่ 69-70 พบว่ารางรถไฟที่เสียหายผ่านกระบวนการเชื่อมซ่อมก่อนเกิดการแตกหัก เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณจุดเริ่มต้นของรอยแตก พบการเสีย

รูปแบบถาวรและมีโครงสร้างที่มีเกรนละเอียด เมื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีกำลังขยายสูงขึ้น (รูปที่ 70) พบว่าบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกเป็นโครงสร้างแบบ Acicular Ferrite ซึ่งเป็นผลจากอิทธิพลความร้อนในการเชื่อมซ่อม

ในขณะที่โครงสร้างจุลภาคบริเวณตำแหน่งถัดไป (Zone B) พบโครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) เกิดขึ้น นอกจากนี้ที่บริเวณ Zone B พบรอยแตกทุติยภูมิในทิศทางตั้งฉากกับรอยแตกหรือในทิศทางขนานกับความยาวของรางรถไฟ ในขณะที่โครงสร้างบริเวณ Zone C ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน โดยโครงสร้างจุลภาคที่พบเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลท์ทั้งหมด



รูปที่ 69 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานรางรถไฟ



รูปที่ 70 โครงสร้างจุลภาคบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกที่กำลังขยายสูง

การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานตัวอย่างแสดงในตารางที่ 9 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ชิ้นส่วนรางรถไฟที่เสียหายมีปริมาณธาตุคาร์บอนเกินกว่าข้อกำหนดของมาตรฐาน UIC Grade 900A เล็กน้อย

ตารางที่ 9 ส่วนผสมทางเคมีของรางรถไฟเทียบกับมาตรฐาน

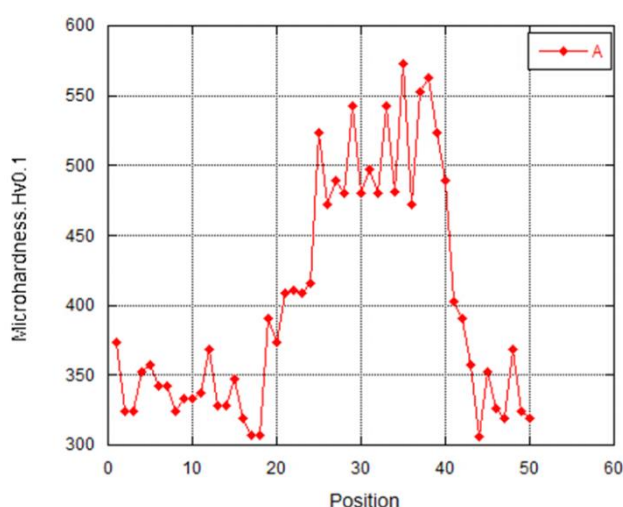
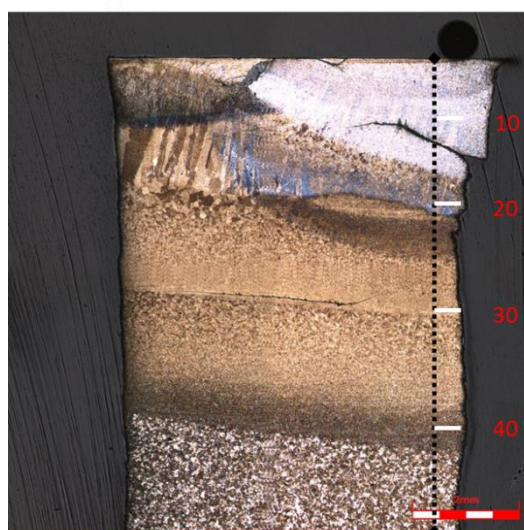
	ธาตุผสม (Wt. %)				
	C	Mn	Si	P	S
รางรถไฟ	0.909	1.218	0.194	0.024	0.013
เกรด 900A	0.60-0.80	0.80-1.30	0.10-0.50	0.04max	0.04max

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงได้จากการตรวจสอบ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

การตรวจสอบความแข็ง

ชิ้นงานภาคตัดขวางที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคถูกนำมาวัดความแข็งรอบผิวแตกด้วยวิธีวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ ตำแหน่งวัดผ่านบริเวณแนวเชื่อมใกล้ผิวหน้าแตกการตรวจสอบใช้น้ำหนักกด 100 กรัม และกดค้างไว้เป็นระยะเวลา 15 วินาที

