ผลของอุณหภูมิรีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่อค่า Plastic Strain Ratio และค่า Strain-Hardening Exponent ของเหล็กแผ่นรีดร้อน

นายพงศธร ตั้งฤกษ์วราสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 9 7 0 4 4 4 4 2 1

EFFECT OF FINISHING TEMPERATURE AND COILING TEMPERATURE ON PLASTIC STRAIN RATIO AND STRAIN-HARDENIG EXPONENT OF HOT ROLLED STEEL SHEET

Mr. Pongsatorn Tangreakwarasakul

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

512068

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุณหภูมิรีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่อค่า Plastic Strain Ratio และค่า Strain-Hardening Exponent ของเหล็กแผ่นรีดร้อน
โดย	นายพงศธร ตั้งฤกษ์วราสกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บุญรัตน์ โล่วงศ์วัฒน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน)

พงศธร ตั้งฤกษ์วราสกุล : ผลของอุณหภูมิรีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่อค่า Plastic Strain Ratio และค่า Strain-Hardening Exponent ของเหล็กแผ่นรีดร้อน. (EFFECT OF FINISHING TEMPERATURE AND COILING TEMPERATURE ON PLASTIC STRAIN RATIO AND STRAIN-HARDENING EXPONENT OF HOT ROLLED STEEL SHEET) **อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ.ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย, 56 หน้า.**

วิทยานิพนธ์นี้หา Plastic Strain Ratio **เฉลี่ย** (Rm) **และ** Strain-Hardening Exponent (n) **ของเหล็กแผ่นรีดร้อนเกรด** HR 1 **เหล็กแผ่นผ่านการรีดจริงในโรงงานโดยแปรผันอุณหภูมิรีดละเอียดในช่วงระหว่าง** 860-910°C **และแปรผันอุณหภูมิม้วนในช่วงระหว่าง** 540-720°C **จนได้ความหนา** 3.2 **มิลลิเมตร เตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน** JIS Z2201 No.5 **หาค่า** Rm **และค่า** n **จากผลการทดสอบแรงดึง หาขนาดเกรนเฟอร์ไรต์โดยการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตามมาตรฐาน** ASTM E112

ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิรีดละเอียด 860°C **อุณหภูมิม้วนที่สูงขึ้นให้** % **การยืดตัวสูงขึ้น และค่า** n **สูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิรีดละเอียดมากกว่า** 860°C **อุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อค่า** Rm **และค่า** n **แต่ทำให้ขนาดเกรนเฟอร์ไรต์โตขึ้นเล็กน้อย ในช่วงอุณหภูมิรีดละเอียด** 860-910°C **และอุณหภูมิม้วน** 540-720°C **อุณหภูมิม้วนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า** n **สูงขึ้นโดยไม่ทำให้ค่า** Rm **สูงขึ้น เงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการศึกษานี้คืออุณหภูมิรีดละเอียด** 860°C **และอุณหภูมิม้วน** 680°C **ซึ่งให้ค่า** Rm 1.1 **และค่า** n 0.20

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่อนิสิต พงศธร ตั้งฤกษ์วราสกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ปีการศึกษา 2551

4970444421 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEYWORDS : FINISHING TEMPERATURE / COILING TEMPERATURE / PLASTIC STRAIN RATIO/ STRAIN-HARDENING EXPONENT

PONGSATORN TANGREAKWARASAKUL : EFFECT OF FINISHING TEMPERATURE AND COILING TEMPERATURE ON PLASTIC STRAIN RATIO AND STRAIN-HARDENING EXPONENT OF HOT ROLLED STEEL SHEET. ADVISOR : ASSOC.PROF.PRASONK SRICHAROENCHAI, , 56 pp.

This thesis investigated average plastic strain ratio (Rm) and strain-hardening exponent of hot rolled steel sheets grade HR1. The steel sheets were rolled in the actual strip mill by varying finishing temperature in the range of 860-910°C and varying coiling temperature in the range of 540-720°C to the thickness of 3.2 mm. Tensile test specimen was prepared according to JIS Z2201 No.5 standard. Rm value and n value were measured from tensile testing result. Ferrite grain size was measured by microstructure observation according to ASTM E112 standard.

It is found that, at finishing temperature of 860°C the increasing coiling temperature result in the increasing % elongation and increasing n value. However, when the finishing temperature is higher than 860°C, the increase in finishing temperature does not affect Rm and n value but causes a little increasing ferrite grain size. In the finishing temperature range of 860-910°C and the coiling temperature range of 540-720°C the increasing coiling temperature results in increasing n value but does not increase Rm value. The best condition in this study is the finishing temperature at 860°C and the coiling temperature at 680°C which provides Rm value of 1.1 and n value of 0.20

Department : Metallurgical Engineering Student's Signature Pongsatorn Tangreakwarasakul

Field of Study : Metallurgical Engineering Advisor's Signature Prasonk Sricharoenchai

Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณประธาน และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา อาจารย์ ดร.บุญรัตน์ โล่วงศวัฒนและดร.กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณบริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เหล็กแผ่นรีดร้อนสำหรับใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัย และทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท ขอขอบพระคุณคุณ วีรวุฒิ ภานุมาตรรัศมี เจ้าของร้าน ไทยดีโลหะภัณฑ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัดเหล็กแผ่นรีดร้อนเพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่สาว ของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา ขอกราบขอบพระคุณ คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และขอขอบคุณพี่ เพื่อนและน้องนิสิตทุกท่านโดยเฉพาะกลุ่มวิจัยทางด้านวิศวกรรมพื้นผิว ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 มาตรฐานอุตสาหกรรมของเหล็กแผ่นรีดร้อน 4

2.2 สมบัติทางกลและความสามารถการขึ้นรูป 4

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

3 การทดลอง 17

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย 17

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 18

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

4 ผลการวิเคราะห์การทดลอง 20

4.1 อุณหภูมิรีดละเอียด 860°C 20

4.1.1 สมบัติทางกลของชิ้นงานที่มีอุณหภูมิม้วนต่างกัน 20

4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับ

ค่า plastic strain ratio เฉลี่ย 22

บทที่ หน้า

4 ผลการวิเคราะห์การทดลอง (ต่อ) 23
4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับ
ค่า strain-hardening exponent 23
4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรต์กับ
ค่า plastic strain ratio เฉลี่ย 24
4.2 อุณหภูมิรีดละเอียดที่สูงขึ้น 25
4.2.1 สมบัติทางกลของชิ้นงานที่อุณหภูมิรีดละเอียดต่างๆ 25
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับ
ค่า plastic strain ratio เฉลี่ย 27
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับ
ค่า strain-hardening exponent 28
4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรต์กับ
ค่า plastic strain ratio เฉลี่ย 29
4.3 อุณหภูมิรีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนทั้งหมด 30
4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับ
ค่า plastic strain ratio เฉลี่ย 30
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรต์กับ
ค่า plastic strain ratio เฉลี่ย 31
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับ
ค่า strain-hardening exponent 33
4.3.4 โครงสร้างจุลภาค 34

5 สรุปผลการวิเคราะห์การทดลอง 36

รายการอ้างอิง 37

ภาคผนวก 38
ภาคผนวก ก 39
ภาคผนวก ข 43
ภาคผนวก ค 45

บทที่ หน้า

ภาคผนวก 51

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 55

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกลทั่วไปของเหล็กกล้ารีดร้อน 5
ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมของเหล็กกล้ารีดร้อน IF ในการศึกษาของ H. Zhao, S.C. Ram, G.C. Barbe , Z.Wang และ X. Wang 11
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กแผ่นรีดร้อนที่ใช้ในการทดลอง 14
ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ของชิ้นงานที่แทนชิ้นงานที่มีอุณหภูมิรีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่างๆ 14
ตารางที่ ก.1 ส่วนประกอบทางเคมีเมื่อวิเคราะห์จากเบ้า 40
ตารางที่ ก.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบทางเคมีเมื่อวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ 41
ตารางที่ ก.3 ความต้านแรงดึงและความยืด 42
ตารางที่ ก.4 การดัดโค้ง 42
ตารางที่ ข.1 ประเภทชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน JIS Z2201 43
ตารางที่ ข.2 การเลือกมาตรฐานชิ้นงานทดสอบแรงดึง 43
ตารางที่ ค.1 เทียบขนาดเกรนหน่วย ASTM No. เป็นไมครอน 50
ตารางที่ ง.1 ตัวแปรที่มีผลต่อเกิด texture ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 54

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การลากขึ้นรูปลึก 6
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรท์กับค่า Rm 9
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง texture กับค่า Rm 10
รูปที่ 2.4 แผนผังการรีดร้อนในการศึกษาของ H. Zhao,
S.C. Rama, G.C. Barber, Z.Wang และ X. Wang 11
รูปที่ 2.5 รูปถ่ายโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงของ
ตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้สารหล่อลื่นในขณะทำการรีด หลังผ่านการอบอ่อน 12
รูปที่ 2.6 ความเข้มของ texture ของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิรีดละเอียด
800 องศาเซลเซียสและไม่ใช้สารหล่อลื่นในการรีดร้อน 12
รูปที่ 2.7 ความเข้มของ texture ของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิรีดละเอียด
800 องศาเซลเซียสและใช้สารหล่อลื่นในการรีดร้อน 12
รูปที่ 2.8 ความเข้มของ texture ของตัวอย่างอุณหภูมิรีดละเอียด
750องศาเซลเซียสและใช้สารหล่อลื่นในการรีดร้อนก่อนการอบอ่อน 13
รูปที่ 2.9 ความเข้มของ texture ของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิรีดละเอียด
750 องศาเซลเซียสและใช้สารหล่อลื่นในการรีดร้อนหลังการอบอ่อน 13
รูปที่ 4.1 สมบัติทางกลของชิ้นงานที่มีอุณหภูมิต่างกัน 17
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับค่า plastic strain ratio
เฉลี่ยของชิ้นงานที่อุณหภูมิม้วนต่างๆ 19
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับค่า
strain-hardening exponent ของชิ้นงานที่อุณหภูมิม้วนต่างๆ 20
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรต์กับค่า
plastic strain ratio เฉลี่ยของชิ้นงานที่อุณหภูมิม้วนต่างๆ 21
รูปที่ 4.5 สมบัติทางกลของชิ้นงานที่มีอุณหภูมิรีดละเอียดต่างๆ 22
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับค่า
plastic strain ratio เฉลี่ยของชิ้นงานที่อุณหภูมิรีดละเอียดต่างๆ 24
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับค่า
strain-hardening exponentของชิ้นงานที่อุณหภูมิรีดละเอียดต่างๆ 25

หน้า

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรต์กับค่า
plastic strain ratio เฉลี่ยของชิ้นงานที่อุณหภูมิ
รีดละเอียดต่างๆ 26
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับค่า
plastic strain ratio เฉลี่ยของชิ้นงานที่อุณหภูมิ
รีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่างๆ 27
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฟอร์ไรต์กับค่า
plastic strain ratio เฉลี่ยของชิ้นงานที่อุณหภูมิ
รีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่างๆ 28
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับค่า
strain-hardening exponentของชิ้นงานที่อุณหภูมิ
รีดละเอียดและอุณหภูมิม้วนต่างๆ 30
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่อุณหภูมิรีดละเอียด
และอุณหภูมิม้วนต่างๆ 31
รูปที่ ข.1 ข้อกำหนดชิ้นงานตามมาตรฐาน JIS Z2201 No.5 44
รูปที่ ค.1 แบบสำหรับการวัดขนาดเกรนแบบนับจุดตัด
(Test Pattern for Intercept Counting) 46
รูปที่ ค.2 จำนวนจุดตัดเฉลี่ยบนแบบวัด 500 มม. 49
รูปที่ ง.1 ส่วนประกอบทั่วไปของ EBSD ใน SEM
โดยแสดงให้เห็นเส้น kikuchi pattern
EBSD ที่สะท้อนมาจากฉากฟอสเฟอร์ 51
รูปที่ ง.2 (ก) (200) pole figure แสดงการเรียงตัวที่สำคัญ
บางตัวของเหล็กกล้าลากขึ้นรูปลึก (ข) ส่วน $\varphi_2 = 45^\circ$
ใน Euler Space แสดงการเรียงตัวและเส้นใยที่สำคัญ 53
รูปที่ ง.3 ส่วน $90^\circ \times 90^\circ \times 90^\circ$ ของ Euler space ที่แสดง
ตำแหน่งของการเรียงตัวและเส้นใยที่สำคัญในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 53