

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



248485

ผลของกรรมวิธีหาความร้อนแห้งเบื้องต้นและชนิดของลวดเชื่อมต่อความแห้งและ
โครงเต้าจุลภาคของเนื้อเยื่อระหว่างเหล็กกล้าที่มีโครเมียม 2.25% และ 9% โดยน้ำหนัก

นายณัฐพล อรรถโสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๖๐๐๒๕๓๖๑๕

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



248485

ผลของกรรมวิธีทางความร้อนหลังเชื่อมและชนิดของลวดเชื่อมต่อความแข็งแรงและ
โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าที่มีโครเมียม 2.25% และ 9% โดยน้ำหนัก



นาย ญัฐพล ธรรมโสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 0 7 0 2 7 6 8 2 1

EFFECTS OF POSTWELD HEAT TREATMENT AND FILLER METAL TYPE
ON HARDNESS AND MICROSTRUCTURES BETWEEN
2.25 wt.%Cr AND 9 wt.%Cr STEEL WELDMENT

Mr. Nattaphon Tammasophon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Metallurgical Engineering
Department of Metallurgical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2010
Copyright of Chulalongkorn University



หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของกรรมวิธีทางความร้อนหลังเชื่อมและชนิดของลวดเชื่อมต่อความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าที่มีโครเมียม 2.25% และ 9% โดยน้ำหนัก

โดย

นายณัฐพล ธรรมโสภณ

สาขาวิชา

วิศวกรรมโลหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร. ปัญญวัชร วั่งยาว

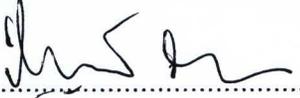
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

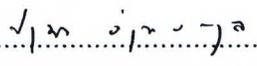

.....
คนบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....
ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย)


.....
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ)


.....
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. ปัญญวัชร วั่งยาว)


.....
กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมมา วิสุทธิพิทักษ์กุล)


.....
กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ประทีป วงศ์บัณฑิต)

ณัฐพล ธรรมโสภณ : ผลของกรรมวิธีทางความร้อนหลังเชื่อมและชนิดของลวดเชื่อมต่อความ
แข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าที่มีโครเมียม 2.25% และ 9% โดย
น้ำหนัก (EFFECTS OF POSTWELD HEAT TREATMENT AND FILLER METAL TYPE ON
HARDNESS AND MICROSTRUCTURES BETWEEN 2.25 wt.%Cr AND 9 wt.%Cr STEEL
WELDMENT) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ. อ. ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม: อ.ดร.ปัญญาวัชร วัชยาว, 184 หน้า.

248485

ในการใช้งานแนวเชื่อมที่ระหว่างเหล็กกล้า P22 (2.25%โครเมียม) และเหล็กกล้า P91
(9%โครเมียม) ที่เชื่อมต่อกันด้วยลวดเชื่อมอินโคเนล 625 หรืออินโคเนล 617 ที่อุณหภูมิสูง พบว่าเกิด
การแตกร้าวที่บริเวณกระแทบร้อนของเหล็กกล้า P91 เพื่อความเข้าใจปัญหาการแตกร้าวนี้ จึงศึกษาผล
ของกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และศึกษาผล
ของกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550, 633, 717 และ 800°C เป็นเวลา 500, 1000, 2000 และ
2500 ชั่วโมง หลังจากกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อม ต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง

หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เวลา 2 ชั่วโมง ความแข็งที่
บริเวณกระแทบร้อนของเหล็กกล้า P91 สูงกว่าค่าความแข็งหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อม
เวลา 4 และ 6 ชั่วโมง แต่ค่าไม่เกิน 350 HV ซึ่งเป็นค่ากำหนดทั่วไปในงานเชื่อมเหล็กกล้า หลังจากนั้น
การทำกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เวลา 1000 ชั่วโมง บริเวณกระแทบร้อนของเหล็กกล้า
P91 มีค่าความแข็งกว่าการทำกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาอื่น ความแข็งหลังผ่าน
กรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เวลา 2000 ชั่วโมง ลดลง การผ่านกรรมวิธีทางความร้อนทำ
ให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนจากมาร์เทนไซต์เป็นเทมเปอรั่มมาร์เทนไซต์และตะกอนคาร์ไบด์

เนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 และ อินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่
อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา
1000 ชั่วโมง มีค่าความแข็งสูงสุด ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625
และ 617 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด พบตะกอนภายในเนื้อเชื่อมและคาร์ไบด์ตาม
ขอบเกรน ส่งผลทำให้ความแข็งมีค่าสูง

จากการผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังทุกกรณี พบว่า บริเวณโลหะพื้นของเหล็กกล้า P22 และ
P91 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง และบริเวณกระแทบร้อนของเหล็กกล้า P22
ไม่พบปัญหาค่าความแข็งสูงกว่าที่กำหนด

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....*ณัฐพล ธรรมโสภณ*
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*กอบบุญ หล่อทองคำ*
ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....*ปัญญาวัชร วัชยาว*

5070276821: MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEYWORDS : P91/P22/INCONEL 625/INCONEL 617/MICROSTRUCTURES /CARBIDE

NATTAPHON TAMMASOPHON : EFFECTS OF POSTWELD HEAT TREATMENT AND FILLER METAL TYPE ON HARDNESS AND MICROSTRUCTURES BETWEEN 2.25 wt.%Cr AND 9 wt.%Cr STEEL WELDMENT. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF GOBBOON LOTHONGKUM, Dr.-Ing., THESIS Co-ADVISOR: PANYAWAT WANGYAO, Ph.D., 184 pp

248485

In the practical use at high temperature of TIG weldments between P22 (2.25Cr steel) and P91 (9Cr steel) using Inconel 625 or Inconel 617 as filler metals, cracking at the heat affected zone (HAZ) of P91 steel was reported. In order to understand this cracking problem, the effect of postweld heat treatment (PWHT) at 750°C for 2, 4, and 6 hrs, as well as the effect of long-term heat treatment (LTHT) at 550, 633, 717 and 800°C for 500, 1000, 2000 and 2500 hrs on microstructure and hardness of weldments were studied.

The hardness at HAZ of P91 steel after PWHT at 750°C for 2 hrs was higher than those after PWHT at 750°C for 4 and 6 hrs, but it was not in excess of 350 HV, which is the general limit value for welding of steel. The hardness at HAZ of P91 after PWHT and LTHT at 633°C for 1,000 hours was higher than those at the other conditions. The hardness was reduced after PWHT and LTHT at 633°C for 2,000 hours. The martensite microstructure was changed to be tempered martensite and carbide.

The Inconel-625 or Inconel-617 weld metals, after PWHT at 750°C for 4, 6 hours and LTHT at 633°C for 1000 hours, had the highest hardness. The microstructures of those weld metals observed by SEM showed some precipitates in the grain and carbide at the grain boundary. This was responsible for the high hardness.

In any case of the PWHT and LTHT conditions, the microstructure and hardness at the base metals of P22 and P91 steels were not changed. The hardness at HAZ of P22 steel was not so high.

Department : Metallurgical Engineering
 Field of Study : Metallurgical Engineering
 Academic Year : 2010

Student's Signature Nattaphon Tammasonphen
 Advisor's Signature Gobboon Lothongkum
 Co-Advisor's Signature Panyawat Wangyao

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์.ดร. ปัญญวัชร วังยาว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทาง รวมทั้งการวิเคราะห์ผลการ ทดลองและตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย ประธานคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมมา วิสุทธิพิทักษ์กุล และ ดร.ประทีป วงศ์บัณฑิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลา แนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คุณวีระศักดิ์ และ คุณปวีณา หอมกระจาย วิศวกรการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำหรับการเตรียมชิ้นงานเชื่อม วัสดุ อุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านภาควิชา วิศวกรรมโลหการ ที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ต่องานวิจัยนี้ และเนื่องจากทุนวิจัยได้รับการ สนับสนุนจากโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สกว. ผู้วิจัยจึง ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ทั้งนี้ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว พี่ ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ และบุคคลรอบข้าง ที่ให้กำลังใจทำให้สามารถผ่านอุปสรรคและปัญหา ต่างๆ มาได้โดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1.....	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ปรัชญาของระบอบการปกครอง.....	4
2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
3.1 อุปกรณ์ให้ความร้อน.....	22
3.2 อุปกรณ์ในการเชื่อม.....	22
3.3 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.4 เครื่องมือสำหรับการเตรียมชิ้นงาน.....	22
3.5 เครื่องมือวิเคราะห์.....	23
3.6 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	23
3.7 กรรมวิธีทางความร้อนเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาต่อความแข็งและ โครงสร้างจุลภาค.....	24
3.8 วิธีการทดสอบสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	24
3.9 วิธีการทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบของชิ้นงาน	24

