สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)	1
1.5 ขอบเขต	1
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย	2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart) ทุก 2 อาทิตย์	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 โครงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 การทำคาร์บูไรซิง	4
2.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	6
2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	13
2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 การเตรียมชิ้นงาน	27

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2 การออกแบบการทดลอง	28
3.3 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้มาทำการคาร์บูไรซิงโดยวิธีแพคคาร์บูไรซิงตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้	28
3.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	28
3.5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	28
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	30
4.1 ผลโครงสร้างจุลภาค	30
4.2 ผลการทดสอบความแข็ง	34
4.3 ผลการทดสอบความทนต่อแรงดึงแรงดึง	36
4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	47
4.5 การวิเคราะห์การถดถอย	51
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลโครงการ	56
5.1 คุณสมบัติเชิงกล	56
ปัญหาที่พบ ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	63
ภาคผนวก ค	67
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ขนาดชิ้นงานทดสอบด้วยแรงดึง	6
รูปที่ 2.2 กราฟของแรงกับขนาดที่ยืดออก	7
รูปที่ 2.3 กราฟ Stress และ Strain	8
รูปที่ 2.4 กราฟ Stress และ Percentage Strain	9
รูปที่ 3.1 รูปชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติ	27
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing)ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า	30
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) ที่อุณหภูมิ 900-950°C เวลา 1 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า	31
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) ที่อุณหภูมิ 900°C เวลา 1 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า	31
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) ที่อุณหภูมิ 900°C เวลา 2 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า	32
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) ที่อุณหภูมิ 950°C เวลา 1 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า	32
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) ที่อุณหภูมิ 950°C เวลา 2 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า	33
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับเวลาที่อุณหภูมิ 900°C, 950°C และเหล็กที่ไม่ผ่านการทำคาร์บูไรซิง	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.8 กราฟความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing)	36
รูปที่ 4.9 กราฟความทนต่อแรงดึงของเหล็กที่ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	38
รูปที่ 4.10 กราฟความทนต่อแรงดึงของเหล็กที่ 950°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	38
รูปที่ 4.11 กราฟความทนต่อแรงดึงของเหล็กที่ 900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	39
รูปที่ 4.12 กราฟความทนต่อแรงดึงของเหล็กที่ 950°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	39
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับเวลาที่อุณหภูมิ 900°C, 950°C และเหล็กที่ไม่ผ่านการทำคาร์บูไรซิง	42
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และเวลา ที่อุณหภูมิ 900°C, 950°C และเหล็กที่ไม่ผ่านการทำคาร์บูไรซิง	44
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับเวลา ที่อุณหภูมิ 900°C, 950°C และเหล็กที่ไม่ผ่านการทำคาร์บูไรซิง	46

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าโดยประมาณของ Tensile strength, E และ G ของวัสดุต่างๆ	10
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการเลือกใช้แรงกดและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกดตามชนิดของโลหะที่ใช้วัดด้วยเครื่องแบบ Brinell	12
ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (1-WAY ANOVA) [4]	18
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ [4]	23
ตารางที่ 2.5 รูปแบบการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย β_1 ในขั้นที่ 2 [4]	25
ตารางที่ 4.1 แสดงาค่าความแข็งของเหล็ก AISI 1010 ที่ไม่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง	34
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งเหล็ก AISI 1010 ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดในการทำคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) (หน่วย HB)	34
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความทนต่อแรงดึงของเหล็ก AISI 1010 ที่ไม่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง	41
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความทนต่อแรงดึงเหล็ก AISI 1010 ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้ในการทำคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing) (หน่วย N/mm^2)	41
ตารางที่ 4.5 แสดงค่า เปอร์เซนต์การยืดตัว ตัว (Elongation (at tensile stress)) ของเหล็ก AISI 1010 ที่ไม่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง	43
ตารางที่ 4.6 ตารางทดสอบความทนต่อแรงดึงเหล็ก AISI 1010 ค่า เปอร์เซนต์การยืดตัว (Elongation (at tensile stress)) ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้ในการทำคาร์บูไรซิง (Pack Carburiaing)	43
ตารางที่ 4.7 แสดงค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) (N/mm) ของเหล็ก AISI 1010 ที่ไม่ผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิง	45
ตารางที่ 4.8 ตารางทดสอบความทนต่อแรงดึงเหล็ก AISI 1010 ค่า มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) (N/mm) ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้ในการทำคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing)	45
ตารางที่ 4.9 การคำนวณความแปรปรวน (ANOVA) ของเวลากับอุณหภูมิที่มีต่อ ความแข็ง	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.10 การคำนวณความแปรปรวน (ANOVA) ของเวลากับอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง	48
ตารางที่ 4.11 การคำนวณความแปรปรวน (ANOVA) ของเวลากับอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation)	49
ตารางที่ 4.12 การคำนวณความแปรปรวน (ANOVA) ของเวลากับอุณหภูมิที่มีต่อค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	50
ตารางที่ 4.13 ผลสรุปของตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลจากการทดสอบความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$	50
ตารางที่ 4.14 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับตัวแปรอิสระทีละตัว	51
ตารางที่ 4.15 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าตวามทนต่อแรงดึงกับตัวแปรอิสระทีละตัว	52
ตารางที่ 4.16 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation (at tensile stress)) กับตัวแปรอิสระทีละตัว	53
ตารางที่ 4.17 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า มอดูรัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) กับตัวแปรอิสระทีละตัว	54
ตารางที่ 4.18 ตารางสรุปสมการการถดถอย	55