บทที่ 4

เครื่องมือทดสอบ ขนาดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440 และลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบพร้อมส่วนควบคุมหลัก (main controller) การกำหนดขนาดการใช้รูปแบบและชนิดของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ ตลอดจนขั้นตอนการทดสอบในขั้นการดำเนินการวิจัย นอกจากนี้จะกล่าวถึงเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ประยุกต์ขึ้นใช้ในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนขั้นตอนวิธีการเก็บข้อมูลจากการทดสอบที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นจากเงื่อนไขที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM E647-05[2] ตามลำดับ เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปประมวลผลและสร้างเส้นกราฟอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในช่วงแรกของการเติบโตของรอยร้าว (ช่วงที่ 1) โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{da}{dN}$ เทียบกับ ΔK บนสเกลแบบ ล็อค-ล็อค (log-log scale)

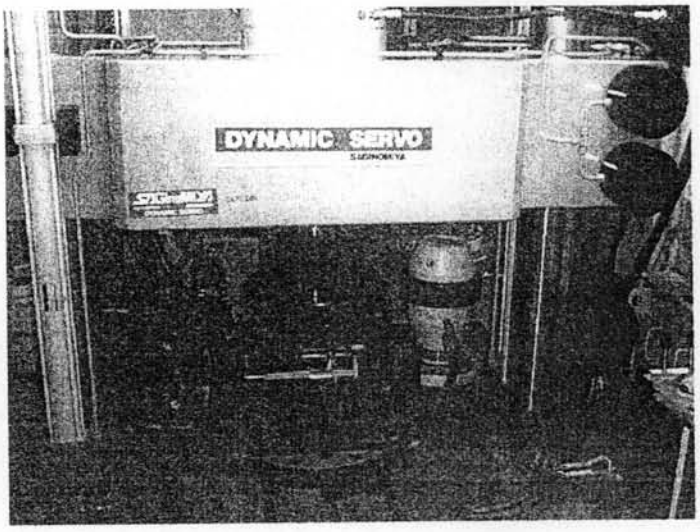
4.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ

เครื่องมือสำหรับทดสอบเพื่อสร้างภาระกระทำเป็นรอบ และทดสอบแบบ tension-tension ให้กับชิ้นเหล็กกล้าทดสอบเป็นแบบ เครื่องทดสอบ Hydraulic servo testing machine เป็นของบริษัทผู้ผลิต Saginomiya พร้อมส่วนควบคุม รุ่น 2405

ขีดความสามารถของเครื่องทดสอบ Hydraulic servo testing machine

1. สร้างรอยร้าวโดยใช้ภาระความล้า
2. การทดสอบความต้านทานการแตกหัก
3. การสร้างภาระขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

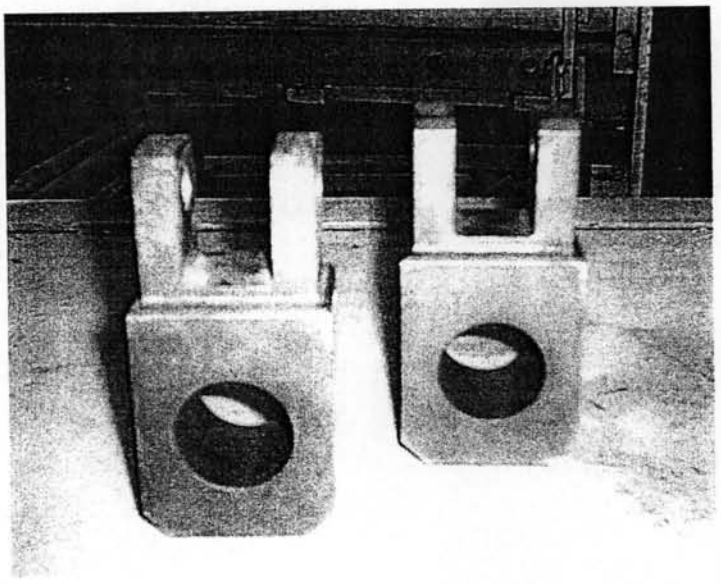
รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 4.1 เครื่องทดสอบ Hydraulic servo testing machine

พร้อมส่วนควบคุม

- ขนาดพิกัดโหลดภาระกระทำสูงสุด 30 ตัน (ton) โดยมีขีดความสามารถของระยะการดึงที่ 25 มม.
- ส่วนควบคุม รุ่น 2405 : saginomiya servo pulser เพื่อทำหน้าที่ควบคุมสภาวะการทดสอบ ได้แก่ ขนาดภาระกระทำ ขนาดของแอมปลิจูดภาระ ความถี่ และจำนวนรอบของภาระกระทำกับชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์การยึดจับ grip device ขนาดใช้งานจริง 26.20 มม.

- อุปกรณ์การยึดจับ grip device ขนาดใช้งาน 26.20 มม. พร้อมรูร้อยยึดสลัก ขนาด 13.10 มม. สำหรับการทดสอบแบบดึง (tension-tension testing)

4.2 ชนิดวัสดุ ขนาด และการเลือกรูปแบบของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบสำหรับใช้ในกระบวนการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

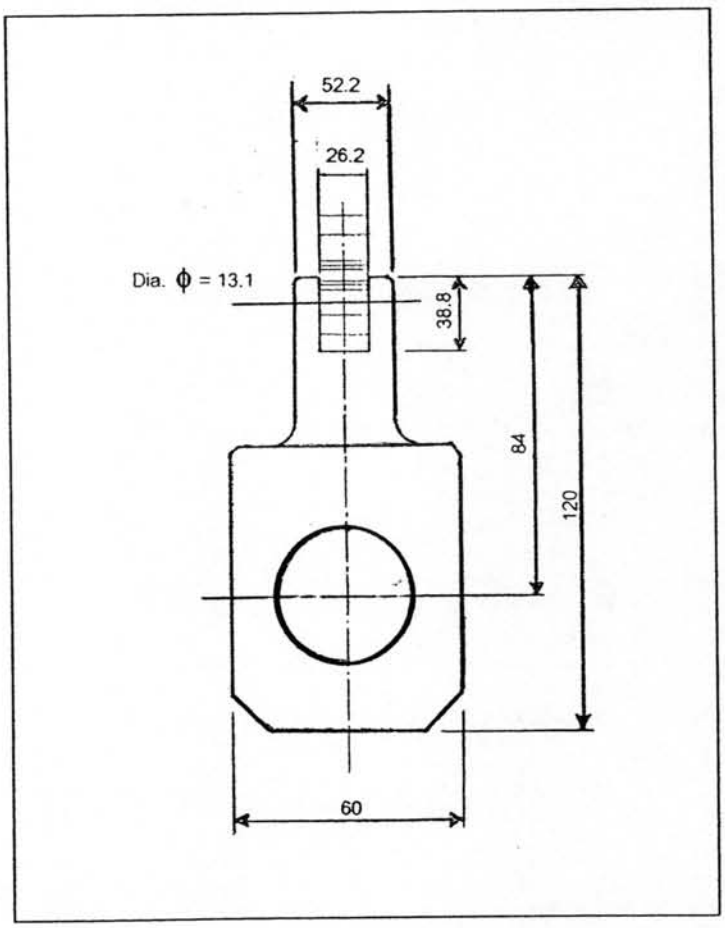
งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกชิ้นงานทดสอบโดยทำจากเหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS SCM 440 ของผู้ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น เหล็กกล้าชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในชิ้นส่วนกลที่สำคัญ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง เฟืองเพลา บูชรับเพลา เพลาขับ แกนเฟืองขับ เป็นต้น