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.10. ตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อม.....	25
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	26
4.1 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า P22 และเหล็กกล้า P91	27
4.2 ความแข็งของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22และเหล็กกล้า P91 ที่เชื่อมด้วยเชื่อม อินโคเนล 625 และ อินโคเนล 617 หลังเชื่อม.....	28
4.3 ความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิอุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง.....	29
4.4 ความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550, 633, 717 และ 800°C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง.....	41
4.5 ความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2,4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	68
4.6 ความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....	95
4.7 ความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง	109
4.8 บทสรุปภาพรวมผลการทดลอง.....	118
5. สรุปผลการทดลอง.....	123

สารบัญ(ต่อ)

รายการอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก.....	129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	184

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ตัวอย่างส่วนผสมเคมี (%โดยน้ำหนัก) ของโลหะผสมนิกเกิลอินโคเนล 625 [4].... 5
2.2	ตัวอย่างส่วนผสมเคมี (%โดยน้ำหนัก) ของโลหะผสมนิกเกิลอินโคเนล 617 [4].... 7
2.3	เฟสต่างๆ และระบบผลึกที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอินโคเนล 617เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง [3, 4]..... 8
2.4	ตัวอย่างส่วนผสมเคมี (%โดยน้ำหนัก) ของเหล็กกล้า P22) [5]..... 9
2.5	ตัวอย่างส่วนผสมเคมี (%โดยน้ำหนัก) ของเหล็กกล้า P91 [5]..... 10
2.6	รายละเอียดของการอบชุบความร้อนของอินโคเนล 625 ตามการทดลองของ K.Bhanu Sankara Rao และคณะ [7]..... 13
2.7	ค่าความเค้นคราก ความแข็งแรงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอินโคเนล 625 ผ่านการใช้งานและกรรมวิธีทางความร้อนแบบต่าง ๆ [7]..... 19
2.8	ค่าความเค้นคราก ความแข็งแรงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอินโคเนล 625 ผ่านการใช้งาน การอบอ่อนและกรรมวิธีทางความร้อนต่าง ๆ [7]..... 19
2.9	ค่าความแข็งแรงสูงสุดและการตกตะกอนเฟสต่าง ๆ หลังการทดลอง [7]..... 19
4.1	ความหมายของสัญลักษณ์ของกรรมวิธีความร้อน รอยเชื่อม และเฟสต่างๆ..... 27
4.2	โครงสร้างจุลภาคของ ก) เหล็กกล้า P22 ข) เหล็กกล้า P91..... 118
4.3	ความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่เชื่อมเหล็กกล้า P22 และเหล็กกล้า P91 ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมอินโคเนล 625 และ 617 หลังเชื่อม..... 28
4.4	แสดงค่าความแข็งแรงแสดงค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้า P22 และ P91 บริเวณโลหะพื้น กระทบร้อนและรอยต่อหลังผ่านกรรมวิธีทางร้อนหลังการเชื่อม..... 119
4.5	แสดงค่าความแข็งแรงของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อม..... 119
ก1	แสดงค่าความแข็งแรงบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมอินโคเนล 625..... 131
ก2	แสดงค่าความแข็งแรงบริเวณโลหะพื้น P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625..... 132
ก3	แสดงค่าความแข็งแรงบริเวณกระทบร้อนเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625..... 133

