

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมชิ้นงานในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการตัดเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ K460 (1.2510) ค่าความแข็ง 59 HRC เป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold Die Steel) ซึ่งเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่จะนำมาใช้ในการผลิต ลักษณะเด่นคือ มีความทนต่อการสึกหรอดี มีการเปลี่ยนรูปร่างน้อย และรักษาคมตัดได้ดี รวมทั้งมีความเหนียว และความหนาแน่นสูง ความแข็งสูง เมื่อผ่านการชุบแข็ง ชุบแข็งง่าย สามารถชุบ Nitriding ได้ ทนต่อการเสียดสีได้ดี ทนต่อแรงกดอัดได้ดี และมีความเหนียว ความแกร่งพอสมควร คุณภาพสูง ทนทานการเสียดสีสูง เหมาะกับงานทำแม่พิมพ์กรรไกร แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ทำลูกรีดเกลียว ลูกรีดแป๊ป ไบมีดตัดเหล็กแผ่นบาง ไบมีดตัดกระดาษ ดอกตัดปั๊ม คัทเตอร์กัดไม้ คัทเตอร์กัดเฟือง เหมาะกับงานทำแม่พิมพ์กรรไกรที่ต้องการความแม่นยำสูง

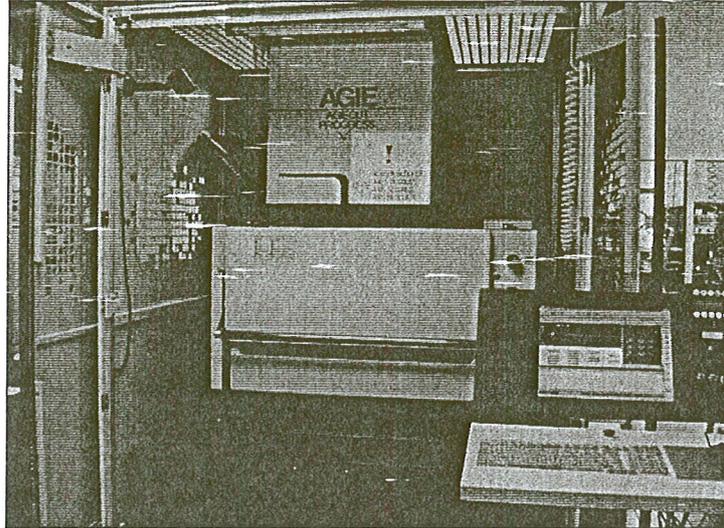
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ K460

ส่วนผสมทางเคมี (%)					
C	Cr	W	Si	Mn	V
0.95	0.55	0.55	0.25	1.10	0.10

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีขนาด (กว้าง×ยาว×หนา) 95×150×20 มิลลิเมตร และทำการเจียรระโนผิวเพื่อให้ได้ผิวชิ้นงานที่มีความเรียบ

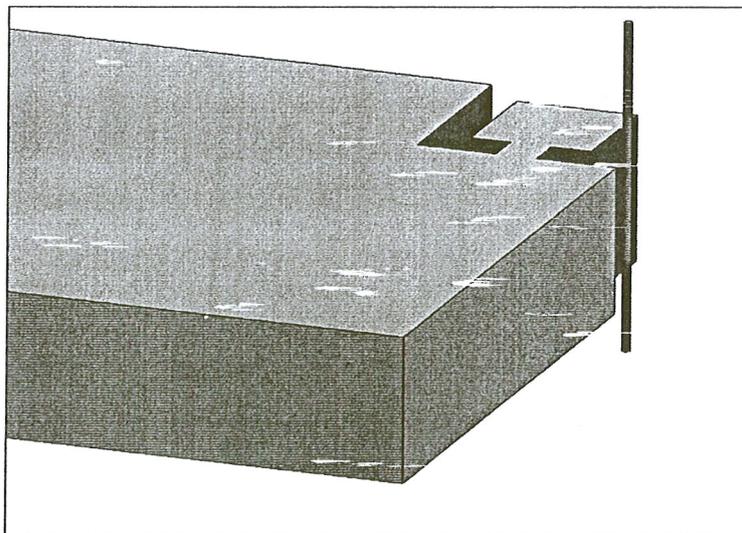
3.2 การตัดชิ้นงาน

ใช้เครื่องจักรในการทดลอง ผลิตโดย AGIE CHARMILLES รุ่น Agie Cut Progress V2 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่อง CNC Wire Cut EDM