4.2.1 การกำหนดรูปแบบลักษณะของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ

กำหนดรูปแบบของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบให้เป็นแบบ Compact-tension (CT-specimen) ซึ่งรูปแบบดังกล่าวนี้จะแสดงความรุนแรงของภาระกระทำที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบที่บริเวณปลายรอยร้าวมากที่สุด และการกำหนดรูปแบบชนิดนี้เป็นรูปแบบที่ไม่ยุ่งยากในขั้นตอนของกระบวนการผลิตชิ้นงานทดสอบ

4.2.2 การกำหนดขนาดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ

ขนาดของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจะถูกกำหนดจากขนาดของ grip device ที่มีอยู่ โดยขนาดของ grip device ดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูสอดร้อยสลักสำหรับยึดชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 13.10 มม. และสลักที่ใช้งานในการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 12.75 มม. จากการพิจารณาตามมาตรฐาน ASTM E647-05 [2] (รูปมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 4.4 ก) จะพบว่ารูเจาะบนชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ (Specimen) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $0.25W$ หรือรูเจาะมีค่า $(\phi = 0.25W)$ ดังนั้นหากใช้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเป็นเกณฑ์ในการคำนวณนั้นก็จะสามารถคำนวณหาค่า W ได้เท่ากับ 51.00 มม. จากส่วนนี้เองยังสามารถนำค่า W ที่ได้ไปแทนค่าและคำนวณหาขนาดอื่นๆ ของความยาวด้านที่เหลือของชิ้นงานทดสอบได้จากรูปที่ 4.4 (ก)



รูปที่ 4.3 ขนาด grip device มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

แสดงการคำนวณหาขนาดของ W

เพื่อนำไปแทนค่าในมาตรฐานและสร้างชิ้นงานทดสอบให้เป็นไปตามขนาดมาตรฐาน ASTM E647-05[2] โดยการคำนวณหาจากขนาดของรูเจาะร้อยสลักของ grip device เป็นเกณฑ์

- **เริ่มต้นคำนวณจากขนาด** grip device

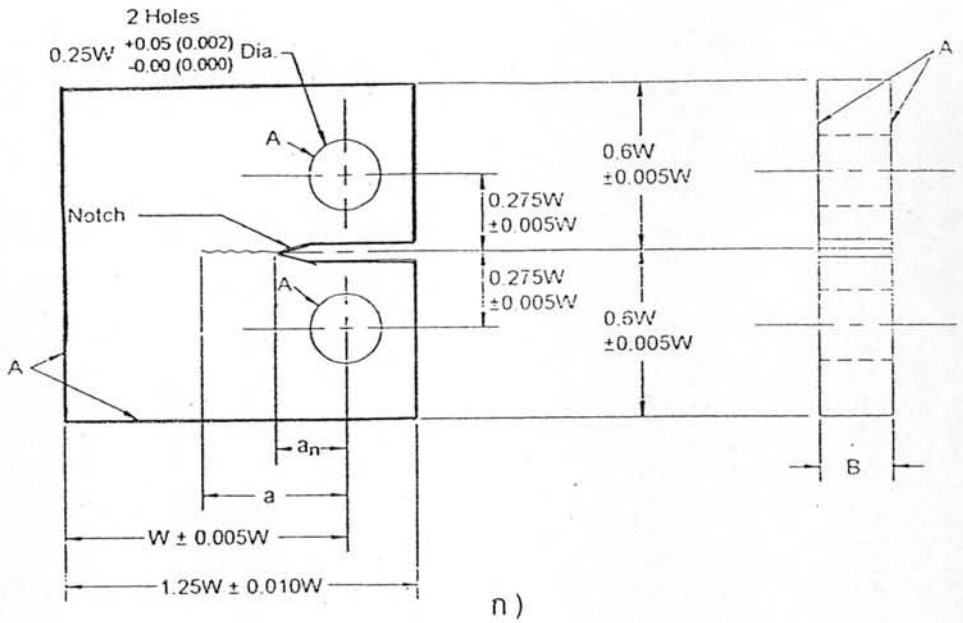
ขนาด grip device ที่มีอยู่มีขนาดรูสอดสลัก ϕ = 13.10 mm. จากขนาด (ดังรูปที่ 4.3) ดังนั้นใช้ค่า ϕ = 13.00 mm. คำนวณหามิติที่เหลือของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ (ที่เหลืออีกข้างละ 0.05 mm. ให้เป็นค่า clearance)

จากขนาดมาตรฐานของรูสอดร้อย $\phi = 0.25W$ (พิจารณาจากรูปที่ 4.4 ก)

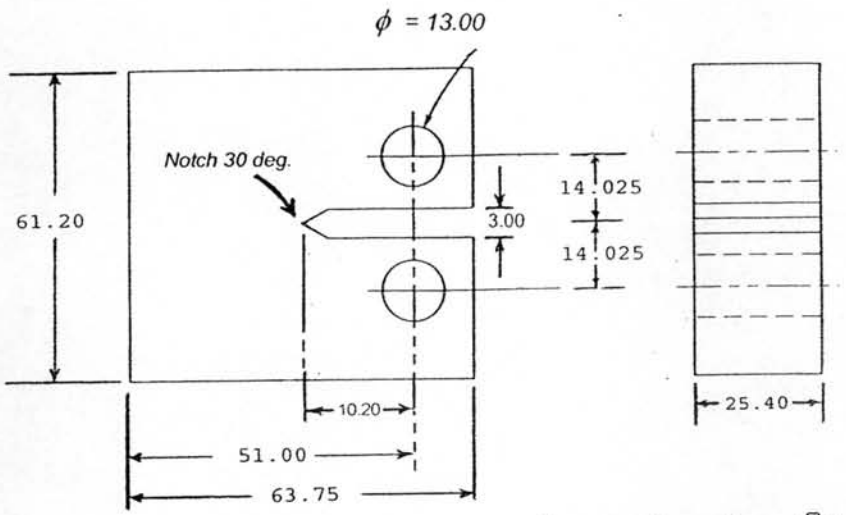
ดังนั้นคำนวณหา $W = \frac{\phi}{0.25} = \frac{13.00mm.}{0.25mm.}$

