บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับเนื้อหาภายในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย โดยจะเริ่มต้นจากรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานทดสอบ เครื่องทดสอบ และเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ จากนั้นจะกล่าวถึงวิธีการเก็บข้อมูลดิบ ข้อควรคำนึงถึงในการเก็บข้อมูล สภาวะทดสอบ และรายละเอียดของการทดสอบตามลำดับ

ชิ้นงานทดสอบ

รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับชิ้นงานทดสอบที่ถูกนำมาพิจารณา ประกอบด้วย

1. การกำหนดชนิดวัสดุที่จะทำการศึกษา

ชนิดของวัสดุที่งานวิจัยนี้นำมาศึกษาก็คือ เหล็กกล้า AISI 4140 สำหรับเหตุผลในการเลือกใช้วัสดุชนิดดังกล่าวนั้นมีหลายประการดังนี้คือ

- ขยายฐานข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวสำหรับวัสดุดังกล่าวจากงานวิจัยก่อนหน้า (ยุทธนา, 2537)
- วัสดุชนิดดังกล่าวมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในชิ้นส่วนกลที่สำคัญ และมักถูกใช้งานภายใต้สภาวะที่ก่อให้เกิดการเสียหายเนื่องจากความล้าได้ ยกตัวอย่างเช่น เพลา, เฟือง และชิ้นส่วนที่ต้องผ่านกระบวนการตีอัด(forging) เป็นต้น (Mott, 1992)

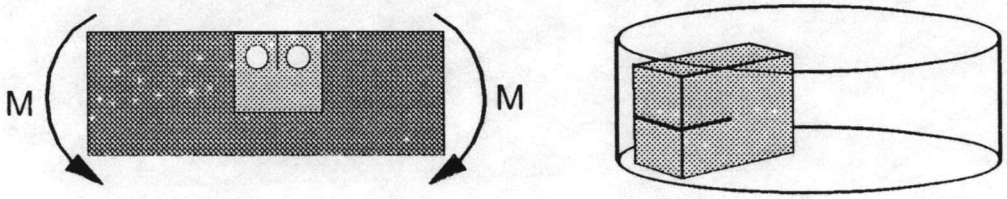
2. การกำหนดชนิดชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบที่เลือกสำหรับงานวิจัยนี้คือ ชิ้นงานทดสอบแบบ CT (Compact tension) สาเหตุที่เลือกใช้ชิ้นงานทดสอบแบบ CT มีดังนี้

- เป็นชิ้นงานทดสอบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย
- มีขนาดเล็ก สะดวกในการขนย้ายระหว่างการสั่งทำ

3. การกำหนดทิศการจัดวางตัวของชิ้นงานทดสอบ

ในทางปฏิบัติการกำหนดทิศการจัดวางตัวของชิ้นงานทดสอบจะพิจารณาจากลักษณะการรับภาระ และทิศทางการเติบโตของรอยร้าวในชิ้นส่วนโครงสร้างที่พิจารณา สำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากเหล็กรูปพรรณที่ทำจากวัสดุ AISI 4140 อยู่ในรูปของเพลากลม จึงกำหนดให้ปัญหาคือ เพลากลมที่รับโมเมนต์ดัดและเกิดรอยร้าวล้าอันเนื่องจากภาระดังกล่าว รูปที่ 4.1 ก แสดงลักษณะการวางตัวของชิ้นงานทดสอบเปรียบเทียบกับปัญหาที่กำหนดขึ้น จากข้อกำหนดของมาตราฐาน ASTM E 616-89 ทิศทางดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า L-R (รูปที่ 4.1 ข)

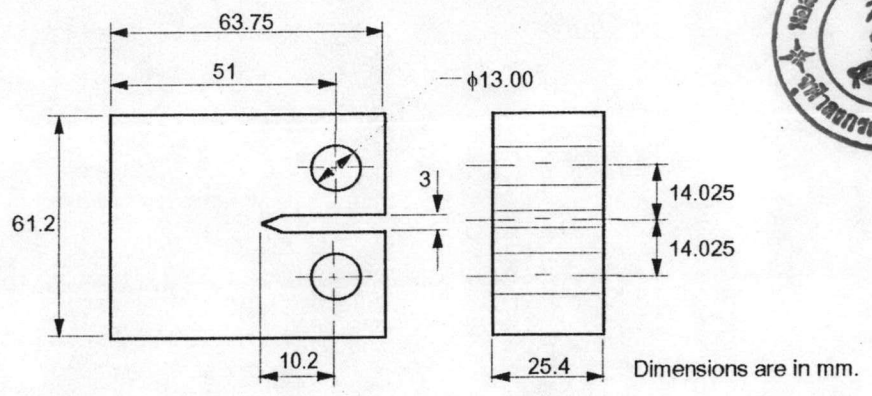


ก) ข)

