บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานทดลองวิจัย

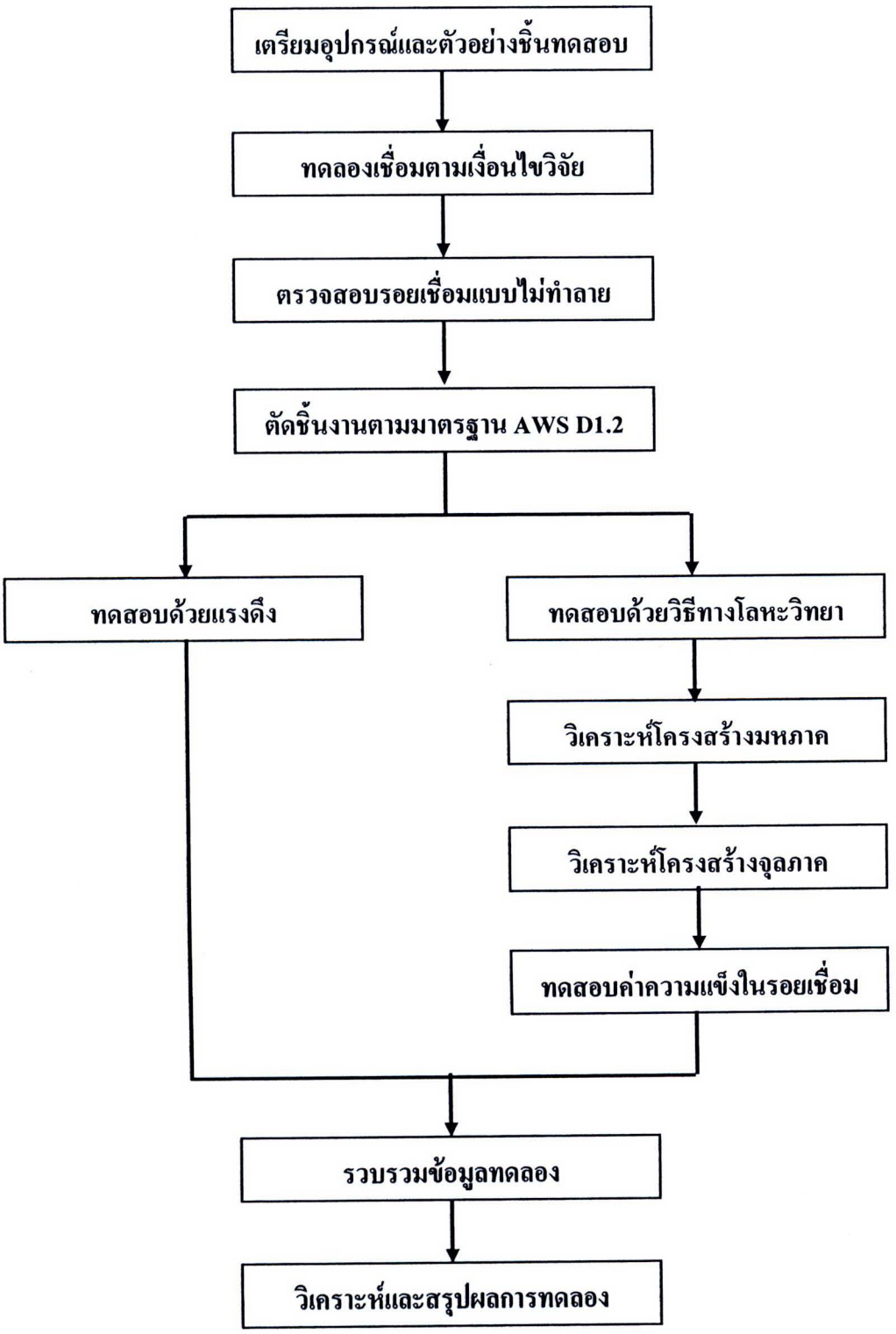
การดำเนินงานวิจัย เป็นขั้นตอนเชิงปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ผลการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงขบวนการและขั้นตอนในการปฏิบัติการวิจัย (แสดงตามรูปที่ 3-1) ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเพื่อกำหนดชิ้นงานทดสอบ และการเตรียมอุปกรณ์ปรับปรุงเครื่องจักรสำหรับการทดลอง จนถึงการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน สำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยา เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลการทดลองวิจัย ตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตตามที่วางไว้ในเบื้องต้น ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมอุปกรณ์ประกอบการวิจัย

เป็นการเตรียมงานในเบื้องต้น เพื่อให้สามารถดำเนินงานวิจัย ไปตามลำดับขั้นตอนที่ต้องทำก่อนหรือหลังตลอดโครงการ ซึ่งในการเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลอง มีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 กำหนดเงื่อนไขการทดลอง เงื่อนไขการทดลองวิจัยนี้จะ กำหนดมุมเอียงหัวกดเชื่อมที่มุม 2.5 องศา และกำหนดตัวแปรที่สำคัญอื่นๆ ในการทดลองได้แก่ กำหนดลักษณะหัวกดเชื่อมที่มีลักษณะรูปทรงของสลักแกนหมุนกวนแตกต่างกันสองแบบ คือ แบบทรงกระบอกผิวเรียบปลายมน และ แบบทรงกระบอกผิวเกลียวปลายตัด ซึ่งหัวกดเชื่อมแต่ละแบบจะทำการทดลองที่ความเร็วรอบ (rotational speed) ในการหมุนหัวกดเชื่อมสองระดับเหมือนกัน คือ ความเร็วรอบ 950 และ 1,180 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราเร็วในการปรับตั้งหัวจับเครื่องมือตัด (spindle speed) ของเครื่องกัดโลหะแกนตั้งที่ปรับความเร็วด้วยระบบเกียร์

ในการทดลองแต่ละเงื่อนไขความเร็วรอบจะกำหนดตัวแปร ด้วยค่าความเร็วในการเชื่อม (welding speed) หรือความเร็วในการเลื่อนชิ้นงาน สามระดับความเร็ว ได้แก่ 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราเร็วเคลื่อนที่ของโต๊ะงานเครื่องกัด ที่ใช้ในการป้อนความเร็วชิ้นงาน (worktable travel) ของเครื่องกัดโลหะแกนตั้ง ที่ปรับความเร็วด้วยระบบเกียร์ โดยสามารถสรุปเงื่อนไขการทดลองได้เป็นตารางการทดลอง (แสดงตามตารางที่ 3-1)



รูป 3.1 แสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ตาราง 3-1 เงื่อนไขการดำเนินงานทดลอง

ความเร็วเชื่อม (mm/min)	สลักแกนหมุนกวนผิวเรียบปลายโค้งมน						สลักแกนหมุนกวนผิวเกลียวปลายตัด					
	ความเร็วรอบ 950(rpm)			ความเร็วรอบ 1180(rpm)			ความเร็วรอบ 950(rpm)			ความเร็วรอบ 1180(rpm)		
475	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
600	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
750	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

หมายเหตุ : 1-3 หมายถึงทำการทดลองซ้ำสามครั้ง

3.1.2 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ จากการศึกษาข้อมูลประเด็นปัญหาที่น่าสนใจในเบื้องต้น ตามวัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย วัสดุที่มาเป็นตัวอย่างได้แก่ อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 และได้ดำเนินการจัดหาผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมรูปพรรณเชิงพาณิชย์ของ Alcan Aluminum Valais SA ซึ่งเป็นอะลูมิเนียมเกรด 6061-T651 มีรายละเอียดของวัสดุตามใบรับรองการผลิต (inspection certificate) โดยมีคุณสมบัติทางกล (แสดงตามตารางที่ 3-2) และส่วนผสมทางเคมี (แสดงตามตารางที่ 3-3) ของอะลูมิเนียมรูปพรรณตัวอย่างที่จำหน่าย (แสดงในภาคผนวก ข) เทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐาน

ตาราง 3-2 เปรียบเทียบสมบัติทางกลอะลูมิเนียม 6061-T6 มาตรฐานกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

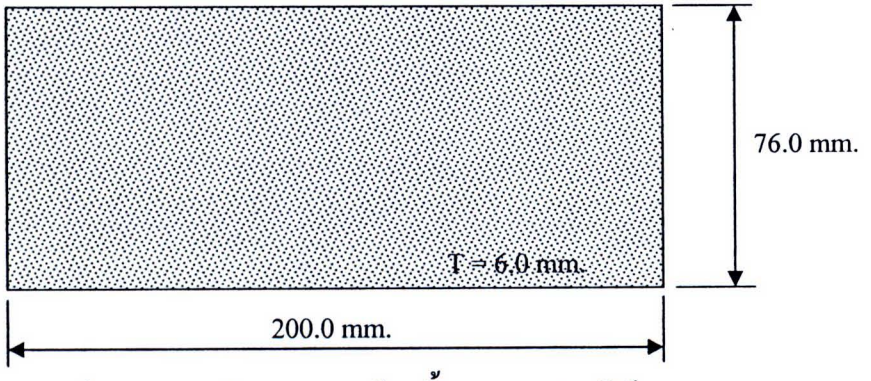
ข้อกำหนดการทดสอบ	ความต้านทานแรงดึง	ความเค้นคราก	ความยืดตัว	ความแข็ง
	(MPa)	(Mpa)	(%)	(HB)
มาตรฐาน	≥290	≥240	≥10	-
ตัวอย่าง	310	279	16	102

ตาราง 3-3 เปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีอะลูมิเนียม 6061-T6 มาตรฐานกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ธาตุผสม (wt%)		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
มาตรฐาน	Min	0.40		0.15		0.80	0.04			
	Max	0.80	0.70	0.40	0.15	1.2	0.35	0.05	0.25	0.15
ตัวอย่าง		0.62	0.41	0.25	0.08	0.95	0.20	0.0045	0.01	0.022