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก4	แสดงความแข็งแรงบริเวณกระทู้ร้อน P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625.....	134
ก5	แสดงความแข็งแรงบริเวณรอยเหล็กกล้าP91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมอินโคเนล 625.....	135
ก6	แสดงความแข็งแรงบริเวณรอยเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625.....	136
ก7	แสดงความแข็งแรงบริเวณเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91.....	137
ก8	แสดงความแข็งแรงบริเวณรอยของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 ด้านติดกับเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมอินโคเนล 625.....	138
ก9	แสดงความแข็งแรงบริเวณรอยเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 ด้านติดเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91.....	139
ข1	แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อพื้นและคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค อีดีเอสของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการ เชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	142
ข2	แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อพื้นและคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค อีดีเอสของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการ เชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	143
ค1	แสดงความแข็งแรงบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมอินโคเนล 617.....	145
ค2	แสดงความแข็งแรงบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617.....	146
ค3	แสดงความแข็งแรงบริเวณกระทู้ร้อนเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617.....	147
ค4	แสดงความแข็งแรงบริเวณกระทู้ร้อนเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617.....	148

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค5	แสดงความแข็งบริเวณรอยเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมอินโคเนล 617.....	149
ค6	แสดงความแข็งบริเวณรอยเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617.....	150
ค7	แสดงความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมอินโคเนล 617 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91.....	151
ค8	แสดงความแข็งบริเวณรอยของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 617 ด้านติดกับเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91 ที่เชื่อมอินโคเนล 617.....	152
ค8	แสดงความแข็งบริเวณรอยเนื้อเชื่อมอินโคเนล 617 ด้านติดเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมเหล็กกล้า P22 และ P91.....	153
จ1	แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อพื้นและคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค เอ็ดดีเอสของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	180

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	วาล์วที่ทำด้วยเหล็กกล้าที่มีโครเมียม 2.25%Cr โดยน้ำหนัก (P22) เชื่อมต่อกับเหล็กกล้าที่มีโครเมียม 9%Cr โดยน้ำหนัก (P91) ด้วยลวดเชื่อมโลหะผสมนิกเกิลอินโคเนล [1].....	2
2.1	ภาพตัดขวางแสดงบริเวณของชิ้นงานเชื่อมที่ศึกษาโดย M. Vijayalakshmi และคณะ [6].....	11
2.2	โครงสร้างจุลภาคและเส้นแสดงความแข็งของแนวเชื่อมเหล็กที่มี 9Cr-1Mo เชื่อมกับเหล็กที่มี 2.25Cr-1Mo โดยที่ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน [6].....	11
2.3	a) โครงสร้างจุลภาค b) เส้นแสดงความแข็ง c) ตะกอนคาร์ไบด์ในบริเวณที่แข็ง d) เฟอไรต์ในบริเวณที่อ่อนของแนวงานเชื่อมผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ 1023 K 15 ชั่วโมง [6].....	11
2.4	โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1023 K [6].....	12
2.5	เส้นแสดงความแข็งของแนวเชื่อมที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ 1023 K [6].....	12
2.6	ภาพคาร์ไบด์ที่เกิดในแนวเชื่อมหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1023 K เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [6].....	13
2.7	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงแสดงคาร์ไบด์ตามขอบและภายในเกรนของโลหะเนื้อพื้นวัสดุที่ผ่านการใช้งานแล้ว [7].....	14
2.8	ผลการวิเคราะห์เชิงเส้นบนวัสดุที่ผ่านการใช้งาน a) บริเวณขอบเกรน b) คาร์ไบด์ภายในโลหะพื้นมี Nb และ Mo อยู่มาก c) การกระจายตัวของ Nb และ Mo ในคาร์ไบด์ [7].....	15
2.9	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านวัสดุที่ผ่านการใช้งานแล้ว a) คาร์ไบด์ตามขอบเกรน b) เฟส $Ni_2(Cr,Mo)$ c) รูปแบบการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนของ $Ni_2(Cr,Mo)$ และแกรมมาดอบเบิลไพรม์ (γ'') d) รูปแบบการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนของภาพ c) [7].....	15
2.10	กราฟแสดง a) ความเค้นคราก b) ระยะยึด c) ความแข็งแรงสูงสุด d) ความแกร่งคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟความเค้นความเครียด ของ อินโคเนล 625 ที่ผ่านการใช้งาน ผ่านการอบอ่อน และกรรมวิธีทางความร้อนแบบต่าง ๆ [7].....	16

