บทที่ 3

อุปกรณ์ เครื่องมือ วิธีการตรวจสอบ และขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบทิกพัลส์

3.1.2 ชุดจับยึดชิ้นงานทดลอง

3.1.3 ชุดควบคุมส่วนผสมแก๊สปกคลุม

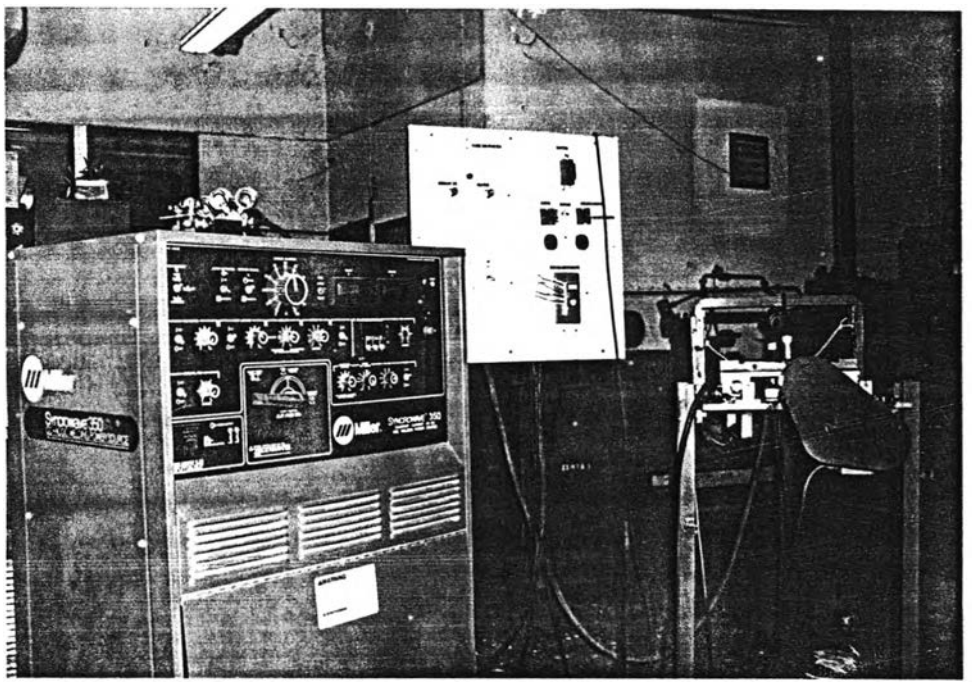
3.1.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบทิกพัลส์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ คือ Miller/Syncrowave 350 Ampere Constant Current AC/DC Arc Welding ปรับการเชื่อมเป็นแบบ Pulse Current DC Straight Polarity (อิเล็กโทรดเป็นขั้วลบ) ดังรูปที่ 3.1 อิเล็กโทรดที่ใช้เป็นทังสเตนผสมทอเรียมออกไซด์(ThO_2) 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร มุมแหลมปลายอิเล็กโทรด(Tip Angle) 60 องศา และระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดกับชิ้นงานทดสอบ(Arc Length) 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเซรามิกส์ครอบอิเล็กโทรดทังสเตน(Weld Torch-Vertical Orifice) มีขนาด 11 มิลลิเมตร อิเล็กโทรดยื่นออกจากหัวเซรามิกส์(Electrode Strickout) 4 มิลลิเมตร หัวเชื่อมทำมุมกับชิ้นงานทดลอง 75 องศา ใช้น้ำระบายความร้อนในระหว่างการเชื่อม

