บทที่ 3

การดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment Research) โดยทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในห้องทดลอง ซึ่งมีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่ทำการวิจัย

เหล็กกล้าผสม AISI 4140 เกรดเหล็กที่ใกล้เคียง DIN 1.7225 JIS SCM 440

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆดังต่อไปนี้ ซึ่งแสดงรูปภาพในภาคผนวก ก

3.2.1 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.2 เตาอบชุบโลหะด้วยความร้อน ยี่ห้อ Linn High Therm รุ่น HK

3.2.3 น้ำมันชุบแข็ง

3.2.4 เครื่องทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ Galileo Durometrio รุ่น Ergotest Comp 25 RA

3.2.5 เครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ Brooks รุ่น IT 3U

3.2.6 ชุดอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นทดสอบ

3.2.6.1 ชุดขัดผิวงานด้วยกระดาษทราย

3.2.6.2 เครื่องขัดผิวงานหยาบและละเอียดชนิดจานคู่ ยี่ห้อ Gripo 2

3.2.6.3 กรดไนตริก

3.2.6.4 กล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาค ยี่ห้อ Olympus

3.2.6.5 ผงขัดอะลูมินาขนาด 0.05 ไมครอน

3.3 <u>การดำเนินการทดลองในการชุบแข็ง</u>

3.3.1 ปัจจัยที่ต้องการทดสอบ

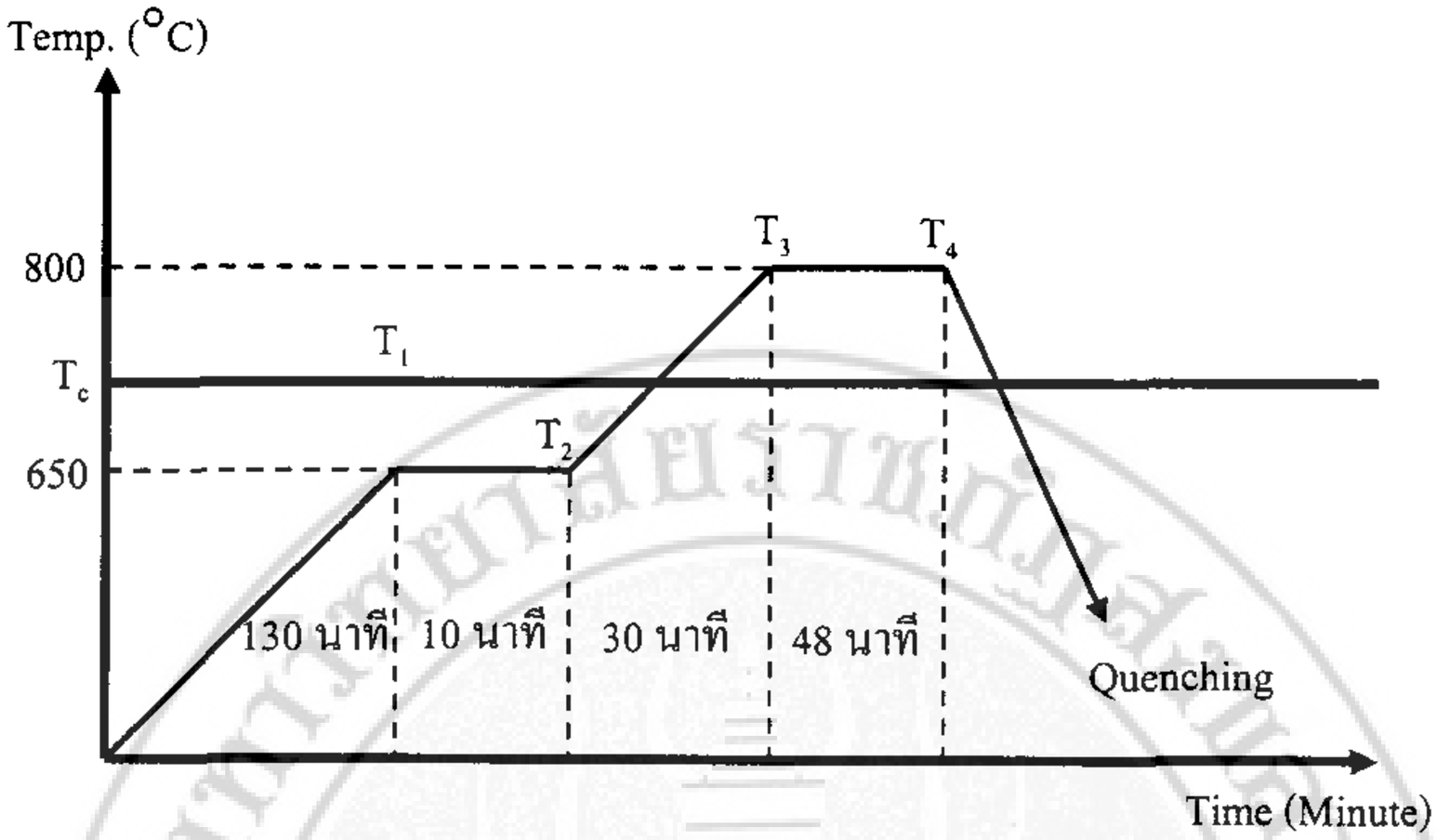
สำหรับการออกแบบการทดลองการชุบแข็งในงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิในการอบชุบที่ 3 ระดับ ประกอบด้วยอุณหภูมิ 800°C, 850°C และ 900°C โดยทำการเย็นตัวในสารชุบ 2 ประเภท คือ น้ำ กับน้ำมัน และทำการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งทำการวัดค่าความแข็ง (Hardness) และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) ของชิ้นทดสอบ ดังนั้นสามารถออกแบบการทดลองได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับการชุบแข็ง