อะลูมิเนียมผสมรูปพรรณตัวอย่างมีขนาดความหนา 6 .0 มิลลิเมตร มีความกว้าง 76.0 มิลลิเมตร ความยาว 1,220.0 มิลลิเมตร ทำการเตรียมตัวอย่างชิ้นทดสอบ โดยการตัดตามยาวให้มีขนาด ชิ้นละ 200.0 มิลลิเมตรจำนวน 72 ชิ้น ตามเงื่อนไขการทดลอง ในการทดลอง 36 ตัวอย่าง

การตัดแผ่นอะลูมิเนียมผสมตัวอย่าง (แสดงตามรูปที่ 3-2) จะเน้นความแม่นยำตามขนาดกำหนด เพราะทุกชิ้นงานที่เตรียมได้จะนำไปใส่อุปกรณ์จับยึด ดังนั้นจะต้องทำการตัดให้มีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดความหนาของชิ้นงานจะถูกใช้ ในการคำนวณออกแบบขนาดของหัวกดเชื่อม โดยเฉพาะส่วนบ่าให้ความร้อนและความยาวของสลักแกนหมุนกวน



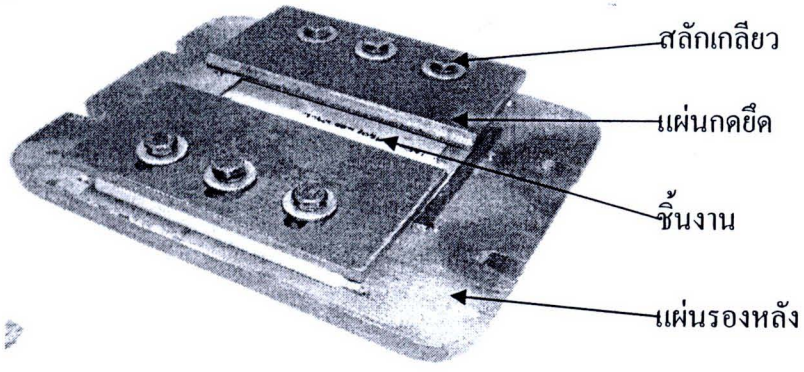
รูป 3-2 ขนาดกำหนดการเตรียมชิ้นทดสอบอะลูมิเนียม

3.2 การสร้างอุปกรณ์ประกอบทดลอง

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย โดยการพัฒนาเครื่องกัดโลหะแกนตั้งชนิดที่ควบคุมการทำงาน ด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติที่มีใช้งานอยู่ เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับงานเชื่อมด้วยเทคนิคเสียดทานแบบกวน ซึ่งโดยปกติในการเชื่อมแบบนี้จะต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการเชื่อม เพื่อติดตั้งเพิ่มเติมเข้ากับเครื่องจักร และต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานแต่ละแบบทุกครั้ง ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ก็เช่นเดียวกัน ได้มีการสร้างอุปกรณ์จับยึดสำหรับชิ้นทดสอบ และอุปกรณ์อื่นๆ ติดตั้งเพิ่มเติมเข้ากับเครื่องกัดโลหะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

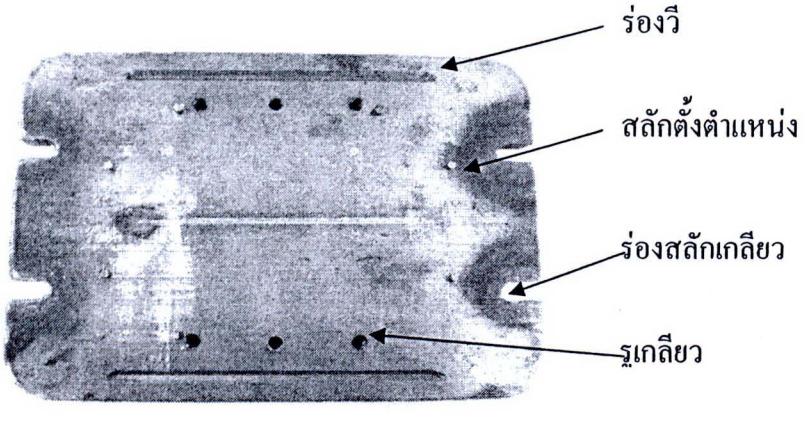
3.2.1 การประดิษฐ์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เป็นอุปกรณ์เบื้องต้นสำหรับการเชื่อมด้วยเทคนิคเสียดทานแบบกวน (แสดงตามรูปที่ 3-3) ไม่ว่าจะใช้เครื่องมือระบบใดก็ตาม ชุดอุปกรณ์จะต้องสัมพันธ์กับขนาดของโต๊ะติดตั้งงานของเครื่องจักร และขนาดกำหนดความโตและความยาวของหัวกดเชื่อม ที่สำคัญต้องจับยึดชิ้นงานได้สามแนวแกน บางกรณีอาจต้องใส่ระบบปรับแบบรวดเร็ว ให้ขอบชิ้นงานต่อชนหรือสัมผัสกันได้อย่างสนิท ไม่ขยับออกจากกันในขณะทำการเชื่อม โดยมีส่วนประกอบหลักๆ สามส่วนด้วยกัน คือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูป 3-3 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

1) แผ่นรองหลังชิ้นงาน สร้างจากแผ่นเหล็กเหนียวขนาดหนา 20.0 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 250.0 มิลลิเมตร เท่ากับความกว้างของโต๊ะงานของเครื่องกัดโลหะ ขนาดความยาว 320.0 มิลลิเมตร ทำการปรับผิวหน้าด้านล่างและด้านบนให้เรียบด้วยเครื่องไสหรือเครื่องกัดปาดหน้าให้ได้ระนาบขนานกันโดยตลอด เพราะผิวหน้าด้านล่างต้องวางบนโต๊ะงานเครื่องกัด ส่วนผิวหน้าด้านบนต้องวางชิ้นงานเชื่อม (แสดงตามรูปที่ 3-4) ดังนั้นเมื่อยึดชิ้นงานแล้วผิวหน้าจะต้องขนานกับหัวกดเชื่อม บริเวณด้านข้างทำร่องสำหรับยึดด้วยสลักเกลียวเข้ากับโต๊ะงานนอกจากนี้แล้วด้านข้างๆ พื้นที่วางชิ้นงานทดสอบ ยังเจาะรูตัดเกลียว สำหรับปรับแผ่นกดชิ้นงาน และริมขอบด้านยาว กัดร่องตัววีสำหรับวางแท่งรองรับแผ่นกดชิ้นงาน

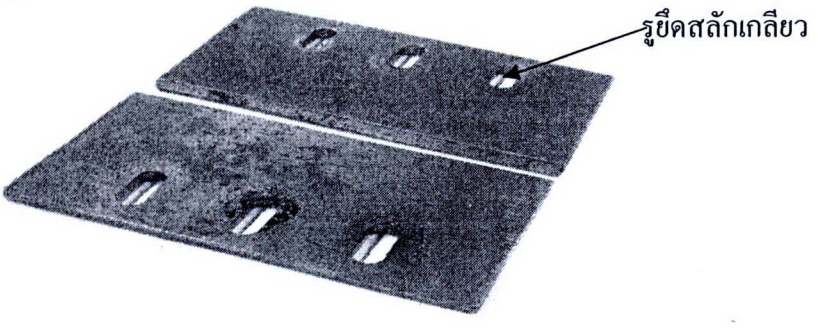


รูป 3-4 แผ่นรองหลังอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

2) สลักตั้งตำแหน่งชิ้นงาน สร้างจากเหล็กเพลากลม ขนาด 6.0 มิลลิเมตรยาว 12.0 มิลลิเมตร เจาะรูฝังสลักบนแผ่นรองหลังส่วนที่หนึ่ง (แสดงตามรูปที่ 3-4) โดยให้ขอบของชิ้นงานทดสอบอยู่ ในแนวกึ่งกลางแผ่นรองหลังทั้งสองด้าน โดยให้มีความยาวที่ยื่นออกมาจากผิวหน้าแผ่นรองหลัง สูงเท่ากับความหนาของชิ้นงาน ตำแหน่งที่ฝังสลักบนแผ่นรองหลังจะมีขนาดเท่ากับความกว้าง และความยาวของแผ่นอะลูมิเนียม ชิ้นทดสอบพอดี

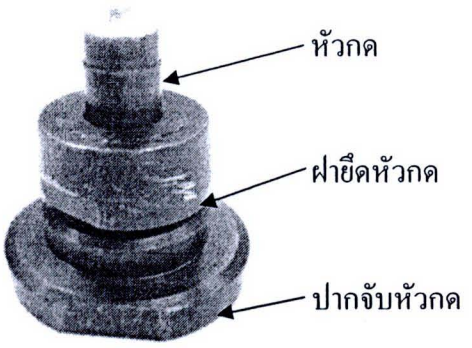
สลักตั้งตำแหน่ง ทำหน้าที่ในการรับแรงอัดขณะทำการเชื่อมรอบๆ ชิ้นทดสอบไม่ให้ขยับออก โดยเฉพาะด้านยาวของชิ้นงานทดสอบจะแยกออกจากกัน ในขณะที่สลักแกนหมุนกวนเคลื่อนแทรกตัวระหว่างการเชื่อม ซึ่งสามารถออกแบบใส่กลไกให้ด้านยาวด้านหนึ่งปรับเข้าด้วยความเร็วได้ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการเปลี่ยนชิ้นงาน