เส้นลวดที่ใช้ในการตัดชิ้นงานเป็นลวด Cobra Cut มีส่วนผสมของทองแดง (Cu) และเคลือบด้วยสังกะสี (Zn) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.150 มิลลิเมตร และทำการตัดชิ้นงานให้มีขนาด (กว้าง×ยาว×หนา) 5×5×20 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 รูปแบบของการตัดชิ้นงานทดลอง

3.3 การแบ่งส่วนการวิจัย

3.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของการตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 2 (Trim cut 2) โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลองอยู่ 2 ปัจจัย คือ เวลาในการสปาร์คของเส้นลวดกับชิ้นงาน (Pulse on Time: Ton) และ แรงแดันไฟฟ้าในการสปาร์ค (Discharge power: P) โดยอาศัยวิธีการออกแบบการทดลอง Full Factorial Design (3^k)

3.3.2 การทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของการตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim cut 3) โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลองอยู่ 3 ปัจจัย คือ ความเร็วในการตัดชิ้นงาน (Cutting Speed: CS) กระแสที่ใช้ในการตัด (Discharge current: IP) และ ระยะห่างระหว่างเส้นลวดกับชิ้นงาน (Path corrections: Offset) โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM)

3.4 การกำหนดปัจจัย ระดับของปัจจัย และ ค่าตอบสนองที่เลือกใช้ในการวิจัย

3.4.1 การกำหนดปัจจัย

3.4.1.1 กระแสที่ใช้ในการตัด (IP) มีค่า 1, 2 และ 3 แอมแปร์ (A)

3.4.1.2 ความเร็วในการตัดชิ้นงานมีค่าอยู่ในช่วง 3.5, 4.5 และ 5.5 mm/min.

3.4.1.3 เวลาการสปาร์คของเส้นลวดกับชิ้นงาน (Ton) อยู่ในช่วง 18, 19 และ 20 μ s.

3.4.1.4 แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์ค (P) มีค่า 53, 55 และ 57 โวลต์ (V)

3.4.1.5 ระยะห่างระหว่างเส้นลวดกับชิ้นงาน (Offset) มีค่า 770, 780 และ 790 μ m.

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

กระบวนการตัด	ปัจจัย				
	Cutting Speed (mm/min)	IP (A)	Ton (μ s.)	P (V.)	Offset (μ m.)
Main cut	2.5	11	32	60	1440
Trim1 cut	3.5	5	20	40	990
Trim2 cut	8.5	2	18, 19 และ 20	53, 55 และ 57	900
Trim3 cut	3.5, 4.5 และ 5.5	1, 2 และ 3	-	-	770, 780 และ 790

3.4.2 ระดับของปัจจัยที่ใช้ศึกษา

3.4.2.1 ระดับของปัจจัยที่ใช้ศึกษาการตัดชิ้นงาน ในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 2 (Trim cut 2) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการตัด โดยระดับของปัจจัยที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงระดับของปัจจัยในการตัดละเอียดครั้งที่ 2 (Trim cut 2)

ปัจจัย	ระดับ/รหัส			หน่วย
	1/-1	2/0	3/+1	
1. เวลาในการสปาร์กของ เส้นลวดกับชิ้นงาน (Ton)	18	19	20	μs
2. แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์ก (P)	53	55	57	V

3.4.2.1 ระดับของปัจจัยที่ใช้ศึกษาการตัดชิ้นงาน ในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim cut 3) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการตัด โดยระดับของปัจจัยที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงระดับของปัจจัยในการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim cut 3)

ปัจจัย	ระดับ/รหัส			หน่วย
	1/-1	2/0	3/+1	
1. ความเร็วในการตัดชิ้นงาน (CS)	3.5	4.5	5.5	mm/min.
2. กระแสที่ใช้ในการตัด (IP)	1	2	3	A.
3. ระยะห่างระหว่างเส้นลวดกับชิ้นงาน (Offset)	770	780	790	μm.