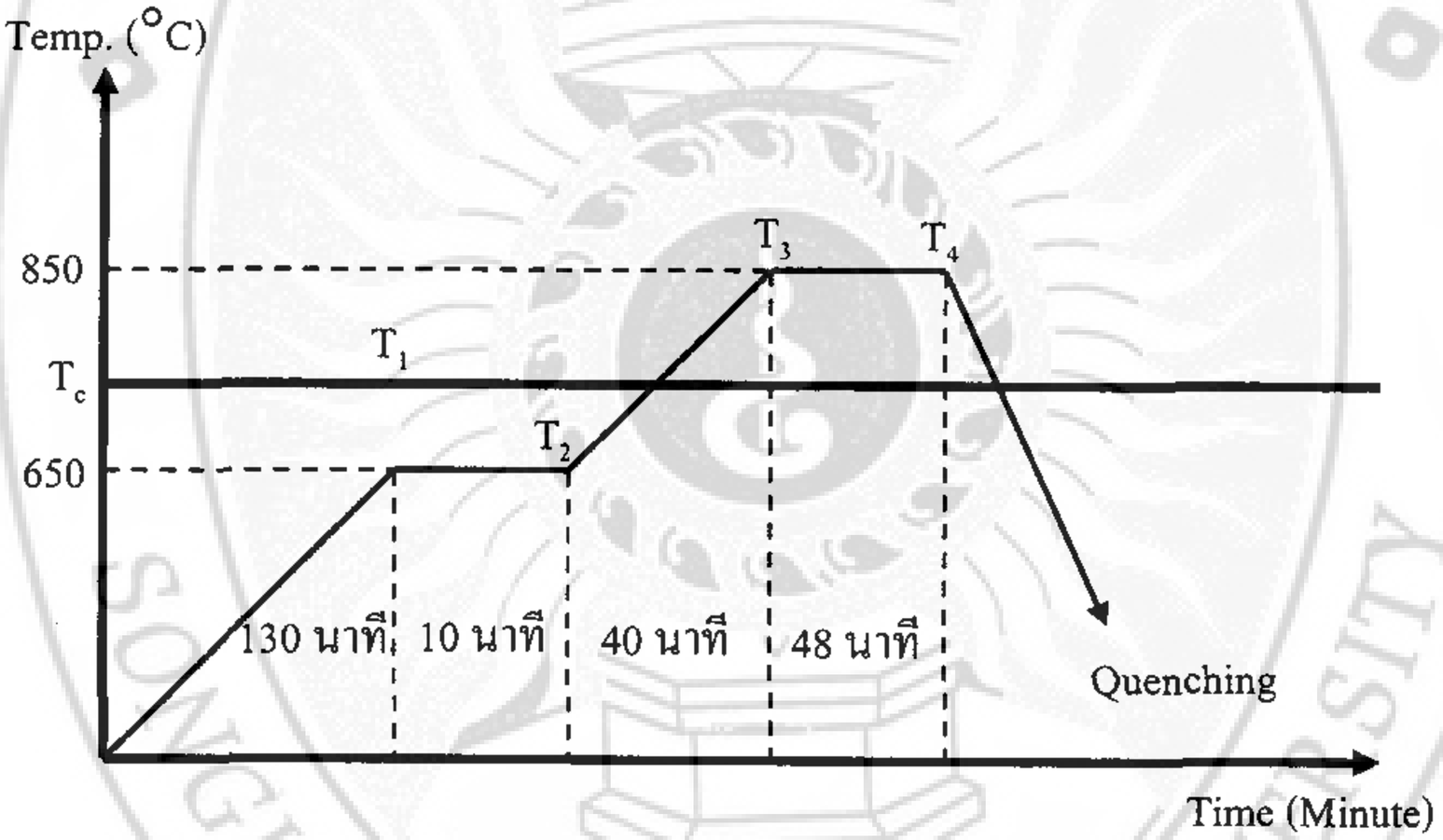
StdOrder	RunOrder	Temperature	Quenching	StdOrder	RunOrder	Temperature	Quenching
12	1	900	Oil	13	10	800	Water
3	2	850	Water	6	11	900	Oil
16	3	850	Oil	7	12	800	Water
10	4	850	Oil	15	13	850	Water
8	5	800	Oil	14	14	800	Oil
18	6	900	Oil	1	15	800	Water
9	7	850	Water	5	16	900	Water
2	8	800	Oil	11	17	900	Water
4	9	850	Oil	17	18	900	Water