3) แผ่นกดยึดชิ้นงาน สร้างด้วยเหล็กแผ่น ที่มีความหนาขนาด 12.0 มิลลิเมตร ด้านกว้าง 100.0 มิลลิเมตร และ ด้านยาว 190.0 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3-5) ด้านยาวขอบนอกเจาะรูร่วมศูนย์กับแผ่นรองหลัง ส่วนที่หนึ่ง สำหรับร้อยสลักเกลียว ส่วนขอบด้านในเป็นขอบที่อยู่ใกล้หัวกดเชื่อมตลอดรอยต่อจะทำการลบมุมด้านบน เมื่อยึดด้วยสลักเกลียวแผ่นชิ้นงานทดสอบจะถูกกดจากด้านบนให้ติดกับแผ่นรองหลังทั้งสามส่วน เมื่อทำการประกอบเข้าด้วยกันจะได้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับติดตั้งบนโต๊ะงานเครื่องกัด



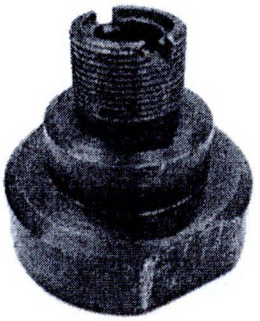
รูป 3-5 ลักษณะแผ่นกดยึดชิ้นงานที่สร้างสำเร็จ

3.2.2 ชุดหัวกดเชื่อม (Tool Pressure) เป็นชุดอุปกรณ์ ที่ต่อเข้ากับ ต้นกำลังของเครื่องกัดโลหะ (แสดงตามรูปที่ 3-6) เพื่อหมุนขับสร้างความเสียดทานให้เกิดความร้อนขึ้น ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความสะดวกในการถอดเปลี่ยนหัวกดเชื่อมได้รวดเร็ว และจับยึดหัวกดเชื่อมได้อย่างมั่นคง ในกรณีที่เครื่องกัดโลหะมีปากจับดอกกัดขนาดใหญ่ก็สามารถนำหัวกด ไปจับแทนดอกกัดได้เลย แต่ในการทดลองนี้จำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์พิเศษ และส่วนอื่นเพิ่มเติม ดังนี้



รูป 3-6 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์หัวกดเชื่อม

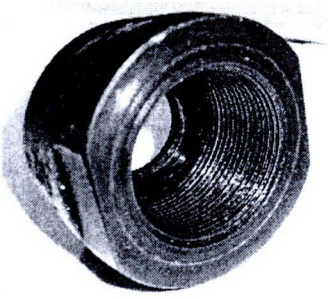
1) ปากจับหัวกดเชื่อม ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับแกนหมุนส่งกำลังเครื่องกัด และเป็นส่วนที่จับยึดหัวกดเชื่อมสร้างจากเหล็กเพลากลมความโตขนาด 76.0 มิลลิเมตร ขนาดความยาว 55.0 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3-7) ทำการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องให้มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางสามระดับ คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่หนึ่ง 32.0 มิลลิเมตร ยาว 25.0 มิลลิเมตร เจาะรูเรียวขนาดเท่ากับของหัวกดเชื่อม เพื่อทำการตัดเกลียวนอกและกัดร่องลิ่มยึดหัวกดเชื่อม ขนาดที่สองกลึงลดขนาด 50.0 มิลลิเมตร ความยาว 15.0 มิลลิเมตร ลบคมมุมด้านนอก ขนาดสุดท้าย 75.0 มิลลิเมตร ทำการกัดบ่าสำหรับจับประแจ และเจาะรูตัดเกลียวในขนาด 30.0 มิลลิเมตร มีความลึก 25.0 มิลลิเมตร ให้พอดีกับเกลียวนอกของแกนหมุนเครื่องกัด สุดท้ายทำการตกแต่งผิวโดยการรมดำด้วยน้ำมัน



รูป 3-7 ลักษณะปากจับหัวกดเชื่อม

2) ฝาครอบหัวกดเชื่อม สร้างจากเหล็กเพลากลมขนาด 50.0 มิลลิเมตร ยาว 25.0 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3.8) ทำการเจาะรูขนาด 30.0 มิลลิเมตร ตัดเกลียวใน ตลอดความยาวเพื่อต่อเข้ากับเกลียวในของส่วนที่หนึ่งได้พอดี ทำฝาปิดขนาดความหนา 5.0 มิลลิเมตร เชื่อมปิดด้านล่าง ในลักษณะปลายปิดทำการเจาะรูฝาปิดขนาด 20.0 มิลลิเมตร หรือสวมพอดีกับหัวกด

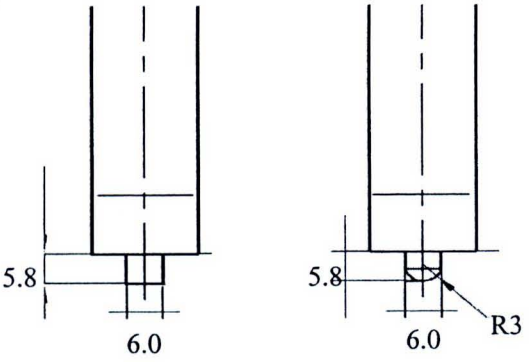
เชื่อมและทำการกลึงปาดหน้าให้เรียบ จากนั้นทำการกัดบ่าจับประแจด้านข้างของปลายเปิด สุดท้ายตกแต่งผิวโดยการรมดำด้วยน้ำมัน



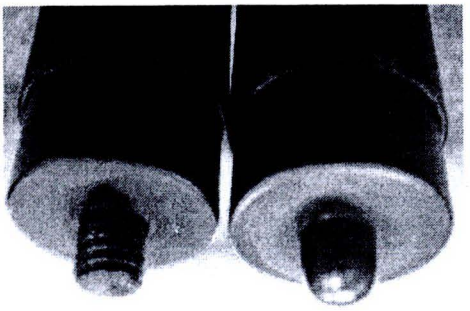
รูป 3.8 ลักษณะฝาครอบหัวกดเชื่อม

1) หัวกดเชื่อม เป็นอุปกรณ์ที่สร้างด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น D2 ตามมาตรฐาน AISI แบบเพลากลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20.0 มิลลิเมตร โดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึง ตามลักษณะที่กำหนดตามเงื่อนไขการทดลอง (แสดงตามรูปที่ 3.9) ทำการกลึงปลอกผิวให้มีขนาดความโต 19.0 มิลลิเมตร ความยาวโดยรวม 75.0 มิลลิเมตร ทำการขึ้นรูปบริเวณที่เป็นสลักแกนหมุนกวน (Pin) สองแบบ คือแบบผิวข้างเป็นเกลียวมาตรฐาน M6 X 1.0 มิลลิเมตร และผิวข้างเรียบปลายโค้งมนรัศมี 3.0 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3-10) ทั้งสองแบบจะให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสลักแกนหมุนกวนเท่ากับหนึ่งเท่าของความหนาชิ้นงานเชื่อม ส่วนความยาวจะกำหนดจากค่าความหนาของชิ้นงานลบด้วยระยะซึมลึกเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร

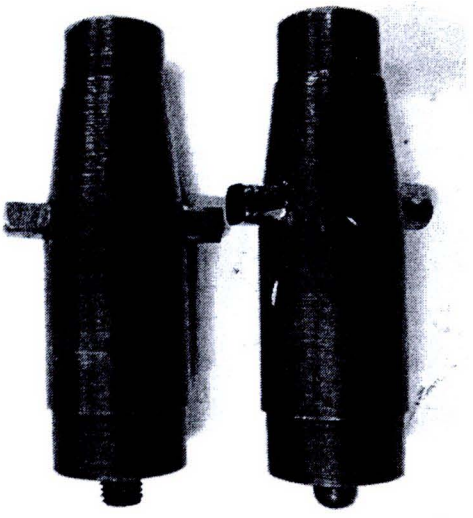
ส่วนบ่าให้ความร้อน ขึ้นรูปด้วยการกลึงปลอกให้มีขนาดความโตเป็นสามเท่าของความ หนาชิ้นงาน คือ 18.0 มิลลิเมตร ความสูง 10.0 มิลลิเมตร ลบคมเล็กน้อย (แสดงตามรูปที่ 3-11) ส่วนปลายอีกด้านจะเจาะรูบริเวณกึ่งกลาง สอดสลักและทำการกลึงเรียว เพื่อจะสวมเข้ากับส่วนที่หนึ่งได้พอดีหัวกดเชื่อม เมื่อขึ้นรูปแล้วนำไปชุบแข็งด้วยวิธีพิเศษ (vacuum heat treatment) หลังการชุบแข็งทำการอบคืนตัว สองครั้ง จะได้ค่าความแข็งที่ 61±2 HRC (แสดงในภาคผนวก ข) และเมื่อสร้างอุปกรณ์ทั้งสามส่วนครบ สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการนำหัวกดเชื่อมไปสวมประกอบเข้ากับปากจับและครอบยึดด้วยฝากดหัวเชื่อม ในขั้นตอนการเชื่อมสอบสามารถนำชุดหัวกดเชื่อมทั้งชุดไปต่อเข้ากับแกนหมุนส่งกำลังเครื่องกัดได้ทั้งชุด (แสดงตามรูปที่ 3-6) ติดตั้งเข้าแทนที่ส่วนหัวจับเครื่องมือตัดของเครื่องกัดที่ใช้งาน ทั้งนี้ความเหมาะสมขึ้นอยู่กับ เครื่องกัดโลหะที่ใช้งานแตกต่างกันตามรุ่นและแบบ