รูปที่ 4.1 ก) แสดงการวางตัวของชิ้นงานทดสอบในปัญหาที่ตั้งขึ้น
ข) แสดงการวางตัวของชิ้นงานทดสอบในทิศ L-R

4. การกำหนดขนาดของชิ้นงานทดสอบ

ขนาดของชิ้นงานทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ถูกกำหนดโดยขนาดของ grip ที่มีอยู่ grip ดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่ใช้ร้อยสลักยึดชิ้นงานราว 13 มม. และสลักที่ใช้งานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางราว 12.75 มม.(0.5 นิ้ว) เมื่อพิจารณามาตราฐานของ ASTM ประกอบ จะพบว่ารูเจาะบนชิ้นงานทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.25W ดังนั้นหากใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเป็นเกณฑ์เราจะได้ $W \simeq 51$ มม. โดยอาศัยสัดส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 เราจะสามารถหามิติที่เหลือของชิ้นงานทดสอบได้(รูปที่ 4.2) และด้วยขนาดของ grip ที่มี จึงเลือกใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาเท่ากับ 1 นิ้ว

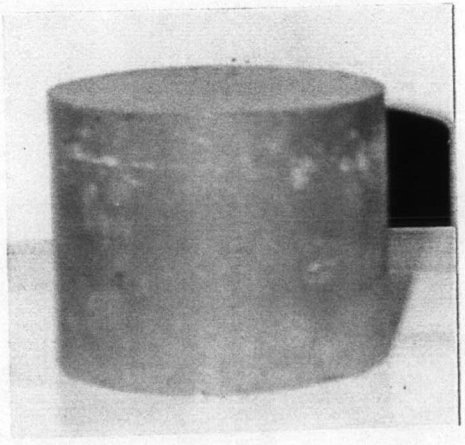


รูปที่ 4.2 แสดงมิติของชิ้นงานทดสอบแบบ CT ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

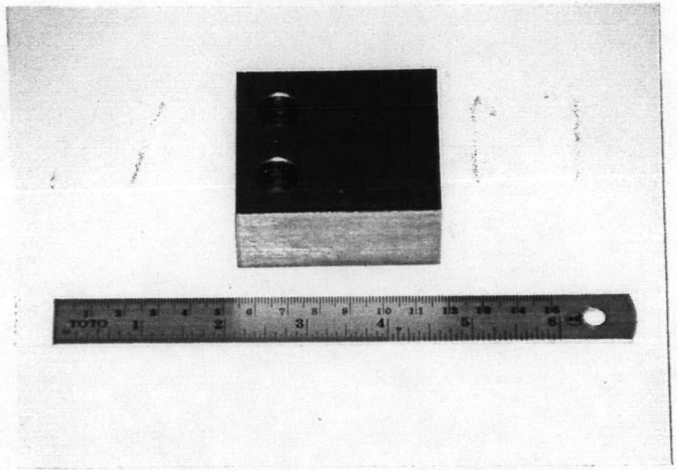
5. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

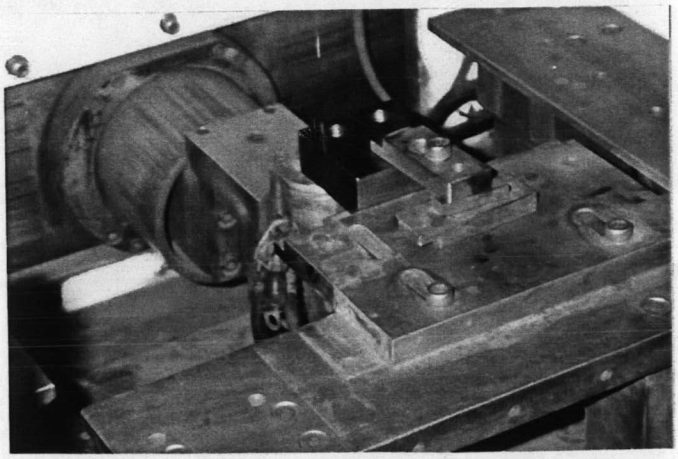
- นำเหล็กเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. มาตัดเป็นท่อนยาว 62 มม. (รูปที่ 4.3)
- นำท่อนเหล็กที่ได้ไปไสจนมีรูปร่างตามต้องการ แล้วเจาะรู (รูปที่ 4.4)
- นำชิ้นงานที่ผ่านการไสไปบากร่องด้วยกรรมวิธี Wire cut (รูปที่ 4.5) โดยใช้เส้นลวดขนาดที่เล็กที่สุด(สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มม.) ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้รอยบากที่มีความแหลมมากที่สุด(รูปที่ 4.6) ง่ายต่อการสร้างรอยร้าวก่อนหน้า
- ขัดผิวบนระนาบที่จะติดตามรอยร้าวในทิศทางตั้งฉากกับทิศการเติบโตของรอยร้าว (รูปที่ 4.7)