การวัดความแข็งพบว่าบริเวณที่มีค่าความแข็งมากที่สุดอยู่บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน (Heat Affected Zone) ดังแสดงในรูปที่ 71 โดยบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่พบโครงสร้างมาร์เทนไซต์



รูปที่ 71 ความแข็งของรางรถไฟบริเวณที่เกิดการแตกร้าว

วิเคราะห์ผล

ลักษณะผิวแตกสามารถสังเกตร่องรอยของ Beach Mark, Radial Mark และ River mark ได้อย่างชัดเจน ร่องรอยเหล่านี้บ่งชี้ว่ารางรถไฟเสียหายจากการล้า หน้าตัดขวางผ่านผิวหน้าแตกและโครงสร้างจุลภาคบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกพบการเสียรูปร่างอย่างรุนแรงซึ่งสอดคล้องกับการเสียรูปบริเวณผิวรางซึ่งมองเห็นด้วยตาเปล่า ลักษณะดังกล่าวเป็นรูปแบบความเสียหายจากการล้าสัมผัส (Rolling Contact Fatigue, RCF) ซึ่งเกิดขึ้นได้ในตำแหน่งที่รางสัมผัสกับล้อที่ซึ่งกลิ้งผ่านซ้ำ ๆ การเกิด RCF มีจุดเริ่มต้นจากการเสียรูปแบบพลาสติกของวัสดุ^[32]

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของภาคตัดขวางยังพบรอยแตกทุติยภูมิ 2 ตำแหน่งคือ

1. รอยแตกที่ผิวและใต้ผิวรางรถไฟเล็กน้อย บริเวณนี้พบลักษณะของการยึดตัวของเนื้อวัสดุได้อย่างชัดเจน และประกอบด้วย acicular ferrite phase เช่นเดียวกับที่จุดเริ่มต้นรอยแตก ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่ารอยแตกทุติยภูมิเกิดความเสียหายจาก Rolling Contact Fatigue เช่นกัน โครงสร้าง

acicular ferrite อาจเป็นผลจากการเชื่อมซ่อมรางรถไฟที่เกิดการสีกหรือและการใช้ลวดเชื่อมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ

2. รอยแตกภายในเนื้อราง รอยแตกนี้เกิดในตำแหน่งที่พบโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ซึ่งมักเป็นผลจากความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมซ่อมแผ้วมาถึงรางรถไฟซึ่งผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง หากอุณหภูมิสูงกว่าเส้น A_1 หรือ 727 องศาเซลเซียส และเย็นตัวอย่างรวดเร็วก็สามารถทำให้เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ซึ่งมีความแข็งแรงสูงแต่สามารถรับแรงกระแทกได้น้อย [2]

จากกรณีที่เกิดความเสียหายอาจเป็นไปได้ว่ารางบริเวณดังกล่าวอาจมีการได้รับความเค้นเกินพิกัดทำให้เกิดการเสียรูป เนื่องจากความแข็งของหัวรางที่ผ่านกระบวนการเชื่อมซ่อมมีค่าใกล้เคียงกับความแข็งที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของเหล็กรางไฟเกรด Grade 900A-HSH แต่ไม่มีกระบวนการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม เนื่องจากมีการพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่บริเวณแนวกระทบร้อน (HAZ) ทำให้บริเวณนี้รับแรงกระแทกได้น้อยและเกิดการแตกร้าวได้ง่าย

สรุป

จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ในครั้งนี้ สามารถสรุปความน่าจะเป็นของสาเหตุความเสียหายได้ดังนี้

1. พบ Beach Mark, Radial Mark, River Mark รวมถึง Striation บนผิวหน้าแตกซึ่งบ่งชี้ถึงความเสียหายจากการล้า
2. รางรถไฟเกิดความเสียหายในรูปแบบของ Rolling Contact Fatigue
3. จุดเริ่มต้นรอยแตกอยู่ที่บริเวณใต้ผิวเล็กน้อย ในตำแหน่งเชื่อมซ่อม
4. พบรอยแตกทุติยภูมิบริเวณแนวเชื่อมซ่อมที่เกิดการเสียรูปของเนื้อโลหะและบริเวณแนวกระทบร้อนที่เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์