3.3.2 เตรียมชิ้นทดสอบสำหรับการทดลองเพื่อวัดค่าความแข็งจำนวน 18 ชิ้น โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้มีรูปร่างดังรูปที่ ข.1 ในภาคผนวก ข

3.3.3 นำชิ้นทดสอบไปทำการชุบแข็งด้วยความร้อน ตามการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งทำการปรับตั้งอุณหภูมิในการชุบแข็งทั้งสามระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 รูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 กรรมวิธีการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 800°C

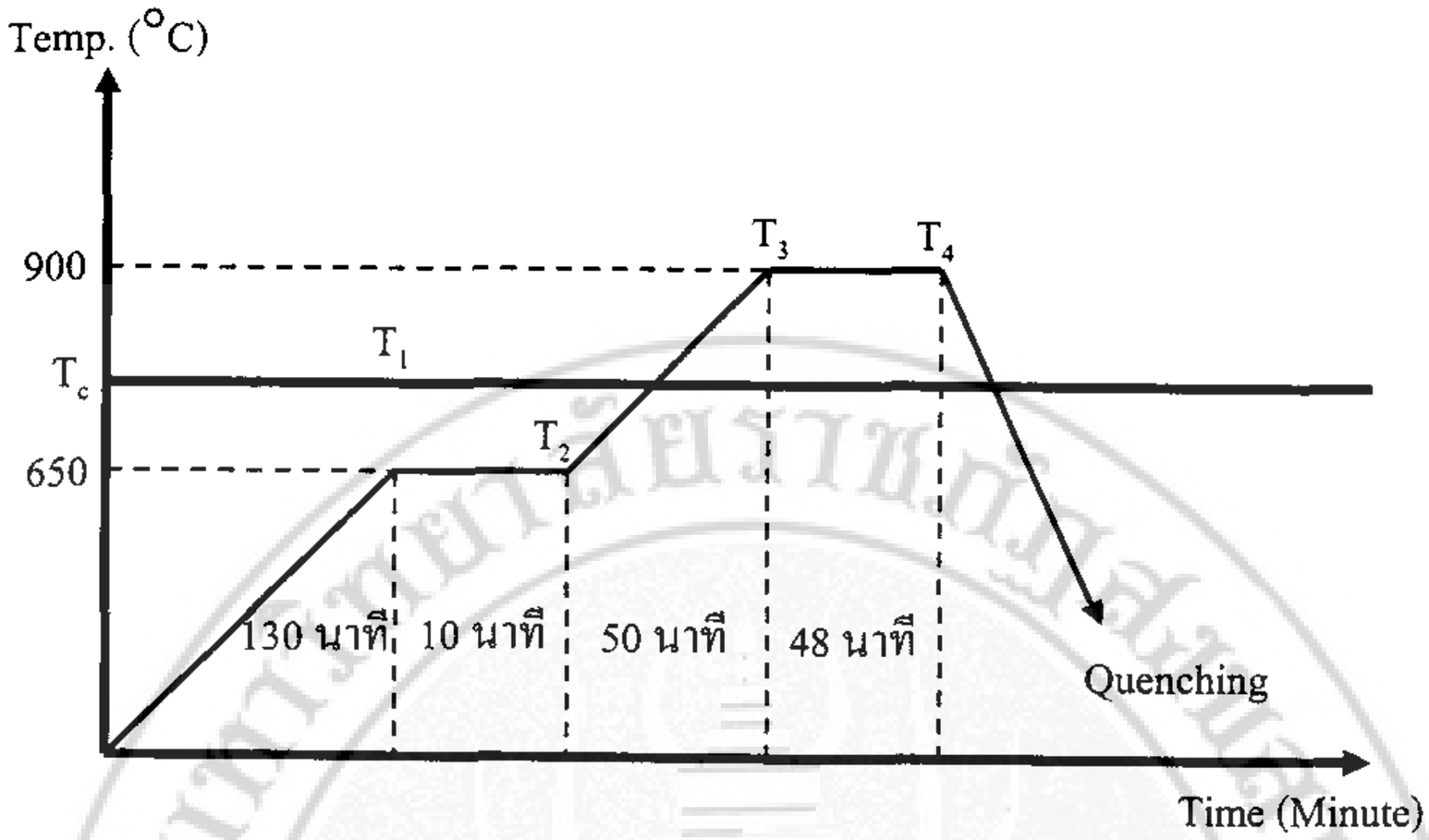


รูปที่ 3.2 กรรมวิธีการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C

3.3.4 นำชิ้นทดสอบที่ได้ไปทดสอบความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ ค.1 ในภาคผนวก ค

3.3.5 บันทึกผลที่ได้ของค่าความแข็งลงในใบบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

3.3.6 วิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของการชุบแข็งโดยการทดสอบความแข็ง



รูปที่ 3.3 กรรมวิธีการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 900°C

3.4 <u>การออกแบบการทดลองในการอบคืนตัว</u>

3.4.1 ปัจจัยที่ต้องการทดสอบ

ในงานวิจัยฉบับนี้ต้องการทราบอิทธิพลของ เวลาและอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็ง และค่าความเหนียว จากการอบคืนตัว เนื่องจากมีผลต่อการทำการทดลองนี้มาก จึงสามารถออกแบบการทดลองได้ดังนี้ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือ อุณหภูมิในการอบคืนตัว โดยมีระดับปัจจัย (Factor Levels) 5 ระดับ (250°C, 350°C, 450°C, 550°C และ650°C) และเวลาในการอบคืนตัว มีระดับปัจจัย 3 ระดับ (30 นาที, 60 นาที และ 90 นาที) โดยทำการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันเท่ากับ 3 ครั้ง ซึ่งแสดงวิธีการวิเคราะห์ในการทดลองซ้ำของขนาดสิ่งตัวอย่างในตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5 โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ค่าความแข็ง และค่าความเหนียว (วัดได้จากค่าพลังงานการกระแทก) ซึ่งจะดำเนินด้วยการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomization Model (CRD))

