

# การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกลอย่างเป็นระบบ

## Systematic Failure Analysis of Mechanical Parts

กิตติภฏ รัตนจันทร์<sup>1</sup>

### 1. บทนำ

ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกล หมายถึง การสูญเสียความสามารถในการทำหน้าที่ของชิ้นส่วนเครื่องกลนั้นๆ ซึ่งเกิดจากการเสีรูปร่างมากเกินไป จากการแตกหักเสียหาย จากการสึกกร่อน จากการกัดกร่อน จากการซ่อมแซม และ/หรือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหาย โดยไม่ได้แก้ปัญหาค้นหาต้นเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายในแบบเดิมๆ ขึ้นมาอีก ดังนั้น จึงต้องมีการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกลอย่างเป็นระบบเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดต่อไปในอนาคต [1 - 4]

การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกลอย่างเป็นระบบ หมายถึง การใช้ระเบียบปฏิบัติ หรือระบบจำเพาะ เพื่อสืบหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหาย การวิเคราะห์ความเสียหายอย่างเป็นระบบตามความคิดของบุคคลทั่วไป ดูเหมือนจะเป็นงานน่าเบื่อที่กระทำอยู่ในห้องทดลอง ซึ่งความเป็นจริงแล้วงานในห้องทดลองเป็นเพียงแง่จุดเริ่มต้นในการเริ่มงานวิเคราะห์ความเสียหายเท่านั้น

การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกลอย่างถูกวิธีจะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาความเสียหายอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ดังคำกล่าวที่ว่า “ชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหายจะแสดงรูปแบบของความเสียหายให้เห็น แต่ที่ผิวของรอยเสียหายและส่วนที่คงเหลือจะแสดงสาเหตุของการเสียหาย สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหาย คือ ต้องทำการพิจารณาทั้งส่วนที่แตกหักและผิวของรอยแตกหักร่วมกันอย่างใกล้ชิดเพื่อหาคำตอบหรือสาเหตุที่ถูกต้อง ซึ่งจะแก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง” [1]

### 2. ระเบียบปฏิบัติในการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกลอย่างเป็นระบบ

เมื่อเครื่องจักรกล และ/หรือเครื่องมือกลเกิดความเสียหายจะแบ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์หาสาเหตุแห่งความเสียหายไว้ดังนี้

1. การตรวจพินิจภาคสนาม (Field Examination)
2. การตรวจพินิจด้วยตาเปล่า (Visual Examination)
3. การตรวจพินิจทางกายภาพ (Physical Examination)
4. การตรวจพินิจทางโลหะวิทยา (Metallurgical Examination)

ก่อนที่จะเริ่มขั้นตอนแรก ควรตั้งคำถามด้วยคำสำคัญ ดังนี้ คือ What, Who, Where, When, Why and How (5W, 1H) นอกจากนี้การสัมภาษณ์ผู้พบเห็นเหตุการณ์และผู้รับผิดชอบเครื่องจักรกลจะช่วยให้การเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่จำเป็นต่างๆ ให้กับผู้วิเคราะห์ความเสียหายได้ [1 - 4]

#### 2.1. การตรวจพินิจภาคสนาม

การตรวจพินิจภาคสนาม คือ การเข้าไปสังเกตดูสถานที่ ตำแหน่ง สภาพแวดล้อม และเครื่องจักรกลที่เกิดความเสียหาย สิ่งสำคัญในการตรวจพินิจภาคสนาม คือการจดบันทึกสิ่งต่าง ๆ เป็นเอกสาร ถ่ายภาพประกอบ และภาพร่างด้วยมือเปล่า ประกอบลงในเอกสารด้วย สิ่งที่ต้องบันทึกประกอบด้วย ชนิดของเครื่องมือหรือเครื่องจักร รุ่นที่ผลิต เลขที่ลำดับผลิต วันที่ซื้อเข้ามา วันที่เกิดการเสียหาย จำนวนชั่วโมงการใช้งาน รายละเอียดการซ่อมบำรุงย้อนหลัง และสภาวะในการใช้งาน

นอกจากนี้ยังต้องทำการสัมภาษณ์ผู้ใช้งาน หรือผู้ประสบเหตุการณ์ เพื่อให้ทราบว่าก่อนที่จะเกิดการเสียหาย เครื่องมือ หรือเครื่องจักรมีอาการอย่างไร เช่น มีความร้อนสูง มีเสียงดังผิดปกติ หรือมีการสั่นสะเทือนผิดปกติอย่างไร และควรทำสำเนาประวัติการซ่อมบำรุงไว้ด้วย

ลำดับต่อมา คือ การถอดรื้อชิ้นส่วนออกจากกัน ซึ่งจะต้องพิจารณาตั้งแต่สกรูที่ยึดชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ในสภาวะขันแน่นหรือคลายตัว น้ำมันหล่อลื่น ปริมาณ สี สารมลพิษ หรือตะกอนที่อยู่ในน้ำมัน ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ถอดรื้อ สามารถถอดได้ง่ายหรือยากและต้องถ่ายรูปหรือเขียนภาพขั้นตอนและชิ้นส่วนที่ถอดรื้อ กำหนดหมายเลขชิ้นส่วน สังเกตและบันทึกสิ่งต่างๆ ที่พบ เช่น สภาพของโอริง (O-Ring) ซีล (Seal) และปะเก็น ต่าง ๆ ภายในตัวเรือน ชิ้นส่วนต่างๆ มีการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมภายในหรือไม่ ทำการบันทึก และถ่ายภาพหรือวาดภาพชิ้นส่วนที่เสียหาย และชิ้นส่วนประกอบรวมเก็บไว้

เมื่อถอดรื้อชิ้นส่วนออกมาแล้วให้บันทึกหมายเลข ลักษณะเฉพาะร่างภาพหรือถ่ายภาพ แสดงสถานะของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น แยกชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหายออกจากกลุ่มเพื่อนำไปหาสาเหตุ และผลกระทบของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องพิจารณาหาว่าการแตกหักเสียหายเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนใดก่อนและหลัง เมื่อทราบว่าชิ้นใดเกิดความเสียหายก่อนให้นำชิ้นส่วนนั้นมาพิจารณาหารูปแบบของความเสียหายที่เกิดขึ้น ทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ รวมถึงสิ่งที่สังเกตพบและบันทึกเพิ่มเติมต่างๆ

#### 2.2. การตรวจพินิจด้วยสายตา

ในการตรวจพินิจด้วยสายตา จะเริ่มจากการบันทึกข้อมูลต่างๆ ของชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหาย เช่น ชื่อชิ้นส่วน หมายเลข และเครื่องหมายต่างๆ ที่ประทับอยู่บนชิ้นส่วน สรุปรายละเอียดต่างๆ ที่สังเกตพบ เช่น สภาพทางกายภาพของผิวด้านนอกชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น ร่องรอยการดู

<sup>1</sup> อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การชุบซิงค์ และ/หรือร่องรอยอื่น ๆ (รอยขีด รอยขีดแก๊ส รอยทาบ) สภาพความเสียหายต่างๆ ที่สังเกตเห็น (บริเวณที่เกิดความเสียหาย)

การตรวจพินิจด้วยสายตา อาจจะใช้ตาเปล่าสังเกต ใช้แว่นขยาย หรือใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20 เท่า แต่ควรจะเริ่มจากการสังเกตจากภาพรวมก่อน (ใช้ตาเปล่า) แล้วถึงใช้เครื่องมือต่างๆ ช่วย โดยเริ่มจากกำลังขยายต่ำๆ ก่อน ข้อควรจำที่สำคัญในการตรวจพินิจด้วยสายตา มีดังนี้

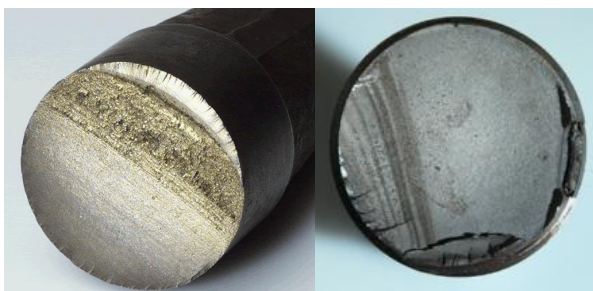
1. ห้ามนำชิ้นส่วนที่แตกหักเสียหายมาต่อเข้าด้วยกัน เนื่องจากจะทำให้ผิวแตกหักสูญเสียรายละเอียดที่สำคัญไป
2. ห้ามตัดชิ้นงานผ่านบริเวณผิวแตกหักเสียหาย เพื่อนำไปส่งกล้องจุลทรรศน์ ก่อนที่จะทำการสังเกต ด้วยสายตาเรียบร้อยเสียก่อน นอกจากนี้ควรถ่ายภาพผิวที่เกิดความเสียหายไว้ด้วย
3. ห้ามเจียรในผิวแตกหักให้เรียบ เพื่อวัดความแข็งแรงก่อนที่จะทำการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยไม่จำเป็น
4. ห้ามทำความสะอาดผิวแตกหัก หรือกำจัดสนิมด้วยวิธีทางกลหรือทางเคมี ควรทำความสะอาดด้วยการพ่นน้ำยาทำความสะอาดไขมัน แล้วใช้ลมเป่าให้แห้ง

ความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องกลต่างๆ ที่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า จำแนกออกได้เป็น 6 กลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้ [2, 6]

1. การเสียหายจากความเค้นดึง (Tensile Stress Failure) ซึ่งประกอบด้วย การเสียหายแบบเหนียว (Ductile Failure) การเสียหายแบบเปราะ (Brittle Failure) การเสียหายจากการล้า (Fatigue Failure) การเสียหายจากการดัด (Bend Failure) ชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหายจะอยู่ภายใต้ความเค้นดึงจนกระทั่งเกิดการเสียรูป



รูปที่ 1 ตัวอย่างรอยเสียหายจากแรงดึง และจากการล้า



รูปที่ 2 รอยเสียหายจากการล้าของเพลาส่งกำลัง

2. การเสียหายจากความเค้นอัด (Compressive Stress Failure) ชิ้นส่วนจะถูกอัดหรือบีบเข้าหากันจนกระทั่งเกิดการเสียรูป



รูปที่ 3 การเสียหายจากความเค้นอัด

3. การเสียหายจากความเค้นเฉือน (Shear Stress Failure) เกิดจากผลของความเค้นดึงและความเค้นอัดร่วมกันและมักจะพบมากในกรณีที่ได้รับภาระสูงเกินขีดจำกัด รวมถึงการบิด (Torsion) ที่เป็นรูปแบบการเฉือนลักษณะหนึ่ง

รูปที่ 4 การเสียหายจากการบิด (วัสดุเหนียว)

รูปที่ 5 การเสียหายจากการบิด (วัสดุแข็งเปราะ)

4. การเสียหายจากการกัดกร่อน และสิ่งสกปรกอื่นๆ (Corrosion and Contamination) โดยมากจะเกิดขึ้นร่วมกับกลไกการเสียหายอื่นๆ เช่น การล้า การกัดกร่อนเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีที่ผิวชิ้นส่วนเครื่องกล ในขณะที่สิ่งสกปรกจะเกาะติดกับผิว



รูปที่ 6 การเสียหายแบบ Stress Corrosion Cracking

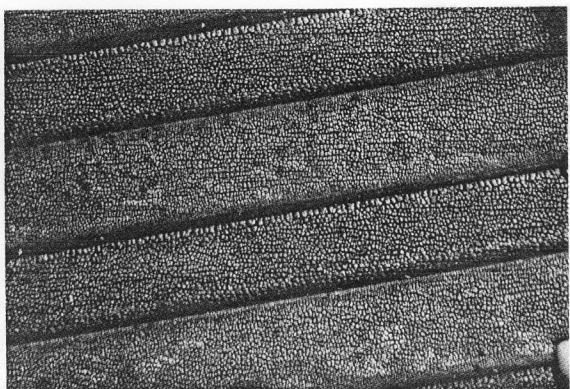


รูปที่ 7 การเสียหายจากการกัดกร่อนจากสภาพบรรยากาศ

5. การเสียหายจากการสึกหรอ (Wear Failure) เกิดจากการขัดถูระหว่างผิวคู่สัมผัส หรือระหว่างผิวชิ้นส่วนเครื่องกลกับของไหล [5]

รูปที่ 8 การเสียหายจากการสึกหรอ

6. การเสียหายจากผลกระทบจากความร้อน (Thermal Effect Failure) เกิดจากการรับความร้อนสูงนานเกินไป หรืออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำมากเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดการบิดหรือหดตัวโดยไม่ต้องมีภาระภายนอกกระทำ รวมถึงการสูญเสียความแข็งแรงและความแข็งแรงของชิ้นส่วนเครื่องกลจากความร้อนด้วย

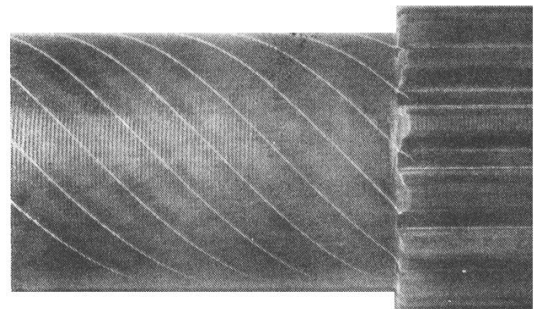


รูปที่ 9 การเสียหายจากผลกระทบจากความร้อน

### 2.3. การตรวจพินิจทางกายภาพ

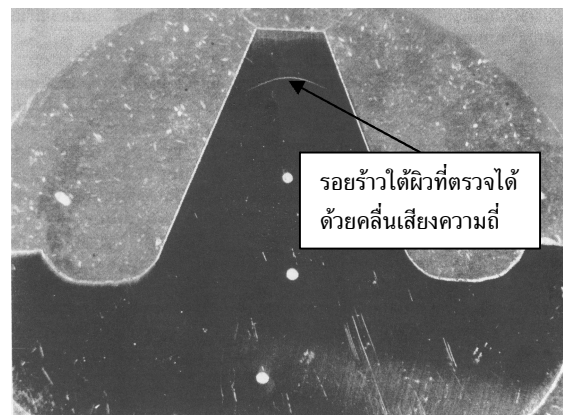
เป็นการใช้เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายต่าง ๆ เช่น การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง การวัดความแข็ง การวัดความหยาบผิว การกัดกรอด และการวัดขนาด

1. การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็กและการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Magnetic Particle Inspection and Penetration Inspection) การตรวจสอบด้วยวิธีนี้อาจจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความสำคัญมากที่สุดในการตรวจพินิจทางกายภาพและเป็นสิ่งแรกที่ควรทำในการตรวจพินิจทางกายภาพซึ่งจะช่วยแสดงให้เห็นร่องรอยการรับ ภาระต่างๆ รวมถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นส่วน



รูปที่ 10 การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก และสารแทรกซึม

### 2. การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing)

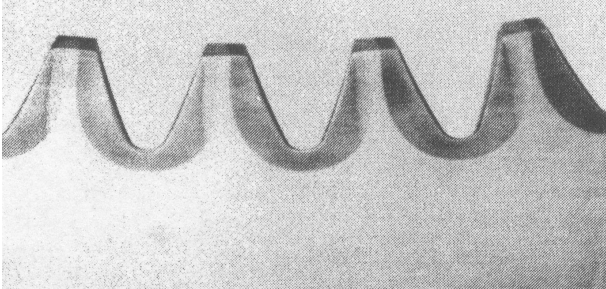


รูปที่ 11 การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

ใช้เพื่อตรวจหาสิ่งบกพร่องภายในเนื้อชิ้นส่วน เช่น รอยแตก ร้าวภายใน โครงอากาศ ฟองแก๊ส สารมลทินขนาดใหญ่ฝังในและอื่นๆ การตรวจสอบด้วยวิธีนี้อาจจะไม่จำเป็นนัก

3. การทดสอบความแข็งผิว (Surface Hardness Testing) เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงาน ในบริเวณที่เกิดการแตกหักเสียหาย หรือเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวกับค่ามาตรฐานในการผลิตชิ้นส่วนนั้นๆ

4. การกัดกรวด (Nital Etching) เพื่อตรวจสอบรอยความเสียหายที่อาจเกิดจากกรรมวิธีการผลิต เช่น การชุบผิวแข็ง การขึ้นรูป และ/หรือ การเชื่อม ความเสียหายที่เกิดจากการใช้งาน เช่น การไหลของเส้นแรงภายในเนื้อวัสดุชิ้นส่วน



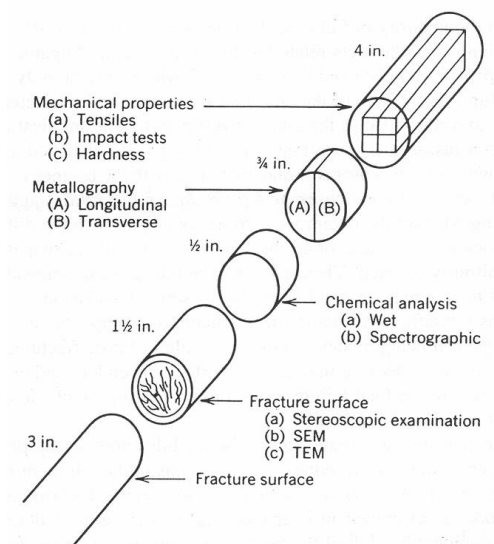
รูปที่ 12 การกัดกรวดซึ่งจะช่วยแสดงกรรมวิธีการผลิตที่ใช้ได้

5. การวัดความหยาบผิว (Profilometer Measurement) เพื่อพิจารณาการเสื่อมสภาพของผิวชิ้นส่วนหลังจากการใช้งานหรือหลังจากเกิดการเสียหาย

6. การวัดขนาด (Dimensional Checking) เพื่อพิจารณาขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังจากใช้งาน หรือหลังจากเกิดการเสียหาย

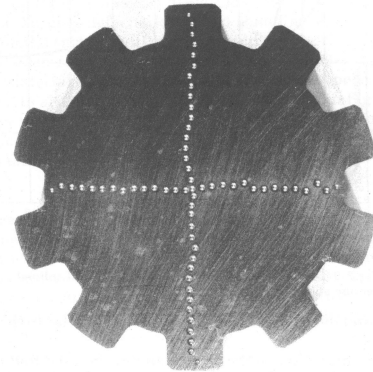
#### 2.4. การตรวจพินิจทางโลหะวิทยา

เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบทำลาย เพื่อศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม เกี่ยวกับสมบัติทางกลของวัสดุ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติทางกล กรรมวิธีการผลิตที่ใช้ และความบกพร่องทางโลหะวิทยาของวัสดุ การเลือกตำแหน่งชิ้นส่วนที่จะตัดออกมาเพื่อทำการตรวจพินิจ(รูปที่ 13) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เที่ยงตรงที่สุด วิธีการที่ใช้ในการตรวจพินิจทางโลหะวิทยาประกอบด้วย [3]



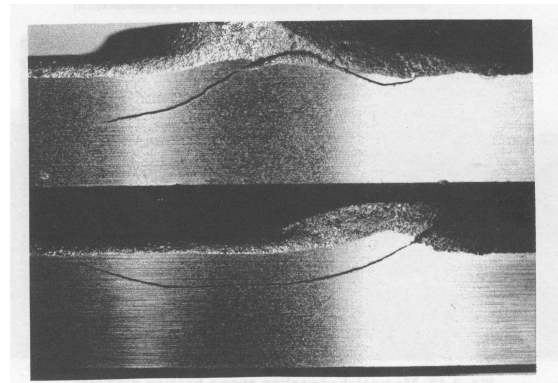
รูปที่ 13 การเลือกตำแหน่งตัดชิ้นงานเพื่อทำการวิเคราะห์

1. การทำแผนที่ความแข็งตามพื้นที่หน้าตัด (Cross-Sectional Hardness Survey) เพื่อพิจารณาความแข็งของชิ้นงานตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัดว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร



รูปที่ 14 การทำแผนที่ความแข็ง

2. การตรวจพินิจมหภาค (Macroscopic Examination) เป็นการพิจารณาในส่วนของผิวที่แตกหักเสียหาย โดยพิจารณาถึงลักษณะของความเค้นที่กระทำ การกัดกร่อน การสึกหรอ เพื่อหาตำแหน่งเริ่มต้นที่เกิดความเสียหาย



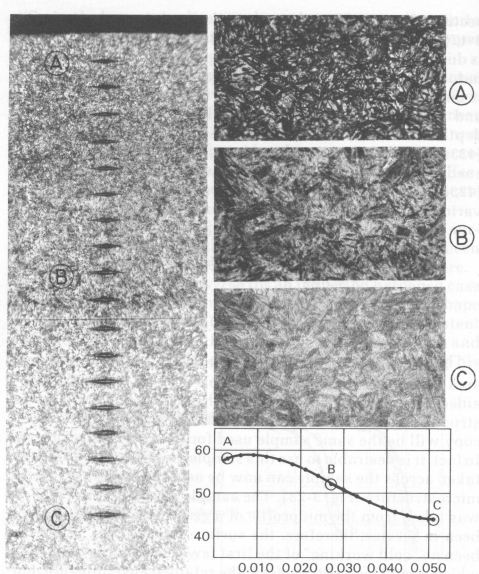
รูปที่ 15 รอยผิวแตกซึ่งเกิดจากการทุบขึ้นรูป

3. การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของธาตุคาร์บอนตามความลึกผิว (Carbon Gradient Transverse) เพื่อพิจารณาส่วนผสมของคาร์บอน ซึ่งอาจจะสูญเสียไปจากการใช้งาน เช่น เกิดการแพร่ไปรวมตัวกับธาตุอื่นเมื่ออุณหภูมิใช้งานสูง ฯลฯ

4. การวิเคราะห์ส่วนผสม (Chemical Analysis) เพื่อตรวจสอบส่วนผสมของชิ้นงานว่าตรงตามแบบหรือไม่

5. การทดสอบหาสมบัติทางกล (Mechanical Properties Testing) เพื่อตรวจสอบค่าความแข็งแรงความยืดหยุ่น ฯลฯ ว่าถูกต้องตามประเภทของวัสดุหรือไม่

6. การวัดความลึกชั้นผิวแข็ง (Case Hardness Traverse or Microhardness) เพื่อตรวจสอบความลึกชั้นผิวแข็งที่ได้จากกรรมวิธีทางความร้อนต่าง ๆ เช่น การชุบผิวแข็ง การชุบคาร์บูไรซ์ หรือการชุบไนไตรต์



รูปที่ 16 การวัดความลึกชั้นผิวแข็ง

7. การตรวจพินิจจุลภาค (Microscopic Examination) เพื่อดูโครงสร้างจุลภาคว่า เหมาะกับลักษณะงานและกรรมวิธีการผลิตหรือไม่

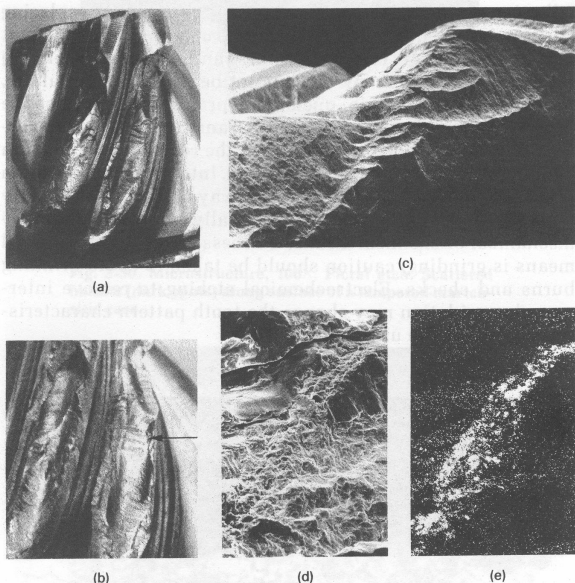
8. การถ่ายภาพโครงสร้างด้วย SEM, TEM หรือ XRD เพื่อพิจารณารายละเอียดของวัสดุกลึงไปถึงระดับอะตอม ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดบางประการที่เป็นสาเหตุของความเสียหายได้ เช่น ความเค้นตกค้าง และสามารถหาค่าขนาดเกรนได้ [6]

### 3. สรุป

การวิเคราะห์ความเสียหายอย่างเป็นระบบ เป็นระเบียบปฏิบัติที่ช่วยในการสืบหาสาเหตุแห่งความเสียหาย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้ คือ 1) การตรวจพินิจภาคสนาม 2) การตรวจพินิจด้วยตาเปล่า 3) การตรวจพินิจทางกายภาพ 4) การตรวจพินิจทางโลหะวิทยา เพื่อวิเคราะห์หาต้นตอที่ก่อให้เกิดความเสียหาย จะได้ทำการแก้ไขปัญหาหรือการเสียหายได้อย่างถูกต้อง ทำให้ลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายในลักษณะซ้ำเดิมลงได้ ลดการเสียเวลาในการแก้ไขปัญหา รวมถึงลดรายจ่ายในการซ่อมบำรุง และยังสามารถช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุงได้อีกด้วย

### เอกสารอ้างอิง

1. Systematic Analysis of Gear Failures. Lester E. Alban. American Society for Metals.
2. Investigating Mechanical Failures., The Metallurgist's Approach. Bob Ross Chapman & Hall
3. Analysis of Metallurgical Failures. Second Edition. V.J. COLANGELO F.A. HEISER. John Wiley & Sons.
4. Metal Failures: Mechanisms, Analysis Prevention. Arthur J. Mc Evily. Professor Emeritus. John Wiley & Sons.
5. ASM Handbook, Volume 19, Fatigue and Fracture.
6. ศิวะ พงศ์พิพัฒน์. การวิเคราะห์ความเสียหายในงานโลหะ, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.



รูปที่ 17 ภาพรอยเสียหายที่ถ่ายจาก SEM