จลนพลศาสตร์ของการกัดผิวของสเกลตติยภูมิที่เกิดขึ้นบนเหล็กแผ่นแถบรีดร้อน

นางสาว ยุบลรัตน์ จตุภาคสัมพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 8 7 0 4 3 1 1 2 1

PICKLING KINETICS OF TERTIARY OXIDE SCALE FORMED ON HOT-ROLLED STEEL STRIP

Miss Yubonrat Jatuphaksamphan

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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492231

หัวข้อวิทยานิพนธ์	จลนพลศาสตร์ของการกัดผิวของสเกลตติยภูมิที่เกิดขึ้นบนเหล็กแผ่นแถบรีดร้อน
โดย	นางสาว ยุบลรัตน์ จตุภาคสัมพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ พินิจค้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ พินิจค้า)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาคร จารุพิสิฐธร)

ยุบลรัตน์ จตุภาคสัมพันธ์ : จลนพลศาสตร์ของการกัดผิวของสเกลตติยภูมิที่เกิดขึ้นบนเหล็กแผ่นแถบรีดร้อน. (PICKLING KINETICS OF TERTIARY OXIDE SCALE FORMED ON HOT-ROLLED STEEL STRIP) อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ณัฐพงศ์ พินิจค้า, 114 หน้า.

หลังกระบวนการรีดร้อน จะเกิดสเกลขึ้นบนเหล็กแผ่น ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกเพื่อความสวยงามของพื้นผิว และง่ายต่อการนำไปเข้าสู่กระบวนการอื่นๆ ต่อไป งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการศึกษาอัตราการหลุดออกของสเกลบนเหล็กแผ่นแถบรีดร้อนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เพื่อหาสมการที่เหมาะสมสำหรับอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น การศึกษากระบวนการกำจัดสเกลทำได้โดยใช้กระบวนการกัดผิวจำลอง โดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

อัตราการหลุดออกของสเกลสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขณะการกัดผิว ซึ่งแยกพิจารณาได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ลดลง และปริมาณเหล็กในสารละลายกรดที่เพิ่มขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้เราพิจารณาจากปริมาณเหล็กในสารละลายหลังการกัดผิว เนื่องจากแสดงปริมาณของสเกลที่ถูกกำจัดออกจากชิ้นงานหลังการกัดผิวจริงๆ แล้วนำไปหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาทำให้ได้สมการที่สามารถทำนายการหลุดออกของสเกลได้

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่อที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่อที่ปรึกษาร่วม .....

4870431121 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: HYDROCHLORIC ACID PICKLING / DESCALING / SCALE REMOVING RATE

YUBONRAT JATUPHAKSAMPHAN : PICKLING KINETICS OF TERTIARY OXIDE SCALE FORMED ON HOT-ROLLED STEEL STRIP. THESIS ADVISOR : DR. MAWIN SUPRADIST NA AYUDHAYA Ph.D. , THESIS COADVISOR : ASST. PROF. NATTHAPONG PHINICHKA Ph.D. , 114 pp.

During hot rolling process steel strip covers with oxide scales. These scales have to be removed by acid pickling process. This work focused on the study of scale removing rate of hot-rolled steel strip to find an expression explaining the rate of reaction in hydrochloric acid. The study of scale removal is accomplished by utilizing the pickling simulator with different acid concentration and pickling temperature.

There are two approaches that can be used to find scale removing rate; the measurement of weight change and iron concentration change. In this work, the measurement of the change of iron concentration is selected because this method represents the actual amount of the scale removing after the pickling processes. The change of iron concentration is used to derive the expression for the rate constants. Using these expressions for the rate constants, the equations which can be used to predict pickling process; i.e. time needed for scale removal, can be obtained.

Department.....Metallurgical Engineering.. Student's signature .....Yubonrat.....

Field of study...Metallurgical Engineering... Advisor's signature .....

Academic year.....2006..... Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์ของหลายๆ ท่าน ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา, ผศ. ดร. ณัฐพงศ์ พินิจค้า และ ดร. กฤษดา ประภากร สำหรับการอุทิศตน และสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำ และเอาใจใส่ดูแลทั้งด้านการเรียน และการทำงานตลอดการทำวิจัยนี้ และที่สำคัญผู้จัดทำขอขอบพระคุณบริษัท สหวิริยาอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) รวมถึงบุคลากรทุกท่านจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำหรับความอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลอง การเตรียมชิ้นงาน และข้อมูลต่างๆ ด้วยความเต็มใจ ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาโลหการทุกท่านสำหรับคำแนะนำที่ดี และความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบ และขอขอบคุณเกตน์นิภา สุขวรรณวิทย์ เพื่อนที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา รวมทั้งเพื่อนๆในภาคโลหการทุกคนสำหรับการสร้างบรรยากาศที่ดีในการทำงาน