รูป 3-9 ขนาดกำหนดหัวกดเชื่อมทั้งสองแบบในหน่วยมิลลิเมตร

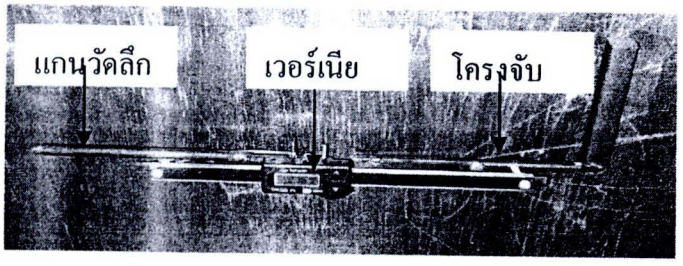


รูป 3-10 เปรียบเทียบลักษณะสลักแกนหมุนกวนสองแบบ



รูป 3-11 ลักษณะหัวกดเชื่อมสองแบบผ่านการชุบแข็ง

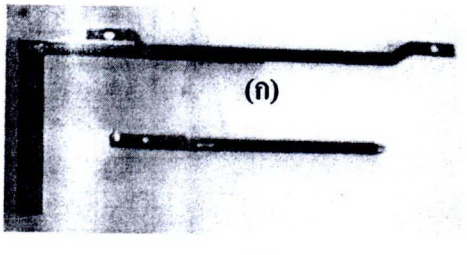
3.2.3 อุปกรณ์วัดระยะความลึกการเชื่อม ประดิษฐ์ด้วยการนำเครื่องมือวัดละเอียดเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ที่มีความละเอียด 1/100 มิลลิเมตร แสดงผลแบบดิจิตอล มาเป็นส่วนประกอบ โดยการสร้างชิ้นส่วนมาประกอบเพิ่มเติมอีกสองส่วนคือ (แสดงตามรูปที่ 3-12)



รูป 3-12 ชุดอุปกรณ์วัดระยะความลึกการเชื่อม

1) โครงจับยึดเวอร์เนีย สร้างด้วยเหล็กเหนียวทั่วไป โดยการนำเหล็กแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 18.0 X 18.0 มิลลิเมตร ขนาดความยาว 120.0 มิลลิเมตร มาทำการเชื่อมประกอบให้ตั้งฉากกันเป็นรูปตัวแอล (แสดงตามรูปที่ 3-13 ก) เข้ากับเหล็กแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 8.0 X 8.0 มิลลิเมตร ยาว 180.0 มิลลิเมตร ทำการดัดเหล็กเส้นแบนขนาด 3.0 X 12.0 มิลลิเมตร ให้มีขนาดยาวเท่ากับ ความยาวของสเกลหลักของเวอร์เนียพอดี เจาะรูขนาด 6.0 มิลลิเมตร ให้ตรงกับรูเกลียวของเวอร์เนีย นำไปเชื่อมเข้ากับเหล็กแท่งเล็ก โดยให้บริเวณกึ่งกลางอยู่ตรงปลายของเหล็กแท่งเล็กพอดี จะได้ชิ้นส่วนจับยึดเวอร์เนีย

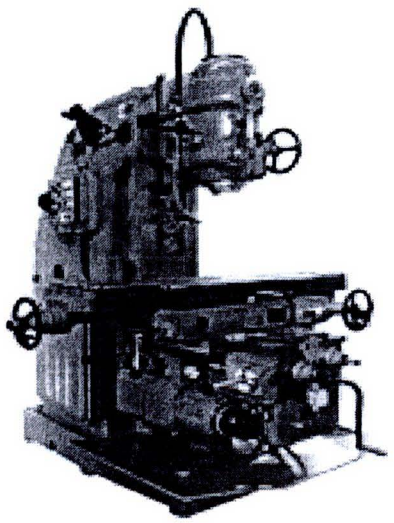
2) **แกนวัดระยะความลึก** สร้างจากเหล็กเพลากลมขนาด 9.0 มิลลิเมตร ยาว 140.0 มิลลิเมตร เชื่อมต่อกับเหล็กเส้นแบนขนาด 3.0 X 12.0 X 55.0 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3-13 ข) บนเหล็กเส้นแบนเจาะรูขนาด 5.0 มิลลิเมตร จำนวนสองรู โดยให้มีระยะเท่ากับรูเกลียวด้านหลังเวอร์เนีย ส่วนเหล็กเพลากลมอีกด้านกลึงเรียวให้เป็นแบบปลายแหลม ประกอบเข้ากับเวอร์เนียด้วยสลักเกลียวจะได้อุปกรณ์สำหรับวัดระยะความลึก ซึ่งจะต้องนำไปจับยึดแทนที่ตำแหน่งท่อน้ำหล่อเย็นของเครื่องกัดโลหะขณะทดลองต่อไป



รูป 3-13 โครงจับยึดและแกนวัดระยะซึมลึก

3.3 การเชื่อมทดสอบ

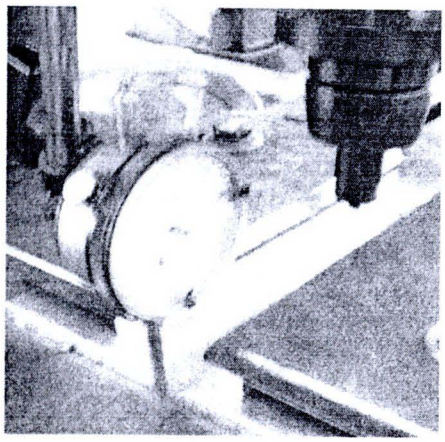
ในการทดลองเชื่อมงานตัวอย่างอะลูมิเนียมผสมเกรด6061-T6 มีขอบเขตการศึกษาพัฒนาประยุกต์ใช้เครื่องกัดโลหะ (Milling machine) ที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ BEIJNG รุ่น X5032 (แสดงตามรูปที่ 3-14) เป็นเครื่องกัดโลหะแกนตั้งมีข้อมูลจำเพาะเบื้องต้น คือ ใช้มอเตอร์ส่งกำลังหลักขนาด 7.5 กิโลวัตต์ และให้ความเร็วรอบ หัวกัดตั้งแต่ 30 ถึง 1,500 รอบต่อนาที สามารถปรับความเร็วได้ 18 ระดับ (แสดงในภาคผนวก ข) ในการทดลองตามเงื่อนไขการวิจัยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูป 3-14 เครื่องกัดโลหะแกนตั้ง BEIJNG รุ่น X5032

3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์และปรับตั้งตำแหน่ง ชุดอุปกรณ์ที่ต้องทำการติดตั้ง และปรับแต่งก่อนการใช้เครื่องมือจะมีลำดับการติดตั้งเป็นก่อนและหลังตามลำดับ ซึ่งอุปกรณ์ที่ต้องเป็นอันดับแรกได้แก่ การติดตั้งชุดจับยึดชิ้นงานเข้ากับโต๊ะงานของเครื่องกัด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานก่อนการทดลองเชื่อมดังนี้

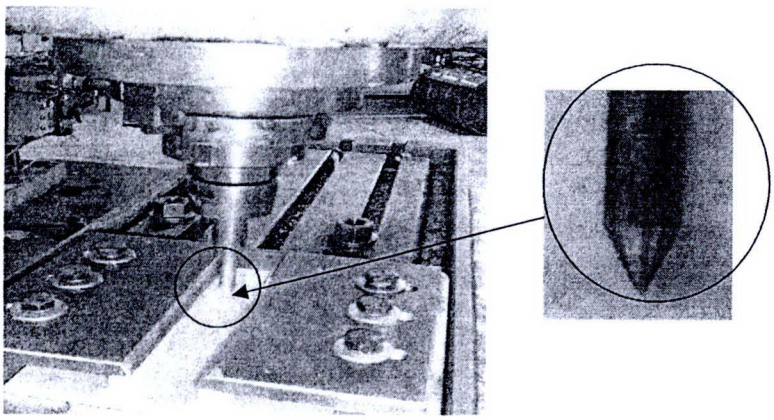
1) การตั้งแนวระนาบชิ้นงานตัวอย่าง โดยติดตั้งนาฬิกาวัด (dial gauge) เข้ากับเพลาหมุนส่งกำลังหัวกัด (แสดงตามรูปที่ 3-15) ตรวจแนวระนาบของอุปกรณ์จับยึดกับหัวกดเชื่อม ในแนวแกนเอ็กซ์ โดยให้มีความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาวัด ±0.1 มิลลิเมตร จากระยะความยาว 100.0 มิลลิเมตร โดยการหมุนเลื่อนโต๊ะงานและสังเกตเข็มวัด ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนจะน้อยหรืออาจไม่มีเลย ถ้าสร้างแผ่นรองหลังชุดจับยึดมีคุณภาพเพียงพอ เมื่อปรับแผ่นรองหลังได้ระนาบแสดงว่า หัวกัดและชิ้นงานจะขนานกันในแนวแกนเอ็กซ์ ทำการขันแน่นสลักเกลียวยึดชุดอุปกรณ์จับยึด



รูป 3-15 แสดงการปรับแนวขนานของชิ้นงานกับหัวกดเชื่อม

2) การตั้งศูนย์แนวเชื่อม โดยการหมุนปากจับหัวกดเชื่อมเข้ากับแกนหมุนหัวกัดให้ร่องลิ้มปากจับชนเพลาเครื่องกัดพอดี ทำการติดตั้งหัวกดเชื่อมอันแรกด้วยตามเงื่อนไขตารางดำเนินการทดลอง ด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบเกลียวก่อน ทดลองเปิดเครื่องหมุน เพื่อตรวจสอบว่าหัวกดเชื่อมหมุนได้โดยไม่มีการแกว่งเกิดขึ้น ถ้าไม่มีก็จะขันฝาครอบยึดหัวกดเชื่อมให้แน่น

