

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
1.1 การสวมผ่านระหว่างท่อทองแดงกับแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน 2 แผ่น (Double Tube Sheet) ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน	1
2.1 บริเวณกระทบบร้อนที่ได้จากการเชื่อมเหล็กกล้า 1018 โดยกระบวนการเชื่อมทิก	10
2.2 กลไกการเกิดบริเวณ Partial Grain Refining	10
2.3 การเกิดการปรับขนาดเกรนให้ละเอียดโดยการเชื่อมหลายแนว	11
2.4 การทำงานของกระบวนการเชื่อมทิก	12
2.5 ตำแหน่งของการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดนิกเกิลบริสุทธิ์ (Pure Nickel) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อมที่ทำการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนกับทองแดง	15
2.6 ขนาดอุณหภูมิที่ต้องการในการอุ่นชิ้นงานทองแดงที่ขึ้นอยู่กับความหนาชิ้นงาน และชนิดของแก๊สปกคลุมในแต่ละกระบวนการเชื่อม	16
2.7 ผลกระทบจากอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานทองแดงและชนิดของแก๊สปกคลุม ที่ส่งผลกระทบต่อระยะหลอมลึก ในการเชื่อมบนผิวหน้าชิ้นงาน (Bead on Plate) โดยกระบวนการเชื่อมทิก	16
2.8 ลักษณะการกวาด (Sweeping) ของขอบเกรนในบริเวณกระทบบร้อน	18
2.9 ลักษณะการแพร่แบบท่อ (Pipeline Diffusion) จากบริเวณบ่อหลอมละลายสู่บริเวณกระทบบร้อน	19
2.10 ปริมาณของทองแดงที่มีสถานะเป็นของเหลว เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเหล็กกับนิกเกิลในบริเวณแนวเชื่อมรองพื้น	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	21
3.2 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมในร่องยูนบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยลวดเชื่อมทองแดง	25
3.3 ขนาดชิ้นงานสำหรับการทดลองเพื่อตรวจสอบค่าความร้อนเข้าที่สามารถคงความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 ไว้ได้	26
3.4 ขนาดความสูงของแนวเชื่อมรองพื้นจากพื้นผิวของโลหะฐาน	27
3.5 การเชื่อมบนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมรองพื้นด้วยกระบวนการเชื่อมทิกแบบ Machine	27
3.6 การกำหนดมุมหัวเชื่อม	28
3.7 การกำหนดมุมเดิน	28
3.8 ขนาดชิ้นงานสำหรับการทดลองในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน	30
3.9 การเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ด้านเหล็กกล้าคาร์บอน	31

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.10 ความหนาแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลด้านเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการกัดผิวหน้าให้ได้ขนาด ความหนา 3 mm	31
3.11 ลักษณะการกำหนดตำแหน่งหัวเชื่อมและระยะอาร์กของการเชื่อมในแต่ละแนวเชื่อม	33
3.12 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการหล่อด้วย Blackelite	36
3.13 บริเวณที่ทำการวัดขนาดพื้นที่การหลอมละลายของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 และโลหะฐานทองแดงบริสุทธิ์ และบริเวณที่ทำการวัดความหนาของเหลือต่ำสุดของแนว เชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1	37
3.14 รูปแบบการตรวจสอบปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอน	40
3.15 ภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงและภาพการ Threshold เฟส ทองแดงด้วยโมดูล Percent Area ในซอฟต์แวร์ Scientis	41
4.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมในร่องยูนบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	44
4.2 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะที่ตกผลึกในแนวเชื่อมทองแดง	45
4.3 กราฟแสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บริเวณแนวเชื่อมทองแดง ของชิ้นงานเชื่อม ในร่องยูนบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	46
4.4 โครงสร้างมหภาคและความหนาต่ำสุดของเหลือของแนวเชื่อมรองพื้นในการตรวจสอบ ค่าความร้อนเข้าที่สามารถคงความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 "ไว้"ได้	48
4.5 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	50
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การหลอมละลายกับอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงาน	51
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเหลือต่ำสุดแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลกับ อุณหภูมิอุ่นชิ้นงาน	52
4.8 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ของชิ้นงาน ที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	54
4.9 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณกระแทกร้อนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ของชิ้นงาน ที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	55
4.10 ลักษณะขอบเกรนที่เชื่อมโยงกันระหว่างบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 และแนวเชื่อมทองแดง	57

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.11 ส่วนประกอบทางเคมีบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 และแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 400 °C	58
4.12 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 ของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	60
4.13 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะในแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 ของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 400 °C	61
4.14 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	63
4.15 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะที่ตกผลึกในแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 100 °C	64
4.16 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะที่ตกผลึกในแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 200 °C	65
4.17 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะที่ตกผลึกในแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 300 °C	66
4.18 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะที่ตกผลึกในแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 400 °C	67
4.19 ส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะที่ตกผลึกในแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 400 °C	68
4.20 กราฟแสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บริเวณแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล และแนวเชื่อมทองแดงของชิ้นงานเชื่อมต่อชน (Butt Joint) ที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 400 °C	69
4.21 กราฟแสดงปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอนของการเชื่อมในร่อง ณ ระยะเวลาตรวจสอบจากขอบแนวเชื่อมทองแดง (กรณีไม่มีการเชื่อมรองพื้น)	70
4.22 กราฟแสดงปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอนของการเชื่อมแบบต่อชน ณ ระยะเวลาตรวจสอบจากขอบแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล (กรณีมีการเชื่อมรองพื้น)	71
4.23 แสดงปริมาณนิกเกิลในแนวเชื่อมทองแดงของการเชื่อมแบบต่อชน ณ ระยะเวลาตรวจสอบจากขอบแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล	73