

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

Optimal Parameter in Tempering of Alloy Steels Using Response Surface Methodology

สมศักดิ์ แก้วพลอย*

โปรแกรมวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: somsakkp@hotmail.com*

Somsak Kaewploy*,

Department of Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University,

Mueang, Songkhla 90000

E-mail: somsakkp@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานแรงกระแทกของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 เพื่อหารูปแบบและข้อกำหนดวิธีปฏิบัติในกระบวนการอบคืนตัว โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองชนิดการออกแบบส่วนประสมกลาง เพื่อศึกษาผลของปัจจัย 2 ปัจจัย คืออุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว จากการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งสองปัจจัยมีผลต่อพลังงานแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ข้อมูลจากการทดลองที่ได้มีความเหมาะสมกับสมการควอดราติก เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูง ($R^2 = 99.08\%$) เมื่อนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองสามมิติและกราฟโครงร่างเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบคืนตัว พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบคืนตัวคืออุณหภูมิในการอบคืนตัว 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัว 94 นาที ซึ่งทำให้พลังงานแรงกระแทกเท่ากับ 75.6 จูล

คำหลัก: การอบคืนตัว เหล็กกล้าผสม วิธีพื้นผิวตอบสนอง

Abstract

This research work is to study the factors influencing on the impact energy of AISI 4140 alloy steel for finding a form and determining procedure in tempering process using the Design of Experimental technique by using Response Surface Methodology in a central composite design to study the impact of the two factors being temperature and time of the tempering. From the experiment, it is found that both factors affect on the impact energy significantly at 0.05 significant level. The data from experiment are suitable for the quadratic equation due to providing a high coefficient of determination ($R^2 = 99.08\%$). When this mathematic equation is taken to construct a three-dimensional response surface graph and contour graph to determine the appropriate parameters in the tempering process. It is found that the optimal temperature is 591 degrees celsius and the optimal baking time is 94 minutes, which serves the impact energy as 75.6 J.

Keywords: Tempering, Alloy Steel, Response Surface Methodology

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเหล็กกล้ามีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ได้มีการพัฒนา ปรับปรุง และคิดค้นเหล็กกล้าชนิดต่าง ๆ ขึ้นมาใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เหล็กกล้าที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไปแล้ว มีส่วนผสมหลักในเหล็กกล้าคือ ธาตุคาร์บอน (Carbon) โดยเหล็กกล้าที่นำมาใช้งาน ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาสมบัติทางกลของเหล็กกล้าด้วยวิธีการเติมธาตุผสมอื่น ๆ ซึ่งจะได้เหล็กกล้าที่เรียกว่า เหล็กกล้าผสม [1] ปัจจุบันเหล็กกล้าผสมนำมาใช้งานอย่างมากในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ทำเฟืองขนาดเล็ก สลักเกลียว ชิ้นส่วนเครื่องจักร และนอตต่าง ๆ การที่จะได้เหล็กกล้าผสมในการใช้งานแล้วเกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องทราบกระบวนการที่ผลิตเหล็กกล้าผสม และต้องทำให้มีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งาน [2] เนื่องจากเหล็กกล้าผสมที่ใช้ในอุตสาหกรรมต้องการความแข็งแรง ความแข็งแรง ความเหนียว ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อการแตกหักในการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับสภาพที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งการอบชุบเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อนจึงเป็นกรรมวิธีที่มีความสำคัญกรรมวิธีหนึ่งและใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเหล็กกล้า [3], [4]

งานวิจัยนี้จะใช้เหล็กกล้าผสม AISI 4140 ซึ่งมีธาตุผสมหลักที่เพิ่มเติมนอกจากธาตุคาร์บอนคือ ซิลิกอน โครเมียม และโมลิบดีนัม [5] ส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการทางความร้อนโดยการนำเหล็กมาทำการชุบแข็ง [3], [4] และจุ่มลงในน้ำมัน จากนั้นนำมาอบคืนตัว เพื่อหาวิธีปฏิบัติและปัจจัยที่เหมาะสมในการอบคืนตัวสำหรับเหล็กกล้าผสม AISI 4140 โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) ชนิดการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) [6] เพื่อหารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับพลังงานแรงกระแทก ประกอบด้วย อุณหภูมิในการอบคืนตัวและเวลาในการอบคืนตัว

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องจักรอุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ชิ้นงานสำหรับทดสอบพลังงานแรงกระแทก มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10x10 มม. ที่มีลักษณะเป็นเส้นไปตัดด้วยเครื่องตัดให้ได้ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองจำนวน 39 ชิ้น แล้วกลึงให้ได้ความยาว 55 มม. และทำการบากร่องวีขนาดมุม 45 องศา ตรงบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบให้มีความลึกเท่ากับ 2 มม. (ตามมาตรฐานการทดสอบแบบชาร์ปี)