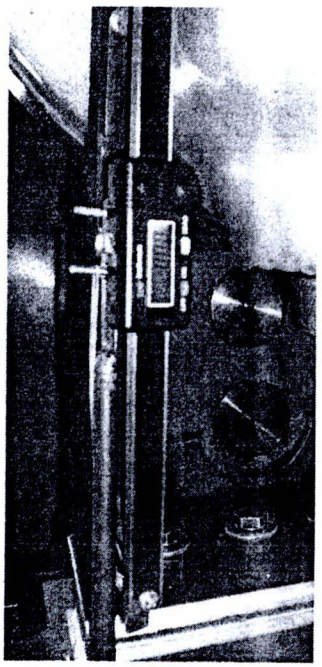
ติดตั้งเข็มตั้งศูนย์แนวเชื่อม โดยการหมุนเข็มเข้ากับเกลียวจากสลักแกนหมุน (แสดงตามรูปที่ 3-16) หมุนปรับโต๊ะงานเครื่องกัดในแนวแกนวาย (Y) ให้บริเวณแนวเชื่อมอยู่ตรงเข็มตั้งศูนย์ เลื่อนโต๊ะงานไปในแนวแกนเอ็กซ์ (X) ตรวจสอบให้บริเวณรอยต่อตรงเข็มวัด โดยการปรับชุดอุปกรณ์จับยึดให้ตรงปลายเข็มวัดแนว เพื่อให้แน่ใจว่าสลักแกนหมุนกวนจะอยู่ตรงกลางรอยเชื่อมพอดี

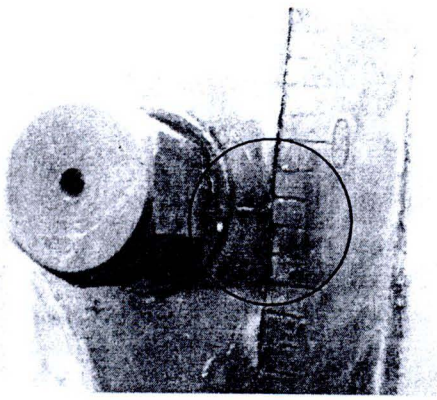


รูป 3-16 การตั้งศูนย์แนวเชื่อมด้วยเข็มวัด

3) การปรับตั้งชุดอุปกรณ์วัดระยะความลึกรอยเชื่อม โดยการถอดชุดท่อน้ำหล่อเย็นเครื่องกัดออก ติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังกล่าวเข้าไปแทนที่ (แสดงตามรูปที่ 3-17) คลายสลักเกลียวยึดเวอร์เนีย ให้ส่วนปลายแกนวัดลึกลงไปสัมผัสกับพื้นผิวโต๊ะงาน หรือบริเวณบนชิ้นงานทดสอบให้ชุดอุปกรณ์ตั้งฉากกับพื้นโต๊ะงานเครื่องมือ โดยใช้ยางอีลาสติกดึงระหว่างตัวเวอร์เนียและโครงจับยึด ซึ่งเวอร์เนียและแกนวัดลึกสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ ถ้าไม่ยึดด้วยสลักเกลียว จะทำให้ยางอีลาสติกดึงให้ปลายแกนวัดสัมผัสโต๊ะงานโดยตลอด ทำการตรวจสอบสภาพความเรียบร้อย ในสภาพพร้อมใช้งานได้ตามปกติเพื่อความปลอดภัยขณะทดลอง

4) การปรับตั้งมุมเอียงหัวกดเชื่อม ซึ่งตามเงื่อนไขการทดลองวิจัย ได้กำหนดให้มุมเอียงหัวกดเชื่อม 2.5 องศา กับชิ้นงานในแนวระนาบชิ้นงาน ปรับตั้งเครื่องกัดโดยการถอดสลักตั้งองศาหัวกัดของเครื่องกัดออก ซึ่งสลักตั้งตำแหน่งจะถูกยึดไว้ที่ศูนย์องศา หรือหัวกัดจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับโต๊ะงานเครื่องกัด และทำการคลายสลักเกลียวยึดหัวกัดและหมุนเฟืองปรับองศาให้หัวกัดหมุนตามเข็มนาฬิกาตามเงื่อนไข (แสดงตามรูปที่ 3-18) ขันสลักเกลียวยึดหัวของเครื่องกัดเข้าที่เดิมและทำการตรวจสอบความเรียบร้อย เพื่อให้การปฏิบัติงานทดลองมีความปลอดภัยสูงสุด





รูป 3-18 แสดงการตั้งมุมเอียงหัวกดเชื่อม 2.5 องศา

รูป 3-17 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดความลึกหัวกดเชื่อม

3.3.2 การทดลองเชื่อมทดสอบ หลังจากทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเข้ากับเครื่องกัดโลหะการติดตั้งดังกล่าว จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าการทดลองเชื่อมจะแล้วเสร็จ แต่จะทำการเปลี่ยนแปลงวิธีการและขั้นตอน ให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นตามขอบเขตการดำเนินงานจึงต้องมีขั้นตอนและแผนการปฏิบัติ ที่ให้การทดลองเป็นไปด้วยความเรียบร้อยไม่เกิดความสับสนขณะทดลอง ซึ่งมีแผนงานและขั้นตอนดังนี้

1) แผนงานทดลองตามเงื่อนไข สร้างตารางลำดับการทดลอง (แสดงตารางที่ 3-4) เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนหัวกดเชื่อม และปรับความเร็วรอบหลายครั้ง โดยทำการแยกทดลองเป็นสองกลุ่มใหญ่ ตามลักษณะแบบหัวกดเชื่อม ในแต่ละแบบจะปรับตั้งความเร็วรอบสองครั้ง คือ 950 และ 1,180 รอบต่อนาที และในแต่ละรอบจะปรับความเร็วในการเชื่อมจากน้อยไปหามากจำนวนสามครั้ง คือ 450 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที ในแต่ละความเร็วเชื่อมจะทำการทดลองซ้ำสามครั้ง และทำการบันทึกลำดับการทดลองในระหว่างทดลอง

ตาราง 3-4 ลำดับแผนการทดลองเชื่อมทดสอบ

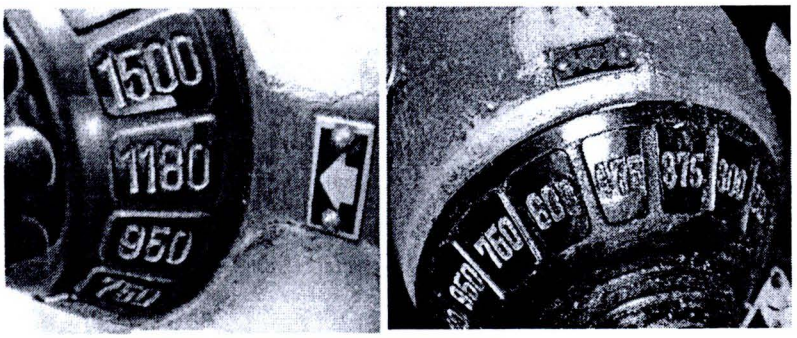
สลักแกนหมุนกวน	**ความเร็วรอบ** (rpm)	**ความเร็วในการเชื่อม** (mm/min)								
		475			600			750		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
แบบผิวเกลียว	950									
	1,180									
แบบผิวเรียบ	950									
	1,180									

2) ติดตั้งตัวอย่างทดลอง โดยการวางแท่งรองแผ่นกดยึดชิ้นงาน ซึ่งแท่งรองกดจะอยู่กลางระหว่างชิ้นงานกับแผ่นกดยึด ทำการขันสลักเกลียวกดชิ้นงานให้ติดกับแผ่นรองหลังให้มั่นคง หมุนเลื่อนตำแหน่งหัวกดเชื่อมลงมาสัมผัสกับผิวชิ้นงานห่างจากชิ้นงานประมาณ 15.0 มิลลิเมตร

3) ปรับตั้งความเร็วรอบหมุนเชื่อม ตามเงื่อนไขตารางการทดลอง โดยการ ปรับตั้งเกียร์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ (แสดงตามรูปที่ 3-19 ก) หัวกดเชื่อมแบบเกลียว เริ่มที่ความ เร็วรอบ 950 รอบต่อนาที ให้ตัวเลขตรงกับตำแหน่งลูกศร

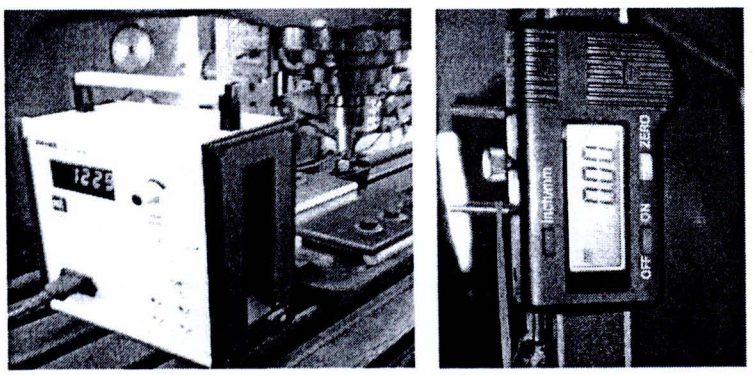
4) ปรับตั้งความเร็วการเชื่อม โดยการปรับเปลี่ยนเกียร์เลื่อนโต๊ะงาน เริ่มต้นที่ 475 มิลลิเมตรต่อนาที ปรับคันโยกให้ตัวเลขหมุนตรงกับตำแหน่งลูกศร (แสดงตามรูปที่ 3-19 ข) ตลอดการทดลองจะทำการปรับจำนวน 12 ครั้ง

5) เปิดเครื่องหมุนหัวกดเชื่อม ในการปรับความเร็วรอบครั้งแรกจะทำการตรวจสอบความเร็วรอบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วรอบ สโตรโบสโคปดิจิตอล (stroboscope) (แสดงตามรูปที่ 3-20 ก) และเลื่อนหัวกดเชื่อมสัมผัสกับผิวชิ้นงานทำการปรับค่าเกลเวอร์เนียเป็น 0.00 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3-20 ข) ทุกครั้งก่อนการทดลองเชื่อมเพื่อตรวจเช็คความลึกของหัวกดเชื่อม