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณครอบครัว และบุคคลอันที่เป็นรักที่คอยให้กำลังใจสนับสนุน และให้โอกาสทางการศึกษาด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ปริทรรศน์วรรณกรรม 5

2.1 การเกิดสเกล 5

2.2 การกัดผิว 8

2.2.1 กระบวนการกัดผิว 8

2.2.2 การแสดงความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 11

2.2.3 ผลของอุณหภูมิ และความเข้มข้นกรดต่อการกัดผิวด้วยสารละลาย กรดไฮโดรคลอริก 11

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกกับปริมาณเหล็ก 12

2.3 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการกัดผิว 13

2.3.1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา และกฎอัตราของการกัดผิว 14

2.3.2 การหาอันดับของปฏิกิริยา 17

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 22

3.1 การศึกษาโครงสร้างของสเกลเบื้องต้น 23

3.2 ชิ้นงานสำหรับการกัดผิว 26

3.3 สภาวะการทดลอง 29

3.4 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง 29

3.5 การกัดผิวชิ้นงานด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 30

หน้า

3.5.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ 30
3.5.2 ขั้นตอนการกัดผิวชิ้นงาน 31
3.6 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในสารละลาย 32
3.7 การจัดเก็บชิ้นงานหลังการกัดผิว 33
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง 34
4.1 การกัดผิวที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 40 g HCl/l 34
4.1.1 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานหลังการกัดผิว 34
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงบนผิวชิ้นงานหลังการกัดผิว 36
4.1.3 ปริมาณเหล็กในสารละลายที่เปลี่ยนไปหลังการกัดผิว 39
4.2 การกัดผิวที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 70 g HCl/l 41
4.2.1 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานหลังการกัดผิว 41
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงบนผิวชิ้นงานหลังการกัดผิว 42
4.2.3 ปริมาณเหล็กในสารละลายที่เปลี่ยนไปหลังการกัดผิว 45
4.3 การกัดผิวที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 100 g HCl/l 46
4.3.1 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานหลังการกัดผิว 46
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงบนผิวชิ้นงานหลังการกัดผิว 47
4.3.3 ปริมาณเหล็กในสารละลายที่เปลี่ยนไปหลังการกัดผิว 49
4.4 การกัดผิวที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 130 g HCl/l 51
4.4.1 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานหลังการกัดผิว 51
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงบนผิวชิ้นงานหลังการกัดผิว 52
4.4.3 ปริมาณเหล็กในสารละลายที่เปลี่ยนไปหลังการกัดผิว 54
4.5 เปรียบเทียบผลของน้ำหนักชิ้นงานที่ลดลง กับปริมาณเหล็กหลังการกัดกรด 55
4.6 ผลการกัดผิวของชิ้นงานบริเวณกึ่งกลาง และ1/4ของความกว้างของเหล็กแผ่น 60
4.6.1 การกัดผิวชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางของเหล็กแผ่น (center) 60
4.6.2 การกัดผิวชิ้นงานบริเวณ 1/4 ของความกว้างแผ่น (quarter) 64
4.6.3 เปรียบเทียบผลการกัดผิวของชิ้นงานตำแหน่งต่างๆของเหล็กแผ่น 68
4.7 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 70
4.8 อันดับปฏิกิริยา (n) 72
4.9 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) 78

หน้า

4.10 การนำค่าคงที่ของปฏิกิริยาไปทำนายผลการกัดผิวชิ้นงาน.....95
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....99
5.1 สรุปผลการทดลอง.....99
5.2 ข้อเสนอแนะ.....101
รายการอ้างอิง.....102
บรรณานุกรม.....104
ภาคผนวก.....105
ภาคผนวก ก.....106
ภาคผนวก ข.....107
ภาคผนวก ค.....109
ภาคผนวก ง.....110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....114

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กระบวนการรีดร้อน....1
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของชั้นสเกลที่เกิดขึ้นบนเหล็กแผ่นหลังกระบวนการรีดร้อน.... 6
ภาพที่ 2.2 แผนภูมิสมดุลระหว่างเหล็กกับออกซิเจน....6
ภาพที่ 2.3 ภาพวาดแสดงโครงสร้างสเกลตามความกว้างของเหล็กแผ่น....7
ภาพที่ 2.4 กระบวนการ Pickling....8
ภาพที่ 2.5 ผลของความเข้มข้นกรด และอุณหภูมิต่อเวลาที่ใช้ในการกัดผิว.... 12
ภาพที่ 2.6 อิทธิพลของFe contentในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น
แตกต่างกัน.... 13
ภาพที่ 2.7 การพล็อตกราฟแบบอาร์รีเนียส....14
ภาพที่ 2.8 พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา....15
ภาพที่ 2.9 แสดงชั้นขอบเขตและโพรไฟล์ของความเข้มข้น.... 16
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลา.... 18
ภาพที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างล็อกการิทึมของอัตราการเกิดปฏิกิริยากับเวลา....19
ภาพที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร A เทียบกับเวลา....19
ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างล็อกการิทึมของความเข้มข้นตั้งต้น กับอัตรา
การเกิดปฏิกิริยา.... 20
ภาพที่ 3.1 แบบจำลองการกัดผิว....22
ภาพที่ 3.2 ชิ้นงานสำหรับศึกษาโครงสร้างสเกล....23
ภาพที่ 3.3 ความหนาสเกลของผิวด้านบนที่ตำแหน่งต่างๆ บนม้วนเหล็กแผ่น....24
ภาพที่ 3.4 ความหนาสเกลของผิวด้านล่างที่ตำแหน่งต่างๆ บนม้วนเหล็กแผ่น.... 25
ภาพที่ 3.5 เปรียบเทียบผิวด้านบน กับผิวด้านล่างของชิ้นงานบริเวณขอบแผ่น.... 25
ภาพที่ 3.6 ชิ้นงานสำหรับการกัดผิวจากเหล็กแผ่นแถบรีดร้อน....26
ภาพที่ 3.7 ชนิดของ oxide บริเวณขอบแผ่น....27
ภาพที่ 3.8 ชนิดของ oxide บริเวณ 1/4 ความกว้างของแผ่น.... 27
ภาพที่ 3.9 ชนิดของ oxide บริเวณกึ่งกลางแผ่น....28
ภาพที่ 3.10 การทาสีกันกรดที่ขอบด้านข้างของชิ้นงาน.... 30
ภาพที่ 3.11 ถังกรด และถังล้างสำหรับการทดลอง.... 31

หน้า

ภาพที่ 3.12 ที่ใสชิ้นงานทำจากแผ่นอะคริลิกสำหรับการกัดผิว..... 31
ภาพที่ 4.1 ลักษณะของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นแบบ preferred site บนผิวชิ้นงาน..... 34
ภาพที่ 4.2 น้ำหนักของชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 40 g HCl/l..... 36
ภาพที่ 4.3 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 40 g HCl/l อุณหภูมิ 70°C..... 37
ภาพที่ 4.4 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 40 g HCl/l อุณหภูมิ 80°C..... 37
ภาพที่ 4.5 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 40 g HCl/l อุณหภูมิ 90°C..... 38
ภาพที่ 4.6 ภาพชิ้นงานที่กัดผิวจนไม่มีสเกล..... 39
ภาพที่ 4.7 Fe content หลังการกัดผิวใน 40 g HCl/l..... 40
ภาพที่ 4.8 น้ำหนักของชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 70 g HCl/l..... 42
ภาพที่ 4.9 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 70 g HCl/l อุณหภูมิ 70°C..... 43
ภาพที่ 4.10 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 70 g HCl/l อุณหภูมิ 80°C..... 43
ภาพที่ 4.11 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 70 g HCl/l อุณหภูมิ 90°C..... 44
ภาพที่ 4.12 Fe content หลังการกัดผิวใน 70 g HCl/l..... 45
ภาพที่ 4.13 น้ำหนักของชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 100 g HCl/l..... 46
ภาพที่ 4.14 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 100 g HCl/l อุณหภูมิ 70°C..... 47
ภาพที่ 4.15 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 100 g HCl/l อุณหภูมิ 80°C..... 48
ภาพที่ 4.16 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 100 g HCl/l อุณหภูมิ 90°C..... 48
ภาพที่ 4.17 Fe content หลังกัดผิวใน 100 g HCl/l..... 50
ภาพที่ 4.18 น้ำหนักของชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 130 g HCl/l..... 51
ภาพที่ 4.19 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 130 g HCl/l อุณหภูมิ 70°C..... 52
ภาพที่ 4.20 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 130 g HCl/l อุณหภูมิ 80°C..... 52
ภาพที่ 4.21 ผิวด้านบนชิ้นงานหลังกัดผิวใน 130 g HCl/l อุณหภูมิ 90°C..... 53
ภาพที่ 4.22 Fe content หลังกัดผิวใน 130 g HCl/l..... 54
ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบผลน้ำหนักของชิ้นงานที่ลดลง กับน้ำหนักที่คำนวณได้..... 57
(ก) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 g HCl/l..... 57
(ข) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 70 g HCl/l..... 58
(ค) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 100 g HCl/l..... 58
(ง) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 130 g HCl/l..... 59
ภาพที่ 4.24 น้ำหนักของชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางแผ่นที่ลดลงหลังการกัดผิว..... 61

หน้า

ภาพที่ 4.25 ผิวด้านบนชิ้นงาน center หลังกัดผิวที่อุณหภูมิ 70°C..... 61
ภาพที่ 4.26 ผิวด้านบนชิ้นงาน center หลังกัดผิวที่อุณหภูมิ 80°C..... 62
ภาพที่ 4.27 ผิวด้านบนชิ้นงาน center หลังกัดผิวที่อุณหภูมิ 90°C.....62
ภาพที่ 4.28 Fe content หลังการกัดผิวชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางแผ่น..... 64
ภาพที่ 4.29 น้ำหนักของชิ้นงานบริเวณ 1/4 ของความกว้างเหล็กแผ่นที่ลดลงหลังการกัดผิว..... 65
ภาพที่ 4.30 ผิวด้านบนชิ้นงาน quarter width หลังกัดผิวที่อุณหภูมิ 70°C..... 66
ภาพที่ 4.31 ผิวด้านบนชิ้นงาน quarter width หลังกัดผิวที่อุณหภูมิ 80°C.....66
ภาพที่ 4.32 ผิวด้านบนชิ้นงาน quarter width หลังกัดผิวที่อุณหภูมิ 90°C.....67
ภาพที่ 4.33 Fe content หลังการกัดผิวชิ้นงานบริเวณ 1/4 ของความกว้างเหล็กแผ่น.....68
ภาพที่ 4.34 เปรียบเทียบผลการกัดผิวตำแหน่งต่างๆบนม้วนเหล็กแผ่นที่อุณหภูมิ 70°C.....68
ภาพที่ 4.35 เปรียบเทียบผลการกัดผิวตำแหน่งต่างๆบนม้วนเหล็กแผ่นที่อุณหภูมิ 80°C.....69
ภาพที่ 4.36 เปรียบเทียบผลการกัดผิวตำแหน่งต่างๆบนม้วนเหล็กแผ่นที่อุณหภูมิ 90°C.....69
ภาพที่ 4.37 Fe content หลังการกัดผิวที่อุณหภูมิ 70°C..... 71
ภาพที่ 4.38 Fe content หลังการกัดผิวที่อุณหภูมิ 80°C..... 71
ภาพที่ 4.39 Fe content หลังการกัดผิวที่อุณหภูมิ 90°C..... 72
ภาพที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกหลังการกัดผิว..... 74
(ก) ความเข้มข้นตั้งต้น 40 g HCl/l หรือ 1.096 mol/l..... 74
(ข) ความเข้มข้นตั้งต้น 70 g HCl/l หรือ 1.918 mol/l.....74
(ค) ความเข้มข้นตั้งต้น 100 g HCl/l หรือ 2.740 mol/l..... 75
(ง) ความเข้มข้นตั้งต้น 130 g HCl/l หรือ 3.562 mol/l.....75
ภาพที่ 4.41 อันดับปฏิกิริยาของการกัดผิวที่อุณหภูมิ 70°C..... 77
ภาพที่ 4.42 อันดับปฏิกิริยาของการกัดผิวที่อุณหภูมิ 80°C..... 77
ภาพที่ 4.43 อันดับปฏิกิริยาของการกัดผิวที่อุณหภูมิ 90°C..... 78
ภาพที่ 4.44 การหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาในแต่ละสภาวะของการกัดผิว..... 79
(ก) ความเข้มข้นตั้งต้น 40 g HCl/l หรือ 1.096 mol/l..... 79
(ข) ความเข้มข้นตั้งต้น 70 g HCl/l หรือ 1.918 mol/l..... 80
(ค) ความเข้มข้นตั้งต้น 100 g HCl/l หรือ 2.740 mol/l.....80
(ง) ความเข้มข้นตั้งต้น 130 g HCl/l หรือ 3.562 mol/l.....81
ภาพที่ 4.45 กราฟแบบอาร์รีเนียสของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 40 g HCl/l.....82

หน้า

ภาพที่ 4.46 กราฟแบบอาร์รีเนียสของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 70 g HCl/l.....83
ภาพที่ 4.47 กราฟแบบอาร์รีเนียสของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 100 g HCl/l...84
ภาพที่ 4.48 กราฟแบบอาร์รีเนียสของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 130 g HCl/l...85
ภาพที่ 4.49 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบแบ่งช่วง หลังการกัดผิวในสารละลาย 70 g HCl/l
อุณหภูมิ 90°C..... 87
ภาพที่ 4.50 กราฟแบบอาร์รีเนียสใหม่สำหรับสารละลายกรดความเข้มข้น 70 g HCl/l.....88
ภาพที่ 4.51 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบแบ่งช่วง หลังการกัดผิวในสารละลาย 100 g HCl/l
อุณหภูมิ 80°C..... 89
ภาพที่ 4.52 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบแบ่งช่วง หลังการกัดผิวในสารละลาย 100 g HCl/l
อุณหภูมิ 90°C..... 89
ภาพที่ 4.53 กราฟแบบอาร์รีเนียสใหม่สำหรับสารละลายกรดความเข้มข้น 100 g HCl/l.....90
ภาพที่ 4.54 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบแบ่งช่วง หลังการกัดผิวในสารละลาย 130 g HCl/l
อุณหภูมิ 70°C..... 91
ภาพที่ 4.55 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบแบ่งช่วง หลังการกัดผิวในสารละลาย 130 g HCl/l
อุณหภูมิ 80°C..... 91
ภาพที่ 4.56 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแบบแบ่งช่วง หลังการกัดผิวในสารละลาย 130 g HCl/l
อุณหภูมิ 90°C..... 92
ภาพที่ 4.57 กราฟแบบอาร์รีเนียสใหม่สำหรับสารละลายกรดความเข้มข้น 130 g HCl/l.....93
ภาพที่ 4.58 การทำนายผลการกัดผิวจาก pickling equation.....97

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กแผ่นแถบรีดร้อนเกรด HR1.....23
ตารางที่ 3.2 ความหนาของสเกลของชิ้นงานสำหรับการกัดผิว.....28
ตารางที่ 3.3 สภาวะสำหรับการทดลอง.....29
ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 40 g HCl/l.....35
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณเหล็กหลังการกัดผิวใน 40 g HCl/l..... 40
ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 70 g HCl/l.....41
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณเหล็กหลังการกัดผิวใน 70 g HCl/l..... 45
ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 100 g HCl/l.....46
ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณเหล็กหลังการกัดผิวใน 100 g HCl/l.....50
ตารางที่ 4.7 แสดงน้ำหนักชิ้นงานที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 130 g HCl/l.....51
ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณเหล็กหลังการกัดผิวใน 130 g HCl/l.....54
ตารางที่ 4.9 น้ำหนักของเหล็กออกไซด์ในสารละลายหลังการกัดผิว.....56
ตารางที่ 4.10 แสดงน้ำหนักชิ้นงาน center ที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 100 g HCl/l..... 60
ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณเหล็กหลังการกัดผิวของชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางแผ่น..... 63
ตารางที่ 4.12 แสดงน้ำหนักชิ้นงาน quarter width ที่ลดลงหลังการกัดผิวใน 100 g HCl/l.....64
ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณเหล็กหลังการกัดผิวของชิ้นงานบริเวณ 1/4 ของ
ความกว้างเหล็กแผ่น..... 67
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกหลังผ่านการกัดผิว 5 วินาที..... 76
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความชันช่วงแรก (initial slope).....76
ตารางที่ 4.16 สรุปค่าคงที่ของปฏิกิริยาในแต่ละสภาวะการกัดผิว.....79
ตารางที่ 4.17 สรุปสมการของการกัดผิว (pickling equation)..... 86
ตารางที่ 4.18 สภาวะที่ต้องพิจารณาค่าคงที่ของปฏิกิริยาเป็นสองช่วง..... 87
ตารางที่ 4.19 สรุปค่าคงที่ของปฏิกิริยาใหม่ที่แบ่งปฏิกิริยาเป็นสองช่วง.....94
ตารางที่ 4.20 สรุป pickling equation ในช่วง initial period..... 94
ตารางที่ 4.21 ผลการทำนายการกัดผิวจาก pickling equation.....96
ตารางที่ 1ก สภาวะในถังกรดจากกระบวนการกัดผิวจริงของ
บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน)..... 106

หน้า

ตารางที่ 2ก ความเร็วและเวลาที่เหล็กแผ่นผ่านถังกรดจากกระบวนการกัดผิวจริง.....106
ตารางที่ 1ง น้ำหนักของเหล็กที่คำนวณได้จากผลวิเคราะห์.....112
ตารางที่ 2ง ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกหลังการกัดผิวที่ได้จากการคำนวณ.....113