3.4.2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

การหาขนาดสิ่งตัวอย่างในการออกแบบการทดลองนี้จะใช้โปรแกรม Minitab R.13 คำนวณหาขนาดของสิ่งตัวอย่าง ซึ่งจะคำนึงถึงการลดความผิดพลาดชนิดที่ 2 (Type II Error; β) หรือการลดความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานเมื่อสมมติฐานนั้นเป็นเท็จ (Accept H_0 / H_0 False) และในขณะเดียวกันจะต้องกำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I Error; α) หรือการกำหนดความเสี่ยงในการปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานนั้นเป็นจริง (Reject H_0 / H_0 True) ไว้ที่ ๆ

หนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลองเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้แต่สามารถควบคุมให้อยู่ในค่าที่ต้องการได้ด้วยการออกแบบ ดังนั้นในการทดลองหนึ่ง ๆจะต้องมีการประเมินถึงความเสี่ยงเหล่านี้เสียก่อน

สำหรับในการทดลองนี้ประกอบด้วยปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิและเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยแบบคงที่ (Fixed Effect Model) สามารถหาขนาดสิ่งตัวอย่างโดยโปรแกรม Minitab R.13 ซึ่งคำนวณโดยพิจารณาค่าความแตกต่างวิกฤต (Critical Difference) คือขนาดของความแตกต่างที่ต้องการทดสอบ โดยความแตกต่างนี้จะเป็นความแตกต่างเชิงปฏิบัติที่ผู้ทดลองรู้ได้ว่าสามารถตรวจจับได้โดยอาศัยประสบการณ์หรือความรู้ทางวิศวกรรม

3.4.2.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบพลังงานการกระแทก

ในการทดลองเป็นการศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย (Two Factor) แบบที่ทำการกำหนดระดับปัจจัย (Fixed Effect Model) สามารถหาขนาดสิ่งตัวอย่างได้จากการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) ในการทดลองเบื้องต้น โดยคิดที่อุณหภูมิและเวลาหนึ่งในการอบคืนตัว (With One Treatment) โดยคิดที่ 450 $^{\circ}$C ที่เวลา 60 นาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิและเวลาหนึ่งที่ต้องการศึกษาในงานวิจัยนี้ และเป็นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้งานกันโดยทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งคิดความเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad (3.1)$$

$$= \sqrt{\frac{(29.5-27.2)^2 + (28-27.2)^2 + (29-27.2)^2 + (25-27.2)^2 + (24.5-27.2)^2}{5-1}}$$

$$= 2.31 \text{ จูล}$$

ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดค่าความแตกต่างวิกฤตประมาณ 10 จูล และประมาณค่าความผันแปร (σ) ของกระบวนการปัจจุบันเท่ากับ 2.31 จูล และในการทดลองนี้กำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I Error; α) ไว้ที่ 5% ดังนั้นสามารถหาขนาดของสิ่งตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการทดลองได้ดังแสดงในผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดสอบพลังงานการกระแทก

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Sigma = 2.31 Alpha = 0.05 Number of Levels = 2

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
50	2	0.6190	10
50	3	0.9711	10
50	4	0.9988	10
50	5	1.0000	10
50	6	1.0000	10
50	7	1.0000	10

ในการหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab จะอาศัยหลักการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยพิจารณาจากค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test; 1-β) ที่มีค่าสูงแทน

จากตารางที่ 3.2 ผลการหาขนาดสิ่งตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ตัวอย่าง จะมีกำลังในการทดสอบ (Power of Test; 1-β) เท่ากับ 0.9711 ดังนั้นสำหรับในการทดลองนี้จึงใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ในการทดลอง เพื่อศึกษาถึงพลังงานการกระแทกต่อไป

3.4.2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบความแข็ง

ในการทดลองเป็นการศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย (Two Factor) แบบที่ทำการกำหนดระดับปัจจัย (Fixed Effect Model) สามารถหาขนาดสิ่งตัวอย่างได้จากการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) ในการทดลองเบื้องต้น โดยคิดที่อุณหภูมิและเวลาหนึ่งในการอบคืนตัว (With One Treatment) โดยคิดที่ 450 ^{o}C ที่เวลา 60 นาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิและเวลาหนึ่งที่ต้องการศึกษาในงานวิจัยนี้ และเป็นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้งานกันโดยทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งคิดความเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากสมการที่ 3.1

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

$$= \sqrt{\frac{(46-45.7)^2+(45.5-45.7)^2+(44-45.7)^2+(46.5-45.7)^2+(46.5-45.7)^2}{5-1}}$$

$$= 1.04 \quad \text{HRC}$$

ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดค่าความแตกต่างวิกฤตประมาณ 3.5 HRC และประมาณค่าความผันแปร (σ) ของกระบวนการปัจจุบันเท่ากับ 1.04 HRC และในการทดลองนี้กำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I Error; α) ไว้ที่ 5% ดังนั้นสามารถหาขนาดของสิ่งตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการทดลองได้ดังแสดงในผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดสอบความแข็ง

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Sigma = 1.04 Alpha = 0.05 Number of Levels = 2

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
6.125	2	0.4531	3.5
6.125	3	0.8627	3.5
6.125	4	0.9748	3.5
6.125	5	0.9960	3.5
6.125	6	0.9994	3.5
6.125	7	0.9999	3.5
6.125	8	1.0000	3.5

ในการหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab จะอาศัยหลักการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยพิจารณาจากค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test; 1-β) ที่มีค่าสูงแทน

จากตารางที่ 3.3 ผลการหาขนาดสิ่งตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ถึง 8 ตัว ขนาดตัวอย่างจะไม่มีความไวต่อกำลังการทดสอบ ดังนั้นจึงควรใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างประมาณ 3 ถึง 4 ตัว ซึ่งสำหรับในการทดลองนี้จึงใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ในการทดลอง เพื่อศึกษาถึงค่าความแข็งต่อไป

3.4.3 ตัวแบบและสมมติฐานในการทดลอง

3.4.3.1 ตัวแบบการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อการตัดสินใจนั้นเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed Effect) โดยในการทดลองนี้กำหนดให้ปัจจัย A หมายถึงอุณหภูมิในการอบคืนตัว และปัจจัย B หมายถึงเวลาในการอบคืนตัว โดยมีตัวแบบในการทดลองดังสมการที่ 3.2