$= 52.00mm.$

ขนาดของ W ที่คำนวณได้โดยใช้ขนาดของรูเจาะร้อยสลัก grip device เป็นเกณฑ์มีขนาดเท่ากับ 52.00 mm. และเมื่อพิจารณาจากขนาดของระยะเผื่อโดยวัดจากกึ่งกลางของรูเจาะร้อยสลักจนถึงอีกด้านหนึ่งของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบมีค่าเท่ากับ $W \pm 0.005W$ (จากรูปที่ 4.4ก) และคำนวณขนาดของระยะเผื่อได้เท่ากับ 0.26 mm.(0.005x52 mm.) ดังนั้นขนาดของ W ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ W = 52.00 mm.(±0.26 mm.) ทั้งนี้ในขั้นตอนของการผลิตชิ้นเหล็กกล้าทดสอบสามารถวัดขนาดของ W ได้เท่ากับ 51.00 mm. ดังนั้นจึงใช้ค่า W ที่วัดขนาดได้เท่ากับ 51.00 mm. นำไปคำนวณหาขนาดมิติอื่นๆ ได้โดยตรงจากมาตรฐาน ASTM E647-05[2] ดังแสดงใน รูปที่ 4.4 (ข) และนำไปผลิตชิ้นเหล็กกล้าทดสอบตามขั้นตอน สำหรับมาตรฐาน ASTM E647-05[2] นั้นเป็นการทดสอบแบบกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear elastic fracture mechanics, LEFM) ได้กำหนดขนาดของชิ้นงานทดสอบไว้กว้าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางการทดสอบ เช่น วัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะผลิตจากวัสดุประเภทใดก็ได้ทั้งยังไม่จำกัดขนาดความหนาของชิ้นงานทดสอบและสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของชิ้นงานทดสอบได้ถ้ายังทำให้รูปแบบการทดสอบอยู่ในสถานะของกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear elastic fracture mechanics, LEFM) ดั้งนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสอดคล้องกับการทดสอบจึงได้ทำการตรวจสอบขนาดของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ใช้ในการทดสอบอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบหาความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ดังแสดงในภาคผนวก ง



ก)



(ขนาด dimensions เป็น mm.)

ข)

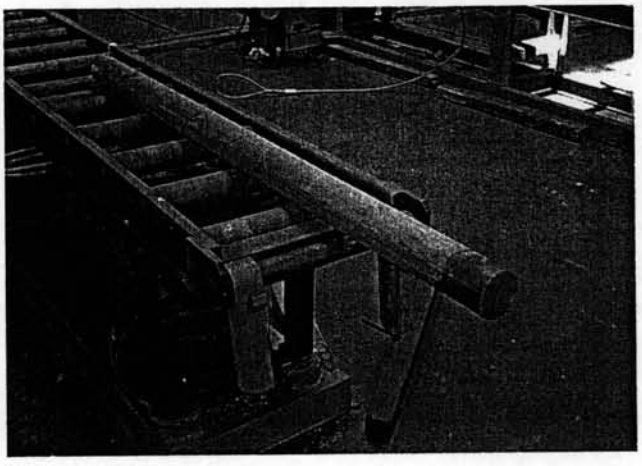
รูปที่ 4.4 ก) ขนาดของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบแบบ Compact-tension,CT ระบุตามมาตรฐาน ASTM E647-05[2]

ข) ขนาดของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบจริงที่คำนวณได้เพื่อนำไปผลิต จำนวน 15 ชิ้นงานทดสอบ แบบ Compact-tension (CT) โดยเลือกใช้เหล็กกล้า JIS SCM 440

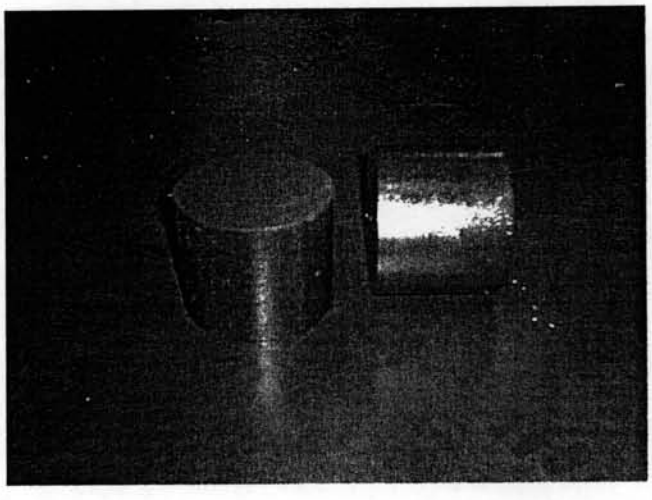
4.2.3 การเตรียมชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440

กระบวนการเตรียมชิ้นเหล็กกล้าทดสอบนี้ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. นำเหล็กกล้า JIS SCM 440 ชนิดรูปแบบเพลากลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว (≅ 76 มม.) นำมาเข้าสู่กระบวนการแบ่งย่อยโดยตัดให้เป็นท่อนเล็กๆ ขนาด 65 มม. ทั้งนี้เผื่อไว้สำหรับขั้นตอนการตกแต่งชิ้นงานด้านละประมาณ 2 มม. จากขนาดที่กำหนดไว้

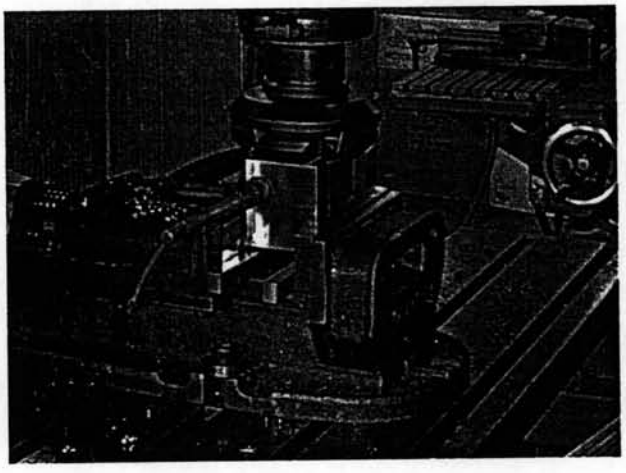


รูปที่ 4.5 แท่งเหล็กกล้าชนิดเพลากลม JIS SCM 440 ขณะเตรียมแบ่งย่อย

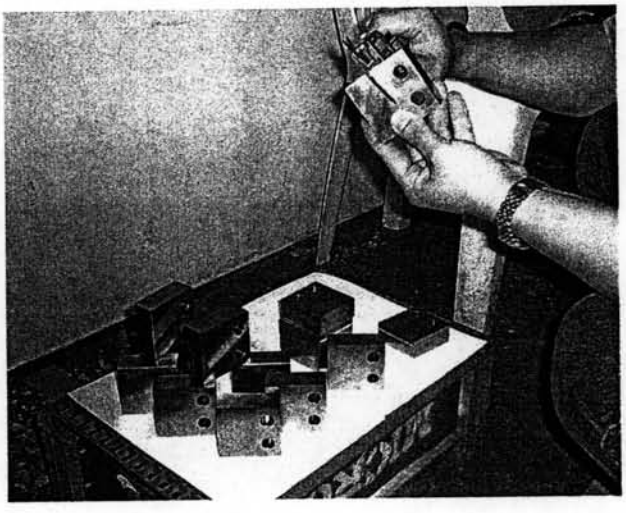


รูปที่ 4.6 เหล็กกล้า JIS SCM 440 ถูกตัดเป็นท่อนให้มีขนาดความยาว 65 มม.