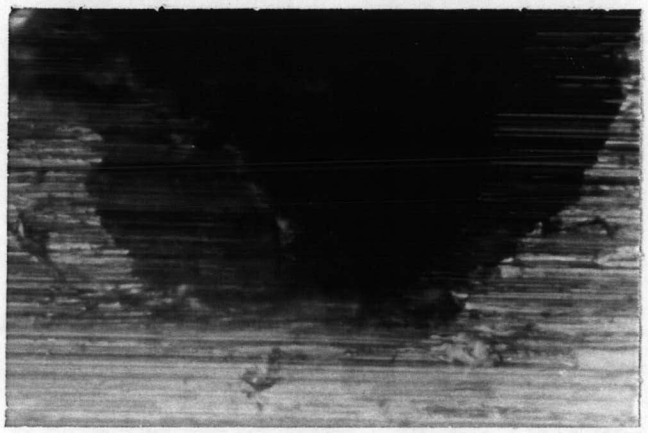
รูปที่ 4.3 แสดงท่อนเหล็กก่อนจะนำไปทำการแปรรูป



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการกลึงไสได้รูปทรงที่ต้องการ และเจาะรูเรียบร้อยแล้ว

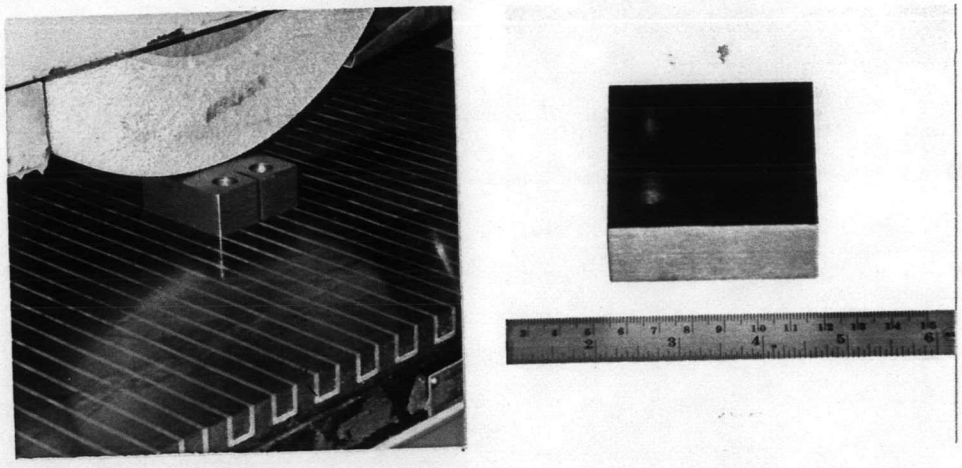


รูปที่ 4.5 แสดงการจัดวางชิ้นงานบนเครื่อง wire cut



รูปที่ 4.6 แสดงภาพขยาย 200 เท่าที่ปลายรอยบาก

I16396313



ก) ข)

รูปที่ 4.7 ก) แสดงลักษณะการวางชิ้นงานบนแท่นเครื่องเจีย
ข)แสดงชิ้นงานที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว

6. การเก็บรักษาชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบทั้งก่อนและหลังทำการทดสอบจะถูกเก็บไว้ในกล่องพลาสติกซึ่งป้องกันอากาศมิให้เข้าไปได้ ทั้งนี้ก็เพื่อลดการเกิดการผุกร่อนบนผิวของชิ้นงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ผิวของชิ้นงานทดสอบจะมีความเรียบเงาคงสภาพเดิมมากที่สุด เพิ่มความสะดวกในการติดตามรอยร้าว