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{k(ij)} \qquad (3.2)$$

3.4.3.2 สมมติฐานการทดลอง

1) สมมติฐานของปัจจัย A : อุณหภูมิในการอบคืนตัว

H_0 : อุณหภูมิในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความเหนียว

H_1 : อุณหภูมิในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าความเหนียว

และ

H_0 : อุณหภูมิในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความแข็ง

H_1 : อุณหภูมิในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าความแข็ง

และ

H_0 : อุณหภูมิในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าแรงดึง

H_1 : อุณหภูมิในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าแรงดึง

และสามารถเขียนสมมติฐานเชิงสถิติได้ว่า

$H_0 : \tau_i = 0$; เมื่อ $i = 1,2,3,4,5$

$H_1 : \tau_i \neq 0$; อย่างน้อย 1 ค่าของ i

2) สมมติฐานของปัจจัย B : เวลาในการอบคืนตัว

H_0 : เวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความเหนียว

H_1 : เวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าความเหนียว

และ

H_0 : เวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความแข็ง

H_1 : เวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าความแข็ง

และ

H_0 : เวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าแรงดึง

H_1 : เวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าแรงดึง

และสามารถเขียนสมมติฐานเชิงสถิติได้ว่า

$H_0 : \beta_j = 0$; เมื่อ $j = 1,2,3$

$H_1 : \beta_j \neq 0$; อย่างน้อย 1 ค่าของ j

3) สมมติฐานของปัจจัย AB : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว

H_0 : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความเหนียว

H_1 : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าความเหนียว

และ

H_0 : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความแข็ง

H_1 : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าความแข็ง

และ

H_0 : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าแรงดึง

H_1 : อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าแรงดึง

และสามารถเขียนสมมติฐานเชิงสถิติได้ว่า

$H_0 : \tau\beta_{ij} = 0$; เมื่อ i = 1,2,3,4,5 และ j = 1,2,3

$H_1 : \tau\beta_{ij} \neq 0$; อย่างน้อย 1 ค่าของ i, j

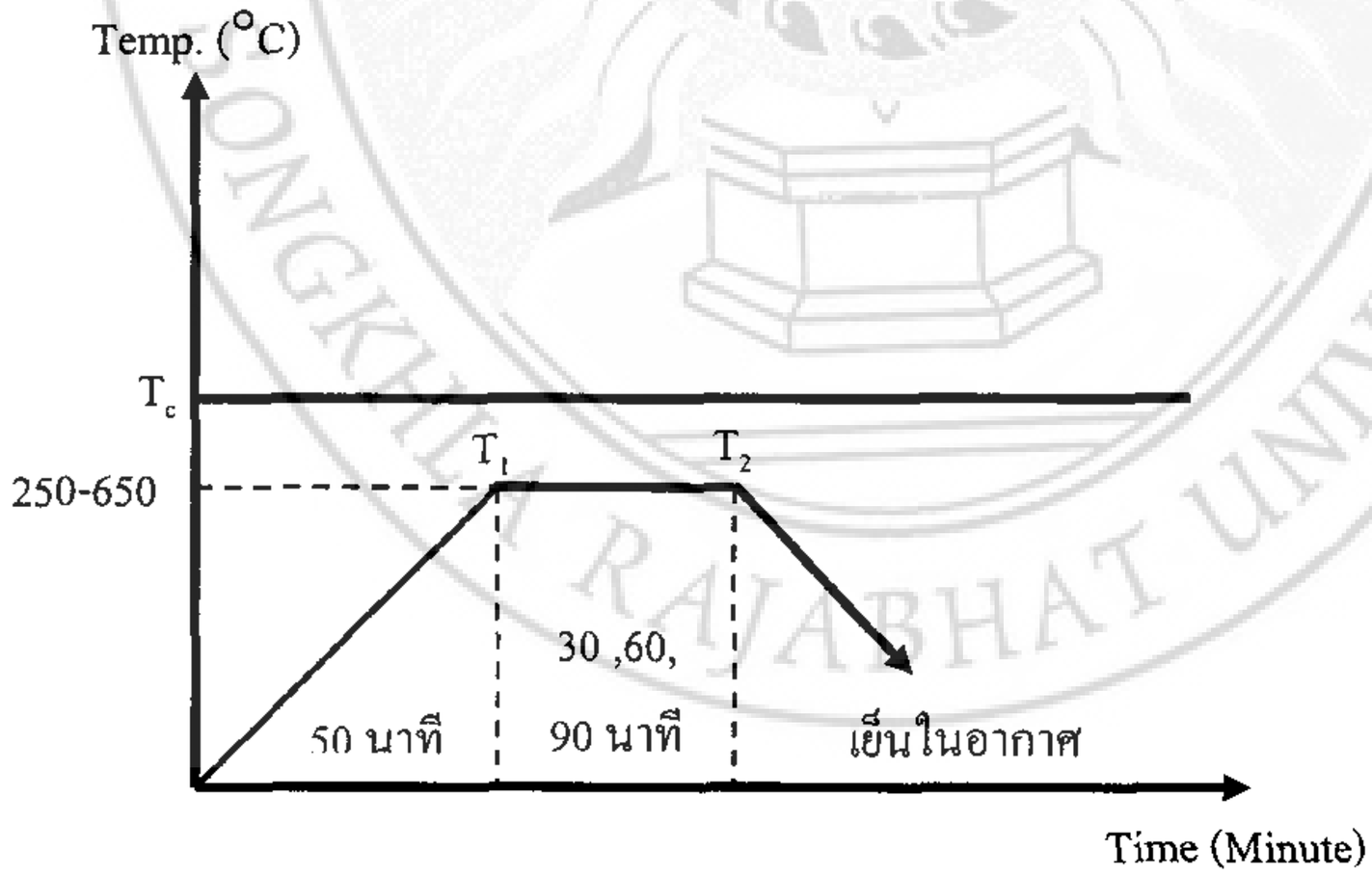
3.4.3.3 แผนการทดลอง

จากการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่าง โดยใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 เนื่องจากความเสี่ยงทั้ง 2 ประเภทอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แล้วดำเนินการทดลองให้เป็นไปอย่างสุ่มแบบสมบูรณ์ สำหรับการสุ่มนั้นสุ่มโดยใช้โปรแกรม Minitab ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และ 3.5