3.4.2 ค่าตอบสนองที่เลือกใช้

ค่าตอบสนองหรือผลของการศึกษาที่เลือกใช้นี้ เนื่องจากการตัดชิ้นงานที่ต้องการค่าความละเอียดผิวของชิ้นงานที่สูง และการควบคุมขนาดของชิ้นงาน ให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนด ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้กำหนดค่าตอบสนองหรือผลของการศึกษาดังนี้

3.4.2.1 ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน (Ra) ในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 2 (Trim cut 2) เท่ากับ $1.00 \mu\text{m} \pm 0.050 \mu\text{m}$ หรือเลือกตัวแปรการตัดที่ให้ค่าความหยาบของผิวที่น้อยที่สุด และขนาดของชิ้นงาน (กว้าง×ยาว) เท่ากับ 5.010×5.010 มิลลิเมตร ± 0.002 มิลลิเมตร

3.4.2.2 ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน (Ra) ในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim cut 3) เท่ากับ $0.30 \mu\text{m} \pm 0.030 \mu\text{m}$ หรือเลือกตัวแปรการตัดที่ให้ค่าความหยาบของผิวที่น้อยที่สุด และขนาดของชิ้นงาน กว้าง×ยาว เท่ากับ 5.000×5.000 มิลลิเมตร ± 0.002 มิลลิเมตร

3.5 การออกแบบการทดลอง

3.5.1 การออกแบบการทดลองของการตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 2 (Trim cut 2) โดยในการศึกษานี้ใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล แบบ 3^k เมื่อ k คือ

จำนวนตัวแปรป้อนเข้าหรือในการทดลองนี้ คือ ตัวแปรการตัด ซึ่งในการทดลองนี้มีตัวแปรการตัดอยู่ 2 ตัวแปรด้วยกันคือ ระยะเวลาในการสปาร์คของเส้นลวดกับชิ้นงาน Pulse on Time (Ton) และแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์ค Power of discharge (P) ซึ่งตัวแปรป้อนเข้าและระดับของตัวแปรป้อนเข้าที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แสดงในตารางที่ 3.3 ส่วนลักษณะเฉพาะของการตัดที่ศึกษาได้แก่ ความหยาบผิว และ ขนาดของชิ้นงาน ซึ่งความหยาบผิวของชิ้นงานต้องการให้น้อยที่สุดและขนาดของชิ้นงานต้องการให้ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการมากที่สุด ในการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ที่มีตัวแปรในการทดลอง 2 ตัวแปร ซึ่งแต่ละตัวแปรจะมี 3 ระดับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และได้กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้งสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองในการศึกษานี้จะมีจำนวนเท่ากับ 27 การทดลอง ดังแสดงการออกแบบการทดลองในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงการออกแบบตารางการทดลองเบื้องต้นของการตัดละเอียดครั้งที่ 2

(Trim cut 2)

Std. Order	Run Order	Ton	P	Replicate 1		Replicate 2		Replicate 3	
				Ra (μm)	Dim. (mm.)	Ra (μm)	Dim. (mm.)	Ra (μm)	Dim. (mm.)
9	1	1	1						
1	2	-1	-1						
3	3	-1	1						
7	4	1	-1						
6	5	0	1						
8	6	1	0						
4	7	0	-1						
5	8	0	0						
2	9	-1	0						

3.5.2 การออกแบบการทดลองของการตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim cut 3) โดยในการศึกษานี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM) โดยการใช้ตัวแบบการทดลองของ Box-Behnken Design ซึ่งในการทดลองนี้มีตัวแปรการตัดอยู่ 3 ตัวแปรด้วยกัน ได้แก่ ความเร็วในการตัดชิ้นงาน (CS) กระแสที่ใช้ในการตัด (IP) และ ระยะห่างระหว่างเส้นลวดกับชิ้นงาน (Offset) ซึ่งตัวแปรป้อนเข้าและระดับของตัวแปรป้อนเข้าที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แสดงในตารางที่ 3.4 ส่วนลักษณะเฉพาะของการตัดที่ศึกษาได้แก่ ความหยาบผิว และ ขนาดของชิ้นงาน ซึ่งความหยาบผิว

