บทที่ 3

อุปกรณ์ เครื่องมือการทดลอง และวิธีการตรวจสอบ

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบพัลส์ทิก
3.1.2 ชุดจับยึดชิ้นงานเพื่อใช้ในการเชื่อม
3.1.3 ชุดควบคุมส่วนผสมก๊าซปกคลุม
3.1.4 อุปกรณ์การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะเชื่อม

3.1.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ คือ Miller / Syncrowave 350 Ampere Constant Current AC/ DC Arc Welding ปรับการเชื่อมแบบ Pulse Current DC Straight Polarity (อิเล็กโทรดเป็นขั้วลบ) รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องเชื่อม อิเล็กโทรดที่ใช้เป็นทังสเตนที่มีส่วนผสมของทอเรียม 2 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 มิลลิเมตร มุมแหลมปลายอิเล็กโทรด (Tip Angle) 60 องศา และระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดกับชิ้นงานทดสอบ (Arc Length) 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเซรามิกส์ครอบขั้วทังสเตน (Weld Torch - Vertical Orifice) มีขนาด 11 มิลลิเมตร ระยะห่างของขั้วเชื่อม (Torch) กับชิ้นงานทดสอบ 5 มิลลิเมตรและทำมุมซึ่งกันและกัน 75 องศา ขั้วเชื่อมที่ใช้เป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำในระหว่างการเชื่อม

สำหรับขั้วบวกจากเครื่องเชื่อม ถูกยึดเข้ากับ Current Shunt ขนาด 400 Ampere 60 MV ที่ยึดอยู่กับชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบ ชุด Current Shunt นี้เป็นอุปกรณ์ในการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะเชื่อม ซึ่งวิธีการใช้ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก

รูปที่ 3.1 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง Miller/Syncrowave 350 Ampere Constant Current AC/DC Arc Welding

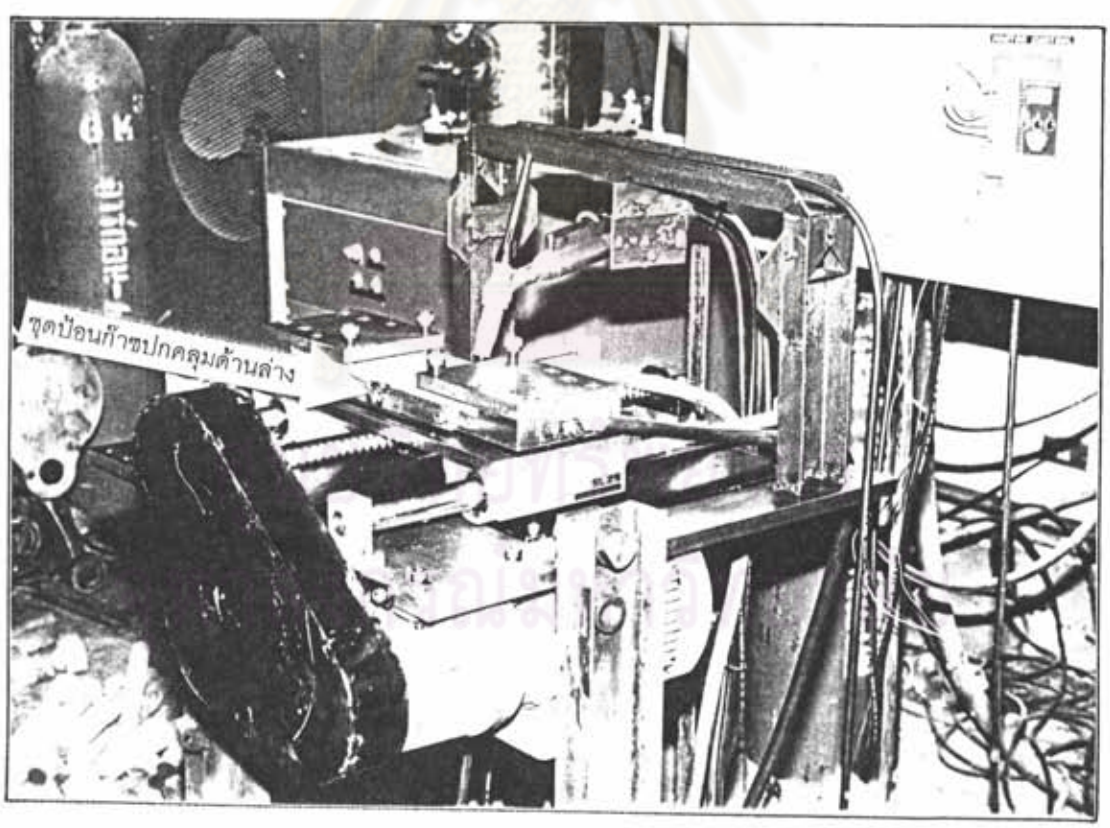
3.1.2 ชุดจับยึดชิ้นงานเพื่อใช้ในการเชื่อม