(ก) (ข)

รูป 3-19 ตำแหน่งเกียร์ปรับตั้งความเร็วเครื่องกัด

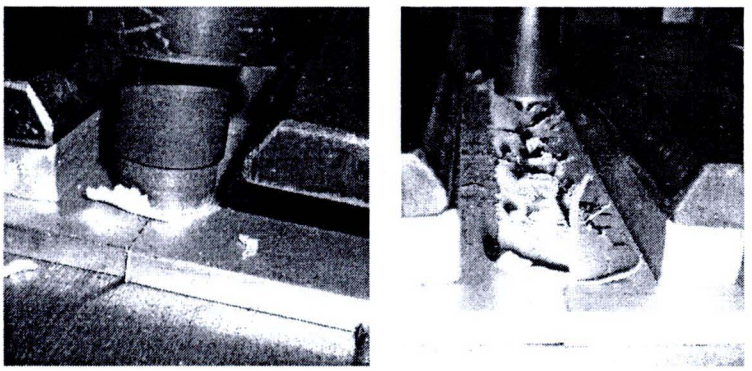


(ก) (ข)

รูป 3-20 แสดงการตั้งค่าเครื่องมือก่อนการทดลอง

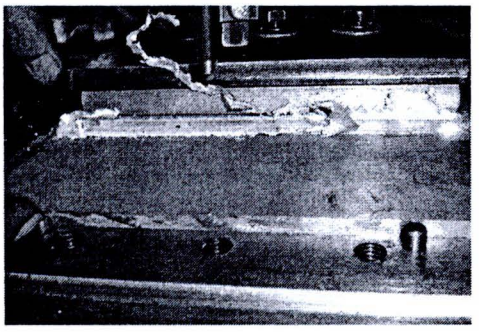
6) การทดลองเชื่อม หมุนโต๊ะงานยกชิ้นงานขึ้นจนกระทั่งสลักแกนหมุนกวนแทรกตัวเข้าไปในชิ้นงานเชื่อม สังเกตที่ระยะความลึก 5.7 มิลลิเมตร จึงหยุดหมุนยกชิ้นงาน (แสดงตามรูปที่ 3-21 ก) สังเกตอะลูมิเนียมอ่อนตัวจนปริออกรอบๆ หัวกดเชื่อมแสดงความร้อนถึงสภาวะพลาสติก จึงเริ่มสร้างรอยเชื่อมโดยการโยกคันเกียร์ป้อนชิ้นงาน (แสดงตามรูปที่ 3-21 ข) ซึ่งการกดหัวเชื่อมลงในชิ้นงานและการเดินเชื่อมจะเป็นจังหวะที่ต่อเนื่องกันในช่วงเวลาไม่เกิน 15 วินาที เมื่อสิ้นสุดความยาวแนวเชื่อมแล้วจึงหมุนงานลง ให้ห่างจากหัวกดเชื่อมและทำการปิดเครื่อง

7) การถอดเปลี่ยนชิ้นงาน โดยการคลายสลักเกลียวยึดแผ่นกดยึดชิ้นงานออกด้วยทั้งสองด้าน (แสดงตามรูปที่ 3-22) ถอดเปลี่ยนชิ้นงาน และทำการเชื่อมทดลองซ้ำ สามครั้ง หลังจากนั้น เปลี่ยนความเร็วการเชื่อมเป็น 450 600 และ 750 ทำการทดลองซ้ำจำนวน สามครั้งเหมือนๆ กัน จากนั้นทำตามลำดับตารางทดลองในขั้นตอนการทดลองที่หนึ่ง เมื่อทำการทดลองครบทั้งหมด จะได้ชิ้น งานที่ผ่านการเชื่อมทั้งหมด 36 ตัวอย่าง



(ก) (ข)

รูป 3-21 แสดงลักษณะการเชื่อมเสียดทานแบบกวน



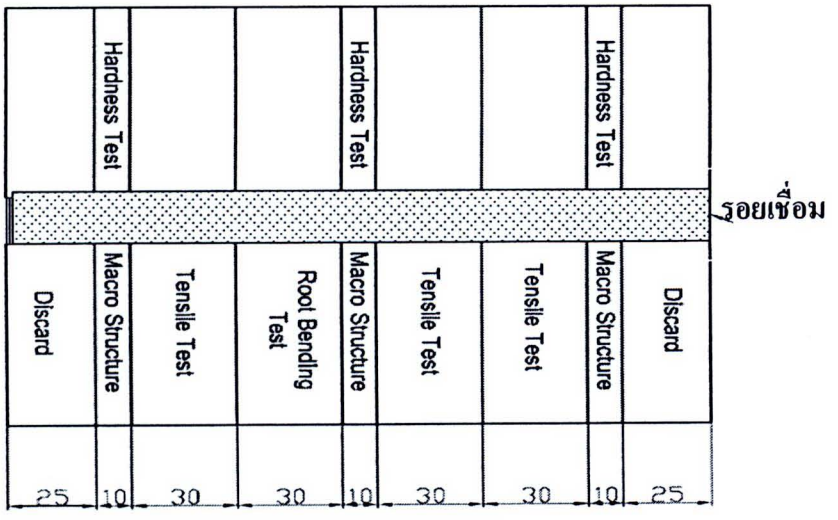
รูป 3-22 แสดงการถอดชิ้นงานหลังเชื่อมทดลอง

3.4 การทดสอบด้วยแรงดึง

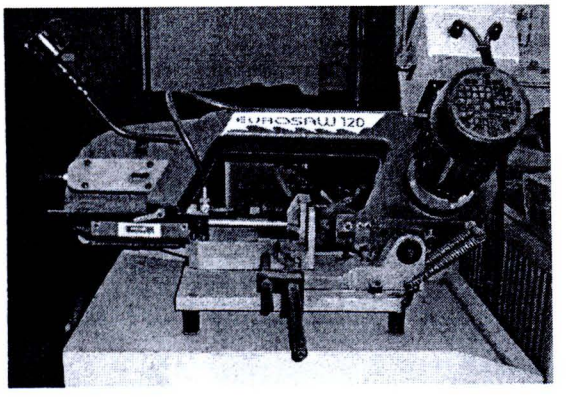
ชิ้นงานเชื่อมทดสอบบางส่วนจะนำไปทดสอบการต้านทานแรงดึงสูงสุดของรอยเชื่อม ซึ่งงานเชื่อมอะลูมิเนียมด้วยเทคนิคเสียดทานแบบกวน จะมีข้อกำหนดมาตรฐานการทดสอบงานเชื่อมสำหรับอะลูมิเนียม ใน งานอากาศยานของอเมริกา คือ AWS D17.3/D17.3M:200X **[32]** ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดนำลิขสิทธิ์เอกสารเข้ามาเผยแพร่ในขณะนี้ เพราะเทคนิคการ

เชื่อมอะลูมิเนียมดังกล่าว ยังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย ส่วนใหญ่มักจะใช้ข้อกำหนดการทดสอบงานเชื่อมตามข้อกำหนดมาตรฐาน AWS D1.2 **[20]** ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบงานเชื่อมโครงสร้างอะลูมิเนียมแบบหลอมละลาย ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบดังนี้

3.4.1 การตัดแบ่งตัวอย่าง ทำการตัดแบ่งชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมทดสอบ โดยการควบคุมอุณหภูมิในการตัด เพื่อไม่ให้ตัวอย่างชิ้นงานเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในรอยเชื่อมไปจากความเป็นจริงโดยตัดแบ่งออกเป็นส่วนๆ (แสดงตามรูปที่ 3-23) สำหรับนำไปทดสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีแบบต่างๆ ในที่นี้ได้ใช้เลื่อยกล (band saw) แบบสายพาน ในการตัดแบ่งตัวอย่าง และ ทำการหล่อเย็นการตัดด้วยน้ำตลอดเวลา (แสดงตามรูปที่ 3-24)

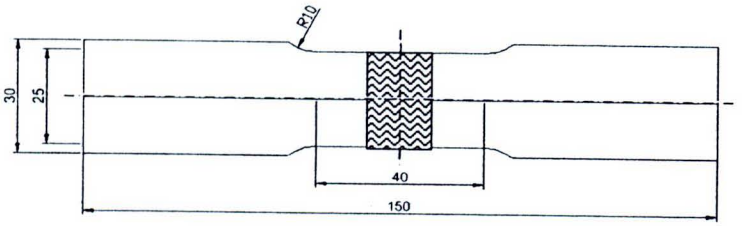


รูป 3-23 มาตรฐานการตัดชิ้นทดสอบรอยเชื่อมในหน่วยมิลลิเมตร

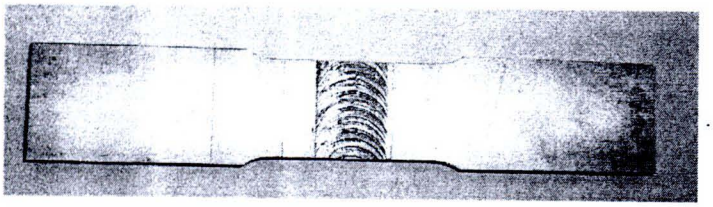


รูป 3-24 เครื่องเลื่อยสายพานสำหรับตัดชิ้นทดสอบงานเชื่อม

3.4.2 เตรียมตัวอย่างทดสอบแรงดึง นำชิ้นงานที่ตัดเพื่อการทดสอบแรงดึงไปขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดโลหะ ขนาดกำหนดตามมาตรฐาน AWS D1.2 (แสดงตามรูปที่ 3-25) สำหรับงานเชื่อมโลหะแบบแผ่นหนาไม่เกิน 25.0 มิลลิเมตร มีความยาวช่วงทดสอบ เท่ากับ 40.0 มิลลิเมตร (gauge length) กลางรอยเชื่อมกว้าง 25.0 มิลลิเมตร รัศมีของความโค้งขึ้นรูปไม่น้อยกว่า 10.0 มิลลิเมตร ความกว้างสำหรับปากจับ 30.0 มิลลิเมตร ส่วนความยาวสำหรับปากจับกำหนดตามความเหมาะสมกับเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ในที่นี้ให้ความยาวเท่ากับ 150.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความกว้างของตัวอย่าง จะได้ตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึงจำนวนสามชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง (แสดงตามรูปที่ 3-26)