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.11	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน วัสดุที่ผ่านการใช้งานหลังการอบอ่อนเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1423 K แสดงให้เห็นแต่โลหะเนื้อพื้นและขอบเกรน [7].....	16
2.12	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน a) วัสดุที่ผ่านการใช้งานและผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 923 K ส่วนใหญ่จะเป็นแกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') b) แกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') c) รูปแบบการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนของแกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') [7].....	17
2.13	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน วัสดุที่ผ่านการใช้งานและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 923 K a) คาร์ไบด์ที่ขอบเกรนและแกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') b) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของแกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') ไม่พบ $Ni_2(Cr,Mo)$ c) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของ b) [7].....	17
2.14	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด วัสดุที่ผ่านการใช้งานและการอบชุบความร้อน 500 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 923 K แสดงให้เห็นการตกตะกอนของเฟสเดลต้า (δ -phase) [7].....	18
2.15	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน วัสดุที่ผ่านการใช้งานหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1123 K a) คาร์ไบด์ที่ขอบเกรน ไม่พบ $Ni_2(Cr,Mo)$ และแกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') b) การตกตะกอนของเฟสเดลต้า (δ -phase) หลังเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง [7].....	18
2.16	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน วัสดุที่ผ่านการอบอ่อนภายหลังการอบชุบความร้อน a) อุณหภูมิ 923 K 100 ชั่วโมง แสดงคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนและแกรมมาดอบเบิลไพร์ม (γ'') b) อุณหภูมิ 1123 K 100 ชั่วโมง แสดงเฟสเดลต้า (δ -phase) [7].....	19
2.17	โลหะผสมนิกเกิลเกิด Ni-22Cr-12Co-9Mo (อินโคเนล 617) หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง a) ภาพถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์แสง b), c) $M_{23}C_6$ และเฟสเดลต้า (δ -phase) ตกตะกอนตามขอบเกรน [8].....	21

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.18	โลหะผสมนิกเกิล Ni-22Cr-12Co-9Mo (อินโคเนล 617) มาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง a) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสง b) ภาพถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านพบว่ามีการมาไฟรม (γ') ลดลง [8]	21
3.1	ภาพตัวอย่างชิ้นงานก่อนเชื่อมและหลังเชื่อม.....	23
3.2	ภาพตัวอย่างชิ้นงานหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C.....	24
4.1	บริเวณต่างของแนวเชื่อมพร้อมสัญลักษณ์ที่ใช้.....	25
4.2	โครงสร้างจุลภาคของ ก) เหล็กกล้า P22 ข) เหล็กกล้า P91.....	26
4.3	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมเหล็กกล้า P22 (2.25 %โครเมียม) และเหล็กกล้าP91 (9%โครเมียม) ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมอินโคเนล 625 และอินโคเนล 617 หลังเชื่อม.....	27
4.4	ความแข็งของแนวเชื่อมหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C.....	29
4.5	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P22 หลังผ่านการเชื่อมและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมอุณหภูมิ 750°C.....	30
4.6	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระแทกร้อนเหล็กกล้า P22 หลังผ่านการเชื่อมและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมอุณหภูมิ 750°C.....	30
4.7	โครงสร้างจุลภาคของบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P22 หลังผ่านการเชื่อมและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C.....	31
4.8	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังผ่านการเชื่อมและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C.....	35
4.9	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระแทกร้อนเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังผ่านการเชื่อมและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C.....	36

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังผ่านการเชื่อมและหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการ เชื่อมที่อุณหภูมิ 750 °C..... 39
4.11	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธี ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง..... 41
4.12	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธี ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง..... 42
4.13	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธี ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 717°C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง..... 43
4.14	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธี ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง..... 44
4.15	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอิน โคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็น เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน..... 45
4.16	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อนเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน..... 48
4.17	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อของเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน..... 51
4.18	โครงสร้างจุลภาคของโลหะพื้นของเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอิน โคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็น เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน..... 55