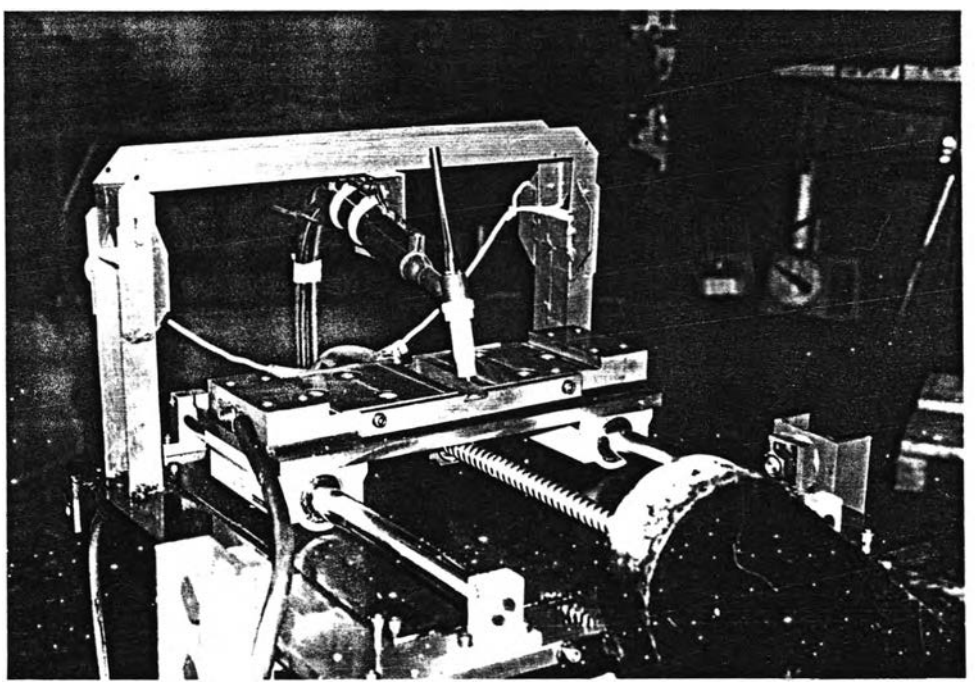
3.1.2 ชุดจับยึดชิ้นงานเพื่อใช้ในการเชื่อม

ชุดจับยึดชิ้นงานทดลองสามารถหมุนปรับตำแหน่งการเชื่อม 6-12 นาฬิกาได้ทุกตำแหน่ง ชิ้นงานทดลองถูกด้วยสกรูบนแท่นจับยึด แท่นจับยึดสามารถเคลื่อนที่ไปมาบนเพลานำโดยการขับเคลื่อนของสกรูที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ด้วยการควบคุมความถี่ของ Inverter การเคลื่อนที่ของแท่นจับยึดชิ้นงานทดลองมีความเร็วอยู่ในช่วง 0 ถึง 12.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

บนชุดจับยึดชิ้นงานทดลองนี้ได้ติดตั้งชุดป้อนแก๊สปกคลุมด้านล่างของชิ้นงานทดลอง (Root Shielding Gas) ชุดจับยึดชิ้นงานทดลอง และชุดป้อนแก๊สปกคลุมแสดงในรูปที่ 3.2



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



รูปที่ 3.2 ชุดจับยึดชิ้นงานทดลอง และชุดป้อนแก๊สปกคลุมด้านล่าง

3.1.3 ชุดควบคุมส่วนผสมแก๊สปกคลุม และปริมาณแก๊สปกคลุม

การไหลของแก๊สปกคลุมแต่ละชนิดสามารถควบคุมโดยการปรับเรกกูเลเตอร์(Regulator) ที่ต่อเข้ากับถังแก๊สหลังจากนั้นแก๊สจะผ่านเข้ามายังชุดควบคุมอัตราการไหลโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer)ของแก๊สแต่ละชนิดเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการทดลอง สำหรับมาโนมิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการไหลของแก๊สอาร์กอนกำหนดให้เป็น F_1 มีอัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาทีและของแก๊สไนโตรเจนกำหนดให้เป็น F_2 มีอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที แก๊สทั้งสองชนิดนี้เมื่อไหลออกจากมาโนมิเตอร์จะเข้าสู่ถังผสมแก๊ส ส่วนหนึ่งไหลไปยังเครื่องเชื่อมเพื่อควบคุมอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมที่หัวเชื่อม ส่วนที่เหลือไหลไปยังชุดควบคุมอัตราการไหลที่ใช้เป็นแก๊สปกคลุมด้านล่างซึ่งถูกควบคุมโดยมาโนมิเตอร์ กำหนดเป็น F_3 มีอัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาที

การควบคุมอัตราการไหลทำได้โดยหมุนปรับมาโนมิเตอร์ทั้ง 3 ตัว ในการทดลองครั้งนี้ใช้แก๊สปกคลุมที่มีอัตราการไหล 16 ลิตรต่อนาที แบ่งเป็นแก๊สปกคลุมด้านบน 8 ลิตรต่อนาทีและแก๊สปกคลุมด้านล่าง 8 ลิตรต่อนาที(หมุนปรับมาโนมิเตอร์ F_3) ในกรณีที่ใช้แก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนจะต้องหมุนปรับมาโนมิเตอร์ F_2 ให้ได้ปริมาณแก๊สไนโตรเจน 1 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3

จากการศึกษาของ ประสงค์ ชะอุ่มใบ[45] เกี่ยวกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 304L ใช้วิธีการเชื่อมแบบทิกพัลส์ ไม่ใช้ลวดเชื่อม อิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร ระยะอาร์ค 2 มิลลิเมตร ปริมาณแก๊สปกคลุมด้านบนและด้านล่าง เท่ากับ 16 และ 8 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ พบว่าปริมาณแก๊สที่ใช้เพียงพอ และทำให้รอยเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์

ในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณแก๊สปกคลุมที่ใช้ทั้งด้านบนและด้านล่างมีอัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมที่ใช้ในการทดลอง คือ แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.995 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์

3.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง

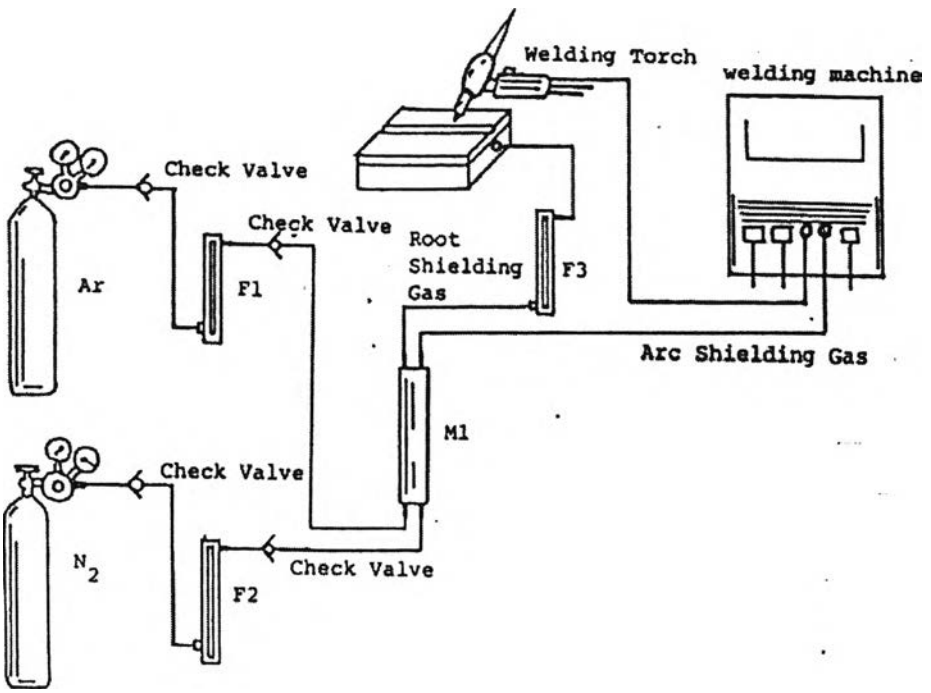
แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L หนา 3 มิลลิเมตร(ผิว 2 D) ตัดให้ได้ขนาด 100 × 125 มิลลิเมตร และเตรียมรอยเชื่อมแบบต่อชน(Square Root Butt Joint) การตัดชิ้นงานต้องระวังไม่ให้เกิดความร้อนจนทำให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนแปลง ขั้นตอนการเตรียมรอยเชื่อมแบบต่อชนมีดังนี้