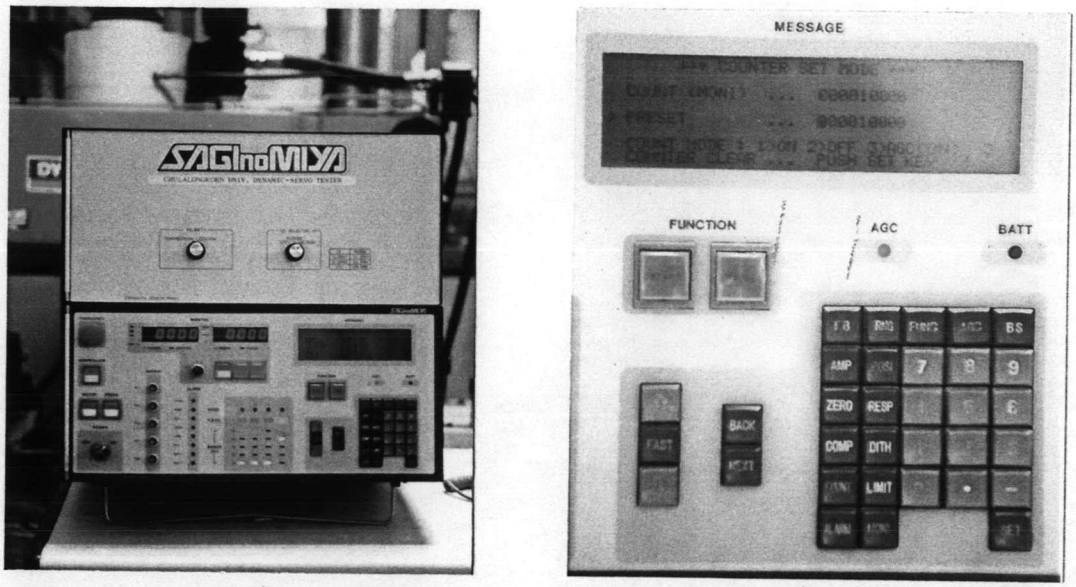
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย

1. Hydraulic servo testing machine

เครื่องทดสอบที่ใช้เป็นของบริษัทผู้ผลิตคือ Saginomiya มีขีดความสามารถในการสร้างภาระสูงสุดเท่ากับ 30 ตัน ควบคุมโดยส่วนควบคุมรุ่น 2405 เครื่องทดสอบนี้ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบย่อย ๆ หลายส่วน ดังนี้

1.1 ส่วนควบคุมหลัก(main controller) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.8 ทำหน้าที่ควบคุมสภาวะการทดสอบ ได้แก่ ขนาดของภาระเฉลี่ย ขนาดของแอมปลิจูดภาระ ความถี่ รูปทรงของคลื่น และจำนวนรอบของการกระทำภาระต่อชิ้นงานทดสอบ



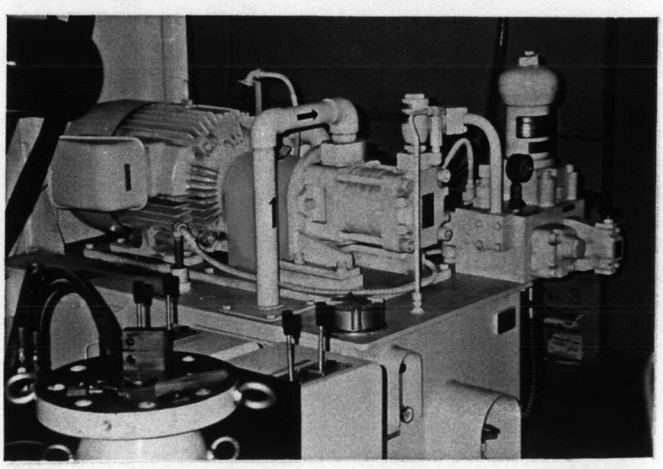
ก) ข)

รูปที่ 4.8 ก) แสดงส่วนควบคุมหลัก(main controller)
ข) แสดงภาพขยายบริเวณปุ่มปรับตั้งสภาวะทดสอบ และหน้าปัดแสดงผล