3.4.4 เตรียมชิ้นทดสอบสำหรับการทดลองของการทดสอบความแข็ง และค่าความเหนียว โดยการทดสอบแรงกระแทก โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้มีรูปที่ ข.1 และ ข.2 ในภาคผนวก ข

3.4.5 นำชิ้นทดสอบไปทำการชุบแข็งตามสภาวะที่เหมาะสมของการชุบแข็งตามหัวข้อที่ 3.3

3.4.6 นำชิ้นทดสอบที่ผ่านขั้นตอนที่ 3.4.5 ไปผ่านกระบวนการอบคืนตัว (Tempering) ที่ช่วงอุณหภูมิ 250°C - 650°C โดยช่วงห่างระหว่างอุณหภูมิทดลองแต่ละอุณหภูมิเท่ากับ 100°C และจะใช้เวลาในการอบชิ้นทดสอบเท่ากับ 30 60 และ 90 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.4 กรรมวิธีการอบคืนตัว (Tempering)

ตารางที่ 3.4 แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับการอบคืนตัวของการทดสอบความแข็ง

StdOrder	RunOrder	Temperature	Time	StdOrder	RunOrder	Temperature	Time
4	1	350	30	30	24	650	90
45	2	650	90	5	25	350	60
40	3	550	30	3	26	250	90
19	4	350	30	37	27	450	30
28	5	650	30	6	28	350	90
7	6	450	30	18	29	250	90
23	7	450	60	13	30	650	30
25	8	550	30	41	31	550	60
26	9	550	60	34	32	350	30
8	10	450	60	11	33	550	60
32	11	250	60	21	34	350	90
10	12	550	30	12	35	550	90
42	13	550	90	16	36	250	30
44	14	650	60	36	37	350	90
29	15	650	60	9	38	450	90
31	16	250	30	33	39	250	90
39	17	450	90	43	40	650	30
17	18	250	60	1	41	250	30
15	19	650	90	22	42	450	30
27	20	550	90	14	43	650	60
38	21	450	60	20	44	350	60
35	22	350	60	24	45	450	90
2	23	250	60				

ตารางที่ 3.5 แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับการอบคืนตัวของการทดสอบแรงกระแทก

StdOrder	RunOrder	Temperature	Time	StdOrder	RunOrder	Temperature	Time
16	1	250	30	28	24	650	30
25	2	550	30	37	25	450	30
32	3	250	60	8	26	450	60
40	4	550	30	9	27	450	90
5	5	350	60	29	28	650	60
13	6	650	30	36	29	350	90
34	7	350	30	4	30	350	30
27	8	550	90	19	31	350	30
26	9	550	60	31	32	250	30
33	10	250	90	43	33	650	30
3	11	250	90	39	34	450	90
24	12	450	90	23	35	450	60
41	13	550	60	2	36	250	60
45	14	650	90	17	37	250	60
7	15	450	30	10	38	550	30
14	16	650	60	30	39	650	90
21	17	350	90	15	40	650	90
35	18	350	60	42	41	550	90
11	19	550	60	12	42	550	90
1	20	250	30	18	43	250	90
22	21	450	30	20	44	350	60
44	22	650	60	38	45	450	60
6	23	350	90				

3.4.7 นำชิ้นทดสอบไปทดสอบสอบหาค่าความแข็ง (Hardness Test) ทดสอบหาค่าความเหนียวโดยการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) ดังแสดงในรูปของภาคผนวก ค

3.4.8 บันทึกผลที่ได้ลงในใบบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

3.4.9 วิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของการอบคืนตัว (Tempering) จากการทดสอบค่าความแข็ง และค่าความเหนียวโดยการทดสอบแรงกระแทก

3.4.10 สรุปผลการวิจัย

3.4.11 จัดทำเอกสารรายงานการวิจัย