

ผลของกระบวนการความร้อนเชิงกลต่อการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน
ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304



นายกิตติศักดิ์ โกศลวรรณณะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-031-109-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF THERMOMECHANICAL PROCESSING ON STRESS
CORROSION CRACKING SUSCEPTIBILITY OF 304 STAINLESS STEELS

Mr. KITTISAK KOSONWANTANA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2001

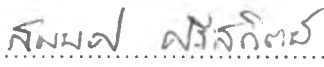
ISBN 974-031-109-1

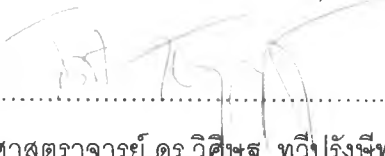
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของกระบวนการความร้อนเชิงกลต่อการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน
ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304
โดย นายกิตติศักดิ์ โกศลวรรณณะ
สาขาวิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ทวีปรั้งชีพ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ เดโช ทองอร่าม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

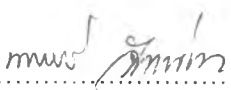
 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ทวีปรั้งชีพ)

 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ เดโช ทองอร่าม)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

กิติศักดิ์ โกศลวรรณธนะ : ผลของกระบวนการความร้อนเชิงกลต่อการกัดกร่อนบริเวณ
ขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304. (EFFECT OF THERMOMECHANICAL
PROCESSING ON STRESS CORROSION CRACKING SUSCEPTIBILITY OF 304
STAINLESS STEELS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วิศิษฐ์ ทวีปรั้งชีพ, อ. ที่ปรึกษาร่วม :
อ. เดโช ทองอร่าม, 81 หน้า. ISBN 974-031-109-1

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือ การตรวจสอบผลของกระบวนการความร้อนเชิงกล
ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนการอบให้ความร้อนที่ 900°C ประมาณ 1 ชม. จากนั้นให้ความเครียด
ประมาณ 3% แล้วนำไปอบอีกครั้งที่ 900°C ในระยะเวลา 3 นาที ต่อการกัดกร่อนอันเนื่องมาจาก
ผลของความเค้นบริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้วยเครื่องมือให้อัตราความเครียดซ้ำ
ประมาณ 1.75×10^{-6} ต่อวินาที ในสภาวะจำลองการกัดกร่อนด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต
และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไทโอซัลเฟต และกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิห้อง
พบว่าพฤติกรรมการแตกร้าวอันเนื่องมาจากผลของความเค้นบริเวณขอบเกรนถูกควบคุมโดย
ปริมาณการเชื่อมต่อนของขอบเกรนที่มีการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ ถ้าปริมาณของ
ขอบเกรนที่มีการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์ประมาณ 89% จะก่อให้เกิดการแตกร้าวบนขอบเกรนได้
ในทันที ซึ่งในสภาวะที่ถูกเซนซิไทซ์เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลจะมี
ความต้านทานต่อการผุกร่อนที่ขอบเกรนมากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ
ความร้อนเชิงกล ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ที่ 650°C
นาน 8 ชม.เกิดการแตกร้าวขึ้นที่บริเวณขอบเกรนอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่
ตรวจวัดได้นั้น มีค่าลดต่ำลงมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่นๆในสภาวะที่ถูกเซนซิไทซ์แตกต่างกันไป
ในขณะที่ลักษณะของการแตกตามขอบเกรนไม่ปรากฏในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่าน
กระบวนการความร้อนเชิงกลในสภาวะที่ถูกเซนซิไทซ์ และการทดสอบเดียวกัน

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4170232021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : THERMOMECHANICAL PROCESSING / SENSITIZATION / INTERGRANULAR STRESS CORROSION CRACKING / CARBIDE LINKAGE

KITTISAK KOSONWANTANA : EFFECT OF THERMOMECHANICAL PROCESSING ON STRESS CORROSION CRACKING SUSCEPTIBILITY OF 304 STAINLESS STEEL. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR. VISIT THAVEEPRUNGSRIORN, THESIS COADVISOR : DECHO THONG-ARAM, 81 PP. ISBN 974-031-109-1