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.19	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	58
4.20	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	63
4.21	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธี ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	68
4.22	ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธี ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	69
4.23	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมอินโคเนล 625หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	70
4.24	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็น เวลา 1000 ชั่วโมง.....	72
4.25	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	75
4.26	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอิน โคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็น เวลา 1000 ชั่วโมง	78
4.27	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง	80

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง..... 83
4.29	โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน หลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความ ร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า..... 86
4.30	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 1 ก่อนตะกอน ในรูปที่ 4.29 ด้วย เทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 87
4.31	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 3 ตะกอน ในรูปที่ 4.29 ด้วย เทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 87
4.32	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 4 บริเวณเนื้อพื้น ในรูปที่ 4.29 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 87
4.33	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 5 ตะกอนตามขอบเกรน ในรูปที่ 4.29 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 88
4.34	โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน หลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความ ร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า..... 89
4.35	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 2 ก่อนตะกอน ในรูปที่ 4.34 ด้วย เทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 89
4.36	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 3 ตะกอนตามขอบเกรน ในรูปที่ 4.34 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 90
4.37	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 4 บริเวณเนื้อพื้น ในรูปที่ 4.34 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 90
4.38	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 5 ก่อนตะกอน ในรูปที่ 4.34 ด้วย เทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 90

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39	<p>โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมอินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน หลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....</p> <p style="text-align: right;">92</p>
4.40	<p>รูปที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 1 ก่อนตะกอน ในรูปที่ 4.39 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....</p> <p style="text-align: right;">93</p>
4.41	<p>รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 2 ตะกอนตามขอบเกรน ในรูปที่ 4.39 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....</p> <p style="text-align: right;">93</p>
4.42	<p>ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 3 บริเวณเนื้อพื้น ในรูปที่ 4.39 ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....</p> <p style="text-align: right;">94</p>
4.43	<p>เส้นแสดงความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p> <p style="text-align: right;">95</p>
4.44	<p>เส้นแสดงความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p> <p style="text-align: right;">96</p>
4.45	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p> <p style="text-align: right;">97</p>
4.46	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อนเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p> <p style="text-align: right;">99</p>
4.47	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p> <p style="text-align: right;">101</p>
4.48	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p> <p style="text-align: right;">103</p>

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.49	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทับร้อนเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง.....</p>	104
4.50	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550 และ 633°C เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง....</p>	106
4.51	<p>ความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 และ 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	109
4.52	<p>โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 ของเหล็กกล้า บริเวณโลหะพื้นหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	110
4.53	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทับร้อนเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 บริเวณกระทับร้อนหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	111
4.54	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมอินโคเนล 625 บริเวณรอยต่อหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	112
4.55	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	113
4.56	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทับร้อนเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	115
4.57	<p>โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง.....</p>	116

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข1	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 2 ตะกอนตามขอบเกรน ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 141
ข2	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 6 บริเวณเนื้อพื้น ด้วยเทคนิคอีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 141
ง1	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า P22 และเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังเชื่อม..... 155
ง2	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้าเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C..... 155
ง3	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อนเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C.... 156
ง4	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C..... 156
ง5	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C..... 156
ง6	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อนเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C..... 157
ง7	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังจากผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 750°C..... 157
ง8	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 550, 633, 717 และ 800°C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง..... 158

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง27	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันเหล็กกล้า P22 แนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และผ่านกรรม วิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง..... 176
ง28	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P22 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และผ่านกรรม วิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง..... 177
ง29	โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้นเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และผ่านกรรม วิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง..... 177
ง30	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และผ่านกรรม วิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง..... 178
ง31	โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเหล็กกล้า P91 ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย อินโคเนล 617 หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และผ่านกรรม วิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 633°C เป็นเวลา 2500 ชั่วโมง..... 178
จ1	ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Spectrum ที่ 4 บริเวณเนื้อพื้นด้วยเทคนิค อีดีเอสโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 180
ฉ1	การออกแบบงานเชื่อมของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 625 ของแนวเชื่อม เหล็กกล้า P22 และเหล็กกล้า P91..... 182
ฉ2	การออกแบบงานเชื่อมของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอินโคเนล 617 ของแนวเชื่อม เหล็กกล้า P22 และ เหล็กกล้า P91..... 183