รูป 3-25 ขนาดกำหนดชิ้นทดสอบงานเชื่อมตามมาตรฐาน ASW D1.2

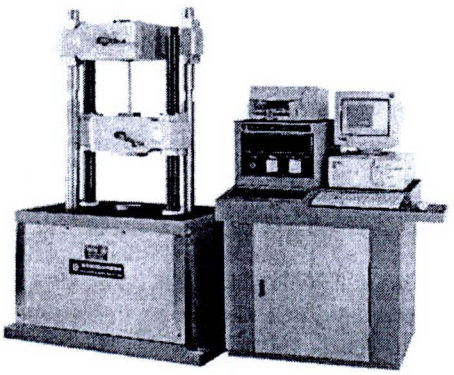


รูป 3-26 ชิ้นทดสอบแรงดึงงานเชื่อมที่เตรียมสำเร็จ

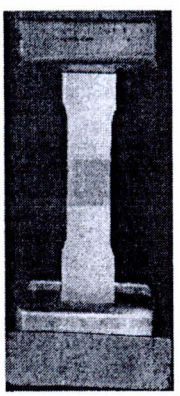
3.4.3 การทดสอบรอยเชื่อมด้วยแรงดึง นำชิ้นทดสอบแรงดึงที่เตรียมได้ไปทำการขีดเส้นตั้งฉากกับรอยเชื่อมจากกึ่งกลางรอยเชื่อมยาว 40.0 มิลลิเมตร เป็นการกำหนดความการยืดตัวก่อนการทดสอบ และ ตรวจวัดความยาวที่เปลี่ยนไปหลังทดสอบ เพื่อจะนำข้อมูลที่ได้ไปหาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อม

ทำการทดสอบแรงดึง โดยการเปิดระบบการทำงานของเครื่องมือทดสอบแรงดึงที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือทดสอบยี่ห้อ HUNG TA รุ่น HT-8339 Maximum Load 300 kN (แสดงตามรูปที่ 3-27) ติดตั้งชิ้นทดสอบเข้าปากจับ (grip) และให้จับชิ้นทดสอบได้สองในสามส่วนของความยาวชิ้นงานบริเวณใช้สำหรับจับยึด จัดตำแหน่งชิ้นงานให้อยู่ในแนวดิ่งหรือตั้งฉากกับปากจับ ให้ตำแหน่งรอยเชื่อมอยู่บริเวณกึ่งกลางของปากจับบนและปากจับล่างของเครื่องมือทดสอบ (แสดงตามรูปที่ 3-28 ก) ตรวจสอบการจับยึดชิ้นงานก่อนทดสอบ

ตั้งค่าโปรแกรมสำหรับจัดเก็บข้อมูลทดสอบตัวอย่าง ตามขั้นตอนมาตรฐานของการใช้โปรแกรม สิ้นสุดขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม โดยการกดยอมรับ (enter) การทดสอบก็จะเริ่มขึ้นทันที ทำการปรับความเร็วในการดึงทดสอบที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกันทำการจัดเก็บชิ้นส่วนทดลอง บันทึกผลการทดลอง ทำการทดสอบซ้ำ กับชิ้นสอบอื่นๆ ทั้งหมดตามตารางจัดลำดับงานที่ 3-1



รูป 3-27 เครื่องทดสอบแรงดึง HUNG TA รุ่น HT-8339



รูป 3-28 แสดงการติดตั้งชิ้นทดสอบแรงดึงในปากจับ

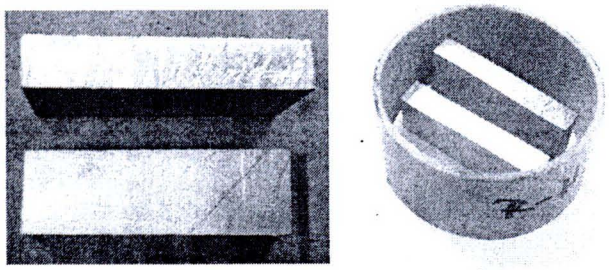
3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยา

การเตรียมชิ้นทดสอบรอยเชื่อม สำหรับการศึกษาโครงสร้างด้วยวิธีทางโลหะวิทยาเพื่อศึกษาบริเวณที่ได้รับความร้อนและความไม่สมบูรณ์ในรอยเชื่อม เนื่องจากผลกระทบจากอิทธิพลของความร้อนจากการเชื่อมจะมีความแตกต่างจากการศึกษาโครงสร้างโลหะด้วยภาพถ่ายอื่นๆ โดยส่วนใหญ่เป็นงานควบคุมคุณภาพหรือการแก้ปัญหาเร่งด่วน การเตรียมโครงสร้างอาจจะไม่ละเอียดมากนัก เพียงแค่ให้ทราบผลการวิเคราะห์โครงสร้างเดิมและระยะการซึมลึกของรอยเชื่อม ตามที่ต้องการเท่านั้น การตรวจสอบชิ้นงานจึงมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด ก็

เพียงพอสำหรับการหาข้อมูล เพียงแค่ให้ได้รายละเอียดเฉพาะสำหรับส่วนที่ต้องการที่แท้จริงก็เพียงพอแล้ว ชิ้นทดสอบจะมีขนาดใหญ่กว่าจนไม่สามารถใช้เครื่องตัดชิ้นสอบทางโลหะวิทยาทั่วๆ ไปได้ ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยนี้มีวิธีการเตรียมชิ้นทดสอบ ดังต่อไปนี้

3.5.1 การตัดชิ้นงานทดสอบ นำชิ้นงานจากการตัดแบ่ง สำหรับการทดสอบแบบต่างๆ มาตัดด้วยเลื่อยมือ (hack saw) ให้มีขนาดสั้นลง โดยจำกัดเฉพาะบริเวณที่จะทดสอบ ในที่นี้จะมีขนาดยาวกว่าความกว้างของรอยเชื่อมด้านละ 10.0 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วในการตัดอย่างช้าๆ ทำการหล่อเย็นด้วยน้ำไม่ให้เกิดความร้อนกับชิ้นทดสอบภาคตัดบริเวณรอยเชื่อม (แสดงตามรูปที่ 3-29 ก)

3.5.2 การขึ้นเรือนชิ้นทดสอบแบบเย็น นำชิ้นทดสอบที่ตัดแล้วมาทำการจับยึดด้วยการขึ้นเรือนแบบเย็นจากการเทหล่อด้วยเรซินอีพอกซีโดยสร้างแบบเทหล่อด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.0 มิลลิเมตร สูง 20.0 มิลลิเมตร (แสดงตามรูปที่ 3-29 ข) รองพื้นด้วยกระจกและแผ่นฟิล์ม ทาผิวท่อพีวีด้านในด้วยวาสลีน ใช้ดินน้ำมันซีลรอบๆ ภายนอกท่อกับกระจกด้านจนรอบ ผสมเรซิน อีพอกซีเทหล่อชิ้นทดสอบ เมื่อแข็งตัวสามารถดันชิ้นทดสอบออกทางด้านใดด้านหนึ่งได้



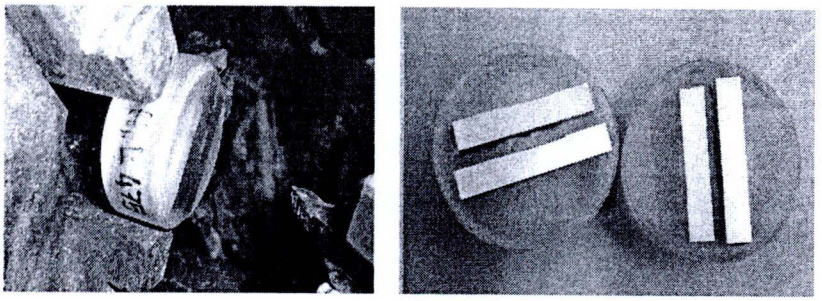
(ก) (ข)

รูป 3-29 แสดงการเตรียมชิ้นทดสอบด้วยการขึ้นเรือนแบบเย็น

3.5.3 การเตรียมผิวชิ้นทดสอบ นำชิ้นทดสอบที่ถอดแบบ จากการเทเรซินแล้ว มาทำการปรับระนาบผิวหน้าชิ้นงานที่ขึ้นเรือนแบบเย็นมาแล้ว ด้วยเครื่องกลึงโลหะ (แสดงตามรูปที่ 3-30 ก) โดยการกลึงปาดผิวหน้าชิ้นงาน ทั้งสองด้านให้ขนานหรือตั้งฉากกัน และทำการกลึงลบคมขอบตัวเรือนทั้งสองด้าน (แสดงตามรูปที่ 3-30 ข) และกลึงปาดผิวหน้าแบบละเอียดจะทำให้สามารถใช้เวลาในการขัดผิวน้อยลง เนื่องจากผิวกลึงละเอียดสามารถเริ่มขัดผิวด้วยกระดาษเบอร์สูงๆ ได้

