

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หัวข้อโครงการ	1
1.2 ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	1
1.3 หลักการ ทฤษฎี เหตุผล หรือสมมติฐาน	1
1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	1
1.6 สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล	2
1.7 แผนการดำเนินงาน ขอบเขต และวิธีการวิจัย	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 การอบชุบ	4
2.2 ความแข็ง	6
2.3 ความทนต่อแรงกระแทก	15
2.4 โครงสร้างทางจุลภาค	22
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	28
2.6 การถอดอยเชิงเส้นและสหสัมพันธ์	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ดำรงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	42
3.2 เตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดและจำนวนตามต้องการ	42
3.3 ตรวจสอบสมบัติของเหล็กที่ยังไม่ได้ผ่านการอบชุบ	44
3.4 ออกแบบการทดลองสำหรับการอบชุบชิ้นงาน	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ทำการรอบขุมคามที่ออกแบบไว้	44
3.6 ตรวจสอบสมบัติของเหล็กที่ผ่านการรอบขุมแล้ว	44
3.7 ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติ	44
3.8 วิจารณ์ผลการทดลองและสรุปผลที่ได้	44
3.9 จัดทำรูปเล่มโครงการนิพนธ์	45
บทที่ 4 การวิจัยและผลการวิจัย	
4.1 การชุบแข็ง	46
4.2 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค	48
4.3 การทดสอบความแข็ง	61
4.4 การทดสอบแรงกระแทก	67
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 โครงสร้างจุลภาค	85
5.2 ความแข็ง	86
5.3 ความทนต่อแรงกระแทก	88
5.4 ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก	92
ประวัติผู้วิจัย	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
2.1 ตารางค่าความแข็งของวัสดุตามรอกเวล	12
2.2 ค่าสำหรับแก้ไขข้อบกพร่อง สำหรับผิวอนุททดสอบตาม HRC หรือ HRA	14
2.3 ค่าบวกเพิ่มค่าสำหรับแก้ไขข้อบกพร่อง สำหรับผิวอนุททดสอบตาม HRB หรือ HRF	15
2.4 ตารางแสดงวิธีการกัดผิวงาน	25
2.5 ตัวอย่างน้ำยากัดกรดผิวเหล็ก	26
2.6 Experiment with Two Factor : Two-way ANOVA	29
2.7 ANOVA (The Analysis of Variance Table for Two-Factor Design	30
2.8 การคำนวณค่าสถิติ F	39
2.9 ค่าของตัวอย่างการคำนวณ	39
2.10 การคำนวณค่า F ของตัวอย่าง	41
3.1 ตารางจัดบันทึกผลการทดลอง	44
4.1 ขนาดของเม็ดเกรน เรียงตามลำดับจากขนาดใหญ่ที่สุด ไปจนถึงเล็กที่สุด	55
4.2 ลำดับขนาดของเกรน เทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน ในตัวกลางแต่ละชนิด	57
4.3 ลำดับขนาดของเกรน.ใน ตัวกลาง ที่อุณหภูมิต่างๆ	57
4.4 ลำดับขนาดของเกรน	58
4.5 The H coefficient or severity of the quench :	59
4.6 ตารางผลการทดสอบความแข็ง (Rockwell – C)	62
4.7 ค่าเฉลี่ยของความแข็ง (Rockwell – C)	62
4.8 ตารางลำดับผลความแข็งจากมากไปน้อย	63
4.9 ลำดับค่าความแข็งเฉลี่ยเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน ในตัวกลางแต่ละชนิด	64
4.10 ลำดับค่าความแข็งเฉลี่ยเปรียบเทียบใน ตัวกลางเดียวกัน ที่อุณหภูมิต่างๆ	64
4.11 ลำดับค่าความแข็งเฉลี่ย	65
4.12 อธิบายหมายเลขภาวะชุบแข็งในกราฟค่าความแข็งเฉลี่ย	66
4.13 ตารางผลการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (kJ)	68
4.14 ค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ย (kJ)	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 ตารางลำดับผลความทนต่อแรงกระแทกจากมากไปน้อย	69
4.16 ลำดับค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ยเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันในตัวอย่างชนิด	70
4.17 ลำดับค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ยเปรียบเทียบใน ตัวอย่างเดียวกัน ที่อุณหภูมิต่างๆ	70
4.18 ลำดับค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ย	71
4.19 อธิบายหมายเลขภาวะชุปแข็งในกราฟค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ย	72
4.20 อธิบายหมายเลขภาวะชุปแข็งในกราฟสมบัติเหล็กชุบแข็งที่ภาวะต่างๆ	74
4.21 ลำดับขนาดของเกรน	75
4.22 ลำดับค่าความแข็งเฉลี่ย	75
4.23 ลำดับค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ย	75
4.24 การคำนวณค่าความแปรปรวน	77
4.25 ANOVA	78
4.26 การคำนวณสมการถดถอยของค่าความแข็ง	79
4.27 การคำนวณค่าสถิติ F ของค่าความแข็ง	81
4.28 การคำนวณสมการถดถอยของค่าความทนต่อแรงกระแทก	82
4.29 การคำนวณหาค่าสถิติ F ของค่าความทนต่อแรงกระแทก	84