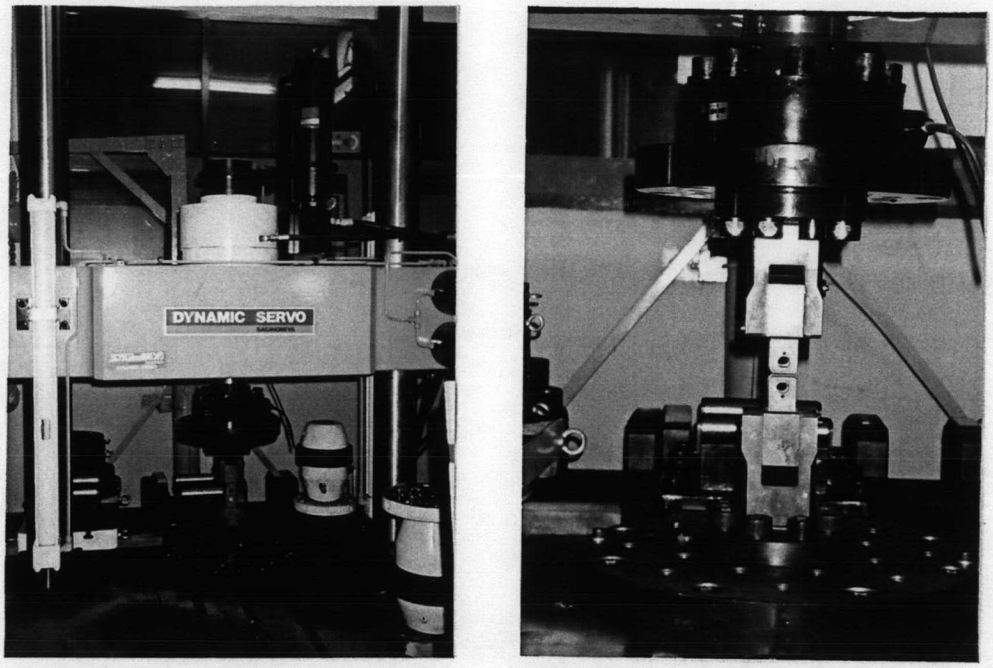
1.2 ชุดไฮดรอลิค(hydraulic unit) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.9 ทำหน้าที่สร้างความดันให้กับระบบเพื่อใช้ในการสร้างภาระที่จะกระทำต่อชิ้นงานทดสอบต่อไป

1.3 actuator และ grip device แสดงอยู่ในรูปที่ 4.10 ทำหน้าที่จับยึดชิ้นงานและปรับระยะห่างโดยประมาณระหว่าง grip ชิ้นบน และชิ้นล่าง

1.4 ระบบคอมพิวเตอร์(computer system) แสดงอยู่ในรูปที่ 4.11 ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการทดสอบบางอย่าง เช่น การทดสอบแรงดึง การทดสอบหาค่าความต้านทานการแตกหัก ฯลฯ แบบอัตโนมัติ รวมไปถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองได้



รูปที่ 4.9 แสดงชุดไฮดรอลิค



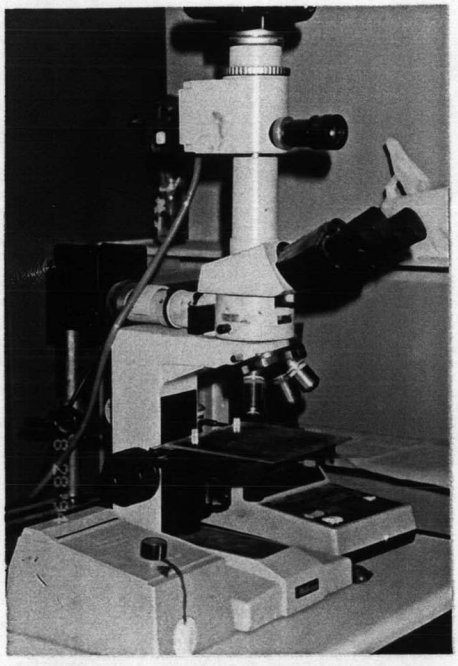
ก) ข)

รูปที่ 4.10 ก) แสดง actuator และ grip device
ข) แสดงภาพขยายบริเวณ grip device

รูปที่ 4.11 แสดงระบบคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมแบบอัตโนมัติ

2. กล้องไมโครสโคป

กล้องไมโครสโคปที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือกล้อง Nikon AFX-II (รูปที่ 4.12) มีกำลังขยายเท่ากับ 100, 200, 400 และ 1000 เท่า กล้องไมโครสโคปดังกล่าวถูกนำมาดัดแปลงเพื่อใช้สำหรับวัดความยาวของรอยร้าว