3.2.1 นำชิ้นงานที่ตัดได้ตามขนาดกำหนด มาตัดเฉือนผิวสำหรับเตรียมรอยเชื่อมด้วยเครื่องกัดจนได้ผิวที่ราบเรียบ

T186Q194

3.2.2 ขัดผิวด้านที่ถูกตัดเฉือน ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240 เพื่อให้ผิวชิ้นงานทดสอบเรียบ และลบคมให้เรียบร้อย

3.2.3 ทำความสะอาดชิ้นงานทดลองให้ปราศจากสิ่งสกปรกและคราบมัน โดยการใช้อะซีโตนเช็ดทำความสะอาดแล้วทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง ก่อนเชื่อม



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมด้านบน และด้านล่างของการเชื่อมทิกพัลส์

3.3 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L

นำตัวอย่างชิ้นงานทดลองเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L มาวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง SPECTROLAB M7 และเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดลองน้ำหนักประมาณ 1 กรัม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยเครื่อง LECO 400 Oxygen-Nitrogen Analyzer คำนวณหาค่าโครเมียมเทียบเท่าและนิกเกิลเทียบเท่า จากส่วนผสมทางเคมีที่ทราบตามสมการ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับเพื่อประมาณค่าปริมาณเดลต้า-เฟอร์ไรท์ที่จะเกิดขึ้นในเนื้อโลหะรอยเชื่อมจากแผนภูมิเดอลอง (รูปที่ 2.11) ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมี และตารางที่ 3.2 แสดงค่าโครเมียมเทียบเท่าและนิกเกิลเทียบเท่า

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L ที่ใช้ในการทดลอง

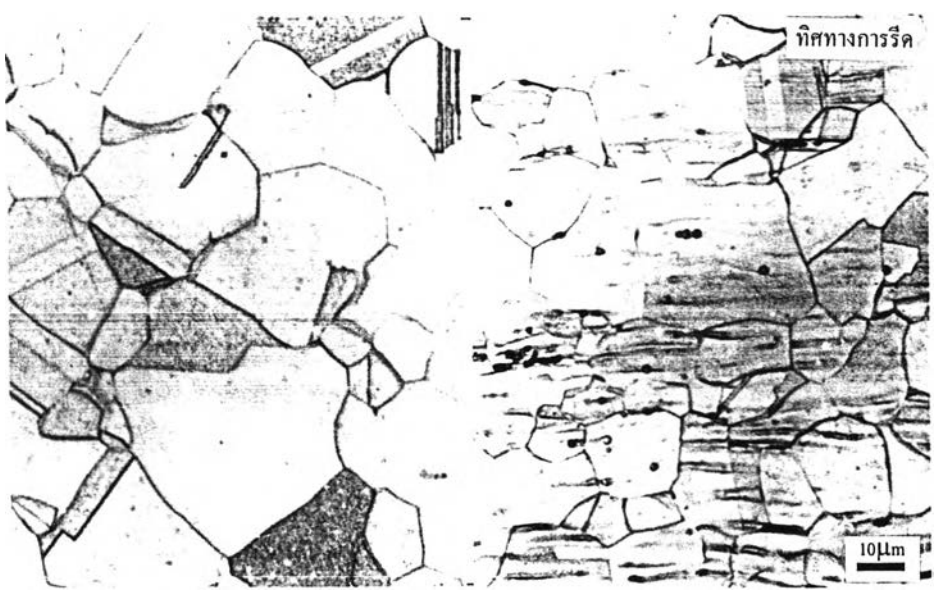
ปริมาณธาตุ (%โดย น.น.)											
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Fe	Other	N*
0.012	0.547	1.67	0.024	0.004	17.34	2.17	11.44	0.032	66.28	0.481	0.0451

