

การควบคุมรูปร่างของซิลไฟด์อินคลูชันด้วยแร่เอิร์ทในเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ

นายครองพล คัมพิทวงศ์



วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-315-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17381009

SULFIDE INCLUSION SHAPE CONTROL BY RARE EARTH IN LOW ALLOY STEEL

MR. KRONGPON TONTIPONG

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Engineering**

Department of Metallurgical Engineering

Graduate School

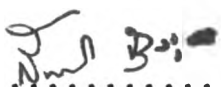
Chulalongkorn University

1996

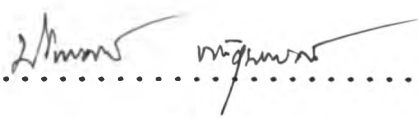
ISBN 974-633-315-1

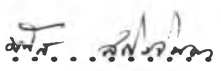
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การควบคุมรูปร่างของซิลไฟด์อินคลูชันด้วยแร่เอิร์ทเวทเพิลกกล้า
โลหะผสมต่ำ
โดย นายครองพล คันทิงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ดุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีทรรศน์ พันธุบรรยงก์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ มภัส สติรจินดา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุมาลี วงศ์จันทร์)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ครองพล ดันติพงศ์ : การควบคุมรูปร่างของซัลไฟด์อินคลูชันด้วยแร่เอิร์ท ในเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ (SULFIDE INCLUSION SHAPE CONTROL BY RARE EARTH IN LOW ALLOY STEEL) อ.ที่ปรึกษา : ศ.มนัส สติรจินดา, 133 หน้า. ISBN 974-633-315-1

เหล็กกล้าที่ผ่านการขึ้นรูปร้อนจะมีคุณสมบัติทางกลที่ขึ้นกับทิศทางหรือแอนไอโซโทรปี อันเป็นผลกระทบที่สำคัญจากการยึดตัวของแมงกานีสซัลไฟด์อินคลูชัน

การทดลองใช้เหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ (คาร์บอน 0.35% แมงกานีส 1.3% และกำมะถัน 0.02%) เป็นชิ้นงานทดลองและใช้แร่เอิร์ทในรูปของ มีช เมทัล ใส่ในขั้นตอนการหล่อเหล็กกล้า หลังจากการหล่อและการอบชุบความร้อนโดยกระบวนการนอร์มัลไลซิงแล้วนำชิ้นงานทดลองมาผ่านกระบวนการทึบขึ้นรูปร้อนโดยการลดขนาดความหนาลง 50% จากนั้นจึงทำการทดสอบการรับแรงกระแทก คุณสมบัติแรงดึง และโครงสร้างจุลภาคในทิศทางตามแนวการขึ้นรูปและทิศทางขวางการขึ้นรูป พบว่าแร่เอิร์ทสามารถควบคุมให้ซัลไฟด์อินคลูชันมีรูปร่างกลมหลังจากการทึบขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ผลดีที่สุดที่อัตราส่วนซีเรียมต่อกำมะถันประมาณ 1.5 จากผลของรูปร่างกลมของอินคลูชันดังกล่าวส่งผลให้พลังงานรับแรงกระแทกและ เบอร์ เซ็นต์การยึดตัวทั้งในทิศทางตามและขวางการขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นและ เป็นแอนไอโซโทรปีลดลง อย่างไรก็ตามต้องระวังไม่ให้อัตราส่วนของซีเรียมต่อกำมะถันมีค่ามากกว่า 3 เพราะจะทำให้เกิดการแตกเปราะที่อุณหภูมิสูงขณะขึ้นรูปร้อน การเติมแร่เอิร์ทในปริมาณที่ไม่มากเกินไปจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังวัสดุและโครงสร้างพื้นฐานของเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต *ครองพล ดันติพงศ์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *มนัส สติรจินดา*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C518643 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: SULFIDE INCLUSION SHAPE CONTROL/RARE EARTH/STEEL

KRONGPON TONTIPONG : SULFIDE INCLUSION SHAPE CONTROL BY RARE EARTH IN LOW ALLOY STEEL. THESIS ADVISOR : PROF. MANAS SATERACHINDA 133 pp. ISBN 974-633-315-1

Hot formed steel possesses directionality of mechanical properties or anisotropy. These properties are mainly effected by elongated manganese sulfide inclusions.

Experimental works with low alloy steel (C 0.35%, Mn 1.3% and S 0.02%) as specimen and alloyed with rare earths in misch metals form were carried out in steel casting process. After casting and subsequent normalizing, the specimens were hot forged up to 50% reduction. The charpy V-notch(CVN) impact, tension and the microstructure test were investigated in both direction, longitudinal and transverse. The results show that the addition of rare earth can obtain the globular shape of the precipitated sulfide inclusion at the effective ratio of Ce:S about 1.5. The sulfide shape contribute to a remarkable improvement in the impact energy and the elongation. However, care must be taken about excessive rare earth addition especially, with Ce:S ratio greater than 3.0 because of Hot shortness occurred. The rare earth addition in small quantities exhibits minor affectation on the strength and the matrix of low alloy steel.

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ

ลายมือชื่อนิสิต *อ.ชว. ภิรัตพงศ์*

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *มนัส สaterdag*

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์มบัล สติรจินดา และรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีทรรศน์ พันธุ์รียงงัก ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือชี้แนะแนวทาง สั่งสอนอบรมและช่วยควบคุมให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จดังจุดมุ่งหมาย และขอขอบพระคุณคณาจารย์ ครูปฏิบัติการตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในการทำวิจัย และสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยอย่างมาก

นอกจากนี้ขอขอบคุณบริษัทสยาม เทคโนโลยีอุตสาหกรรมจำกัดที่ได้ช่วยเหลือในกระบวนการทบทวนรูปเพื่อเตรียมชิ้นงานทดลอง

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ

บทที่

1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
3. การทดลอง.....	41
4. ผลการทดลอง.....	59
5. การอภิปรายผลการทดลอง.....	99
6. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	115
รายการอ้างอิง.....	117
ภาคผนวก.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	133

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ความดันไอของโลหะผสมที่อุณหภูมิ 1527C.....	4
ตารางที่ 1.2 ความถ่วงจำเพาะของโลหะผสมที่อุณหภูมิห้อง.....	4
ตารางที่ 2.1 ตารางธาตุ.....	15
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงข้อมูลพื้นฐานของธาตุแร่เอิร์ท.....	17
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานทดลอง เหล็กกล้า โลหะผสมค่าที่ใช้เป็นมาตรฐาน.....	42
ตารางที่ 3.2 ปริมาณของธาตุมาตรฐานที่ป้อนใส่ในหนึ่งเตา.....	44
ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง.....	47
ตารางที่ 3.4 การใส่ MM. และ CaSi ในชิ้นงานทดลอง.....	48
ตารางที่ 3.5 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture.....	55
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงกระแทก.....	59
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดึง.....	66
ตารางที่ 4.3 ขนาดของซิลไฟด์อินคลูชันและธาตุที่พบ.....	96

สารบัญตาราง-ภาคผนวก

ตารางที่ ผ1 ผลการทดสอบแรงกระแทก.....	123
ตารางที่ ผ2 ผลการทดสอบแรงดึง.....	124
ตารางที่ ผ3 ผลการวัดขนาดของซิลไฟด์อินคลูชัน.....	125

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภูมิการไหลของการทดลอง.....	7
รูปที่ 1.2 แผนภูมิพื้นฐานของกระบวนการหล่อเหล็กกล้า.....	12
รูปที่ 2.2 เครื่อง Forging Hammer แบบ Board Hammer.....	23
รูปที่ 2.3 เครื่อง Forging Hammer แบบ Power Hamer.....	23
รูปที่ 2.4 แผนภูมิสัณฐานไฟต์อินคลูชัน (สีเทาอ่อน) ในเหล็กกล้า ที่ผ่านการขึ้นรูป.....	27
รูปที่ 2.5 แผนภูมิสัณฐานไฟต์อินคลูชัน กลุ่มที่ 1 ในเหล็กกล้าหล่อ.....	28
รูปที่ 2.6 แผนภูมิสัณฐานไฟต์อินคลูชัน กลุ่มที่ 2 ในเหล็กกล้าหล่อ.....	28
รูปที่ 2.7 แผนภูมิสัณฐานไฟต์อินคลูชัน กลุ่มที่ 3 ในเหล็กกล้าหล่อ.....	29
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม ในสถานะของแข็งกับระยะห่างระหว่างอะตอม.....	33
รูปที่ 2.9 จุดบกพร่องรูปร่างรีในโลหะแผ่น.....	37
รูปที่ 3.1 เคาไฟฟ้าเหนี่ยวนำความถี่สูง.....	41
รูปที่ 3.2 ลำดับการเติมโลหะผสม.....	43
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การใส่ MM.โดยวิธี Plunging Technic.....	43
รูปที่ 3.4 ชิ้นงานหล่อหลังจากตัดไรเซอร์ออกแล้ว.....	45
รูปที่ 3.5 ผิวหน้าสัมผัสของชิ้นงานหล่อกับไรเซอร์.....	45
รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดลองก่อนและหลังการทุบขึ้นรูป.....	50
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดลองจริงก่อนและหลังการทุบขึ้นรูป.....	51
รูปที่ 3.8 การทุบขึ้นรูป Upsetting.....	51
รูปที่ 3.9 การแปรรูปในส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานจาก การทำ Upsetting.....	52
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานจริงขณะเข้าแถวรอกระบวนการทุบขึ้นรูป.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานจริงขณะกำลังจะทุบขึ้นรูป.....	53
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบ.....	54
รูปที่ 3.13 ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก.....	55
รูปที่ 3.14 การหาเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture.....	56
รูปที่ 3.15 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง.....	57
รูปที่ 3.16 การวัดขนาดเกรนโดยวิธี Intersected Segment Method.....	58
รูปที่ 4.1 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบหมายเลข 11.....	61
รูปที่ 4.2 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบหมายเลข 22.....	62
รูปที่ 4.3 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบหมายเลข 23.....	63
รูปที่ 4.4 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบหมายเลข 27.....	64
รูปที่ 4.5 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบหมายเลข 31.....	65
รูปที่ 4.6 ภาพจุลภาคอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 10.....	68
รูปที่ 4.7 ภาพจุลภาคอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 10 ที่กำลังขยาย 5000X และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	69
รูปที่ 4.8 ภาพจุลภาคอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางการขึ้นรูป.....	70
รูปที่ 4.9 ภาพจุลภาคอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางการขึ้นรูปที่กำลังขยาย 2000X และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	71
รูปที่ 4.10 ภาพจุลภาคอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางขวางการขึ้นรูปที่กำส้งขยาย 3500 เท่า และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	73
รูปที่ 4.12	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางการขึ้นรูป.....	74
รูปที่ 4.13	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางการขึ้นรูปที่กำส้งขยาย 5000 เท่า และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	75
รูปที่ 4.14	การตรวจจอลูมินาอินคลูชันในรูป 4.13 โดย SEM.....	76
รูปที่ 4.15	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป.....	77
รูปที่ 4.16	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางขวางการขึ้นรูปที่กำส้งขยาย 5000 เท่า และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	78
รูปที่ 4.17	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 23 ในทิศทางการขึ้นรูป.....	79
รูปที่ 4.18	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 23 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป.....	80
รูปที่ 4.19	ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 23 ที่กำส้งขยาย 5000 เท่า และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	81
รูปที่ 4.20	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของซัลไฟด์อินคลูชัน อันเนื่องมาจากการใส่ MM.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.21	ภาพสัณฐานวิทยาอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 27 ในทิศทางการขึ้นรูป.....	83
รูปที่ 4.22	ภาพสัณฐานวิทยาอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 27 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป.....	84
รูปที่ 4.23	ภาพสัณฐานวิทยาอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 27 ที่กำลงขยาย 5000 เท่า และผลการพิสูจน์ธาตุ.....	85
รูปที่ 4.24	การตกผลึกของสารประกอบที่ขอบเกรนของชิ้นงาน หมายเลข 27.....	86
รูปที่ 4.25	ผลการพิสูจน์ธาตุจากรูป 4.24 โดย SEM.....	87
รูปที่ 4.26	รอยแตกบนผิวหน้าด้านบนของชิ้นงานหมายเลข 27 หลังจากผ่านกระบวนการชุบขึ้นรูปร้อน.....	88
รูปที่ 4.27	รอยแตกบนผิวหน้าด้านบนของชิ้นงานหมายเลข 27 หลังจากผ่านกระบวนการชุบขึ้นรูปร้อน.....	88
รูปที่ 4.28	รอยแตกบนผิวหน้าด้านข้างของชิ้นงานหมายเลข 27 หลังจากผ่านกระบวนการชุบขึ้นรูปร้อน.....	89
รูปที่ 4.29	รอยแตกบนผิวหน้าด้านข้างของชิ้นงานหมายเลข 27 หลังจากผ่านกระบวนการชุบขึ้นรูปร้อน.....	89
รูปที่ 4.30	รอยแตกบนผิวหน้าด้านหน้าของชิ้นงานหมายเลข 27 หลังจากผ่านกระบวนการชุบขึ้นรูปร้อน.....	90
รูปที่ 4.31	ภาพสัณฐานวิทยาอินคลูชันตามขอบเกรนพบบริเวณรอยแตก จากรูป 4.26 ถึง 4.30	91
รูปที่ 4.32	รอยแตกของชิ้นงานหมายเลข 27.....	91
รูปที่ 4.33	รอยแตกของชิ้นงานหมายเลข 27.....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.34 ภาพซีลไฟด์อินคลูชันในชิ้นงานหมายเลข 31.....	93
รูปที่ 4.35 ภาพซีลไฟด์อินคลูชันในชิ้นงานหมายเลข 31 ซึ่งมีการยึดตัว..	94
รูปที่ 4.36 ภาพซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 31 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และผลพิสูจน์ธาตุ.....	95
รูปที่ 4.37 การวัดขนาดเกรนของชิ้นงานหมายเลข22 ในทิศการขึ้นรูป..	97
รูปที่ 4.38 การวัดขนาดเกรนของชิ้นงานหมายเลข22 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป.....	97
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานรับแรงกระแทก กับอัตราส่วน Ce:S ในชิ้นงานทดลอง.....	100
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Yield Strength กับอัตราส่วน Ce:S ในชิ้นงานทดลอง.....	107
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับอัตราส่วน Ce:S ในชิ้นงานทดลอง.....	108
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว กับอัตราส่วน Ce:S ในชิ้นงานทดลอง.....	111
รูปที่ 5.5 กราฟความเค้น-ความเครียด.....	112

สารบัญรูป-ภาคผนวก

รูปที่ ผ1 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข10.....	126
รูปที่ ผ2 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข11 ทิศการขึ้นรูป.....	127
รูปที่ ผ3 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข11 ทิศขวางการขึ้นรูป..	128
รูปที่ ผ4 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข22 ทิศการขึ้นรูป.....	129
รูปที่ ผ5 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข22 ทิศขวางการขึ้นรูป..	130
รูปที่ ผ6 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข23 ทิศการขึ้นรูป.....	131
รูปที่ ผ7 ซีลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข23 ทิศขวางการขึ้นรูป..	132