ของชิ้นงานต้องการให้น้อยที่สุดและขนาดของชิ้นงานต้องการให้ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการมากที่สุด ในการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ ที่มีตัวแปรในการทดลอง 3 ตัวแปร ซึ่งแต่ละตัวแปรมี 3 ระดับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และได้กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้งสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองในการศึกษานี้จะมีจำนวนเท่ากับ 45 การทดลอง ดังแสดงการออกแบบการทดลองในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงการออกแบบตารางการทดลองเบื้องต้นของการตัดละเอียดครั้งที่ 3

(Trim cut 3)

Std. Order	Run Order	CS	IP	Offset	Replicate 1		Replicate 2		Replicate 3	
					Ra (μm)	Dim. (mm)	Ra (μm)	Dim. (mm)	Ra (μm)	Dim. (mm)
3	1	-1	1	0						
1	2	-1	-1	0						
10	3	0	1	-1						
8	4	1	0	1						
6	5	1	0	-1						
12	6	0	1	1						
9	7	0	-1	-1						
7	8	-1	0	1						
14	9	0	0	0						
13	10	0	0	0						
4	11	1	1	0						
15	12	0	0	0						
2	13	1	-1	0						
5	14	-1	0	-1						
11	15	0	-1	1						

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลอง (จากตารางที่ 3.5) ของการตัดละเอียดครั้งที่ 2
(Trim cut 2)

Std. Order	Run Order	Ton	P	Replicate 1		Replicate 2		Replicate 3	
				Ra	Dim.	Ra	Dim.	Ra	Dim.
				(μm)	(mm)	(μm)	(mm)	(μm)	(mm)
9	1	20	57	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001
1	2	18	53						
3	3	18	57						
7	4	20	53						
6	5	19	57						
8	6	20	55						
4	7	19	53						
5	8	19	55						
2	9	18	55						

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลอง (จากตารางที่ 3.6) ของการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim
cut 3)

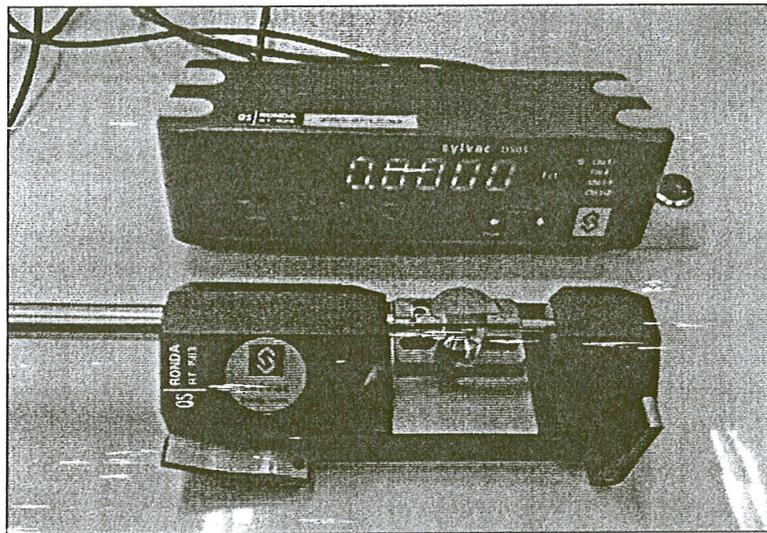
Std. Order	Run Order	CS	IP	Offset	Replicate 1		Replicate 2		Replicate 3	
					Ra	Dim.	Ra	Dim.	Ra	Dim.
					(μm)	(mm)	(μm)	(mm)	(μm)	(mm)
3	1	3.5	3	780						
1	2	3.5	1	780						
10	3	4.5	3	770						
8	4	5.5	2	790						
6	5	5.5	2	770						
12	6	4.5	3	790						
9	7	4.5	1	770						
7	8	3.5	2	790						
14	9	4.5	2	780						
13	10	4.5	2	780						
4	11	5.5	3	780						
15	12	4.5	2	780						

ตารางที่ 3.8 (ต่อ) ตารางแสดงข้อมูลการทดลอง (จากตารางที่ 3.6) ของการตัดละเอียดครั้งที่ 3 (Trim cut 3)

Std.	Run	CS	IP	Offset	Replicate 1		Replicate 2		Replicate 3	
					Ra	Dim.	Ra	Dim.	Ra	Dim.
Order	Order				(μm)	(mm)	(μm)	(mm)	(μm)	(mm)
2	13	5.5	1	780						
5	14	3.5	2	770						
11	15	4.5	1	790						