The objective of this research was to determine the effect of thermomechanical processing, consisting of heat treating the as-received specimen at 900°C for 1 hr followed by 3% reduction in thickness and heat treated again at 900°C for 3 min, on intergranular stress corrosion cracking susceptibility of 304 stainless steel using slow strain rate tensile test at $1.75 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ in aggressive environment at ambient temperature. It was found that the intergranular cracking behavior was controlled by the influence of carbide linkage at sensitized grain boundary. The as-received specimen with 89% of carbide linkage failed rapidly by intergranular stress corrosion cracking after 8 hr of sensitization. In general, the thermomechanically processed specimens have a higher resistance to sensitization, and thus intergranular corrosion and cracking than those as-received specimen. The result was substantiated by the reduction in mechanical strength in as-received specimen as compared to thermomechanically processed specimens.

Department Nuclear Technology
Field of study Nuclear Technology
Academic year 2001

Student's signature.....
Advisor's signature
Co-advisor's signature.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิศิษฐ์ ทวีปรั้งชีพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์เดโช ทองอร่าม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการทำงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยขัดเกลาให้มีความคิดที่ดีในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบริษัทไทยน็อคส์ สตีล จำกัด ที่อนุเคราะห์เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทเซลล์แห่งประเทศไทยจำกัด ที่ให้ความสนับสนุนด้านทุนวิจัย การศึกษา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า รวมไปถึงคุณบุญนาถ บัวมีศิลป์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีสำหรับมิตรภาพอันดี และความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และขอขอบคุณหทัยชนก แสงสิทธิ์ สำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือที่ดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมไปถึง พี่ และทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ และกำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอขอบพระคุณจากใจจริง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2. การกักกรองเนื่องจากผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน.....	7
2.1 คำนำ.....	7
2.2 เซนซิไทเซชัน.....	7
2.3 การกักกรองด้วยผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน.....	10
2.4 การป้องกัน.....	15
3. กระบวนการความร้อนเชิงกล	
3.1 คำนำ.....	18
3.2 ชนิด และลักษณะของขอบเกรน.....	18
3.3 กระบวนการความร้อนเชิงกล.....	20
3.4 กรรมวิธีตรวจสอบชนิด และลักษณะของขอบเกรน.....	21
4. เครื่องมือให้อัตราความเครียดซ้ำ.....	26
4.1 คำนำ.....	26
4.2 เครื่องมือให้อัตราความเครียดซ้ำ.....	26
4.3 เซลล์สำหรับใส่สารเคมี และระบบหมุนเวียนสารละลาย.....	29
4.4 ระบบการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	33

5. การทดลอง.....	37
5.1 คำนำ.....	37
5.2 กระบวนการความร้อนเชิงกล.....	37
5.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง SSRT.....	38
5.4 การตรวจสอบปริมาณการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรน.....	41
6. ผลการทดลอง และวิเคราะห์.....	42
6.1 คำนำ.....	42
6.2 ปริมาณการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรน.....	42
6.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง SSRT.....	47
6.4 การทดสอบลักษณะ และการขยายตัวของรอยแตกบนขอบเกรน.....	51
6.5 การทดสอบลักษณะ และคุณสมบัติของขอบเกรน.....	60
6.6 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	64
6.7 ข้อเสนอแนะ.....	64
รายการอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก ก.....	69
ภาคผนวก ข.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.1 เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกนำมาใช้ในส่วนประกอบต่างๆของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์.....	2
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ที่ 650°C ในเวลาต่างกัน ด้วยเครื่อง SSRT ในสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต.....	27
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ได้จากการทดลอง และจากโรงงาน.....	28
ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ใช้ในงานวิจัย.....	37
ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรนที่ระดับการเซนซิไทซ์ต่างกัน.....	42
ตารางที่ 6.2 อัตราส่วนของขอบเกรนที่มีคาร์ไบด์เชื่อมต่อกันที่ชั่วโมงในการเซนซิไทซ์ต่างกัน.....	45
ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน 304AR และ 304TT ด้วยเทคนิค SSRT ในสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต.....	48
ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม 304AR และ 304TT ด้วยเครื่อง SSRT ในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไทโอซัลเฟต และกรดซัลฟิวริก.....	52
ตารางที่ 6.5 ความหนาแน่น และขนาดของรอยแตกแบบตามดในชิ้นงาน 304AR และ 304TT ที่ถูกเซนซิไทซ์ในระยะเวลาต่างกัน ทดสอบด้วยเทคนิค ๑ SSRT ในสารละลายที่ผสมระหว่างโซเดียมไทโอซัลเฟต โซเดียมคลอไรด์ และกรดซัลฟิวริก.....	56