2. นำเหล็กกล้า JIS SCM 440 ที่ผ่านการตัดเป็นท่อนแล้วเข้าสู่กระบวนการตกแต่งให้ได้ขนาดโดยเผื่อระยะไว้สำหรับการขัดตกแต่งผิว 1 มม.



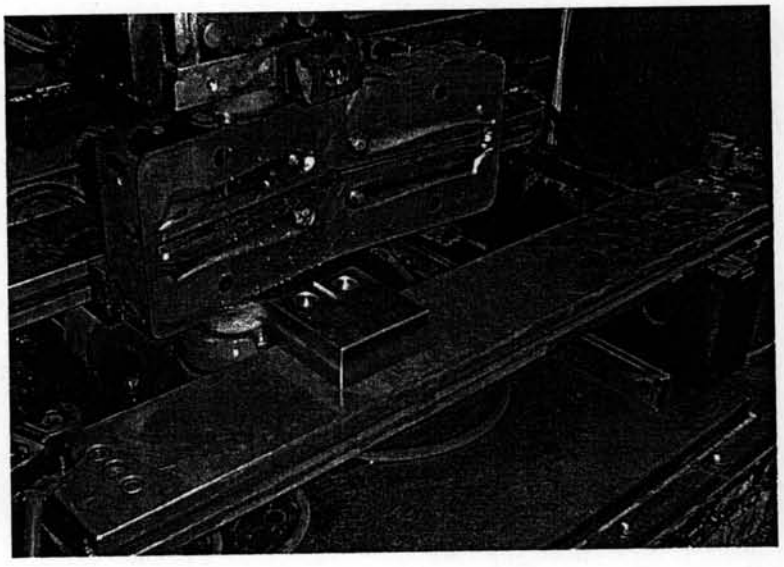
รูปที่ 4.7 กระบวนการตกแต่งให้ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.8 การตรวจวัดขนาดของชิ้นเหล็กกล้าที่ทำการเผื่อไว้

สำหรับการตกแต่งชิ้นงานและตรวจขนาดรูเจาะร้อยสลัก

3. นำชิ้นเหล็กกล้าเข้าสู่กระบวนการทำรอยบากกล(Machine notch) ด้วยกรรมวิธีการของเครื่องตัด Electrical discharge machine (EDM) ทั้งนี้เพื่อทำการสร้างรอยบากกลโดยใช้เส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มม.(ขนาดตามมาตรฐานกำหนด) เพื่อให้ได้รอยบากกลที่มีความแหลมที่บริเวณปลายรอยบากกลให้มากที่สุด และเพื่อให้ง่ายต่อการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าซึ่งเป็นกระบวนการในขั้นตอนของการเริ่มทดสอบที่ทำต่อจากการสร้างรอยบากกล

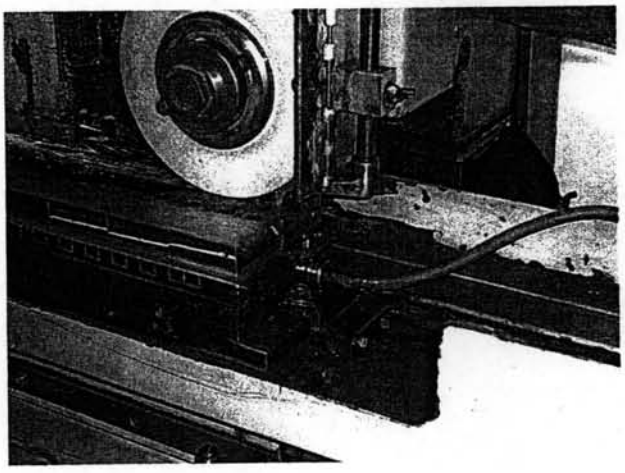


รูปที่ 4.9 ทิศทางการจัดวางเพื่อทำการจับยึดตรึงชิ้นเหล็กกล้าทดสอบบนแท่นสนามแม่เหล็กและสร้างรอยบากกลบนเครื่อง EDM

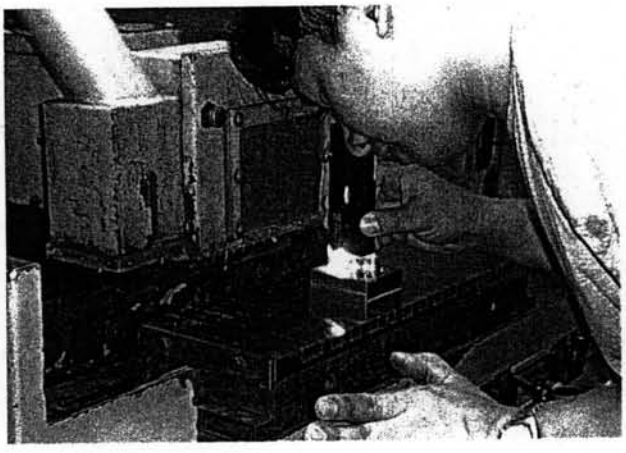
4. หลังจากชิ้นเหล็กกล้าได้ผ่านกระบวนการสร้างรอยบากกลให้มีความยาวขนาด 10.20 มม. แล้วนำมาเจียรขัดผิวในขั้นตอนนี้ทิศทางในการเจียรจะตั้งฉากกับรอยบากกลหรือทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเติบโตของรอยร้าว ซึ่งในกระบวนการนี้สามารถตรวจดูร่องรอยทิศทางในการเจียรผิวที่ปรากฏบนผิวชิ้นเหล็กกล้าทดสอบได้ด้วยกล้องไมโครสโคปขนาดกำลังขยายต่ำ 50 เท่า (50x) หรือด้วยเลนส์ขนาด 40x (carton magnifier 40x) ชนิดถอดประกอบได้ มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 20x ถึง 50x (ผู้วิจัยใช้ทั้ง 2 ชนิด) ซึ่งจะปรากฏร่องรอยและทิศทางการขัดผิวแสดงให้เห็นผิวเหล็กอย่างชัดเจนและสะดวกในการเฝ้าติดตามรอยร้าว