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภาพสมดุลย์ของเหล็กกับคาร์บอน	5
2.2 ขนาดทางเรขาคณิตช่วยในการหาพื้นที่รอยกด	7
2.3 การทดสอบความแข็งวิธีบริเนล	7
2.4 แสดงระยะห่างของรอยกด ค่าความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบ S_{min}	10
2.5 ความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบสัมพันธ์กับชั้นภาวะ B และความแข็ง (คำนวณจาก 8 เท่าของรอยกดลึก h)	10
2.6 การวัดขนาดรอยกดบนชิ้นทดสอบด้วยเลนส์ขยาย อ่านค่าได้ 4.6 mm	11
2.7 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาต่ำสุดกับค่าความแข็งรอกเวลของชิ้นทดสอบ	13
2.8 ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบ	16
2.9 ตัวอย่างประเภทของรอยแตกหักของชิ้นทดสอบเหล็กกล้าชนิดต่างๆ	16
2.10 แผนภาพความต้านแรงกระแทก (a_k) – อุณหภูมิ	18
2.11 เส้นโค้ง a_k -T ของเหล็กกล้าไม่เจือ	19
2.12 รอยแตกจากการตีกระแทกที่อุณหภูมิต่างกัน วัสดุ St 37	19
2.13 a-c. แสดงแบบต่างๆของรอยแตกหัก	20
2.14 ขนาดมาตรฐานการทดสอบชิ้นทดสอบแบบชาร์ปี ตาม ISO 83-1976(E)	21
2.15 a) ตัวอย่างการนำชิ้นทดสอบด้วยการกระแทก และแรงดึงจากหัวโรเตอร์ เฮลิคอปเตอร์ (BO 105)	21
3.1 ภาพตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาค	43
3.2 ภาพตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความทนต่อแรงกระแทก	43
4.1 กราฟการอบชุบ 800 องศาเซลเซียส	46
4.2 กราฟการอบชุบ 900 องศาเซลเซียส	47
4.3 กราฟการอบชุบ 1,000 องศาเซลเซียส	47
4.4 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ไม่ได้ทำการชุบแข็ง	49
4.5 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800 °C ในน้ำมัน	50
4.6 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900 °C ในน้ำมัน	50
4.7 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1,000 °C ในน้ำมัน	51

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800 °C ในน้ำ	51
4.9 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900 °C ในน้ำ	52
4.10 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1,000 °C ในน้ำ	52
4.11 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800 °C ในน้ำเกลือ	53
4.12 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900 °C ในน้ำเกลือ	53
4.13 โครงสร้างจุลภาคเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1,000 °C ในน้ำเกลือ	54
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาวะการชุบแข็งกับความแข็ง	65
4.15 กราฟแสดงภาวะชุบแข็งกับความทนต่อแรงกระแทก	72
4.16 กราฟสมบัติเหล็กชุบแข็งที่ภาวะต่างๆ	74
5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวของตัวกลางกับขนาดเกรนสมมติเฉลี่ยในตัวกลางแต่ละตัว	85
5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบชุบกับขนาดเกรนสมมติเฉลี่ย	86
5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวของตัวกลางกับค่าความแข็งเฉลี่ยในตัวกลางแต่ละตัว	87
5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบชุบกับค่าความแข็งเฉลี่ยที่แต่ละอุณหภูมิ	88
5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัวของตัวกลางกับค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ยในตัวกลางแต่ละตัว	89
5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบชุบกับค่าความทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ยที่แต่ละอุณหภูมิ	90