การขัดผิวแบบหยาบ (grinding) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปขัดผิวแบบหยาบด้วยการถูกระดาษทรายบนกระจกเรียบ เริ่มต้นใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 350 400 600 800 1,000 และ 1,200 หล่อลื่นด้วยน้ำ และในการเปลี่ยนกระดาษเบอร์ทราย ทำการเปลี่ยนทิศทางการขัดให้รอยขัด

ใหม่ทำมุม 45 ถึง 90 องศา กับรอยขัดเดิมโดยการวางก้อนน้ำหนักทับ ขณะทำการถูไปข้างหน้าเพื่อให้แรงกดสม่ำเสมอ



(ก) (ข)

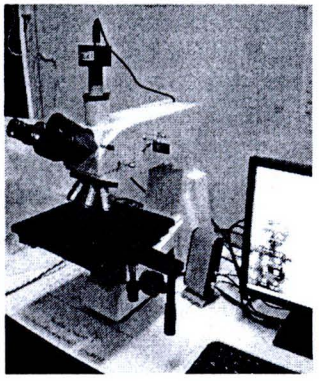
รูป 3-30 แสดงการปรับแต่งระนาบชิ้นงานด้วยเครื่องกลึง

การขัดผิวแบบละเอียด ขัดมันผิวชิ้นทดสอบด้วยเครื่องขัดผิว (แสดงตามรูปที่ 3-31) ผงขัดผิวให้มันที่ใช้ได้แก่ ผงขัดอะลูมิเนียมออกไซด์ ในวัสดุชิ้นงานประเภทโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีค่าความแข็งน้อยในกรณีอะลูมิเนียมผสมที่ขึ้นรูปด้วยแรง ในการขัดผิวละเอียดที่ไม่กัดขึ้นรอยแบบสีที่ไม่มีการขัดผิวด้วยไฟฟ้าจะเริ่มด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 1.0 ไมครอน ตามด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 0.3 ไมครอน ที่ความเร็ว 90 ถึง 100 รอบต่อนาที โดยใช้ผ้าขนสั้น และในการขัดผิวมันขั้นสุดท้ายที่มีความมันสูงขึ้นด้วยสารแขวนลอยซิลิก้ากับผ้าขัดที่มีขนยาวขึ้น ซึ่งเป็นการขัดผิวมันแบบละเอียดสูงสุดด้วยวิธีทางกล

3.5.4 การกัดขึ้นรอยเตรียมโครงสร้าง เป็นขั้นตอนการเตรียมผิวหน้าชิ้นทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการกัดกร่อนทางไฟฟ้าเคมี ที่บริเวณผิวหน้าภาคตัดรอยเชื่อมทำการกัดกรดที่มีส่วนผสมของกรดประกอบด้วย น้ำกลั่น 5.0 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริก (HCL) 60.0 มิลลิลิตร กรดไนตริก (HNO_3) 30.0 มิลลิลิตร กรดไฮโดรฟลูออริก 48% (HF) 15.0 มิลลิลิตร ใช้วิธีการแช่หรือเช็ดผิวหน้าชิ้นงานด้วยสารกัดขึ้นรอย ทำการล้างน้ำทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิคและทำการเช็ดผิวด้วย เอทานอล (ethanol) เป่าแห้งด้วยลมร้อนไม่ให้มีคราบสกปรก

3.5.5 การถ่ายภาพโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะ ทำการถ่ายรูปโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope; OM) ในระดับมหภาคใช้กำลัง ขยาย 4.0 เท่า (แสดงตามรูปที่ 3-32) ตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ด้วยสายตา และในระดับจุลภาคใช้กำลังขยาย 50 100 และ 400 เท่า ตรวจวิเคราะห์ความผิดปกติ ข้อบกพร่อง ขนาดของเกรน ในรอยเชื่อม ทำการบันทึกผลการวิเคราะห์ด้วยภาพโครงสร้าง (แสดงในภาคผนวก ง)

รูป 3-31 แสดงเครื่องขัดเตรียมโครงสร้างตัวอย่าง

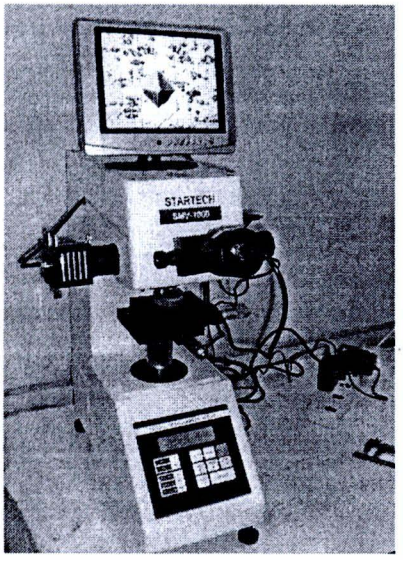


รูป 3-32 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงสำหรับงานโลหะ

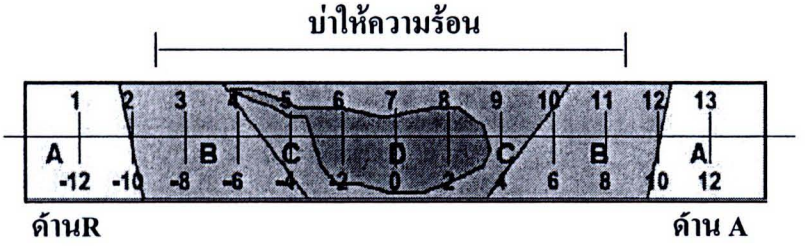
3.6 การทดสอบค่าความแข็งในรอยเชื่อม

ในการทดสอบสมบัติทางกลบริเวณรอยเชื่อมของตัวอย่างทุกเงื่อนไข โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งวิธีไมโครวิกเกอร์ส ที่มีหัวกดแบบเพชรรูปทรงพีระมิด ขนาดแรงกด 1.961 นิวตัน หรือ HV0.2 (Low -force hardness test) ใช้เวลากดนาน 10 วินาที ทำการวัดรอยกดและคำนวณค่าความแข็งที่มีหน่วย HV การศึกษาวิจัยเรื่องนี้ได้ใช้เครื่องทดสอบความแข็งยี่ห้อ STARTEC (Digital Microhadness Tester) รุ่น SMV-1000 (แสดงตามรูปที่ 3-33) ทำการทดสอบค่าความแข็งภาคตัดรอยเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากการเชื่อมบริเวณ HAZ โดยทำการทดสอบผ่านแนวกึ่งกลางของความหนาชิ้นทดสอบ (แสดงตามรูปที่ 3-34) จำนวน 13 จุดกด นับจากจุดกึ่งกลางของรอยเชื่อมไปทางด้านขวา จำนวนหกจุด และด้านซ้ายจำนวนหกจุด แต่ละจุดกดจะมีระยะห่างจะจุดศูนย์กลางของหลุมกดถึงหลุมกดเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร ทุกตำแหน่งทำการทดสอบซ้ำสามครั้งนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความแข็งเฉลี่ยในแต่ละจุดกดทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.6.1 สภาวะแวดล้อมทดสอบความแข็ง อุณหภูมิห้องทดสอบ 10 ถึง 35 เซลเซียส กรณีควบอุณหภูมิห้องทดสอบ 23±5 เซลเซียส แรงสั่นสะเทือนที่มีต่อเครื่องมือ ขณะที่ทาการทดสอบ 200.0 HV1 มีค่าการสั่นสะเทือนได้ไม่เกิน 20.0 เฮิร์ท (Hz)



รูป 3-33 เครื่องทดสอบความแข็ง STARTEC รุ่น SMV-1000



รูป 3-34 แสดงจุดกดทดสอบค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม **[20]**

3.6.2 การทำความสะอาดชิ้นทดสอบ เครื่องมือและบริเวณผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ ให้ปราศจากสิ่งสกปรก สนิม และน้ำมัน ทำความสะอาดก่อนการทดสอบด้วยการเป่าลม และเช็ดด้วยเอทานอลก่อนการทดสอบ

3.6.3 การกดทดสอบความแข็ง ด้วยแรงกด (test force) ที่กำหนดจากหน่วยวิกเกอร์สในช่วงทดสอบของ Low force Vickers test ตามจังหวะเวลา (testing cycle) อย่างเคร่งครัด (ตามตารางที่ 3-5) ตรวจสอบความผิดพลาดของเครื่องมือ ก่อนการวัดจะทำการทดสอบกับแท่งความแข็งมาตรฐาน โดยเลือกช่วงวัดเดียวกับที่จะทำการทดสอบโดยมีข้อกำหนด คือ ต้องวางชิ้นทดสอบ

ให้มั่นคงได้ระนาบไม่เอียง และให้ระยะห่างจุดกดทดสอบจากหัวกดถึงขอบชิ้นงาน ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของเส้นทแยงมุม และ ระยะห่างระหว่าง ศูนย์กลางของหลุมกดถึงหลุมกดไม่น้อยกว่า 3.0 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุม

3.6.4 การคำนวณค่าความแข็ง ทำการป้อนข้อมูลความยาวเส้นทแยงมุม โดยการบันทึกรอยกดทดสอบ ความยาวของเส้นทแยงมุม (d_1, d_2) ซึ่งเครื่องมือที่ดังกล่าวในข้างต้น สามารถรายงานผลการทดสอบค่าความแข็งได้ทันที เมื่อให้ค่าความยาวเส้นทแยงมุมทั้งสองแล้วเสร็จ

ตาราง 3-5 ระยะเวลาวัดทดสอบค่าความแข็งมาตรฐาน **[40]**

ประเภท	แรงกด F (kgf)	ตัวแปร		
		ความเร็วก่อนสัมผัส (วินาที/มิลลิเมตร)	**เวลาเพิ่มแรงกด** (วินาที)	**เวลากดแรง** (วินาที)
Low force Vickers Test	0.2 < 5	≤ 0.2	≤ 10	10 -15