ชุดจับยึดชิ้นงานที่ใช้เป็นชุดจับยึดชิ้นงานที่สร้างขึ้นโดยผู้วิจัย ออกแบบให้สามารถจับชิ้นงานเชื่อมได้ในลักษณะการเชื่อมแนวนอน แนวตั้ง และแนวเหนือหัว ชิ้นงานทดสอบยึดด้วยสกรูบนแท่นจับยึด แท่นจับยึดนี้สามารถเคลื่อนที่ไปกลับบนเพลานำ โดยการขับเคลื่อนด้วยสกรูขับที่ต่อเข้ากับชุดมอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้ ชุดมอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้นี้ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 0.37 kw 220/380 V 50 Hz 4P ซึ่งประกอบเข้ากับเกียร์ทดขนาดอัตราทด 15.6 : 1 การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ใช้ชุด Inverter เป็นตัวปรับ สามารถ

ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1500 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดจับยึดชิ้นงานได้ตั้งแต่ 0 ถึง 12.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

การควบคุมกระแสไฟฟ้าขณะทำการเชื่อม เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน โดยไม่รบกวนระบบไฟฟ้าของมอเตอร์นั้น ทำได้โดยการใช้แผ่นเบเกอร์ไลท์ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า กั้นระหว่างชุดจับยึดชิ้นทดสอบ และฐานของชุดจับยึด

บนชุดจับยึดชิ้นทดสอบนี้ ยังได้ติดตั้งชุดป้อนก๊าซปกคลุมสำหรับปกคลุมด้านล่างของชิ้นงานทดสอบในระหว่างการเชื่อม (Root Shielding Gas) ชุดป้อนก๊าซนี้ประกอบด้วยกล่องเบเกอร์ไลท์และข้อต่อสำหรับต่อเข้ากับท่อก๊าซ ชุดจับยึดชิ้นงานเพื่อใช้ในการเชื่อมและชุดป้อนก๊าซปกคลุมแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดจับยึดชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดลอง และชุดป้อนก๊าซปกคลุมด้านล่าง

