

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247782

พฤกษศาสตร์และการเกษตรที่ครอบคลุมเมล็ดกล้าไร้รากที่มีบนชั้นในจานนึ่งเมล็ดกาแฟใบคั่ว
ที่เคลือบด้วยกระดาษกรองที่กระดาษ

นายรัชตพล นีวพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒๐๐๒๕๒๓๘๙

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247782

พฤติกรรมและการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนชั้นวานาเดียมคาร์ไบด์
ที่เคลือบด้วยกระบวนการที่อาร์ดี



นายรัชตพล ผิว نیم

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 9 7 0 5 2 7 9 2 1

ADHESION BEHAVIOR OF STAINLESS STEEL ON VANADIUM CARBIDE
COATED BY TRD PROCESS

Mr.Rachatapol Piewnim

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

พฤติกรรมและการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนชั้นวานาเดียม-คาร์ไบด์ที่เคลือบด้วยกระบวนการที่อาร์ดี

โดย

นายรัชตพล ผิวนิยม

สาขาวิชา

วิศวกรรมโลหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย

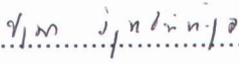
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชชาย เหลืองวรานันท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)


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


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชินะ เพ็ญชาติ)

รัชตพล ผิวนิม : พฤติกรรมการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนชั้นวานาเนเดียมคาร์ไบด์ที่เคลือบด้วยกระบวนการที่อาร์ดี. (Adhesion behavior of Stainless steel on Vanadium Carbide coated by TRD process) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย , 52 หน้า

247782

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกมีแนวโน้มที่จะเกาะติดบนเหล็กกล้าเครื่องมือซึ่งใช้เป็นเครื่องมือขึ้นรูป จึงขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกยากมาก การเคลือบแข็งบนเหล็กกล้าเครื่องมือเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาการเกาะติด งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่ใกล้เคียงกับชั้นวานาเนเดียมคาร์ไบด์ที่เคลือบด้วยกระบวนการที่อาร์ดี การทดสอบการไถลกระทำในเงื่อนไขที่ไม่ให้สารหล่อลื่นที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องทดสอบแบบ ring-on-disc ใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 เป็นวงแหวนสำหรับไถลคู่กับชั้นเคลือบวานาเนเดียมคาร์ไบด์ ใช้เหล็กกล้า DC53 เป็นดิสก์ซึ่งเคลือบชั้นวานาเนเดียมคาร์ไบด์ แปรผันแรงกดและความเร็วการไถลในช่วง 120 - 320 นิวตันและ 0.716 - 2.148 เมตร/วินาทีตามลำดับ ตรวจสอบผิวสัมผัสการไถลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีที่ผิวของแหวนด้วยเครื่อง SEM-EDS

พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียไปของแหวนเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มแรงกดจาก 120 นิวตัน ถึง 220 นิวตัน น้ำหนักที่สูญเสียไปเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นเป็น 320 นิวตัน ผลวิเคราะห์ SEM-EDS ที่ผิวของวงแหวนที่แรงกด 320 นิวตันหลังการทดสอบแสดงออกซิเจนสะสมอยู่มากกว่าวงแหวนที่ยังไม่ได้ทดสอบ ออกไซด์ที่ผิววงแหวนอาจมีความหนาเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ด้วย XPS อาจบอกเป็นนัยว่าปริมาณออกไซด์ของโครเมียมและออกไซด์ของเหล็กที่แตกต่างกันอาจเป็นสาเหตุของการเกาะติดของเนื้อเหล็กวงแหวน กรณีแปรผันความเร็วการไถล น้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าไร้สนิมค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเร็วการไถลที่เพิ่มขึ้นจาก 0.716 จนถึง 2.148 เมตร/วินาที

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการลายมือชื่อนิสิต..... *รัชตพล ผิวนิม*
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโลหการลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... 
ปีการศึกษา..... 2552

4970527921 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ADHESION / STAINLESS STEEL / VANADIUM CARBIDE / TRD PROCESS

RACHATAPOL PIEWNIM: ADHESION BEHAVIOR OF STAINLESS STEEL ON VANADIUM CARBIDE COATED BY TRD PROCESS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. PRASONK SRICHAROENCHAI, D.Eng., 52 pp.

247782

Austenitic stainless steel is prone to adhere on tool steels which are used as forming tool. This causes austenitic stainless steel very difficult to form. Hard coating on the forming tools is a method to alleviate adhesion problems. In this work, adhesion behavior of austenitic stainless steel was tested against VC coated by thermo-Reactive Deposition and diffusion (TRD) process. Sliding wear test is conducted under the un-lubricated condition at room temperature by a ring-on-disc tester. AISI 304 is used as a ring for sliding couple with VC coating layer. DC 53 steel is used as a disc. Normal load and sliding velocity were varied in range of 120 – 320 N and 0.716 – 2.148 m/s respectively. Sliding contact was investigated by optical microscope and scanning electron microscope (SEM). Chemical composition of the ring surface was identified by SEM-EDS.

It is found that weight loss of the ring increases gradually with increasing normal load from 120 N till 220 N then increase abruptly till load is 320 N. EDS analysis of ring surface for 320 N load shows that ring tested surface contains more oxygen content than that without wear testing. Oxide thickness at ring surface may be increased. of XPS analysis, result implies that different amount of Cr-oxide and Fe-oxide on the ring surface contributes to adhesion. In case of varying sliding velocity, weight loss of stainless steel ring gradually increases from sliding velocity of 0.716 m/s till 2.148 m/s.

Department: Metallurgical Engineering Student's Signature: Rachatapol Pewnim
Field of Study: Metallurgical Engineering Advisor's Signature: Prasonk Sricharoenchai
Academic Year: 2009

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย เป็นอย่างสูงสำหรับการถ่ายทอดความรู้ อบรมสั่งสอน ตลอดจนให้กำลังใจและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านการเรียนและการทำงาน ขอขอบคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธัชชาย เหลืองวรานันท์, ผศ.ดร.ปฐมมา วิสุทธิพิทักษ์กุล, ดร.ชินะ เพ็ญชาติ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมให้ความรู้ในงานด้านโลหะวิทยาอีกทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมโลหการ นางสาวชองทอง จรัสสิงห์ นางสาวนิรมล ลพหัตถ์และนางสาวยุพา ทักษกุลและนายเสนีย์ มณีเพชร ที่ให้การสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัทไทยปาร์คเกอร์โรซิง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Friction wear tester EFM III-1010, X-ray photoelectron spectroscopic (XPS) และเครื่องซังติจิตอล ขอขอบคุณคุณวณภรณ์ คณิตนันท์รักษ์ (Manager) และคุณพาทิศ กงตาล (R&D Officer) ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องทดสอบและวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยเครื่อง XPS ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง EPMA และขอบคุณคุณไศภิต พุ่มพวง ที่ช่วยวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยเครื่อง EPMA งานวิจัยสำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาอันเป็นที่เคารพรักที่คอยให้กำลังใจอีกทั้งการสนับสนุนด้านการศึกษาและให้โอกาสที่ดีในชีวิตแก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา รวมทั้งเพื่อนในกลุ่มวิจัยที่เป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ลักษณะการเกาะติด.....	3
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม.....	4
2.3 การเกาะติดบนชั้นเคลือบและอิทธิพลของอ็อกไซด์ที่ผิวสัมผัสการไหล.....	7
3 ขั้นตอนการทดลอง.....	14
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	14
3.2 การเตรียมดิสก์และเคลือบด้วยกระบวนการที่อาร์ดี.....	14
3.3 ศึกษาพฤติกรรมการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	14
3.4 ตรวจสอบวิเคราะห์ผิววงแหวนและผิวดิสก์บริเวณที่เกิดการเกาะติดหลังการทดสอบ....	15
3.5 เงื่อนไขการทดลอง.....	15
4 ผลและการอภิปราย.....	22
4.1 แปรผันระยะทางการไหลที่แรงกดและความเร็วการไหลคงที่.....	22
4.2 การแปรผันแรงกดที่ความเร็วคงที่.....	25
4.3 การแปรผันความเร็วการไหลที่แรงกดคงที่.....	40

บทที่	หน้า
5 สรุป.....	45
รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ภาคผนวก ข.....	50
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	52

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอมของธาตุบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการให้ความร้อน ณ อุณหภูมิต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน.....	12
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาการสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมที่ความเร็ว และแรงกดค่าต่างๆ	16
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	17
ตารางที่ 3.3 ขอบเขตการใช้งานเครื่องทดสอบการเกาะติด (Friction Wear Tester EFM III-1010)	20
ตารางที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงส่งกำลังเครื่องทดสอบ กับความเร็วการไถล และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน.....	20
ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM-EDS.....	29
ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ที่ผิววงแหวนด้วยเครื่อง XPS.....	30
ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนโดยอะตอมสำหรับองค์ประกอบทางเคมี จากเงื่อนไขการทดลอง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง.....	48

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการเกาะติดที่ผิวหน้าชั้นฟิล์มและชั้นฟิล์มที่ถูกทำลายไป มีผลให้เนื้อโลหะไหลลึ้สัมผัสกันโดยตรงและยึดติดกัน	3
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม กับระยะทางการไหลที่แรงกดต่างๆ	4
รูปที่ 2.3 X-ray pattern ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ก่อนทดสอบ ที่แรงกด 200 นิวตัน และ 300 นิวตัน	5
รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจาก SEM แสดงรอยแตก บริเวณใต้ผิวสัมผัสการไหลซึ่งเกิดการและการแปรรูปแบบพลาสติก.....	6
รูปที่ 2.5 Specific wear rate ของเหล็กกล้าไร้สนิมที่สูญเสียไปกับเวลาที่ใช้ในการไหล ภายใต้เงื่อนไขการแปรผันความเร็วและแรงกด	6
รูปที่ 2.6 ผลวิเคราะห์ธาตุบนชิ้นงานชั้นเคลือบไทเทเนียมไนตรรายด์ ที่ไหลบนเหล็กกล้าไร้สนิมโดยให้แรงกด 300 นิวตันและ 600 นิวตัน.....	7
รูปที่ 2.7 เหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดบนชั้น wc/c เมื่อให้แรงกด 800 นิวตันและ 1000 นิวตัน	8
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับแรงกดเมื่อเริ่มเกิดการเกาะติด ที่แรงกด Lc1 และการเกาะติดปกคลุมผิวที่แรงกดเพิ่มขึ้น (Lc2)	9
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเวลาการไหล ของดิสก์ชุบแข็ง ชั้นวาเดียมคาร์ไบด์และชั้นวาเนเดียมไนโอเบียมคาร์ไบด์.....	10
รูปที่ 2.10 จาก SEM แสดงการเกาะติดของเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม บนชิ้นงานดิสก์ชุบแข็ง.....	10
รูปที่ 2.11 แสดงรอยต่อระหว่างชั้นไทเทเนียมไนตรรายด์กับเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่หลุดมาเกาะติด.....	11
รูปที่ 2.12 ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ESCA ลึ้จากผิวเหล็กกล้าไร้สนิม ก่อนการทดสอบและหลังจากให้ความร้อนที่ 200°C, 500°C และ 800°C.....	12
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนชั้นวาเนเดียมคาร์ไบด์.....	17
รูปที่ 3.2 แบบดิสก์เหล็ก DC53 เป็นชิ้นงานเคลือบแข็งผิวมีความหนา 5 มม.....	18
รูปที่ 3.3 แบบวงแหวนเหล็กกล้าไร้สนิม	18

รูปที่ 3.4 แนวเจาะรูเสียบเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิขณะทำการทดสอบการเกาะติด.....	19
รูปที่ 3.5 แบบจำลองแสดงการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	19
รูปที่ 3.6 แสดงการวางชิ้นงานบนเครื่องทดสอบแบบ Ring-On-Disc	21
รูปที่ 3.7 แบบเครื่องทดสอบ	21
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมที่สูญเสียไปกับระยะทางการไถล.....	22
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะทางการไถล.....	23
รูปที่ 4.3 แสดงแนวตัดตั้งฉากกับผิววงแหวนและการเปลี่ยนแปลงที่ผิววงแหวน.....	23
รูปที่ 4.4 รอยแตกใต้ผิววงแหวนตรงหัวลูกศร	24
รูปที่ 4.5 ตรงหัวลูกศรแสดงชั้นออกไซด์ปกคลุมตลอดผิวสัมผัสผิวการไถล ของวงแหวนและวงรีแสดงบริเวณที่เนื้อวงแหวนสูญเสียไป	24
รูปที่ 4.6 การสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมที่แรงกดต่างๆ.....	25
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเวลาการไถล ที่แรงกดต่างๆและแสดงน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	27
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับเวลาการไถล ที่แรงกด 320 N และแสดงน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าไร้สนิม	28
รูปที่ 4.9 แบบจำลองแสดงปริมาณออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM-EDS.....	29
รูปที่ 4.10 วิเคราะห์ออกไซด์ของโครเมียมบนผิววงแหวนก่อนการทดสอบด้วยเครื่อง XPS.....	31
รูปที่ 4.11 วิเคราะห์ออกไซด์ของเหล็กบนผิววงแหวนก่อนการทดสอบด้วยเครื่อง XPS.....	31
รูปที่ 4.12 วิเคราะห์ออกไซด์ของโครเมียมบนผิววงแหวนที่ ระยะไถลการไถล 576 m ด้วยเครื่อง XPS.....	32
รูปที่ 4.13 วิเคราะห์ออกไซด์ของเหล็กบนผิววงแหวน ที่ระยะไถลการไถล 576 m ด้วยเครื่อง XPS.....	32
รูปที่ 4.14 วิเคราะห์ออกไซด์ของโครเมียมบนผิววงแหวน ที่ระยะไถลการไถล 2,000 m ด้วยเครื่อง XPS.....	33
รูปที่ 4.15 วิเคราะห์ออกไซด์ของเหล็กบนผิววงแหวน ที่ระยะไถลการไถล 2,000 m ด้วยเครื่อง XPS.....	33
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงที่ผิวสัมผัสผิวการไถลของวงแหวนที่ระยะทางการไถล 576 เมตรและการแปรรูปแบบพลาสติก.....	34
รูปที่ 4.17 ผลวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EPMA ที่ผิววงแหวนบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลง.....	35
รูปที่ 4.18 เนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดบนชิ้นงานเดิมคาร์ไบด์ที่หยุดที่ระยะทางต่างๆ	37

รูปที่ 4.19 รูปจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดกำลังขยาย 120 เท่าแสดง บริเวณที่เหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดบนชั้นเคลือบที่ระยะทางการไหล 576 เมตร	38
รูปที่ 4.20 วิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง EPMA บริเวณที่เกิดการเกาะติดบนชั้นเคลือบ	39
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมที่สูญเสียไปที่ความเร็วต่างๆ.....	41
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเหล็กกล้าไร้สนิมกับเวลาที่ความเร็วต่างๆ.....	42
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับเวลาที่ความเร็วต่างๆ และแสดงน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	43
รูปที่ ก.1 กราฟความสัมพันธ์ของเนื้อชั้นเคลือบที่สูญเสียไปเมื่อ ความเร็วการไหลเพิ่มขึ้นที่แรงกดคงที่.....	49
รูปที่ ก.2 เนื้อของชั้นเคลือบผิวแข็งที่สูญเสียไปเมื่อแรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นโดยให้ความเร็วการไหลคงที่..	49
รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเหล็กกล้าไร้สนิมกับระยะทางการไหล	50
รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเหล็กกล้าไร้สนิมกับเวลาการไหลที่แรงกดต่างๆ	50
รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเหล็กกล้าไร้สนิมกับเวลาที่ความเร็วการไหลต่างๆ..	50