3.5 การวัดขนาดของชิ้นงาน

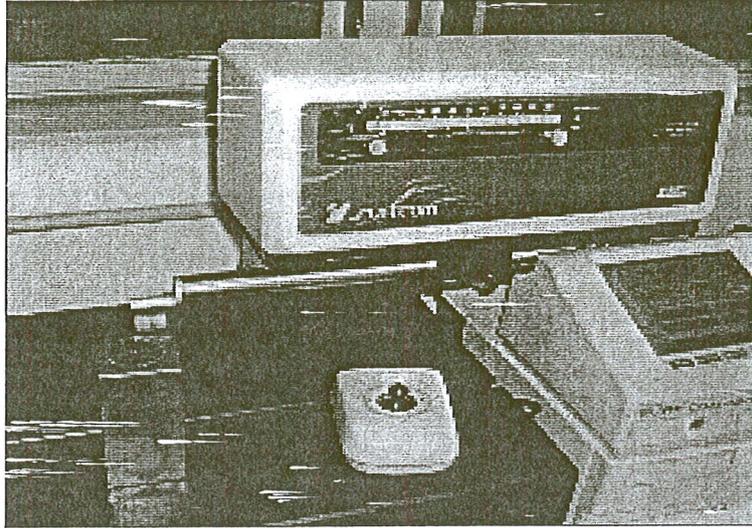
โดยใช้ ไมโครมิเตอร์วัดขนาดชิ้นงาน แบบดิจิทัล ของ Syllac รุ่น D505 มีหน่วยการวัดเป็นมิลลิเมตร และสามารถปรับทศนิยมการวัดได้ 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดขนาดชิ้นงาน

3.6 การวัดความหยาบผิว Surface Roughness (Ra)

หลังจากตัดชิ้นงานตามเงื่อนไขทั้งหมดแล้ว นำชิ้นงานไปวัดค่า Surface Roughness (Ra) โดยใช้เครื่อง SURFCOM 480A ของ TOKYO SEIMITSU โดยทำการวัดค่า (Ra) ที่ตำแหน่งผิวของชิ้นงานตามแนวการตัด โดยใช้ Stroke เท่ากับ 2 mm ความเร็วในการวัดเท่ากับ 0.3 mm/s และ Cut-off Length เท่ากับ 0.80 mm. แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหยาบผิว

3.7 การเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบ โครงสร้างระดับจุลภาคมีจุดมุ่งหมายเพื่อสังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของชิ้นสารประกอบเชิง โลหะบริเวณผิวชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยเครื่อง Wire EDM และความหนาของชิ้นสารประกอบเชิง โลหะที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยในการทดลองซึ่งมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของวัสดุชิ้นงาน ตลอดจนสังเกตถึงจุดบกพร่องต่างๆของวัสดุชิ้นงาน ที่ไม่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายมากๆ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.7.1 นำชิ้นงานมาทำการตัดมุมเอียง 20 องศา ด้วยเครื่องตัดแบบแรง โนม์ถ่วง ดังรูปที่ 3.4 เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการวัดความหนาของชิ้นสารประกอบเชิง โลหะ เนื่องจากระนาบที่เอียง 20 องศา จะขยายให้ชิ้นบางมีความหนาเพิ่มขึ้นถึง 2.92 เท่า และนำตัวอย่างที่ผ่านการตัด ดังรูปที่ 3.5 มาทำความสะอาดพื้นผิวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ผสมกับน้ำ (H₂O) ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และทำความสะอาดในเอทานอล (Ethanol) โดยปล่อยให้แห้งในอากาศ เพื่อให้มีพื้นที่ในการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคมากขึ้น ซึ่งจำนวนตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบ โครงสร้างระดับจุลภาค มีดังนี้

3.7.1.1 วัสดุชิ้นงาน (Material) ก่อนตัดด้วยเครื่อง Wire EDM 1 ชิ้น

3.7.1.2 วัสดุชิ้นงานที่ผ่านการตัดหยาบ ด้วยเครื่อง Wire EDM 1 ชิ้น

3.7.1.3 วัสดุชิ้นงานที่ผ่านการตัดละเอียดครั้งที่หนึ่ง (Trim cut 1) ด้วยเครื่อง Wire EDM 1 ชิ้น