*=LECO

400

ตารางที่ 3.2 ค่าโครเมียมเทียบเท่า และนิกเกิลเทียบเท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L

Cr_{eq}	Ni_{eq}	Cr_{eq}/Ni_{eq}	% Ferrite
20.33	13.59	1.50	6.8



รูปที่ 3.4 โครงสร้างจุลภาคโลหะพื้นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L(กำลังขยาย 500 เท่า) (กัดกรดด้วย $CuCl_2 \cdot 3H_2O$ 2 กรัม + HCl 40 มิลลิลิตร + CH_3OH 40 มิลลิลิตร เวลา 2 นาที)

3.4 การตรวจสอบรอยเชื่อม

3.4.1 การคัดเลือกชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน DIN 8563

นำชิ้นงานเชื่อมที่มีรอยซึมลึกสมบูรณ์ในทุกตำแหน่งท่าเชื่อมมาตรวจสอบรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยสายตาและใช้กล้อง Light Stereo Microscopy วัดขนาดรอยบกพร่องด้วยวิธีการโฟกัสแสงแสดงค่าด้วย Dial Gage มีค่าความผิดพลาด ±0.01 มิลลิเมตรโดยวัดExcessive Weld Metal(Δa_1) Incomplete Filled Groove(Δa_2) และExcessive Penetration(Δa_3) บันทึกค่าเปรียบเทียบกับมาตรฐาน DIN 8563(ตารางที่ 2.1)

3.4.2 การวัดขนาดความกว้างรอยเชื่อม

นำชิ้นงานที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563 มาตัดรอยเชื่อมในทิศทางตั้งฉากกับรอยเชื่อมที่ตำแหน่งวัดความกว้างรอยเชื่อมห่างจากขอบชิ้นงานเชื่อม 50 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร นำไปขัดกระดาษทรายเบอร์ 80 ถึง เบอร์ 800 ให้ผิวหน้าเรียบ กัดด้วยกรด($FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 68 กรัม + HNO_3 25มิลลิลิตร + น้ำ 50 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 4 นาที เพื่อดูลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นในโลหะพื้นและบันทึกภาพด้วยกล้อง Light Stereo Microscopy(กำลังขยาย 14 เท่า) วัดขนาดความกว้างรอยเชื่อมด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มีค่าความผิดพลาด ±0.01 มิลลิเมตร เนื่องจากการทดลองนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขรอยเชื่อมที่มีรอยซึมลึกสมบูรณ์ จึงใช้ความหนาของชิ้นงานทดลองเป็นสิ่งบ่งชี้รอยซึมลึกที่เกิดจากการเชื่อม

3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม

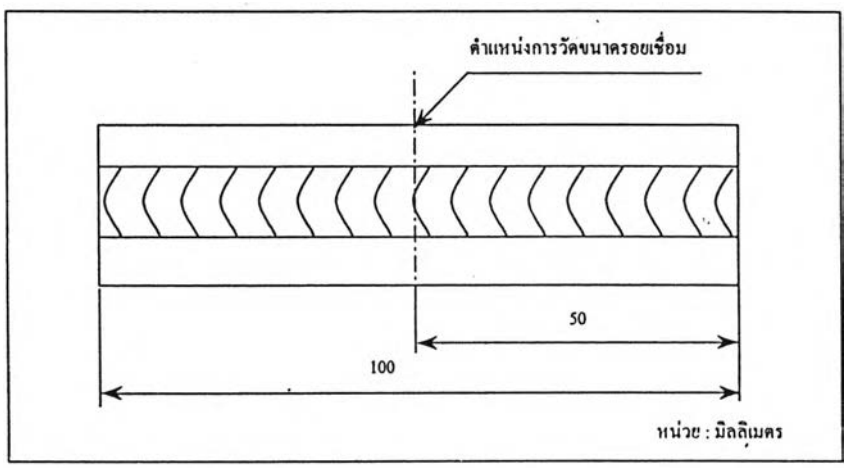
เตรียมชิ้นงานทดลองที่รอยเชื่อมได้มาตรฐาน DIN 8563 ไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและวัดปริมาณเดลต้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมจากภาพถ่ายที่ได้จากเครื่อง Image Analyzer ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคมีดังนี้