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 การผูกกร่อนในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ที่เกิดจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกัน.....	3
รูปที่ 2.1 การตกตะกอนของคาร์ไบด์บริเวณขอบเกรน.....	7
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแสดงการลดลงของโครเมียมที่บริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 700°C นาน 10 ชั่วโมง.....	8
รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดง Weld decay ที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลา (b) ตำแหน่งต่างๆในบริเวณที่เกิด Weld decay....	9
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของรอยเชื่อม และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมในเหล็กกล้าไร้สนิม.....	9
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดง 3 องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิด IGSCC.....	10
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 650°C กับเวลาในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (ข้อมูลจากการทำนายด้วยทฤษฎี Percolation).....	11
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 650°C กับเวลาในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (ข้อมูลจากการทดสอบด้วยสารเคมี).....	11
รูปที่ 2.8 ไมโครกราฟแสดงการยับยั้งการขยายตัวของรอยแตกด้วยขอบเกรนที่ไม่ได้ถูกเซนซิไทซ์ (ทดสอบด้วยสารละลายไทโอซิลเฟตความเข้มข้น 10-ppm).....	12
รูปที่ 2.9 พื้นผิวรอยแตกของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งถูกทดสอบใน 0.9% Na ₂ S ₂ O ₃	13
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการกัดกร่อนแบบตามดในเหล็กกล้าไร้สนิม 304.....	14
รูปที่ 2.11 IGSCC ที่เกิดขึ้นภายในรอยที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบตามด.....	15
รูปที่ 2.12 แผนภาพ TTS ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่แปรผันตามปริมาณคาร์บอน.....	16
รูปที่ 2.13 ผลของปริมาณคาร์บอนต่ออัตราการเกิดการกัดกร่อนในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ที่ 650°C นาน 2 ชั่วโมง.....	17
รูปที่ 3.1 การตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นกับขอบเกรนส่วนใหญ่.....	19
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการจัดเรียงตัวของ CSL ในแบบ $\Sigma 13$	20
รูปที่ 3.3 โมเดลของ CSL ในรูปของ 3 แนวแกน (a) ผลึก 2 ผลึกที่อยู่ติดกันตรงขอบเกรนสามารถหมุนได้ตามแนวแกนทั้ง 3 แกน (b) ขอบเกรนที่เกิดจากผลึก 2 ผลึกที่อยู่ติดกันหมุนเข้าหากัน.....	22
รูปที่ 3.4 มุม dihedral และพลังงานอิสระบนขอบเกรนที่เกิดขึ้น ณ triple junction.....	24