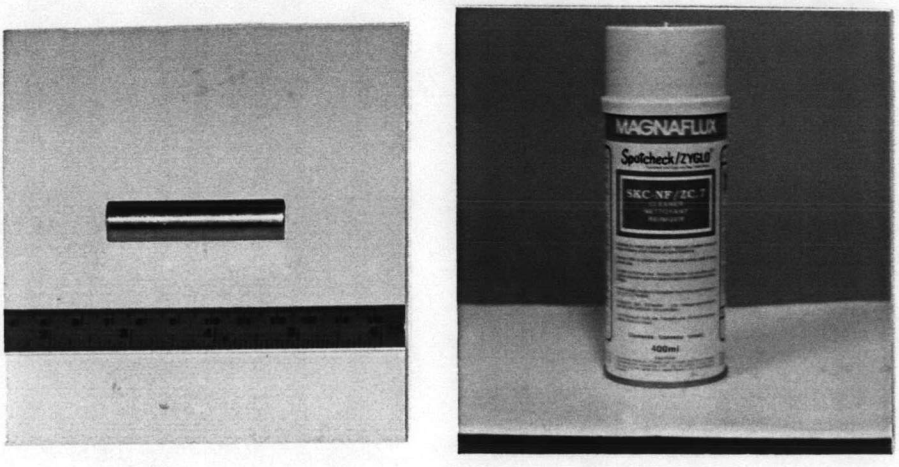


รูปที่ 4.12 แสดงกล้องไมโครสโคป

3. อุปกรณ์ช่วยเหลืออื่น ๆ

นอกเหนือจากอุปกรณ์หลัก 2 อย่างที่ได้กล่าวไปแล้ว ก็ยังมีอุปกรณ์ช่วยเหลืออื่น ๆ ได้แก่

- สลัก (รูปที่ 4.13 ก.) สำหรับยึดชิ้นงานกับ grip
- สเปรย์ทำความสะอาด (รูปที่ 4.13 ข) สำหรับทำความสะอาดผิวชิ้นงานเพื่อเพิ่มความชัดเจนในการติดตามรอยร้าว
- ไดอัลเกจ เพื่อเพิ่มความละเอียดในการวัดค่าความยาวรอยร้าว



ก) ข)

รูปที่ 4.13 แสดงอุปกรณ์ช่วยเหลือ ก) สลัก ข) สเปรย์ทำความสะอาด

วิธีการเก็บข้อมูล

ข้อมูลดิบที่ทำการบันทึกระหว่างการทดสอบ ประกอบด้วย

- จำนวนรอบของภาระที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบ, N
- ความยาวรอยร้าวด้านซ้าย, a_L และด้านขวา, a_R (หรืออาจจะเรียกว่าด้านหน้าและด้านหลังก็ได้)

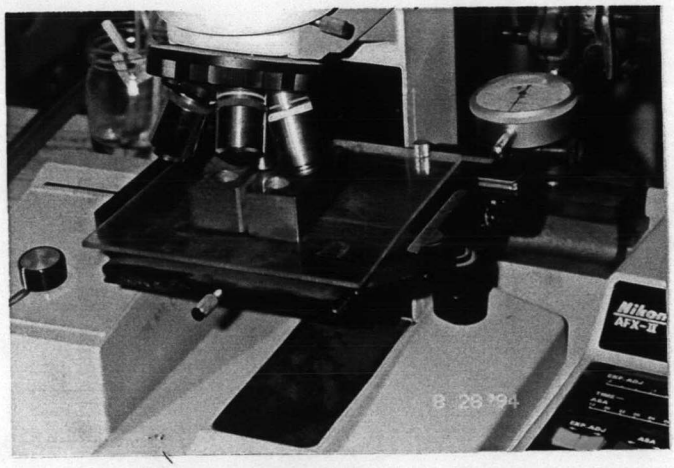
1. การอ่านค่าจำนวนรอบของภาระที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบ

จำนวนรอบของภาระที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบนั้นสามารถอ่านได้โดยตรงจากหน้าปัดแสดงผล(รูปที่ 4.8 ข)

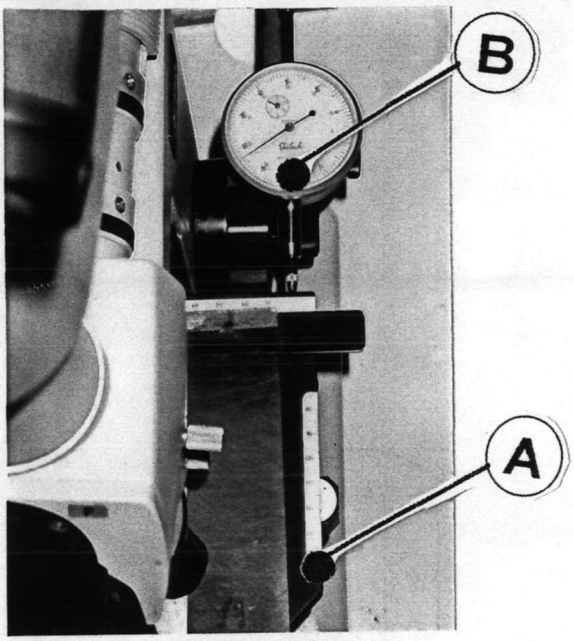
2. การวัดความยาวรอยร้าว

ผู้วิจัยเลือกใช้กำลังขยายของกล้องไมโครสโคปสำหรับส่องดูรอยร้าวเท่ากับ 400 เท่า และมีขั้นตอนในการวัดความยาวรอยร้าว ดังนี้