2) เตาอบชุบ รุ่น KS 80 ยี่ห้อ Linn High Therm

3) เครื่องทดสอบแรงกระแทก รุ่น IT 3U ยี่ห้อ Brooks

4) เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2 วิธีการออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง [6] ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คืออุณหภูมิในการอบคืนตัว และเวลาในการอบคืนตัว มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1) การกำหนดระดับของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยพิจารณาจากมาตรฐาน [5] งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทดลองเบื้องต้น และข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ โดยเพิ่มเติมในส่วนในระดับ Alpha เท่ากับ +1.414 และ -1.414 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

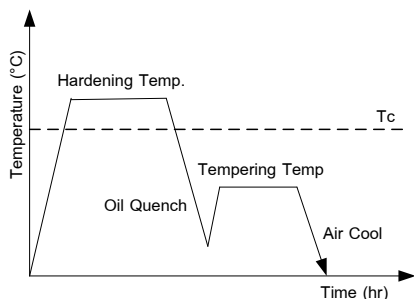
ปัจจัย	ระดับ				
	-Alpha (-1.414)	-1	0	+1	+Alpha (+1.414)
อุณหภูมิ	309	35	450	55	591
(A)	18	0	60	0	102
เวลา (B)		30		90	

2) การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง ในกระบวนการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab R.17 โดยกำหนดลำดับการทดลองและออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางที่มี 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับ ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD)

StdOrder	RunOrder	PtType	Temperature	Time
6	1	-1	591	60
12	2	0	450	60
10	3	0	450	60
9	4	0	450	60
1	5	1	350	30
2	6	1	550	30
4	7	1	550	90
11	8	0	450	60
5	9	-1	309	60
8	10	-1	450	102
13	11	0	450	60
7	12	-1	450	18
3	13	1	350	90

3) การอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 กระบวนการอบคืนตัวของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 3 ขั้นตอนคือ การให้ความร้อนในการชุบแข็ง เหลืออุณหภูมิวิกฤต การชุบแข็งในน้ำมัน และการอบคืนตัว [4] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการอบคืนตัว

อุณหภูมิการเผาให้ความร้อนในการชุบแข็ง กำหนดไว้ที่ 850°C [5] ชุบแข็งด้วยน้ำมัน ส่วนอุณหภูมิในการอบคืนตัว และเวลาในการอบคืนตัว แต่

ละครั้งจะกำหนดเงื่อนไขของแต่ละลำดับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากการทดลองทั้งหมดมีจำนวน 13 การทดลอง จึงขอแสดงตัวอย่างขั้นตอนการอบคืนตัวซึ่งงานการทดลองที่ 1 คืออุณหภูมิในการอบคืนตัวที่ 591°C เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งทำการทดลองเป็นเงื่อนไขที่ 6 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) นำชิ้นงานเข้าเตาอบชุบไฟฟ้าปรับตั้งอุณหภูมิเพื่อชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้โครงสร้างของเหล็กเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์ (Austenite)

2) หลังจากอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำชิ้นงานชุบในน้ำมันอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) ที่มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงสูงแต่มีความเปราะแตกหักได้ง่าย

3) นำชิ้นงานเข้าเตาอบไฟฟ้าอีกครั้ง ปรับตั้งอุณหภูมิเพื่ออบคืนตัว โดยใช้อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 591°C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความเหนียว

4) เมื่ออบคืนตัวที่ 591°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วให้นำชิ้นงานทดสอบเย็นตัวในอากาศ เพื่อเหล็กจะมีคุณสมบัติด้านความเหนียวดีขึ้นแต่ความแข็งแรงจะลดลงเล็กน้อย

5) นำชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวมาทดสอบพลังงานแรงกระแทกจำนวนทั้ง 3 ชิ้น ตามมาตรฐานการทดสอบแบบชาร์ปี แล้วนำค่าพลังงานแรงกระแทกทั้ง 3 ค่ามาเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าพลังงานแรงกระแทกเฉลี่ยของแต่ละชิ้นงานทดสอบ

6) ทำการทดลองตามแผนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 จนครบทั้งหมด จำนวน 13 การทดลอง

3. ผลและการวิเคราะห์

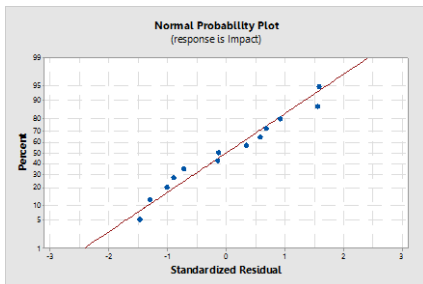
3.1 พลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว

นำปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงและพลังงานแรงกระแทกทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว มาทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ดังแสดงในตารางที่ 2

3.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

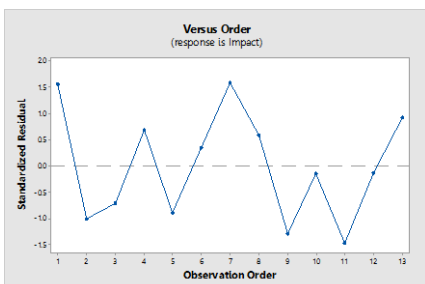
3.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง [7], [8], [9]

1) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากการพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้างดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่ามีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างจากผลการทดลองของพลังงานแรงกระทำที่ได้จากการอบคืนตัวไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 2 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

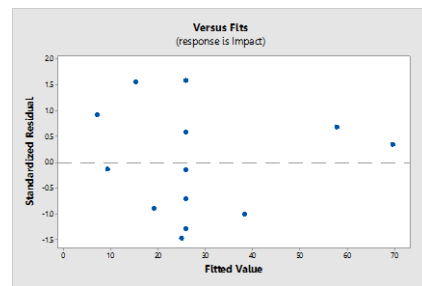
2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล การตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างโดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีรูปแบบอิสระหรือไม่ จากการพิจารณารูปที่ 3 พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองพลังงานแรงกระทำ ในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 3 การทดสอบความอิสระของข้อมูล

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนโดยใช้แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้าง

ในแต่ละระดับของปัจจัย จากการพิจารณารูปที่ 4 พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองของพลังงานแรงกระทำที่ได้จากการอบคืนตัวมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน



รูปที่ 4 การทดสอบความเสถียรภาพ

3.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ($R-Sq$)

เป็น ค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย จากผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของพลังงานแรงกระทำในตารางที่ 3 จะเห็นว่าค่า $R-Sq$ มีค่าเท่ากับ 99.09% หมายความว่าตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (พลังงานแรงกระทำที่ได้จากการอบคืนตัว) ได้ร้อยละ 99.09 ตามลำดับ แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปสร้างสมการทำนาย เพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

3.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลอง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังงานแรงกระทำที่ได้จากการอบคืนตัวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในตารางที่ 3 พบว่า P-Value ของเทอมอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) มีค่า 0.020 และเทอมกำลังสองมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด แสดงว่ามีส่วนโค้งเกิดขึ้นที่พื้นผิวตอบสนอง ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการแบบจำลองกำลังสอง

สำหรับทำนายพลังงานแรงกระแทกโดยวิธีการรอบคินตัว

3.2.4 การสร้างสมการทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัว

การสร้างสมการทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัว โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัวในตารางที่ 3 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{Impact} = 131.9 - 0.7275A + 0.3720B + 0.0009A^2 - 0.0055B^2 + 0.0011AB \quad (1)$$

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของพลังงานแรงกระแทก

พลังงานแรงกระแทก				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25.838	0.995	25.97	0.000
Temperature	17.843	0.788	22.65	0.000
Time	6.351	0.790	8.04	0.000
Temp*Temp	9.325	0.847	11.01	0.000
Time*Time	-4.952	0.856	-5.79	0.001
Temp*Time	3.34	1.11	3.00	0.020
S = 2.22439 R-Sq = 99.09% R-Sq(adj) = 98.44%				

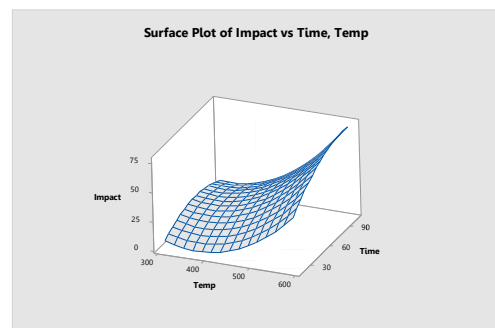
เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) ในตารางที่ 4 พบว่าค่า P-Value ของ Lack of Fit มีค่าเท่ากับ 0.488 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้มีความพอเพียงของตัวแบบในสมการ ดังนั้นจึงสามารถนำสมการข้างต้นมาใช้ในการทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัวได้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัว

Source	D F	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	5	3760.55	752.11	152.01	0.000
Linear	2	2858.88	1429.44	288.90	0.000
Square	2	857.18	428.59	86.62	0.000
Interaction	1	44.49	44.49	8.99	0.020
Residual E	7	34.64	4.95		
Lack-of-Fit	3	14.63	4.88	0.97	0.488
Pure Error	4	20.01	5.00		
Total	12	3795.19			

3.2.5 การสร้างพื้นผิวตอบสนอง

เมื่อได้สมการสำหรับทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัวแล้ว จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Surface Plot) ดังแสดงในรูปที่ 5 ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการรอบคินตัว พบว่าพลังงานแรงกระแทกที่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการรอบคินตัวอยู่มีระดับสูง อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวทำให้โครงสร้างมาร์เทนไซต์เปลี่ยนเป็นโครงสร้างเฟสโลว์ ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานมีความเหนียวมากขึ้น



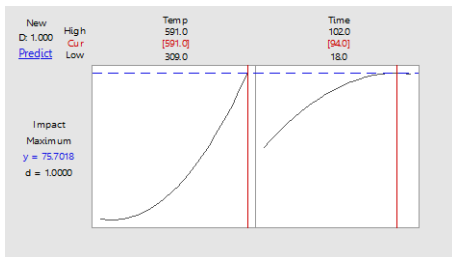
รูปที่ 5 พื้นผิวตอบสนองของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการรอบคินตัว

3.2.6 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้พลังงานแรงกระแทกมากที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response optimizer ในโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite desirability; D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบ

นั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของพลังงานแรงกระแทกในกระบวนการอบคืนตัว คืออุณหภูมิในการอบคืนตัวที่ 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวที่ 94 นาที ซึ่งทำให้พลังงานแรงกระแทกที่ได้เท่ากับ 75.7 จูล โดยมีค่าความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1.0



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการอบคืนตัว

3.27 การยืนยันผลแบบจำลอง

เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้ โดยการนำสมการถดถอยมาพยากรณ์พลังงานแรงกระแทก และทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทดลองทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์โดยการตั้งอุณหภูมิในการอบคืนตัวที่ 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัว 94 นาที ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริง จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Minitab R.17) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ค่า P-Value = 0.147 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ซึ่งสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นเมื่อทำการยืนยันแบบสมการพยากรณ์โดยเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจะมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยสามารถทำให้ทราบว่าสมการพยากรณ์สามารถใช้ในการทำนายค่าพลังงานแรงกระแทกของกระบวนการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ได้

4. สรุปผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 พบว่าปัจจัย 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิในการอบคืนตัว (A) และเวลาในการอบคืนตัว (B) มีผลต่อพลังงานแรงกระแทก โดยทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการสำหรับทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว คือพลังงานแรงกระแทก = $131.9 - 0.7275A + 0.3720B + 0.0009A^2 - 0.0055B^2 + 0.0011AB$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเท่ากับ 99.09% เมื่อนำมาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยฟังก์ชัน Response Optimization พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการอบคืนตัวคือ อุณหภูมิในการอบคืนตัว 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัว 94 นาที ซึ่งทำให้พลังงานแรงกระแทกที่ได้เท่ากับ 75.7 จูล โดยมีค่าความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1.0 เมื่อทำการทดลองยืนยันผลพลังงานแรงกระแทกโดยเฉลี่ยและช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าใกล้เคียงกับพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากสมการทำนายพลังงานแรงกระแทก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโปรแกรมวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สำหรับการสนับสนุนทางด้านวัสดุ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิรัฐ คุ้มพัฒน์ยืนยง และ พงษ์ศักดิ์ ถึงสุข, ศึกษาผลกระทบของโครงสร้างโลหะวิทยาที่มีต่อสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนไฟ, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2554, กรุงเทพฯ, 20-21 ตุลาคม 2554, หน้า 1012-1018, 2554.
- [2] สมศักดิ์ แก้วพลอย, การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบชุบเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อน, การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2550, 24-26 ตุลาคม 2550, ภูเก็ต, หน้า 814-818, 2550.

- [3] มนัส สติรจินดา, เหล็กกล้า, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ, หน้า 1-157, 2537.
- [4] มนัส สติรจินดา, วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ, หน้า 5-125, 2535.
- [5] Metal Handbook Vol 1, Property and Selection Iron and Steels, ASM Handbook.
- [6] Montgomery, DC., Design and Analysis of Experiment, John Wiley & Sons Inc, New York, 2001.
- [7] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 19-400, 2551.
- [8] Montgomery, D.C. and Runger, G.C., Applied Statistics and Probability for Engineering, John Wiley & Son Inc., New York. 2003.
- [9] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์, การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง, สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ, หน้า 295-322, 2551.