3.7.1.4 วัสดุชิ้นงานที่ผ่านการตัดละเอียดครั้งที่สอง (Trim cut 2) ด้วยเครื่อง Wire EDM 1 ชิ้น

3.7.1.5 วัสดุชิ้นงานที่ผ่านการตัดละเอียดครั้งที่สาม (Trim cut 3) ด้วยเครื่อง Wire EDM 8 ชั้น

3.7.2 ทำตัวเรือนขึ้นทดสอบโดยอัดด้วยเรซินแบบ Cold mounting ดังรูปที่ 3.6

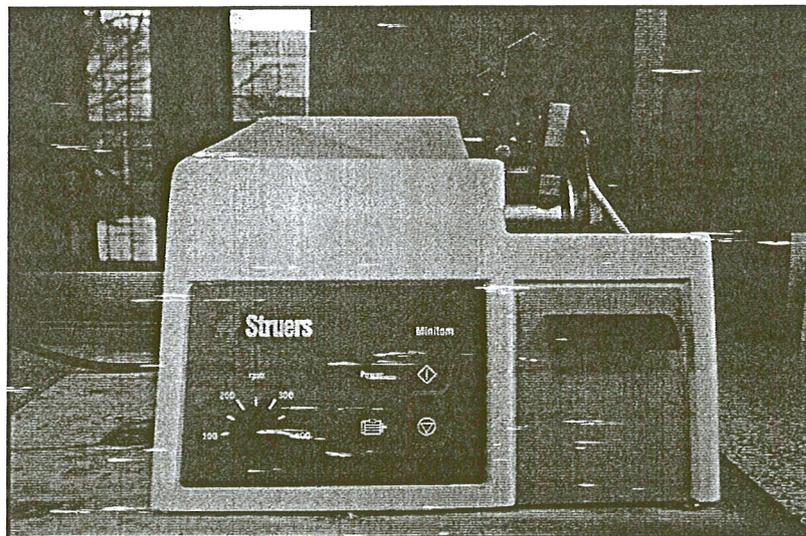
3.7.3 ขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1,000, 1,200, 1500, 2000 ตามลำดับ

3.7.4 ขัดมัน (Polishing) ด้วยลือขัดแผ่นสั๊กทลาดจานหมุน โดยใช้ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)

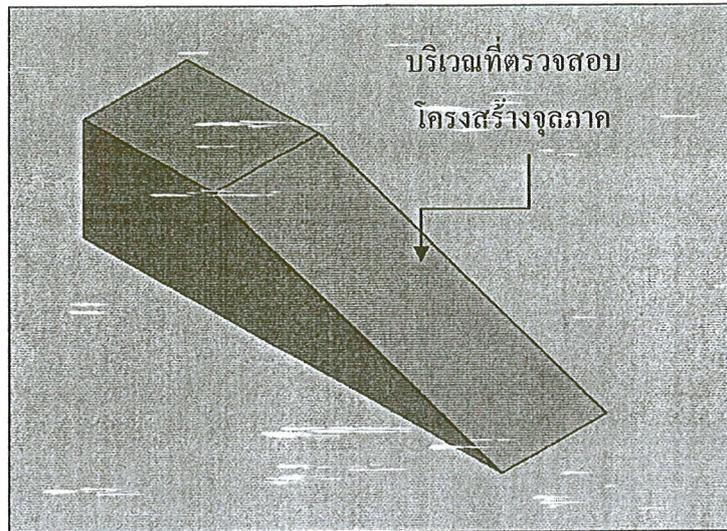
3.7.5 ทำความสะอาดแล้วจึงกัดกรด (Etching) ด้วยกรดไนตริก (Nitric Acid) โดยมีส่วนผสมของกรดไนตริก (HNO_3) 2 เปอร์เซ็นต์ (2 มิลลิลิตร) และ เมทิลแอลกอฮอล์ 98 เปอร์เซ็นต์ (98 มิลลิลิตร) กลุ่มชิ้นงานตรวจสอบนาน 10-30 วินาที เพื่อเปิดโครงสร้างเหล็กกล้าและล้างน้ำไหลอีกครั้ง

3.7.6 เช็ดผิวหน้าด้วยแอลกอฮอล์และเป่าลมร้อนให้แห้ง

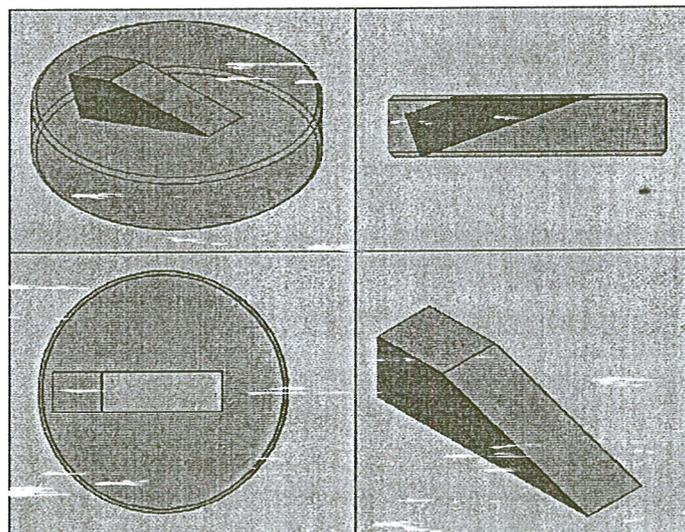
3.7.7 ตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคและวัดขนาดชั้นสารประกอบเชิงโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์และถ่ายภาพโครงสร้าง



รูปที่ 3.4 เครื่องตัดแบบแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 3.5 บริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและวัดขนาดชั้นสารประกอบเชิงโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์และถ่ายภาพโครงสร้าง

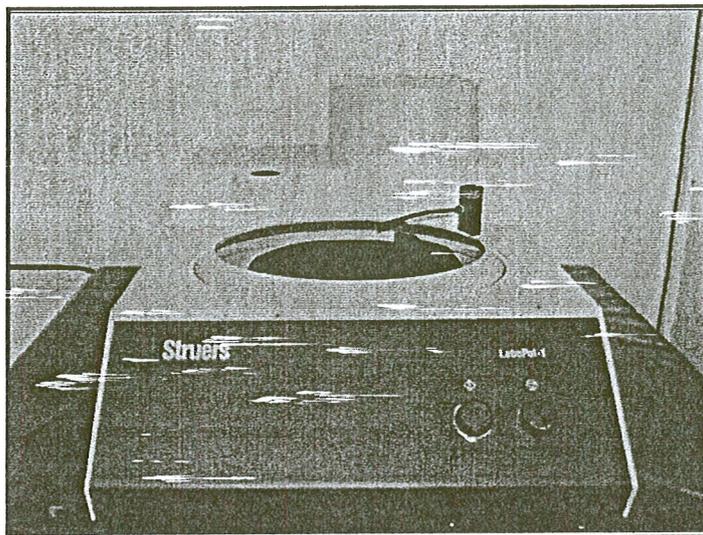


รูปที่ 3.6 ลักษณะการทำตัวเรือนด้วยเรซินแบบ Cold mounting

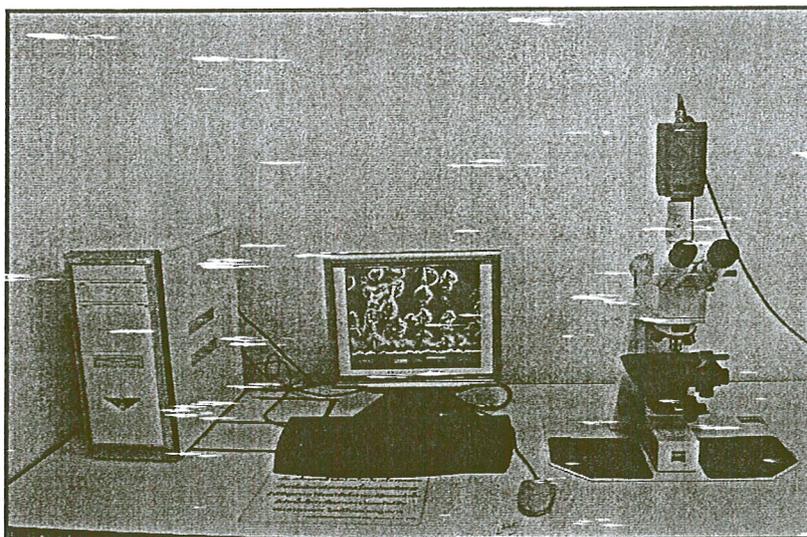
3.8 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