3.1.3 ปริมาณก๊าซปกคลุมและชุดควบคุมส่วนผสมก๊าซปกคลุม

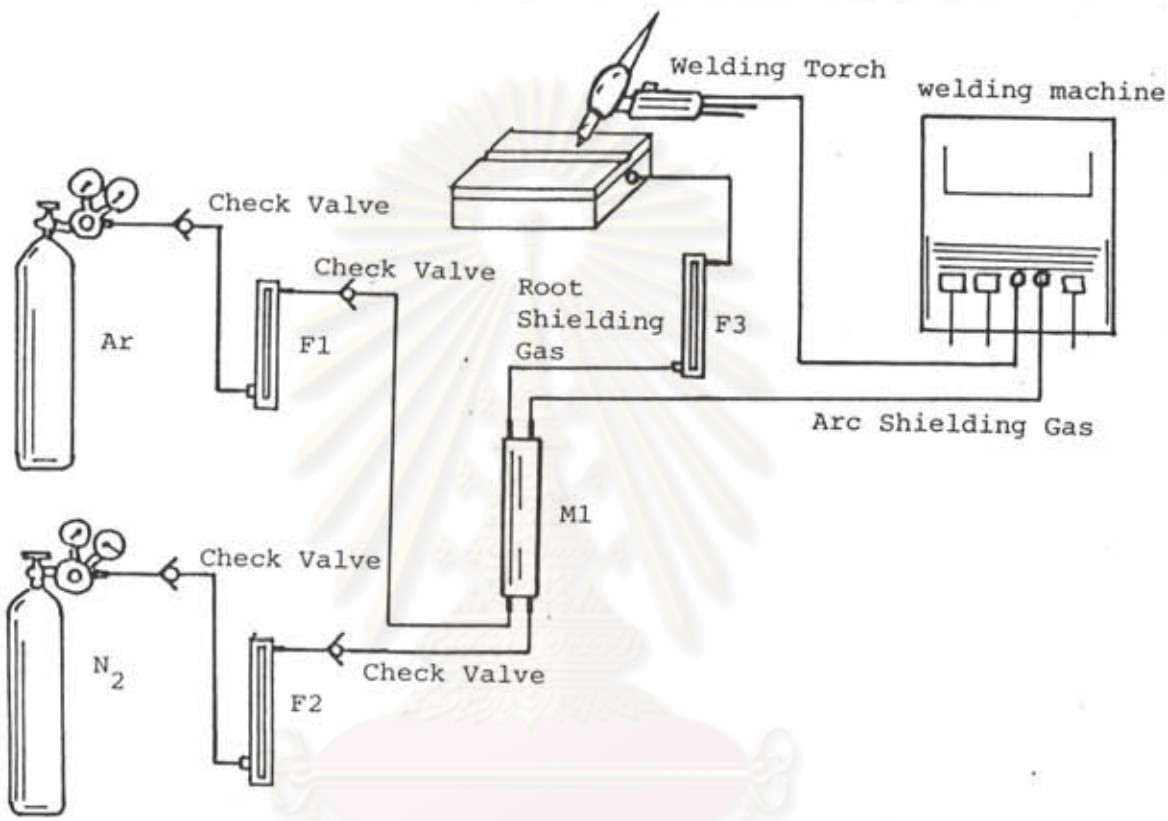
จาก Arc Welding of Stainless Steel [7] ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก รอยต่อเป็นแบบต่อชน (Square Butt Weld) ความหนาชิ้นงาน 3.2 มิลลิเมตร ใช้วิธีการเชื่อมแบบทิก (Gas Tungsten Arc Welding) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเลคโทรด 1.6 มิลลิเมตร ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ปริมาณอัตราการไหลของก๊าซปกคลุมอาร์กอนที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที (10 cfh) และสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 304L ที่ความเร็วการเชื่อม 0.8 - 1.7 มิลลิเมตรต่อวินาที การเชื่อมใช้โลหะเชื่อม จะใช้อัตราการไหลของก๊าซปกคลุมอาร์กอน 7 ลิตรต่อนาที

ในการศึกษานี้ เนื่องจากก๊าซปกคลุมที่ใช้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ก๊าซปกคลุมด้านบน และก๊าซปกคลุมด้านล่าง ก๊าซทั้งสองส่วนมาจากแหล่งจ่ายเดียวกัน และเนื่องจากก๊าซปกคลุมด้านล่างสามารถไหลเข้าปกคลุมชิ้นงานได้ตลอดเวลา ประกอบกับเครื่องเชื่อมถูกออกแบบมาให้ก๊าซปกคลุมด้านบนสามารถไหลผ่านหัวเชื่อมได้ก็ต่อเมื่อมีการอาร์กของอิเล็กโทรดแล้วเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การไหลของก๊าซปกคลุมด้านบนไม่สม่ำเสมอในช่วงเวลาเริ่มต้นของการเชื่อม (1 - 2 วินาที)