- หยุดการกระทำภาระต่อชิ้นงาน
- นำชิ้นงานทดสอบไปวางบนกล้องไมโครสโคปในลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.14
- เปิดสวิทช์กล้องไมโครสโคป เลื่อนสเกลศูนย์ที่เห็นในกล้องให้อยู่ ณ ปลายรอยบากพร้อมทั้งอ่านค่าตัวเลขที่ปรากฏบนสเกลเวอร์เนีย(รูปที่ 4.15 ณ ตำแหน่งที่ลูกศร A ชี้) และบันทึกค่าที่อ่าน
- ตั้งศูนย์ที่ไดเอลเกจ
- เลื่อนแท่นที่วางชิ้นงานทดสอบไปในทิศทางเข้าหาปลายรอยร้าว จนกระทั่งสเกลศูนย์ที่เห็นในกล้องอยู่ ณ ปลายรอยร้าว อ่านค่าตัวเลขที่ปรากฏบนสเกลเวอร์เนีย และบันทึกค่าที่อ่าน
- อ่านค่าตัวเลขที่ปรากฏบนไดอัลเกจ เฉพาะทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่ง และสอง (รูปที่ 4.15 ณ ตำแหน่งที่ลูกศร B ชี้)
- หาค่าผลต่างของตัวเลขจากสเกลเวอร์เนียที่บันทึกไว้ แล้วปรับค่าทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่ง และสองให้เท่ากับที่อ่านจากสเกลเวอร์เนีย (ยกตัวอย่างเช่น ผลต่างคือ 4.8 และค่าจากไดอัลเกจคือ 0.65 การปรับค่าจะได้เท่ากับ 4.65 เป็นต้น) ค่าที่ปรับแล้วจะเท่ากับความยาวรอยร้าวที่ด้านนั้น ๆ



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะการจัดวางชิ้นงานทดสอบบนแท่นเลื่อนของกล้องไมโครสโคป



รูปที่ 4.15 แสดงสเกลเวอร์เนียบนกล้องไมโครสโคป และไดอัลเกจ

ข้อควรคำนึงในการเก็บข้อมูลดิบ

ในการเก็บข้อมูลดิบนั้นมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ดังนี้

- ในขณะที่รอยร้าวเติบโตเร็วขึ้น เราจำเป็นต้องวัดความยาวรอยร้าวให้บ่อยครั้งขึ้น การลดจำนวนรอบระหว่างการวัดแต่ละครั้งควรมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด เช่น จากเดิม

150,000 รอบ ไปเป็น 75,000 รอบ และไปเป็น 30,000 รอบ เป็นต้น เพื่อลดการกระจัดกระจายของข้อมูล

- การวัดความยาวรอยร้าวถี่เกินไป(จำนวนรอบระหว่างการวัดแต่ละครั้ง) จะทำให้กราฟ dadN-ΔK มีความกระจัดกระจายมากขึ้น (Betancourt, and Matthews, 1987 ; Broek, 1989) ดังนั้นในระหว่างทำการทดสอบควรเปรียบเทียบความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้นกับค่าที่มาตราฐาน ASTM E647 แนะนำ เพื่อนำไปปรับแก้จำนวนรอบระหว่างการวัดแต่ละครั้งต่อไป อย่างไรก็ดีข้อมูลที่ถูกเก็บอย่างกระชั้นชิดเกินไปนั้นสามารถตัดทิ้งไปในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลได้

สภาวะทดสอบ

ตัวแปรที่นำมาใช้ในการกำหนดสภาวะของภาระทดสอบของงานวิจัยนี้ คือภาระสูงสุด และอัตราส่วนภาระ ด้วยเหตุผลที่ว่าภาระสูงสุดนั้นเป็นตัวกำหนดขนาดของบริเวณเสียรูปแบบพลาสติก และอัตราส่วนภาระเป็นพารามิเตอร์ไร้หน่วยที่งานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์