รูปที่ 3.5 ผลของกระบวนการ Iterative strain annealing ต่อการกระจายลักษณะของมุม dihedral ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304.....	24
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง CFDA และชนิดขอบเกรนในเหล็กกล้าไร้สนิม 304.....	25
รูปที่ 4.1 การทดสอบวัสดุด้วยเครื่อง SSRT ในสภาวะจำลองการกัดกร่อน.....	27
รูปที่ 4.2 ระบบการเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition system: DAQ system).....	34
รูปที่ 4.3 กราฟ calibrate (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่อ่านได้จาก LabVIEW ในรูปของความต่างศักย์ กับค่าแรงดึงจริงที่อ่านได้จากเครื่อง SSRT (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว gauge length ของชิ้นงานที่อ่านได้จาก LabVIEW ในรูปของความต่างศักย์ กับค่าจริงที่อ่านได้จากเครื่อง SSRT.....	35
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น และค่าความเครียดของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกทดสอบด้วยเครื่อง SSRT.....	36
รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการความร้อนเชิงกลแบบ SA ที่ใช้ในงานวิจัย.....	38
รูปที่ 5.2 เครื่องมือสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่เป็น Mini-computerized milling.....	38
รูปที่ 5.3 แผนภาพแสดงลักษณะ และขนาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
รูปที่ 5.4 เตาอบอุณหภูมิสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อใช้ในการอบให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน.....	40
รูปที่ 5.5 ลักษณะโดยทั่วไปของการทดสอบด้วยเครื่อง SSRT.....	41
รูปที่ 5.6 อุปกรณ์สำหรับ electroetching ที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
รูปที่ 6.1 ลักษณะของคาร์ไบด์บนขอบเกรนที่ 650°C ในระยะเวลาที่ต่างกันของชิ้นงาน (a) 304AR (b) 304TT	43
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรน กับเวลาที่ใช้ในการชุบสี.....	44
รูปที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขอบเกรนที่มีคาร์ไบด์เชื่อมต่อกันกับเวลาที่ใช้ในการชุบสี.....	45
รูปที่ 6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนักที่สูญเสียไปของ 304AR และ 304TT กับเวลาที่ใช้ในการชุบสี.....	46
รูปที่ 6.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนักที่สูญเสียไป กับอัตราส่วนของขอบเกรนที่มีคาร์ไบด์เชื่อมต่อกันของ 304AR และ 304TT.....	47
รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของชิ้นงาน 304AR และ 304TT ที่ 0 ซม. และ 8 ซม. ของการชุบสี.....	48

รูปที่ 6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า 0.2%YS, UTS และเวลาที่ใช้ในการเซนซิไทซ์ของชิ้นงาน 304AR และ304TT ที่ถูกทดสอบในสารละลายไฮเดียมไทโอซัลเฟต.....	49
รูปที่ 6.8 ลักษณะของการแตกที่ 650°C ในระยะเวลาเซนซิไทซ์ที่ต่างกันของชิ้นงาน (a) 304AR (b) 304TT	50
รูปที่ 6.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดในช่วงเวลาเซนซิไทซ์ต่างกัน (a) 304AR (b) 304TT.....	52
รูปที่ 6.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า 0.2%YS, UTS และเวลาที่ใช้ในการเซนซิไทซ์ของ ชิ้นงาน304AR และ304TT ในสารละลายผสมระหว่างไฮเดียมคลอไรด์ ไฮเดียมไทโอซัลเฟต และกรดซัลฟิวริก.....	53
รูปที่ 6.11 Profile แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมที่ขอบเกรนในช่วงเวลาที่ต่างกัน ระหว่าง T ₁ และ T ₂	54
รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนขอบเกรนที่มีคาร์ไบด์เชื่อมต่อกัน และอัตราส่วน ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดของ 304AR และ 304TT.....	55
รูปที่ 6.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนขอบเกรนที่มีคาร์ไบด์เชื่อมต่อกัน, อัตราส่วนค่า ความเค้นสูงสุด และเวลาที่ใช้ในการเซนซิไทซ์.....	55
รูปที่ 6.14 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ถูกเซนซิไทซ์ในระยะเวลาที่ต่างกัน และผ่านการทดสอบ ด้วยเครื่อง SSRT ในสารละลายที่ผสมระหว่างไฮเดียมคลอไรด์ ไฮเดียมไทโอซัลเฟต และกรดซัลฟิวริก (a) 304AR (b) 304TT.....	57
รูปที่ 6.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด และความหนาแน่นของรอยแตกของทั้งสอง ชิ้นงาน.....	58
รูปที่ 6.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรอยแตก และเวลาที่ใช้ในการเซนซิไทซ์.....	59
รูปที่ 6.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุด และขนาดของรอยแตก.....	59
รูปที่ 6.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความเค้นสูงสุด และค่าอัตราส่วนขอบเกรน ที่มีคาร์ไบด์เชื่อมต่อกันของ 304AR และ 304TT กับขนาดของรอยแตก.....	60
รูปที่ 6.19 กราฟแจกแจงการกระจายลักษณะขอบเกรน CSL ใน 304AR และ 304TT.....	61
รูปที่ 6.20 กราฟการกระจายลักษณะของมุม dihedral ณ triple junction ของ 304AR และ304TT.....	62
รูปที่ 6.21 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวของมุมเอียงของระนาบบนขอบเกรนของ 304AR และ 304TT	63