ในเบื้องต้นจะทำการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้าง การกระจายตัว รวมถึงลักษณะและขนาดของเกรน เนื่องจากโครงสร้างจุลภาคเหล่านั้นส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่อบัดกรี โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการหล่อเรซินแล้วไปขัดด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดตั้งแต่เบอร์ 600, 800, 1,000, 1,200, 1500, 2000 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงทำการขัดโดยใช้ผงอะลูมินา (Al_2O_3) ขนาด 1.0 และ 0.3 ไมครอน บน

สกัดผลึกโดยใช้เครื่องขัดยี่ห้อ Struers รุ่น LaboPol-1 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 แล้วจึงทำการกัดผิวหน้าชิ้นงาน (Etching) ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วย 98 % Ethanol: 2 % Nitric แล้วจึงนำไปตรวจดูโครงสร้างด้วยกล้อง Optical microscope ยี่ห้อ Zeiss รุ่น Axiolab ซึ่งมีกำลังขยายสูงสุดอยู่ที่ 500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 เครื่องขัดชิ้นงาน

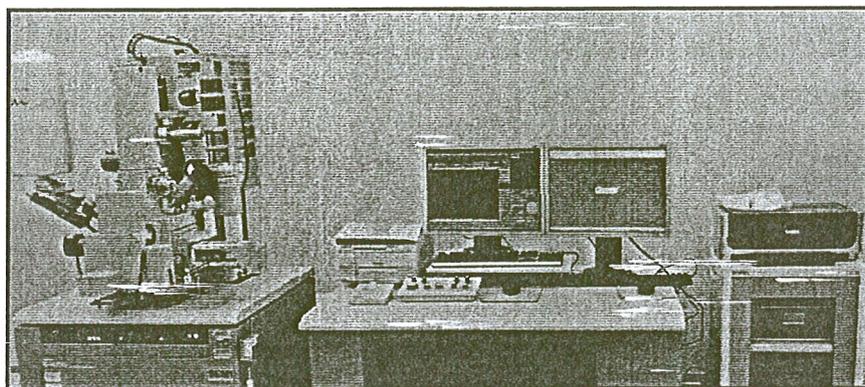


รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

3.9 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี

ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมีจะทำการศึกษาโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น S-4700 เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค ดัง

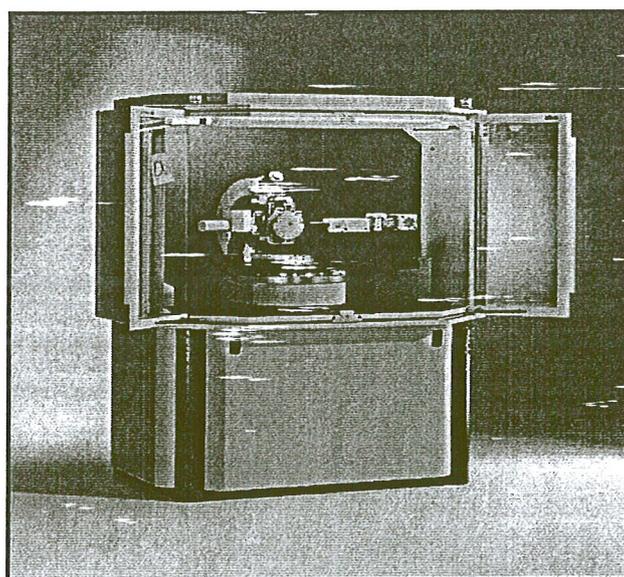
แสดงในรูปที่ 3.9 และใช้ Energy dispersive X-ray (EDX) ยี่ห้อ IXRF SYSTEMS รุ่น Sphinx 130 S-4700 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

3.10 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก

ในการศึกษาเฟสและตัวแปร โครงผลึกของชิ้นสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Discover ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ในการตรวจสอบใช้ความต่างศักย์ 40 kV, กระแสไฟฟ้า 40 mA, ความเร็วในการสแกน 0.2 นาที ต่อ 0.02° กับมุมการเลี้ยวเบน 2θ ในช่วงความยาวคลื่น $25-75^\circ$



รูปที่ 3.10 เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์