กรณีศึกษาที่ 3

ข้อมูลเบื้องต้น

การรถไฟแห่งประเทศไทยตรวจสอบพบการแตกหักของรางรถไฟในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา การตรวจสอบเบื้องต้นพบว่ารางแตกหักใกล้กับตำแหน่งที่มีการเชื่อมต่อราง **รูปที่ 72** แสดงรางรถไฟที่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 72 ลักษณะรางรถไฟที่แตกหักระหว่างใช้งาน

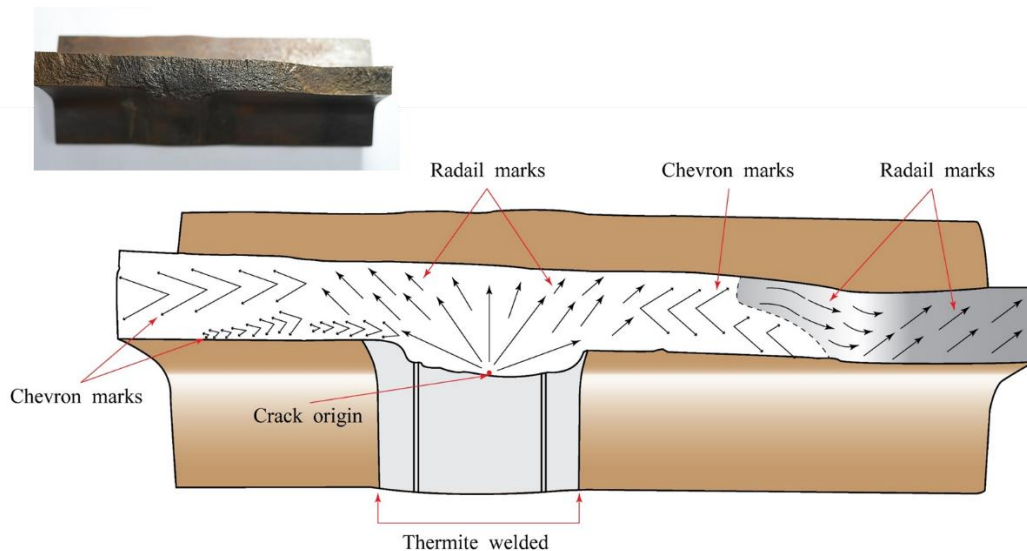
การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและผิวแตก

ตรวจสอบชิ้นงานที่แตกหักด้วยสายตา (Visual Examination) เพื่อหาลักษณะทางกายภาพ และลักษณะอื่น ๆ หาจุดเริ่มต้นของรอยแตก (Fracture Origins) และรูปแบบของผิวหน้ารอยแตก (Fracture Mode) จากนั้นจึงทำการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และกล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดสเตอริโอ

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรางรถไฟที่แตกหักพบคราบออกไซด์ปกคลุมชิ้นงานหนาแน่น โดยเฉพาะบริเวณผิวแตกตำแหน่งแนวเชื่อมเทอร์มิต (Thermit Welding) จึงเป็นไปได้ว่าบริเวณแนวเชื่อมเทอร์มิตเกิดการแตกหักก่อนตำแหน่งอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผิวหน้าแตกหักที่พบว่า Radial Mark มีทิศทางการขยายตัวออกจากบริเวณผนังด้านนอกของแนวเชื่อมเทอร์มิต และ Chevron Marks มีทิศทางวิ่งเข้าหาบริเวณแนวเชื่อมเทอร์มิตดังแสดงในรูปที่ 73 และ รูปที่ 74 ภาพสเก็ชแสดงจุดเริ่มต้นและการขยายตัวของรอยแตกในรางรถไฟที่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 73 ลักษณะทางกายภาพของผิวแตกบริเวณเอวราง