3.4.3.1 ตัดรอยเชื่อมในทิศทางตั้งฉากกับรอยเชื่อมยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร(รูปที่ 3.5)และทำ Mouting

3.4.3.2 ขัดด้วยกระดาษทรายจนกระทั่งถึงเบอร์ 1200 และขัดด้วยผงอลูมิน่า(Al_2O_3) แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ เป่าลมร้อนให้แห้งอย่างรวดเร็ว

3.4.3.3 กัดกรดชิ้นงานทดสอบด้วยสารเคมีที่มีส่วนผสม($CuCl_2 \cdot 3H_2O$ 2 กรัม + HCl 40 มิลลิลิตร + CH_3OH 40 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 2 นาที ล้างทำความสะอาดและเป่าลมร้อนให้แห้งอย่างรวดเร็ว

3.4.3.4 ใช้กล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมและใช้เครื่อง Image Analyzer ตรวจสอบปริมาณเดลต้า-เฟอร์ไรท์ในรอยเชื่อมโดยการคำนวณทาง Quantitative Metallography และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าทางสถิติโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.5 การเตรียมชิ้นงานรอยเชื่อมสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3.4.4 การตรวจสอบรอยบกพร่องในเนื้อโลหะรอยเชื่อมด้วยรังสี (Radiographic Testing: RT)

รอยเชื่อมที่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาและการวัดขนาดรูปร่างรอยเชื่อมที่ได้มาตรฐาน DIN 8563 ในทุกท่าเชื่อมต้องนำไปตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพรังสี เพื่อให้แน่ใจว่าไม่ปรากฏรูพรุนในเนื้อโลหะรอยเชื่อม จึงสามารถกล่าวได้ว่า ตัวแปรการเชื่อมทิกพัลส์นั้นให้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ปราศจากรอยบกพร่องและได้มาตรฐาน การตรวจสอบด้วยรังสีเอ็กซ์ในที่นี้กระทำที่ บริษัท พีเออี ไทยแลนด์ จำกัด(มหาชน)

3.4.5 การตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อม

นำชิ้นงานทดลองที่รอยเชื่อมสมบูรณ์ปราศจากรอยบกพร่องและได้มาตรฐาน DIN 8563 มาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อม เมื่อใช้แก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนในปริมาณที่แตกต่างกัน มีขั้นตอนดังนี้

3.4.5.1 ไสตัดเฉือนเนื้อโลหะรอยเชื่อมในทิศทางตามรอยเชื่อมให้ได้เศษประมาณ 1 กรัม

3.4.5.2 ทำความสะอาดเศษโลหะให้ปราศจากคราบน้ำมัน

3.4.5.3 วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยเครื่อง LECO 400 Oxygen-Nitrogen Analyzer

3.5 สรุปขั้นตอนการทดลอง

3.5.1 นำตัวอย่างชิ้นงานทดลองมาวิเคราะห์หาธาตุส่วนผสมทางเคมี ตามรายละเอียดข้อ 3.3

3.5.2 เตรียมชิ้นงานการทดลอง ขนาด 100×25 มิลลิเมตร ตามรายละเอียดในข้อ 3.2

3.5.3 เตรียมความพร้อมของอุปกรณ์-เครื่องมือการทดลอง ปรับแต่งพารามิเตอร์ที่จะใช้ทดลอง

3.5.4 นำชิ้นงานทดลองมายึดเข้ากับชุดจับยึด และปรับตั้งแนวรอยต่อชนของชิ้นงานทดลองให้ตรงกับปลาย อิเล็กโทรดตลอดเวลา พร้อมกับปรับระยะการอาร์คแล้วขันล็อคสกรูให้แน่น