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยขอเสนอแนะว่าควรทำการตรวจสอบชิ้นเหล็กกล้าทดสอบไปในตัวด้วย หากพบว่ายังมีร่องรอยของการทำเครื่องหมายของการวัดขนาดบนผิวก็ให้ช่างผู้ผลิตแก้ไขให้เรียบร้อยจะได้ไม่เกิดการสับสนในขั้นตอนของการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงของการทดสอบ

การจับชิ้นงานเพื่อการติดตั้งคราบเหงื่อและฝุ่นผงอาจฝังตัวในรอยขีดได้และอาจเกิดสนิมเหล็กฝังตัวได้ทำให้ดูเหมือนรอยร้าว



ก)

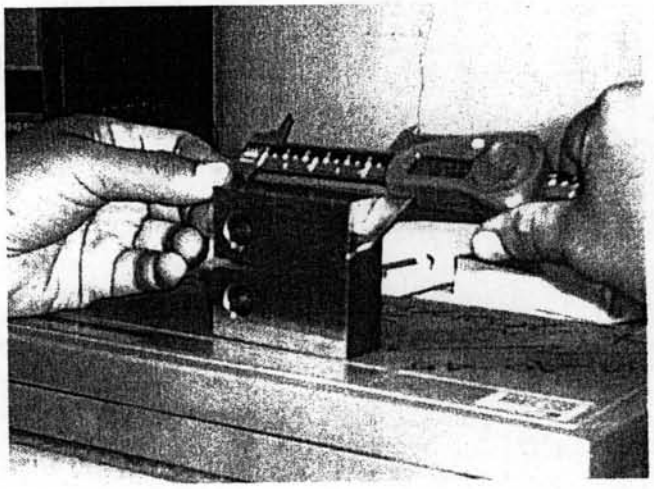


ข)

รูปที่ 4.10 ก) ทิศทางการเจียรในแนวตั้งฉากกับทิศทาง
ที่จะนำไปสร้างรอยร้าวบนชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ JIS SCM 440

ข) การตรวจดูทิศทางของการเจียรขัดผิวด้วยกล้อง
ไมโครสโคป (Lumagny) กำลังขยายต่ำ 50 เท่า (50x)

5. ทำการตรวจสอบขนาดชิ้นเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการตกแต่งและเจียรผิวให้ได้ขนาดตามที่กำหนด



ก)

ข)

รูปที่ 4.11 การตรวจสอบขนาดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบในขั้นตอนสุดท้าย

ก) ตรวจสอบขนาดความกว้าง 63.75 mm.

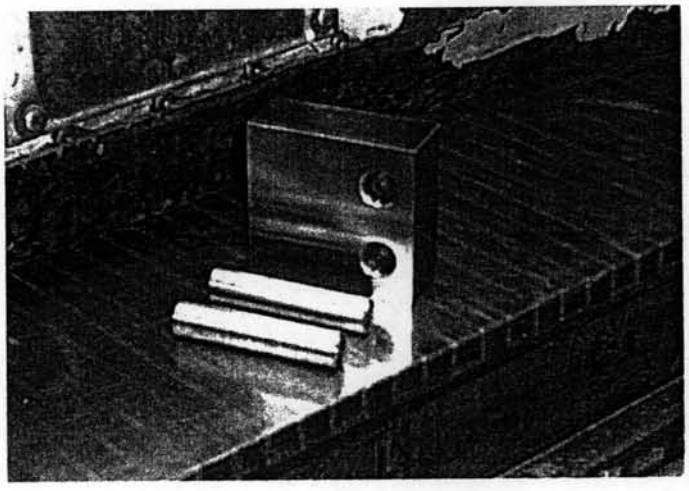
ข) ตรวจสอบขนาดความหนา 25.40 mm.

6. หลังจากชิ้นเหล็กกล้าได้ทำการตกแต่งให้ได้ขนาดแล้วก็ทำความสะอาดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่เปื้อนคราบเหงื่อไคลที่สัมผัสระหว่างการผลิตทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดสนิมที่บริเวณผิวของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ และนำเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่ไม่มีอากาศเข้าเพื่อให้ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบยังคงความเงาในสภาพดั้งเดิมให้มากที่สุดและสะดวกในการตรวจวัดและเฝ้าติดตามรอยร้าว

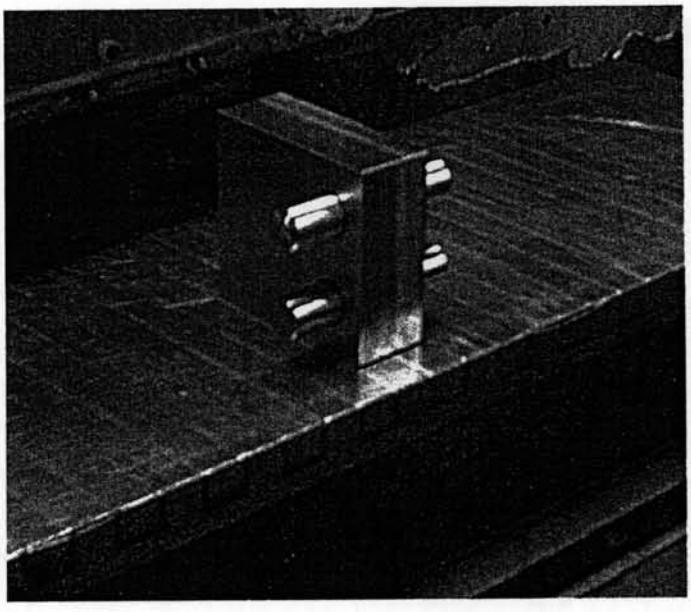
4.3 สลักยึดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ (ใช้สำหรับจับยึดชิ้นเหล็กกล้าเข้ากับ grip device)

ผู้วิจัยเลือกใช้เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS SNCM 439 นำมาใช้ทำสลักยึดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ (ใช้สำหรับจับยึดชิ้นเหล็กกล้าเข้ากับ grip device) โดยเลือกพิจารณาจากคุณสมบัติทางกลที่สูงกว่า ในส่วนเหล็กกล้า JIS SNCM 439 นั้นมักถูกนำมาใช้งานในส่วนกลที่เป็น เพลาข้อเหวี่ยง เฟืองแกนพวงมาลัย เพลาขับ อื่นๆ อีกมากมาย

ขั้นตอนการทำโดยนำเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS SNCM 439 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 มม. นำมากลึงให้ได้ขนาดของสลักยึดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบให้มีขนาด 12.75 มม. โดยให้ความยาวของสลักมีขนาด 60 มม. (สำหรับในส่วนของการกลึงสลักนั้นควรกลึงให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.75 มม. ตลอดความยาวในครั้งเดียวกัน และนำมาตัดให้ได้ขนาดความยาวของสลัก 60 มม.ภายหลัง) ทั้งนี้เพื่อให้ได้สลักที่มีขนาดของระยะเผื่อเท่ากันหมดของสลักทุกชิ้น และทำเผื่อไว้ 2 คู่ เพื่อสลับการใช้งานและยืดอายุการใช้งานของสลักด้วย



ก)

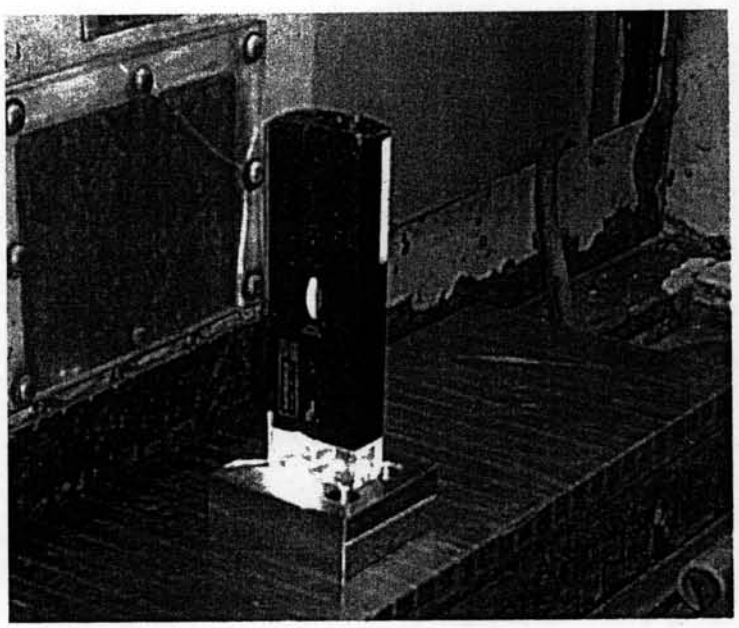


ข)

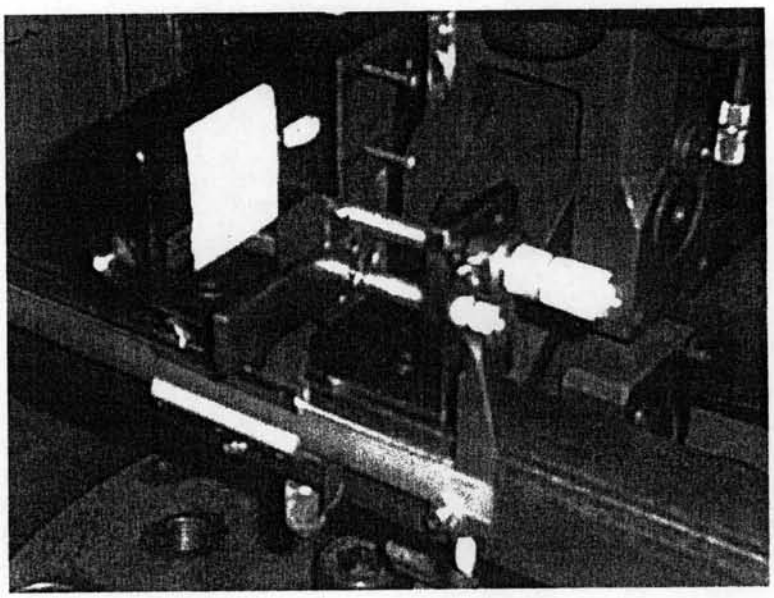
รูปที่ 4.12 ก) ส่วนของสลักยึดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่
ผ่านการกลึงให้ได้ขนาด 12.75 มม.
ข) การทดลองสอดใส่สลักหลังการผลิต

4.4 อุปกรณ์ช่วยในการเฝ้าติดตามหาการเติบโตรอยร้าว

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้กล้องไมโครสโคป (Microscrope) ชนิดเคลื่อนที่ได้โดยมีกำลังขยาย 50 เท่า(50x) ของผู้ผลิต ลูแม็กนี่ (Lumagny) โดยการนำมาดัดแปลงและประยุกต์เพื่อใช้ในการเฝ้าติดตามหาการเติบโตของรอยร้าว ด้วยการโดยยึดเข้ากับฐานเหล็กที่มีความสูงในระดับเดียวกันกับการเติบโตรอยร้าวที่ต่อจากรอยบากกลของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ และสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในทิศทางซ้ายและขวา (ทิศทางในแนวแกน x) โดยระยะการใช้งานอยู่ที่ ± 60 มม. จากจุดศูนย์กลาง นอกจากนี้ยังประยุกต์ให้มีการปรับและเคลื่อนที่ได้ในทิศทางขึ้นและลง ทิศทางในแนวแกน y โดยระยะการใช้งานอยู่ที่ ± 10 มม. จากจุดศูนย์กลาง ทั้งนี้เนื่องจากในขณะทำการทดสอบรอยร้าวมีการเคลื่อนตัวและเติบโตในทิศทางทำมุมกับแนวระดับสมมาตร



รูปที่ 4.13 กล้องไมโครสโคป กำลังขยาย 50 เท่า (50x)



รูปที่ 4.14 การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ช่วยในการเฝ้าติดตามหาการเติบโตของรอยร้าวที่ติดตั้งเข้าฐานเหล็กในระดับความสูงของการเติบโตรอยร้าว

4.5 การทดสอบและเก็บข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผล

การทดสอบเพื่อหาอัตราการเติบโตของรอยร้าว (fatigue crack growth rate) ของงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบแบบต่อเนื่องและการวัดหาความยาวรอยร้าวเป็นแบบวัดตรง ทั้งนี้ไม่มีการหยุดพักเครื่องทดสอบเพื่อถอดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบออกจากเครื่องทดสอบแล้วนำไปวัดหาความยาวรอยร้าวเพราะจะเป็นเหตุให้รอยร้าวไม่เติบโต (มาตรฐานยอมให้หยุดพักภาระกระทำได้แต่ต้องไม่เกิน 10 นาที สำหรับในกรณีนี้จะใช้เมื่อเกิดความจำเป็น เช่น หยุดเพื่อเปลี่ยนสลักคู่ใหม่)

ดังนั้นการเก็บข้อมูลที่สำคัญจะเริ่มเก็บในช่วงที่ความยาวรอยร้าวเติบโตต่อจากการสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้า ทั้งนี้เพื่อนำไปประมวลผลโดยแสดงออกเป็นกราฟ log-log สเกล ด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการบันทึกค่าภาระโหลดสูงสุดและค่าภาระโหลดต่ำสุด ทั้งก่อนและหลังของการปรับค่าภาระโหลดลงมาแบบ Step down load ต้องทำการเก็บบันทึกค่าดังกล่าวไว้เป็นแนวทางในการปรับลดค่าภาระโหลดครั้งต่อไป (การปรับลดค่าภาระโหลดลงในแต่ละครั้งความยาวของการเติบโตรอยร้าวเฉลี่ยอยู่ที่ Δa = 0.50 มม.)

2. จำนวนรอบ (N) ของภาระที่กระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ

3. ค่าความยาวของรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ ทั้งนี้เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของการเติบโตของรอยร้าวให้อยู่ที่ Δa = 0.50 มม.

4.5.1 ข้อสังเกตในเบื้องต้นที่ต้องให้ความสนใจขณะทดสอบเก็บข้อมูล

ช่วงแรกของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าต่อจากรอยบากกล

1. รอยร้าวที่เกิดขึ้นต่อจากรอยบากกลที่ทำมุม 30 องศา ถือเป็นรอยร้าวเริ่มต้น (Initial crack) ที่สามารถใช้ค่าภาระโหลดเริ่มแรกที่สูงๆ ได้ (มาตรฐานแนะนำ)

2. การปรับลดค่าภาระโหลดลงมาในแต่ละครั้งไม่ควรเกิน 20 % ของภาระโหลดก่อนหน้า

3. ความยาวของรอยร้าวที่เติบโตทั้งด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบต้องไม่แตกต่างกันเกิน 6.35 มม.(ทั้งนี้คำนวณจากความสัมพันธ์ที่ว่า $0.25B$)

4. ทิศทางและเส้นทางการเติบโตของรอยร้าวต้องไม่เป็นเส้นตรงในแนวระนาบซึ่งต้องทำมุมไม่เกิน 10 องศากับแนวระนาบสมมาตร

5. การเคลื่อนตัวและขยายตัวของรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบต้องไม่ต่ำกว่า 0.25 มม. (ก่อนปรับภาระโหลดลงมาขนาดไม่เกิน 20 %)

6. ในช่วงของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าต่อจากรอยบากกล ความยาวรอยร้าวเฉลี่ยต้องสูงกว่า 3 มม. โดยใช้ค่าของ (h) เป็นเกณฑ์

ช่วงที่สองเริ่มต้นทำการทดสอบและเก็บข้อมูล (กระทำต่อเนื่องต่อจากช่วงแรกการสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้า)

1. การปรับลดภาระโหลดสูงสุดและต่ำสุดไม่สูงเกินกว่า 10 % ของภาระโหลดก่อนหน้าทั้งนี้อัตราส่วนภาระ (R) ต้องคงที่ในแต่ละช่วงของผลต่างความยาวรอยร้าว (Δa)

2. ผลต่างของความยาวเฉลี่ยของรอยร้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลังต้องคงที่ Δa = 0.50 มม. ตลอดระยะที่ภาระโหลดสูงสุดและต่ำสุดกระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบคงที่ จากนั้นทำการปรับลดภาระโหลดสูงสุดและและต่ำสุดอีก 10 % กระทำเช่นนี้เรื่อยไปเป็นจำนวน 10 ครั้ง หรือจนรอยร้าวไม่เติบโต

3. เส้นทางการเติบโตของรอยร้าวไม่สูงเกิน 10 องศา และความยาวของรอยร้าวในแนวระนาบสมมาตร (แกน x) ต้องไม่สูงกว่า 5.10 มม. (ทั้งนี้คำนวณจากความสัมพันธ์ที่ว่า $0.1W$)

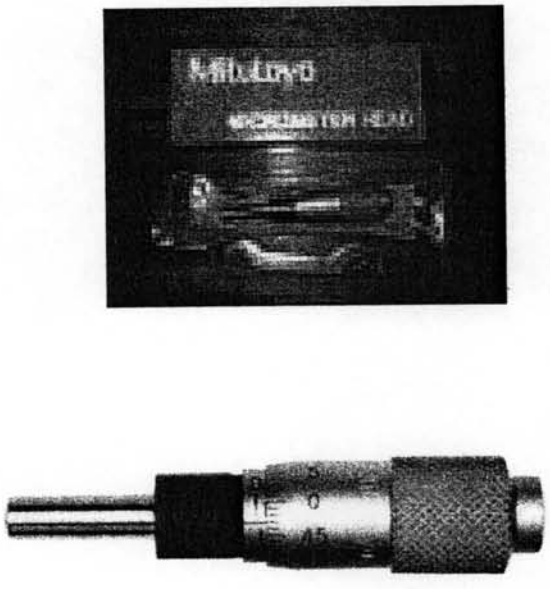
4.5.2 การอ่านค่าจำนวนรอบของภาระที่กระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ

สามารถอ่านค่าจำนวนรอบของภาระกระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบได้โดยตรงจากการแสดงผลบนหน้าปัดในส่วนควบคุม

4.5.3 การวัดความยาวรอยร้าว

การทดสอบเป็นแบบต่อเนื่องโดยไม่ทำการถอดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบออกจากเครื่องทดสอบเพื่อทำการวัดแต่จะใช้การหยุดการทดสอบเป็นระยะ ๆ โดยการหยุดภาระกระทำที่เครื่องทดสอบเพื่อทำการตรวจสอบและวัดขนาดความยาวรอยร้าวครั้งละไม่เกิน 10 นาที ตามมาตรฐาน ASTM E647-05[2] กำหนด สำหรับการตรวจวัดขนาดความยาวรอยร้าวเติบโตทำโดยการวัดรอยร้าวทั้งสองด้านและรวมถึงการจดบันทึกจำนวนรอบภาระกระทำที่แสดงผลบนหน้าปัดในส่วนควบคุมและหลังจากทำการตรวจสอบและวัดขนาดความยาวรอยร้าวเสร็จสิ้นแล้วจากนั้นเริ่มให้ภาระกระทำกับชิ้นเหล็กกล้าทดสอบอย่างต่อเนื่อง กระทำในลักษณะเช่นนี้ตลอดการทดสอบทั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างอุปกรณ์ที่ช่วยการตรวจวัดหารอยร้าวโดยใช้กล้องไมโครสโคปแบบเคลื่อนที่ได้กำลังขยาย 50 เท่า (50x) ติดเข้ากับฐานเหล็กฉากในระดับความสูงโดยที่ปลายของกล้องไมโครสโคปอยู่ในระดับเดียวกับปลายรอยร้าว การวัดค่าความยาวรอยร้าวกระทำโดยการ

ปรับหมุนไปในทิศทางที่รอยร้าวเติบโตและอ่านค่าความยาวรอยร้าวที่เคลื่อนตัวโดยการอ่านได้โดยตรงจาก ไมโครมิเตอร์เฮด (Micrometer head) ของ Mitutoyo รุ่น 148-801 (MHS3) ความละเอียดในการอ่านค่าอยู่ที่ 0.01 mm. พิสัยการวัด 0~15 mm. ประยุกต์เข้ากับฐานเหล็กและวัดรอยร้าวทั้งสองด้าน (ด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ) สำหรับในขั้นตอนการวัดหาความยาวรอยร้าวเฉลี่ยต้องทำการอ้างอิงขนาดความยาวของรอยร้าวที่ด้านใดด้านหนึ่งก่อนแล้วจึงพิจารณาความยาวรอยร้าวที่เติบโตในด้านที่เหลือทั้งนี้เมื่อรอยร้าวเติบโตจนมีขนาดตามที่ต้องการแล้วจึงนำไปคำนวณหาขนาดของความยาวรอยร้าวเฉลี่ยทั้งสองด้านที่ $\Delta a = 0.50$ มม.



รูปที่ 4.15 ไมโครมิเตอร์เฮด (Micrometer head) ของ Mitutoyo รุ่น 148-801 (MHS3) ความละเอียดในการอ่านค่าที่ 0.01 mm.

4.5.4 รายละเอียดการกำหนดสภาวะทดสอบ

การทดสอบเป็นการทดสอบอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสภาพสภาวะแวดล้อมไม่กัดกร่อนกระทำที่อุณหภูมิห้องปกติ เลือกใช้ความถี่ (f) ในรูปแบบ sine wave 10 Hz. และอัตราส่วนภาระ (R) ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดที่ R = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ดำเนินการทดสอบใน 2 ขั้นตอนหลัก

ขั้นตอนแรก การสร้างรอยร้าวล้าก่อนหน้า

เริ่มต้นด้วยการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าต่อจากรอยบากกลด้วยแนวทางงานวิจัยก่อนหน้านี้ ของ ยุทธนา เจริญวงศ์[17] โดยเริ่มต้นด้วยขนาดภาระโหลด 1.9 ± 0.6 ตัน ($P_{max} = 2.5$ ตัน, $P_{min} = 1.3$ ตัน) ภายใต้ภาระกระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบอย่างต่อเนื่อง จนปรากฏรอยร้าวขึ้น (ทั้งนี้ความยาวรอยร้าวหน้าและหลังของชิ้นงานทดสอบต้องมีรอยร้าวไม่ต่ำกว่า 0.25 มม.) จากนั้นทำการปรับลดภาระโหลดลงมาครั้งละไม่เกิน 10 -12 % ของภาระโหลดก่อนหน้า (ต้องไม่เกิน 20% ตามที่มาตรฐานกำหนด) ทั้งนี้ค่าของอัตราส่วนภาระ (R) ต้องคงที่ กระทำเช่นนี้เรื่อยไปจนการปรับภาระโหลดถูกปรับลดลงมาให้อยู่ในช่วงสภาวะที่กำหนดของการทดสอบและความยาวรอยร้าวเฉลี่ยทั้งสองด้านมีความยาวโดยรวมไม่ต่ำกว่า 3.00 มม. (พิจารณาจากปลายรอยบากกล)

ขั้นตอนที่สอง คือ ช่วงทดสอบเริ่มเก็บข้อมูลเพื่อการประมวลผล (กระทำต่อเนื่อง)

เมื่อความยาวรอยร้าวเฉลี่ยทั้งสองด้านมีความยาวสูงกว่า 3.00 มม. ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนที่สอง สิ่งแรกที่ต้องทำคือ ทำการพิจารณาว่า ภาระโหลดสูงสุด, P_{max} ที่ปรับลดในช่วงสุดท้ายของการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าต้องสูงกว่าหรือเท่ากับ ภาระโหลดสูงสุด, P_{max} ที่จะปรับลด ที่เริ่มทำการทดสอบและเก็บข้อมูลเพื่อการประมวลผล การทดสอบในขั้นตอนที่สองนี้เป็นการปรับลดภาระโหลดลงมาในแต่ละครั้งที่ 8% ของภาระโหลดก่อนหน้า (ทั้งนี้ค่าของอัตราส่วนภาระ ต้องคงที่เช่นกัน) หลังจากนั้นปล่อยให้ภาระโหลดกระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบเช่นนี้เรื่อยไปจนผลต่างของความยาวรอยร้าว, $\Delta a = 0.50$ มม. จากนั้นทำการลดภาระโหลดลงอีกกระทำเช่นนี้เรื่อยไปจนรอยร้าวไม่เติบโตซึ่งการทดสอบในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การทดสอบแบบลด(K -decreasing) สำหรับงานวิจัยนี้ทำการปรับลดภาระโหลดลงมาเป็นจำนวน 10 -12 ครั้ง ก็ถือเป็นการสิ้นสุดกระบวนการทดสอบ Alpas A.T. และ Ewards L.[13] จากนั้นทำการหยุดภาระโหลด เป็นอันเสร็จสิ้นการทดสอบสำหรับหนึ่งสภาวะการทดสอบ

การปรับลดภาระในช่วงนี้ต้องให้ความสนใจผู้วิจัยใช้หลักการของสมการภาคผนวก (ค.2) เพื่อควบคุมภาระกระทำโดยเน้นที่ ภาระโหลดสูงสุด, P_{max} ในแต่ละช่วงและนำไปคำนวณหาค่า P_{min} ในแต่ละช่วงของการปรับลดเพื่อให้ค่าอัตราส่วนภาระ (R) คงที่ตลอดการทดสอบในแต่ละช่วง

แสดงขั้นตอนจากใช้สมการภาคผนวก (ค.2) ควบคุมภาระกระทำ

$$(P_{\max 1} - P_{\max 2})/P_{\max 1} \le 0.02$$

ให้มีค่า $(P_{\max 1} - P_{\max 2})/P_{\max 1} = 0.02$

ดังนั้น $P_{\max 2} = (1 - 0.02) * P_{\max 1}$

จากนั้นนำค่า $P_{\max 2}$ ที่หาได้นำไปคำนวณหา $P_{\min 2}$ สำหรับการปรับลดครั้งที่ 2 จากค่าอัตราส่วนภาระ (R)

$$R = \frac{P_{\min 2}}{P_{\max 2}}$$

ดังนั้น $P_{\min 2} = R * (P_{\max 2})$

จากขั้นตอนนี้ก็จะได้ค่าภาระกระทำที่จะปรับลด $P_{\max 2}$ และ $P_{\min 2}$ ในครั้งต่อไปโดยไม่ต้องกังวลว่าภาระโหลดกระทำจะเกิน 10 % ซึ่งขั้นตอนนี้รียกว่า shedding load step (การปรับลดแบบขั้นบันได) เป็นกระบวนการหนึ่งของการทดสอบแบบลด (K-decreasing)

โดยกำหนด $P_{\max 1}$ คือ ค่าภาระโหลดสูงสุดของภาระก่อนหน้า

$P_{\max 2}$, $P_{\min 2}$ คือ ค่าภาระโหลดสูงสุดและต่ำสุดที่ทำการลดลงต่อจากค่าภาระโหลดสูงสุดของภาระที่จะทำการปรับลด