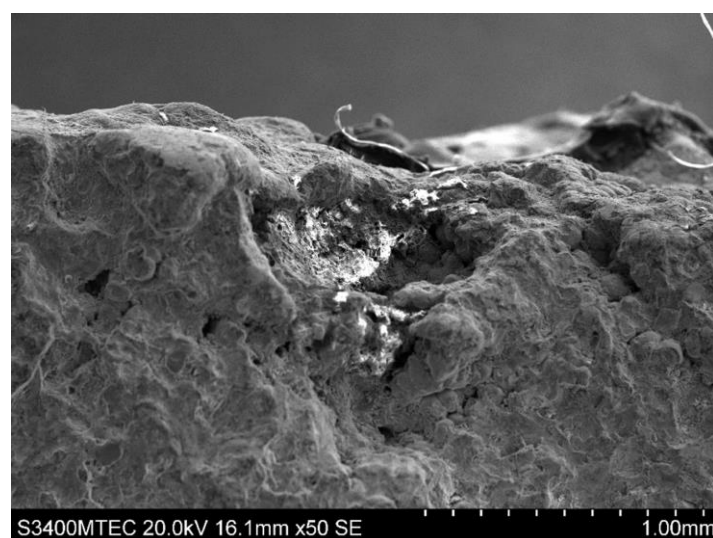


รูปที่ 74 ภาพสเก็ชแสดงจุดเริ่มต้นและการขยายตัวของรอยแตกในรางรถไฟที่เกิดความเสียหาย

การวิเคราะห์ผิวหน้าแตกด้วย SEM

นำผิวหน้าแตกหักบริเวณจุดเริ่มรอยแตกไปตรวจสอบที่กำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM)

เมื่อตัดชิ้นส่วนผิวแตกบริเวณแนวเชื่อมเทอร์มิตที่เป็นจุดเริ่มต้นรอยแตกไปตรวจสอบด้วย SEM พบข้อบกพร่องจากการเชื่อมชนิดโพรงหดตัวจากการเย็นตัวของน้ำโลหะ (Shrinkage Porosity) ที่บริเวณใกล้ผิว ดังแสดงในรูปที่ 75





รูปที่ 75 โพรงการหดตัวที่บริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตก

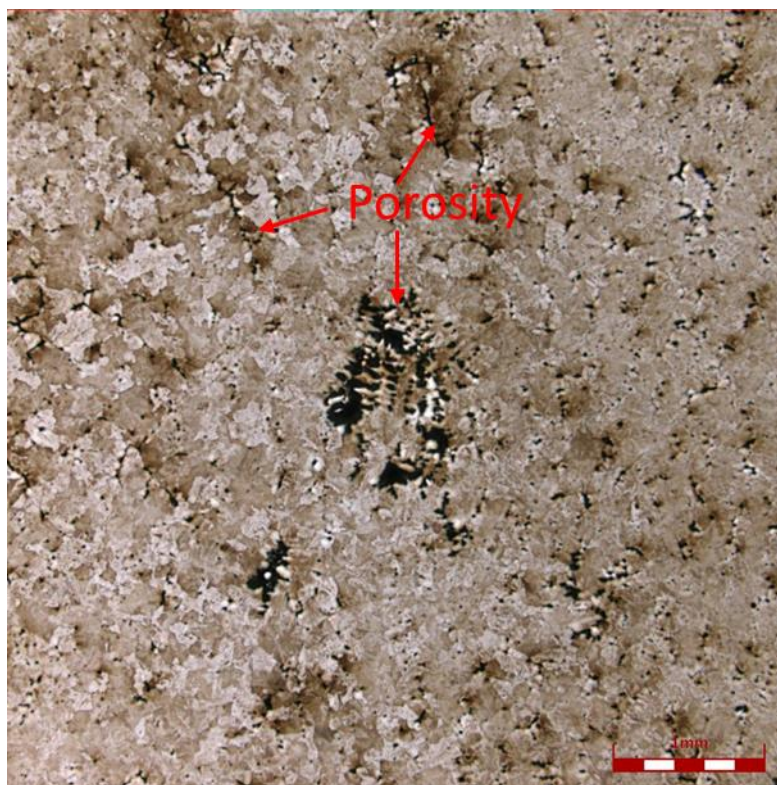
การวิเคราะห์ภาคตัดขวางและโครงสร้างจุลภาค

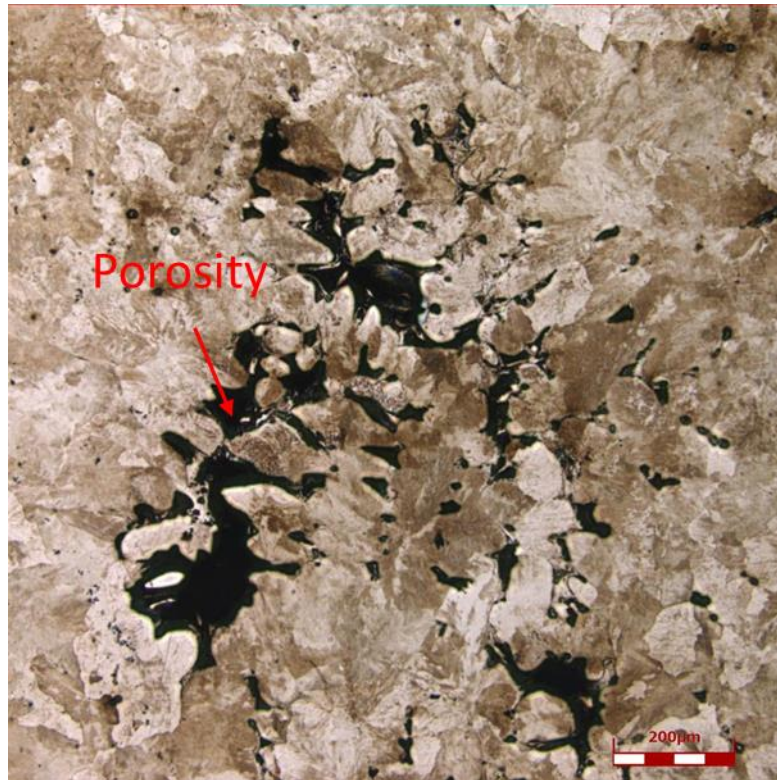
ตัดชิ้นส่วนรางรถไฟตามแนวขวางและผ่านบริเวณที่เกิดรอยแตกหัก (รูปที่ 76) นำไปเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ภาคตัดขวางและโครงสร้างทางจุลภาค โดยเริ่มจากการขัดหยาบ ขัดละเอียด และกัดผิวหน้าเพื่อให้ปรากฏโครงสร้างด้วยสารละลายไนตอล (Nital Solution) ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดแสงสะท้อน

ผลการตรวจสอบภาคตัดขวางบริเวณจุดเริ่มต้นของการแตกหักพบว่าโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมเทอร์มิตเป็นโครงสร้างเฟิร์ลไลท์และไม่พบโครงสร้างที่มีลักษณะผิดปกติดังแสดงในรูปที่ 77 อย่างไรก็ตามการตรวจสอบบริเวณจุดเริ่มต้นรอยแตกพบโพรงการหดตัวของน้ำโลหะขนาดใหญ่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบโพรงการหดตัวขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อเชื่อม



รูปที่ 76 ตำแหน่งที่ตรวจสอบภาคตัดขวางและโครงสร้างจุลภาค





รูปที่ 77 โพรงการหดตัวของน้ำโลหะ (Shrinkage Porosity) บริเวณจุดเริ่มต้นการแตกหัก

วิเคราะห์ผล

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและผิวแตกของรางรถไฟที่แตกหักพบ Chevron Mark และ Radial Mark บ่งชี้ว่าการแตกหักมีจุดเริ่มต้นที่ผนังด้านนอกของแนวเชื่อมเทอร์มิตบริเวณเอวรางที่อยู่ใกล้กับฐานราง จากนั้นรอยแตกขยายตัวในทิศทางขนานกับแนวราง น่าสังเกตว่าจุดเริ่มต้นของรอยแตกเป็นตำแหน่งที่มีความเค้นต่ำกว่าตำแหน่งอื่น ๆ รูปที่ 78 ^[32] แสดงเส้นคอนทัวร์ของความเค้นของราง 119 ปอนด์ ขณะรับน้ำหนักรถไฟ นอกจากนี้ไม่พบการเสียหายรูปของเนื้อวัสดุหรือโครงสร้างที่มีการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว เช่น มาร์เทนไซต์ ซึ่งทำให้เกิดความเค้นตกค้างภายในเนื้อวัสดุ ดังนั้นการแตกหักในตำแหน่งนี้อาจเป็นผลจากข้อบกพร่องที่พบบริเวณแนวเชื่อมเทอร์มิต เพราะโพรงจากการหดตัวเป็นจุดสะสมความเค้น บริเวณดังกล่าวจึงมักเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวและเหนี่ยวนำให้ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเกิดการแตกหัก ^[26]



រូប

1. พบ Radial Mark และ Chevron Mark บนผิวหน้าแตก ซึ่งบ่งชี้ถึงการแตกหักแบบเปราะ
2. จุดเริ่มต้นรอยแตกอยู่ที่บริเวณเอวราง โดยรอยแตกมีการขยายมาจากโพรงการหดตัวของน้ำโลหะของแนวเชื่อมเทอร์มิต