ตัวแปรหลักที่ถูกนำมาพิจารณาในการกำหนดสภาวะของภาระทดสอบก็คือ แอมปลิจูดภาระ ดังนี้คือ ภายในช่วงของอัตราส่วนภาระที่จะทำการศึกษาความแตกต่างของค่าแอมปลิจูดภาระสูงสุด และค่าต่ำสุดต้องไม่มากจนทำให้ต้องกำหนดความถี่ของภาระทดสอบแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงผลของความถี่อีกชั้นหนึ่งแม้จะได้กล่าวไว้ในสมมุติฐานของงานวิจัยตอนต้นว่าสามารถละเลยผลของความถี่ได้ก็ตาม(ยกตัวอย่างเช่น สำหรับงานวิจัยนี้ที่แอมปลิจูดภาระสูงสุด 1.167 ตัน ใช้ความถี่ของภาระทดสอบเท่ากับ 20 Hz และที่แอมปลิจูดภาระต่ำสุดคือ 0.160 ตัน ใช้ความถี่ของภาระทดสอบเท่ากับ 30 Hz เป็นต้น) จากการพิจารณาข้างต้นในท้ายที่สุดจะได้ขอบเขตค่าของตัวแปรที่ทำการศึกษาก็คือ อัตราส่วนภาระตั้งแต่ 0.3-0.8 และภาระสูงสุดตั้งแต่ 1.600 ตัน ถึง 4.000 ตัน

สำหรับลักษณะของภาระทดสอบ และสภาวะของภาระทดสอบต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะของภาระทดสอบของงานวิจัยนี้

รูปแบบคลื่น	ความถี่(เฮิร์ทซ์)
คลื่นรูปไซน์	20 หรือ 30

ตารางที่ 4.2 แสดงสภาวะทดสอบที่ทำการศึกษา

R	ภาระสูงสุด(ตัน)	1.600	2.000	2.353	2.667	3.333	4.000
0.3	ภาระเฉลี่ย	1.040				2.166*	
	แอมปลิจูดภาระ	0.560				1.167*	
0.5	ภาระเฉลี่ย	1.200	1.500		2.000	2.500	3.000*
	แอมปลิจูดภาระ	0.400	0.500		0.667	0.833	1.000*
0.7	ภาระเฉลี่ย	1.360		2.000		2.833	
	แอมปลิจูดภาระ	0.240		0.353		0.500	
0.8	ภาระเฉลี่ย	1.440				3.000	
	แอมปลิจูดภาระ	0.160				0.333	

* การทดสอบกระทำที่ความถี่ของภาระทดสอบเท่ากับ 20 Hz

รายละเอียดของการทดสอบ

การทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าของงานวิจัยนี้ยึดตามมาตราฐาน ASTM E647-93 โดยปฏิบัติตามค่าแนะนำต่าง ๆ ซึ่งแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 5.3 ของบทที่ 3 สำหรับในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนการปฏิบัติการที่ผู้วิจัยยึดตลอดช่วงการทดสอบ

การทดสอบจะเริ่มต้นด้วยการสร้างรอยร้าวก่อนหน้าที่สภาวะของภาระเท่ากับ 1.900$\pm$0.600 ตัน จนกระทั่งเกิดรอยร้าวขนาดเล็กขึ้น(สั้นกว่า 1 มม.) จากนั้นพิจารณาว่าสภาวะทดสอบที่จะทดสอบมีค่าภาระสูงสุดมากกว่าภาระสูงสุดที่ใช้สร้างรอยร้าวก่อนหน้าหรือไม่ ถ้าไม่มากกว่าจะต้องทำการลดภาระลงจนสภาวะของภาระเท่ากับสภาวะของภาระทดสอบ และรอยร้าวมีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 3 มม. จึงทำการสร้างรอยร้าวให้ยาวต่อไปด้วยสภาวะของภาระเดียวกับสภาวะของภาระทดสอบต่อไปอีกเป็นระยะทางหนึ่ง และเริ่มเก็บข้อมูล ส่วนในกรณีที่มากกว่าจะใช้สภาวะของภาระทดสอบสร้างรอยร้าวต่อไปจากรอยร้าวขนาดเล็กจนกระทั่งได้ความยาวมากกว่า 3 มม.จึงเริ่มทำการเก็บข้อมูล สำหรับการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าวจะเป็นการทดสอบแบบเพิ่ม K(K-increasing) เนื่องจากสภาวะของภาระจะคงที่(load control) ทำให้ค่าพิสัยความเข้มของความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอยร้าวยาวขึ้น จนกระทั่งอัตราการเติบโตของรอยร้าวมากกว่าหรือเท่ากับ 10^{-3} มม./รอบ จึงยุติการทดสอบ