จากการทดลองของ V.P. Kujanpaa [6] ที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการเกิดจุดบกพร่องในเนื้อโลหะของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก ที่ใช้วิธีการเชื่อมแบบทิก โดยไม่ใช้ลวดเชื่อม ได้กำหนดปริมาณอัตราการไหลไว้สำหรับการเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดขนาด 2.4 มิลลิเมตร ระยะอาร์ก 2 มิลลิเมตร ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบนและด้านล่างเท่ากับ 16 และ 8 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ และจากการนำค่าที่ได้นี้มาทดลอง ผลของรอยเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์เพียงพอ ซึ่งพิจารณาได้จากความมันเงาของชิ้นงานและปลายอิเลคโทรด เมื่อผ่านการเชื่อมแล้ว

ก๊าซปกคลุมที่ใช้ในการทดลอง คือก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.995 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการควบคุมปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน (Arc Shielding Gas) และก๊าซปกคลุมด้านล่างของชิ้นงานทดสอบในระหว่างการเชื่อมนั้นควบคุมอัตราการไหลโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) ประกอบเข้ากับวาว์ลกันกลับ (Check Valve) ดังแผนภูมิในรูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงชุดควบคุมการไหลของก๊าซ ประกอบด้วยมาโนมิเตอร์ขนาด 25 ลิตรต่อนาที

จำนวน 2 ตัว ขนาด 1 ลิตรต่อนาทีจำนวน 1 ตัว วาว์ลกันกลับจำนวน 4 ตัว และชุดผสมก๊าซไนโตรเจนกับอาร์กอนจำนวน 1 ชุด



รูปที่ 3.3 แผนภูมิการควบคุมก๊าซปกคลุมด้านบนและด้านล่างชิ้นงานทดลอง

อัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ปกคลุมด้านบนและด้านล่างชิ้นงานเท่ากับ 16 และ 8 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ก๊าซไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมอาร์กอน สามารถควบคุมด้วยมาโนมิเตอร์ขนาด 1 ลิตรต่อนาที โดยใช้ส่วนผสมในปริมาณ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรก๊าซปกคลุมทั้งหมด

มาโนมิเตอร์ F1 ขนาด 25 ลิตรต่อนาที เป็นตัวควบคุมปริมาณก๊าซอาร์กอนในขณะที่มาโนมิเตอร์ F2 ขนาด 1 ลิตรต่อนาที เป็นตัวควบคุมปริมาณก๊าซไนโตรเจน ปริมาณก๊าซจากมาโนมิเตอร์ทั้งสองชุดจะไหลไปผสมกันในชุดผสมก๊าซ M1 ก่อนที่จะถูกปล่อยให้ไหลไปยัง

หัวเชื่อม (Welding Torch) และชุดป้อนก๊าซปกคลุมด้านล่าง เนื่องจากก๊าซปกคลุมด้านบนของชิ้นงานจะไหลผ่านหัวเชื่อม และด้วยข้อจำกัดของการปรับเครื่องเชื่อมที่ให้ก๊าซไหลก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมเกิดขึ้นเท่านั้น ดังนั้นในระหว่างที่ไม่มีการเชื่อม ก๊าซปกคลุมจะไหลไปตามท่อที่ต่อไปยังด้านล่างของชิ้นงาน จึงจำเป็นต้องควบคุมด้วยมาโนมิเตอร์ F3 ซึ่งมีขนาด 25 ลิตรต่อนาที เพื่อให้อัตราการไหลของก๊าซปกคลุมด้านล่างเท่ากับ 8 ลิตรต่อนาทีตามต้องการ และเป็นการบังคับให้ก๊าซที่เหลือไหลไปยังหัวเชื่อมเพื่อใช้ปกคลุมด้านบนของชิ้นงานในระหว่างการเชื่อม

3.1.4 อุปกรณ์การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะเชื่อม

อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าในขณะเชื่อม คือ Data Logger Hydra Data Acquisition Series ที่ผลิตโดย John Fluke MFG. Co., Inc. วิธีการวัดและการติดตั้งแสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง

แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 304L หนา 3 มิลลิเมตร ถูกตัดให้ได้ขนาด 100 x 125 มิลลิเมตร และเตรียมรอยต่อเชื่อมแบบ Square Butt Weld การตัดชิ้นงานต้องระวังไม่ให้เกิดความร้อนจนทำให้โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบบริเวณรอยตัดเปลี่ยนแปลง ผิวรอยต่อจะต้องเรียบ ปราศจากคราบน้ำมันและสนิม ซึ่งสามารถจัดเตรียมโดยการกัดผิวรอยต่อให้เรียบด้วยเครื่องกัด หลังจากนั้นจึงขัดผิวรอยต่อด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240 อีกครั้ง และล้างคราบไขมันด้วยอะซีโตน

3.3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 304L

จากการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีจากชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 2 ชิ้น ด้วยเครื่อง Emission Spectroscopy (ES) ผลการตรวจสอบแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 304L ตรวจสอบด้วยเครื่อง Emission Spectroscopy

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe	Others
ชิ้นที่ 1	0.0298	0.459	1.270	0.047	0.013	9.42	18.70	69.24	0.821
ชิ้นที่ 2	0.0311	0.462	1.270	0.046	0.013	9.41	18.72	69.23	0.818
เฉลี่ย	0.0305	0.461	1.270	0.047	0.013	9.42	18.71	69.24	0.820

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 304L ที่ใช้ในการทดลอง คือ

$$Ec_r = 19.76$$

$$En_i = 10.95$$

ค่าดังกล่าวสามารถประมาณปริมาณเฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมได้ โดยการอ่านค่าจากแผนภูมิเซฟเลอร์ในรูปที่ 2.2 ได้ประมาณ 9% ปริมาตร

3.4 การตรวจสอบรอยเชื่อม

3.4.1 การวัดขนาดรอยเชื่อม

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดลองไปวัดขนาดของรอยเชื่อม 3 จุด คือที่ระยะห่างประมาณ 8 มิลลิเมตรจากปลายทั้งสองข้าง และจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม โดยการตัดชิ้นงานขนานกับแนวเชื่อม ให้รอยตัดห่างจากจุดกึ่งกลางแนวเชื่อมข้างละประมาณ 8 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงทำการตัดตามขวางอีกครั้งตรงจุดที่ต้องการวัด ให้ได้ชิ้นงานแต่ละชิ้นยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้วนำไปผ่านการ Mounting เพื่อง่ายต่อการจับยึดสำหรับขัดผิวหน้าตัดของชิ้นงานให้เรียบ และนำไปกัดกรดนาน 30 วินาที (ส่วนผสมของกรด คือ $FeCl_3 6H_2O$ 68 กรัม + HNO_3 25 มิลลิลิตร และ H_2O 50 มิลลิลิตร)

นำชิ้นงานที่ได้ไปถ่ายรูปขยายผ่านกล้องจุลทรรศน์ได้รูปถ่ายขยาย 13 เท่า และทำการวัดขนาดรอยเชื่อมจากรูปถ่ายด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบแสดงค่าด้วยระบบดิจิตอล หาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดทั้ง 3 จุด

3.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม

เตรียมชิ้นงานทดลองที่รอยเชื่อมได้ตามมาตรฐาน DIN 8563 เกรด AS ตามต้องการเพื่อนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และวัดปริมาณเฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมโดยการวัดขนาดของเฟอร์ไรท์จากภาพถ่ายที่ได้จากเครื่อง Image Analyzer แล้วคำนวณตามวิธีการที่แสดงในภาคผนวก ข