3.5.5 เชื่อมรอยต่อชนของชิ้นงานการทดลองตลอดแนว และปรับตั้งค่าพารามิเตอร์การเชื่อมให้เหมาะสมเพื่อได้รอยเชื่อมที่มีรอยซึมลึกสมบูรณ์ ทดลองตามข้อ 4 และ 5 กับการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา ดังรูปที่ 3.6

3.5.6 และตรวจสอบรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นตามมาตราฐาน DIN 8563ตามรายละเอียดข้อ 3.4.1 และวัดขนาดความกว้างรอยเชื่อมตามรายละเอียดข้อ 3.4.2

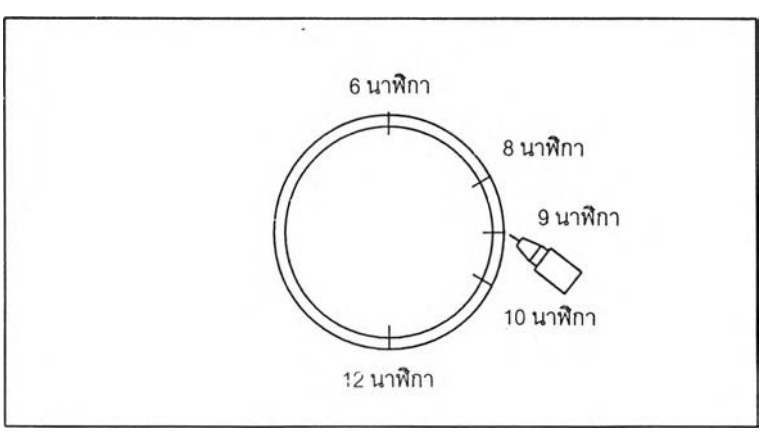
3.5.7 นำชิ้นงานทดลองที่ได้มาตรฐาน DIN 8563 ไปวิเคราะห์หารอยบกพร่องรูพรุนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมด้วยการฉายรังสี

3.5.8 ตัดชิ้นงานรอยเชื่อมที่ได้มาตรฐาน DIN 8563 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม ตามรายละเอียดข้อ 3.4.3

3.5.9 วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมตามรายละเอียดข้อ 3.4.5

3.5.10 ประเมินผลการทดลอง

3.5.11 สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.6 ตัวแปรสำหรับการทดลองเชื่อม

3.6.1 ตัวแปรคงที่

วิธีการเชื่อม	ทิกพัลส์
ลวดเชื่อม	ไม่ใช้
ลักษณะรอยเชื่อม	ต่อชน
กระแสไฟฟ้าเชื่อม	กระแสไฟฟ้าตรง อิเล็กโทรดเป็นขั้วลบ
ระยะอาร์ค	2 มิลลิเมตร
อิเล็กโทรด	ทังสเตนผสมทอเรียม 2เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (EWTh 2) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร มุมปลาย 60 องศา
แก๊สปกคลุม	แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.995 เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุม
อัตราการไหลแก๊สปกคลุมด้านบน	8 ลิตรต่อนาที
อัตราการไหลแก๊สปกคลุมด้านล่าง	8 ลิตรต่อนาที
หัว Torch	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Orifice 11 มิลลิเมตร ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ระยะการยื่นของอิเล็กโทรด (Strick out)	4 มิลลิเมตร
หัว Torch ทำมุมกับชิ้นงานทดลอง	75 องศา

3.6.2 ตัวแปรการทดลอง

ตำแหน่งเชื่อม	6, 8, 9, 10 และ12 นาฬิกา
ความเร็วเชื่อม	2, 3, 4, 5, 6, 7 และ8 มิลลิเมตรต่อวินาที
กระแสไฟฟ้าเชื่อม	เปลี่ยนแปลงตามความเร็วเชื่อม เพื่อได้รอยเชื่อมที่ซึมลึกสมบูรณ์
ปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	0 ,1, 2 , 3 และ 4

3.7 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง