

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวคิดและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวความคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย	
2.1 เหล็กกล้าผสม	4
2.2 กรรมวิธีทางความร้อน	8
2.3 กรรมวิธีการอบชุบโลหะด้วยความร้อน	12
2.4 การชุบแข็งและการอบคืนตัวเหล็กกล้าผสม	18
2.5 โครงสร้างของเหล็กที่ผ่านการทำการชุบแข็ง	19
2.6 บทบาทของธาตุที่มีผลต่อการชุบแข็ง	21
2.7 บทบาทของธาตุผสมที่มีต่อการอบคืนตัว	22
2.8 Temper Martensite	23
2.9 ความเปราะเนื่องจากการอบคืนตัว	23

บทที่ 2	แนวความคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)	
2.10	การทดสอบและการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	25
2.11	การทดสอบสมมติฐาน	29
2.12	การออกแบบการทดลอง	32
2.13	การวิเคราะห์ระบบการวัด	35
2.14	การวิเคราะห์ข้อมูล	36
บทที่ 3	การดำเนินงาน	
3.1	วัสดุที่ทำการวิจัย	39
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	39
3.3	การดำเนินการทดลองในการชุบแข็ง	40
3.4	การออกแบบการทดลองในการอบคืนตัว	42
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1	การหาสภาวะที่เหมาะสมของการชุบแข็ง	51
4.2	การวิเคราะห์ระบบการวัด	52
4.3	ผลการทดลองของการอบคืนตัว	63
4.4	การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล	70
4.5	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	77
บทที่ 5	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการดำเนินงาน	88
5.2	ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง		91
ภาคผนวก		
ก.	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	92
ข.	รูป Drawing ของชิ้นงานทดสอบ	98
ค.	โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นทดสอบ	102

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของน้ำยากัดชิ้นตรวจสอบที่เป็นเหล็ก	29
3.1 แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับการชุบแข็ง	40
3.2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดสอบพลังงานการกระแทก	44
3.3 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดสอบความแข็ง	45
3.4 แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับการอบคืนตัวของ ของการทดสอบความแข็ง	48
3.5 แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับการอบคืนตัวของ ของการทดสอบแรงกระแทก	49
4.1 ผลการทดลองการวัดค่าความแข็งจากการชุบแข็งในสถานะต่าง ๆ	51
4.2 ผลการทดลองการวัดพลังงานการกระแทกจากการอบคืนตัว	55
4.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Gage R&R ของระบบการวัดพลังงานการกระแทก	57
4.4 ผลการทดลองการวัดความแข็งจากการอบคืนตัว	59
4.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Gage R&R ของระบบการวัดความแข็ง	61
4.6 แสดงผลการทดลองการวัดค่าพลังงานการกระแทก จากการอบคืนตัวที่เวลาต่าง ๆ	63
4.7 แสดงผลการทดลองการวัดค่าความแข็งจากการอบคืนตัวที่เวลาต่าง ๆ	64
4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานการกระแทกจากการอบคืนตัว	79
4.9 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าพลังงานการกระแทกจากการอบคืนตัว	81
4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งจากการอบคืนตัว	83
4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยการลดรูป ของค่าความแข็งจากการอบคืนตัว	85
4.12 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความแข็งจากการอบคืนตัว	86

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพสมดุลของเหล็กกับเหล็กคาร์ไบด์	9
2.2 แสดงโครงสร้างของเหล็กแต่ละชนิด	10
2.3 แสดงโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ขยาย 25,000 เท่า	11
2.4 แผนภูมิ TTT ของเหล็กกล้าผสม AISI 4140	12
2.5 แสดงช่วงของอุณหภูมิในการชุบแข็งและการอบคืนตัว	17
2.6 แสดงผลของการชุบแข็งที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน	19
2.7 การทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod	26
2.8 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ	27
2.9 ลักษณะลำแสงสะท้อนกลับไปยังเลนส์ขยาย ทำให้เกิดภาพโครงสร้างของชิ้นตรวจสอบ	27
2.10 ลักษณะแนวทางการจัดชิ้นตรวจสอบสลับเป็นตาราง	28
3.1 กรรมวิธีการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800°C	41
3.2 กรรมวิธีการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C	41
3.3 กรรมวิธีการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900°C	42
3.4 กรรมวิธีการอบคืนตัว (Tempering)	47
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดพลังงานกระแทก	55
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดความแข็ง	59
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระแทกกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัว 30 นาที	65
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระแทกกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัว 60 นาที	65
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระแทกกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัว 90 นาที	66
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระแทกกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัวต่าง ๆ	66

4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัว 30 นาที	67
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัว 60 นาที	67
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัว 90 นาที	68
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับค่าอุณหภูมิ ที่เวลาอบคืนตัวต่าง ๆ	68
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและค่าพลังงานกระแทก กับอุณหภูมิที่เวลาอบคืนตัว 30 นาที	69
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและค่าพลังงานกระแทก กับอุณหภูมิที่เวลาอบคืนตัว 60 นาที	69
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและค่าพลังงานกระแทก กับอุณหภูมิที่เวลาอบคืนตัว 90 นาที	70
4.14 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลพลังงานการกระแทก	71
4.15 แผนภาพทดสอบความอิสระของข้อมูลพลังงานการกระแทก	72
4.16 กระดาษทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลพลังงานการกระแทก	73
4.17 แผนภาพทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูลพลังงานการกระแทก	74
4.18 การเปรียบเทียบความแปรปรวนของพลังงานการกระแทก	74
4.19 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลความแข็ง	75
4.20 แผนภาพทดสอบความอิสระของข้อมูลความแข็ง	76
4.21 กระดาษทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลความแข็ง	76
4.22 แผนภาพทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูลความแข็ง	77
4.23 การเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าความแข็ง	78
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลัก ของค่าพลังงานการกระแทกจากการอบคืนตัว	80
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วม ของค่าพลังงานการกระแทกจากการอบคืนตัว	81
4.26 การประมาณค่าพลังงานการกระแทก	82
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลักของค่าความแข็งจากการอบคืนตัว	84
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมของค่าความแข็งจากการอบคืนตัว	85

4.29 การประมาณค่าความแข็งจากการอบคืนตัว	87
ก.1 เครื่องทดสอบแรงกระแทก	93
ก.2 กล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบคู โครงสร้าง	94
ก.3 เตาอบชุบ โลหะด้วยความร้อน	95
ก.4 ชุดขัดผิวงานด้วยกระดาษทราย	96
ก.5 เครื่องขัดผิวงานหยาบและละเอียดชนิดจานคู่	96
ก.6 เครื่องทดสอบความแข็ง	97
ข.1 Drawing ของชิ้นทดสอบความแข็ง	99
ข.2 Drawing ของชิ้นทดสอบแรงกระแทก	100
ข.3 แสดงชิ้นทดสอบความแข็งและ โครงสร้างทางจุลภาค	101
ข.4 แสดงชิ้นทดสอบแรงกระแทก	101
ค.1 ชิ้นทดสอบก่อนการอบชุบด้วยความร้อน	103
ค.2 ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800°C ด้วยน้ำมัน	103
ค.3 ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800°C ด้วยน้ำ	104
ค.4 ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C ด้วยน้ำมัน	104
ค.5 ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C ด้วยน้ำ	105
ค.6 ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยน้ำมัน	105
ค.7 ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยน้ำ	106
ค.8 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 250°C เวลาในการอบ 30 นาที	106
ค.9 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 250°C เวลาในการอบ 60 นาที	107
ค.10 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 250°C เวลาในการอบ 90 นาที	107
ค.11 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 350°C เวลาในการอบ 30 นาที	108
ค.12 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 350°C เวลาในการอบ 60 นาที	108
ค.13 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 350°C เวลาในการอบ 90 นาที	109
ค.14 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 450°C เวลาในการอบ 30 นาที	109
ค.15 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 450°C เวลาในการอบ 60 นาที	110
ค.16 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 450°C เวลาในการอบ 90 นาที	110
ค.17 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 550°C เวลาในการอบ 30 นาที	111
ค.18 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 550°C เวลาในการอบ 60 นาที	111
ค.19 อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 550°C เวลาในการอบ 90 นาที	112

ค.20 อบคั้นตัวที่อุณหภูมิ 650°C เวลาในการอบ 30 นาที	112
ค.21 อบคั้นตัวที่อุณหภูมิ 650°C เวลาในการอบ 60 นาที	113
ค.22 อบคั้นตัวที่อุณหภูมิ 650°C เวลาในการอบ 90 นาที	113