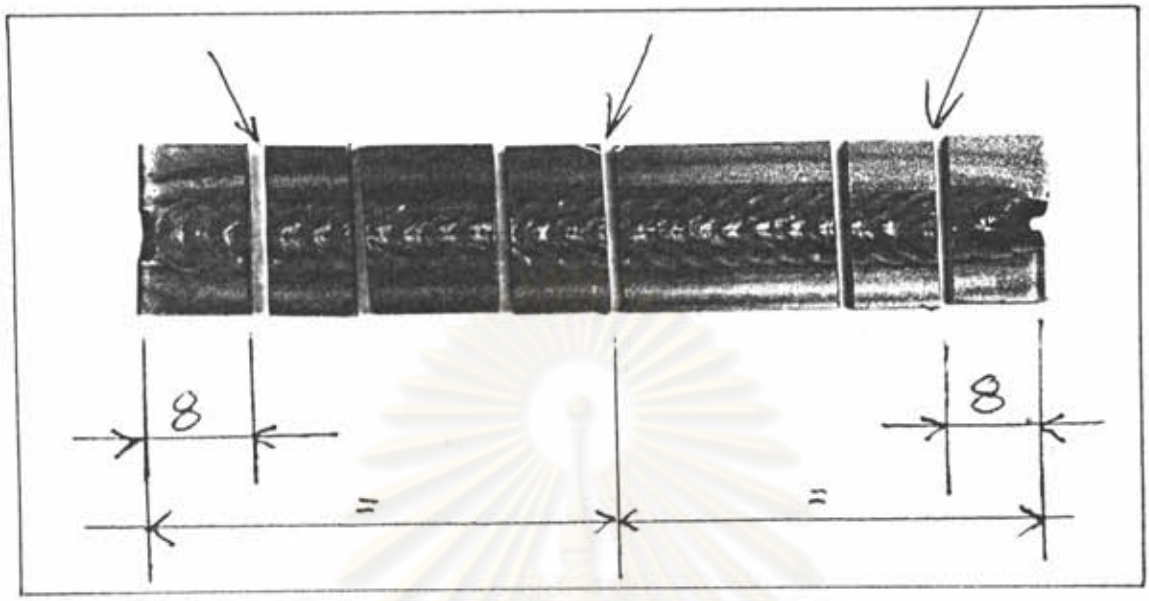
ชิ้นงานถูกนำไปผ่านการ Mounting การขัด (Grinding) การขัดมัน (Polishing) และการกัด (Etching)

การขัดชิ้นงานจะต้องขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 1200 ก่อนนำไปขัดมันด้วยผงขัด Al_2O_3 ขนาดความละเอียด 0.3 ไมครอน หลังจากนั้นจึงทำการกัดชิ้นงานด้วยสารเคมีที่ได้จากส่วนผสมของ NaOH 10 กรัม + H_2O 100 มิลลิลิตร + $KMnO_4$ (Sat.) เวลาที่ใช้ในการกัดกรด 5 นาที อุณหภูมิในการกัด 50 องศาเซลเซียส การกัดด้วยสารเคมีดังกล่าวสามารถตรวจสอบปริมาณเฟอร์ไรท์ภายในโครงสร้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมได้

3.4.3 การตรวจสอบจุดบกพร่องในรอยเชื่อมด้วยรังสี (Radiographic Testing : RT)

รอยเชื่อมที่ผ่านการตรวจด้วยสายตา และการวัดขนาดรูปร่างเป็นไปตามมาตรฐาน DIN 8653 ทั้งการเชื่อมในแนวราบ แนวตั้ง และแนวเหนือหัว จะส่งไปทดสอบด้วยการถ่ายภาพรังสีเพื่อให้แน่ใจว่าไม่ปรากฏรอยโพรงอากาศในเนื้อโลหะรอยเชื่อม จึงจะสามารถกล่าวได้ว่าตัวแปรการเชื่อมด้วยพัลส์ทิกนั้น ๆ ให้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ปราศจากข้อบกพร่องใด ๆ และได้รอยเชื่อมตามมาตรฐาน ผลการตรวจสอบแสดงในภาคผนวก ค

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 การตัดชิ้นงานทดลอง เพื่อใช้ในการวัดขนาดรอยเชื่อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย