



การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริง  
ของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นด้วยวิธีการทาคุชิ  
OPTIMAL PARAMETER IN THE AUSTEMPERING PROCESS OF COLD  
WORK TOOL STEEL USING THE TAGUCHI METHOD

เสกสรรค์ สุขชัยพร<sup>1</sup>, นริศรา สุวิเชียร<sup>2</sup>, มนตรี วิมล<sup>2\*</sup>

Seksan Suchaipron<sup>1</sup>, Narisara Suwichien<sup>2</sup>, Montri Wimol<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000

<sup>2</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

<sup>1</sup>Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Muang, Chachoengsao, Thailand, 24000

<sup>2</sup>Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

\*Corresponding author e-mail: montri.m@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 15 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 สิงหาคม 2568

### บทคัดย่อ

เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่นำไปใช้ในงานตัดเฉือนที่มีลักษณะการรับแรงไม่สม่ำเสมอ ฉะนั้น การปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอต่อการนำใช้งาน เนื่องจากอาจเกิดการเสียหายระหว่างใช้งานได้ง่าย ซึ่งสมบัติของวัสดุตัดเฉือนที่ดีควรจะมีการปรับปรุงความแข็งแรง ความเหนียว ในปริมาณที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้เสนอการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นโดยใช้วิธีการทาคุชิ Orthogonal arrays แบบ L9 โดยกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งที่ 1,000 1,020 และ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวที่ 300 250 และ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการอบคืนตัวที่ 120 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที โดยให้ค่าความแข็งแรง (HRC) เท่ากับ 62.60 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ กำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่าความแข็งแรงดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับวัสดุที่ใช้ในงานตัดเฉือน

**คำสำคัญ:** กระบวนการออสเทมเปอร์ริง, วิธีการทาคุชิ, เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น

## Abstract

This research investigated the appropriate parameters in the Austempering process for cold-work tool steels using the Taguchi method with an L9 orthogonal array. Cutting tool materials are required to possess both hardness and toughness, as relying on hardness alone can result in premature failure under non-uniform loading conditions. In this study, three factors were considered: austenitizing temperature (1000, 1020, and 1050 °C), tempering temperature (300, 250, and 200 °C), and tempering time (120, 90, and 60 minutes). The results indicated that the optimal condition was an austenitizing temperature of 1050 °C, a tempering temperature of 200 °C, and a tempering time of 60 minutes. This condition produced a hardness value of 62.60 HRC. Analysis of variance with a 95% confidence level confirmed that this hardness value is within the acceptable range for cold-work tool steels used in cutting applications.

**Keywords:** Austempering process, Cold-work tool steel, Taguchi method

## 1. บทนำ

การตัดเฉือนโลหะแผ่นเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อดำเนินการขึ้นรูปต่อไป ในขั้นตอนนี้โลหะแผ่นจะถูกตัดด้วยใบมีดตัดเฉือน (Shear cutting blade) ของเครื่องตัดเหล็ก เพื่อให้วัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Hatanaka *et al.*, 2003) ซึ่งแรงกระแทกที่เกิดขึ้นอาจทำให้ใบมีดตัดเฉือนได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัสดุที่ถูกตัดมีความแข็งแรงสูงจะส่งผลให้ใบมีดตัดเฉือนเกิดการสึกหรอ และยังเป็นผลให้เกิดครีบ (Burr) ที่บริเวณขอบตัดของชิ้นงาน ซึ่งทำให้ขนาดและความเที่ยงตรงไม่ได้ตามที่ต้องการ (เฉลิมพล และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของใบมีดตัดหรือเครื่องมือตัดทั่วไป สามารถช่วยลดความเสียหายและเพิ่มอายุการใช้งานของใบมีดตัด (Neugebauer *et al.*, 2011) นอกจากนี้การควบคุมและปรับปรุงความต้านการสึกหรอของใบมีดตัดเฉือนจำเป็นต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี และการปรับปรุงคุณภาพเหล็กกล้าด้วยความร้อน (Abbasi *et al.*, 2018) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนำเหล็กกล้าคาร์บอนมาเพิ่มสมบัติทางกลด้วยกระบวนการชุบแข็ง เช่น Bubphachot *et al.* (2005) ได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของเหล็ก JIS S45C ที่ถูกนำมาใช้สำหรับสร้างแม่พิมพ์ไฟน์แบลนคิง (Fine blanking) ด้วยกระบวนการอบชุบเพื่อให้ชิ้นงานตัดเฉือนได้ดีขึ้น Qamar (2009) ได้มุ่งเน้นในการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้า AISI H11 โดยใช้กรรมวิธีทางความร้อนด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อสมบัติทางกลและส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นงาน วัตนพร และอุษณีย์ (2556) ได้ศึกษาผลของเวลาในการอบอบสเทนนิไทต์ซึ่งมีต่อความ

ด้านทานการสึกหรอแบบขัดสีและความแข็งของเหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์ มาโนช และคณะ (2560) ได้ปรับปรุงกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ของเหล็กกล้า JIS SKD11 ภายใต้เงื่อนไขความเย็นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (Muhammad *et al.*, 2017) ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งในทิศทางตามยาวและตัดขวางทั่วทั้งชิ้นส่วน ด้วยกระบวนการชุบแข็งแบบขดลวดเหนียวนำ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ Son *et al.* (2017) ได้นำเสนออิทธิพลของปรับปรุงคุณภาพของเหล็กด้วยความร้อนที่มีผลต่อความทนทานต่อการสึกหรอของใบมีดตัดเฉือนในกระบวนการตัดขอบโลหะแผ่น โดยเปรียบเทียบระหว่างเหล็กกล้า AISI D2 และเหล็กกล้า Cr08H ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมทำให้เห็นว่าสมบัติเชิงกลและอายุการใช้งานของใบมีดตัดเฉือนสามารถเพิ่มขึ้นได้ เมื่อนำเหล็กกล้าไปปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการความร้อน ทั้งนี้ในการใช้งานเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนจะต้องการสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงคุณภาพเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ใช้ในงานในสภาพงานที่ต้องรับแรงไม่สม่ำเสมอ (กระแทก) ฉะนั้นความแข็งอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอต่อการเลือกใช้งาน เนื่องจากอาจเสียหายระหว่างการใช้งานได้ง่าย โดยสมบัติของวัสดุตัดเฉือนที่ดีควรจะมี ความแข็ง ความเหนียวในปริมาณที่เหมาะสม ด้วยความสำคัญดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีสมมติฐานว่า โครงสร้างของวัสดุตัดเฉือนควรมีโครงสร้างแบบเบไนต์ เนื่องจากโครงสร้างลักษณะนี้จะมี ความเหนียวมากกว่าโครงสร้างมาเทนไซด์และความแข็งมากกว่าโครงสร้างเพอร์ไลต์ ซึ่งได้จากการให้ความร้อนไปที่อุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งเช่นเดียวกัน แต่การปล่อยเย็นตัวให้เป็นโครงสร้างเบไนต์ก็เพียงพอต่อการได้ช่วงของค่าความแข็ง (HRC ~ 60-65) สำหรับเหล็กทำเครื่องมือตัดงานเย็น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น โดยใช้วิธีการทากูชิ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลให้เหมาะสมต่องานตัดเฉือนโลหะแผ่น

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

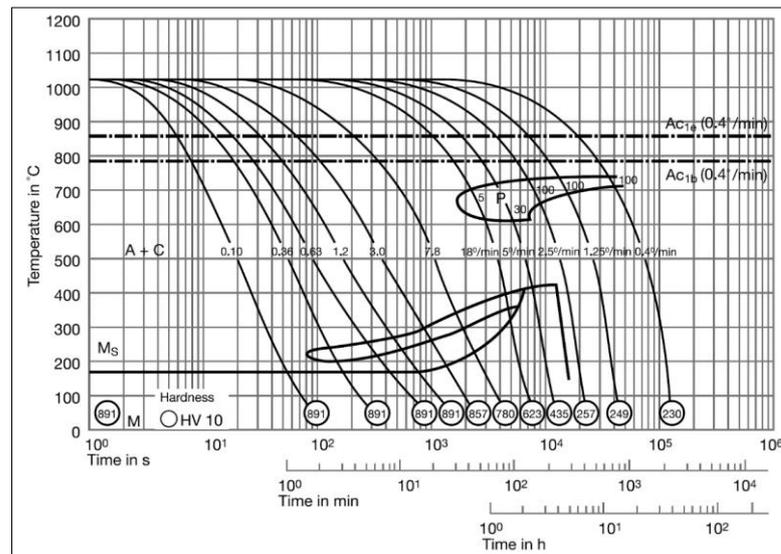
เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น โดยใช้วิธีการทากูชิ

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การชุบแข็งแบบออสเทมเปอร์ริง (Austempering)

การชุบแข็งวิธีนี้เป็นกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิคงที่เพื่อให้เกิดโครงสร้างเบไนต์ (Bainite) ในเหล็กกล้า ซึ่งจะมีลักษณะกลมและมีความแข็งสูง แต่ต่ำกว่ามาร์เทนไซด์ (Martensite) มีความเหนียวมากกว่า ขั้นตอนของการชุบแข็งออสเทมเปอร์ริงนั้น เหล็กกล้าจะถูกทำให้เปลี่ยนไปเป็นเฟสของออสเตไนต์ก่อน จากนั้นจะทำให้เย็นตัวลงอุณหภูมิที่เส้น  $M_s$  โดยหลักการว่ายิ่งอุณหภูมิลด

กับเส้น  $M_s$  มากเท่าไรจะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งมากขึ้น และคงอุณหภูมิจนโครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นเบไนต์แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวตามแผนภาพการเย็นตัวของเหล็กกล้าชนิดนั้น (สมนึก, 2557) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพที่ชี้ทิศทางการแปลงอุณหภูมิแบบต่อเนื่องของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 (Deutsche, 2014)

### 3.2 วิธีการทาคุชิ (Taguchi method)

ทาคุชินิยามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความสูญเสียที่ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติหรือมีลักษณะต่างไปจากความต้องการของลูกค้า (ประไพศรีสุทัศน์ และพงศ์ชนัน, 2551) ความสูญเสียเหล่านี้เกิดจากการเบี่ยงเบนของลักษณะฟังก์ชันของคุณภาพจากค่าเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งคือความสูญเสียเนื่องจากฟังก์ชันความผันแปร (Functional variation) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่ทำให้ลักษณะฟังก์ชันของคุณภาพเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายจะถูกเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Noise factor) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นปัจจัยภายนอก (เช่น อุณหภูมิ และความผิดพลาดของมนุษย์) และความผิดพลาดในกระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายคือการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ปัจจัยรบกวนทั้งหมด

ขั้นตอนที่สำคัญในการออกแบบการทดลองคือการเลือกปัจจัยควบคุม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องควรถูกรวบรวมให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถคัดกรองปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ วิธีการทาคุชิจะสร้าง Orthogonal array เพื่อใช้ในการทดลองโดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนและระดับของปัจจัย นอกจากนี้วิธีการทาคุชิจะใช้อัตราส่วน Signal to Noise (S/N) เป็นลักษณะคุณภาพของการตัดสินใจ (Antony & Jiju, 2001) อัตราส่วน S/N ถูกใช้เป็นตัววัดได้แทนค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจาก

ข้อเท็จจริงที่ว่าเมื่อค่าเฉลี่ยลดลง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะลดลงเช่นกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าเฉลี่ยไม่สามารถนำไปสู่ค่าของเป้าหมายได้ อย่างไรก็ตามอัตราส่วน S/N ของวิธีการทากูชิสามารถให้ผลรวมของระดับพารามิเตอร์ โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ในขณะที่คงค่าเฉลี่ยไว้ที่เป้าหมายได้ ซึ่งแนวคิดของอัตราส่วน S/N มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการโดยผ่านการลดความแปรปรวน (Ghani *et al.*, 2004) ลักษณะอัตราส่วน S/N สามารถจำแนกได้ตามคุณลักษณะของคุณภาพที่ต้องการ ดังสมการที่ (1) - (3)

Nominal is the best characteristics

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}}{s_y^2} \quad (1)$$

Smaller the better characteristics

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (2)$$

Larger the better characteristics

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left( \sum \frac{1}{y^2} \right) \quad (3)$$

### 3.3 การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 โดยมีส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกล ดังตารางที่ 1 ในกำหนดปัจจัยในการออกแบบการทดลองจะประกอบไปด้วยปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการชุบแข็งแบบออสเทมเปอร์ริง ได้แก่ อุณหภูมิของออสเทนไนไทซิง (Austenitizing temperature: A.T.) อุณหภูมิของการอบคืนตัว (Tempering temperature: T.T.) และเวลาในการอบคืนตัว (Tempering time: T.Time.) ในแต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ ดังตารางที่ 2 โดยปัจจัยเหล่านี้จะถูกระบุไว้ในเอกสารอ้างอิงการอบชุบด้วยความร้อนของ ASM handbook (Dossett & Totten, 2013) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุด (Limooei & Hosseini, 2014) โดยอุณหภูมิของการเกิดออสเทนไนต์ต้องมีความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสออสเทนไนต์ให้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Orthogonal arrays แบบ  $L_9(3^3)$  โดยลำดับของการทดลองทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง

Chemical composition										
AISI D2	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
(%wt.)	1.55	0.31	0.42	0.02	0.012	0.10	11.80	1.00	0.30	0.04

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

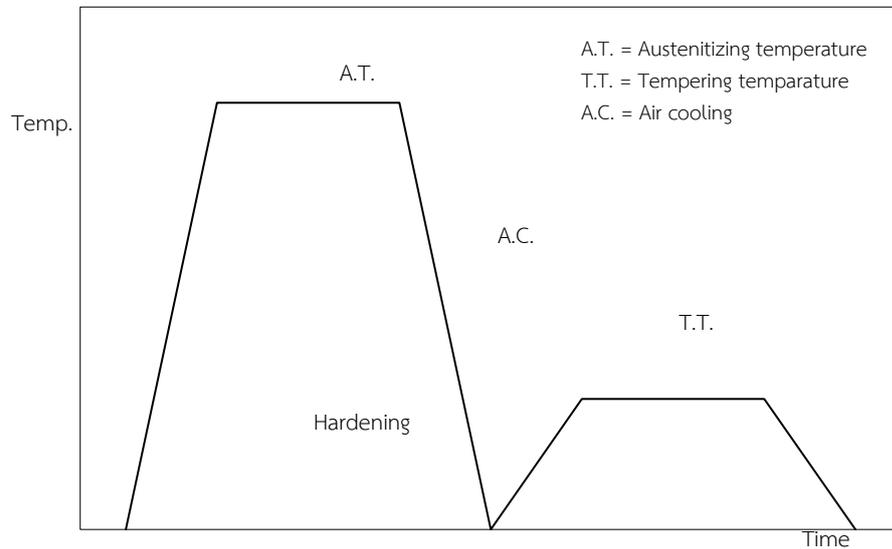
Experimental factors	Level 1	Level 2	Level 3
Austenitizing temperature (°C)	1000	1020	1050
Tempering temperature (°C)	300	250	200
Tempering time (Minute)	120	90	60

ตารางที่ 3 Orthogonal L<sub>9</sub> (3<sup>3</sup>) array ของวิธีการทาทุชิ

Experiments	Austenitizing temperature	Tempering temperature	Tempering time
1	1000	300	120
2	1000	250	90
3	1000	200	60
4	1020	300	90
5	1020	250	60
6	1020	200	120
7	1050	300	60
8	1050	250	120
9	1050	200	90

ในการกำหนดสภาวะการทดลองของกระบวนการออสเทมเปอร์ริง โดยอบชุบที่อุณหภูมิ ออสเทนไนท์ซึ่งระดับต่าง ๆ แต่ละระดับเป็นเวลา 60 นาที ตามที่ลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้น ปล่อยให้เย็นตัวในเตาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และอบคืนตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ตาม ระยะเวลาที่กำหนดในการทดลอง ซึ่งสามารถแสดงสภาวะการทดลองได้ดังภาพที่ 2 หลังจากผ่าน กระบวนการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น จะนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกล ด้วยการ

ทดสอบความแข็งโดยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล (HRC) ยี่ห้อ ESEWAY รุ่น 305R/RB ตามมาตรฐานของ ASTM E18 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แผนภาพกระบวนการออสเทมเปอร์รีง



ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล (HRC)



#### 4. ผลการวิจัย

จากการออกแบบการทดลองตามวิธีการทากูชิ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการ ออสเทมเปอร์ริงเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 โดยเลือกใช้ลักษณะคุณภาพแบบยิ่งมามากยิ่งดี ดังมี รายละเอียดของผลการวิจัยต่อไปนี้

##### 4.1 ผลการทดสอบความแข็งตามการออกแบบการทดลอง

ผลการศึกษาค่าความแข็งที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการออสเทมเปอร์ริง ได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 4 พบว่า ลำดับการทดลองที่ 9 ให้ค่าความแข็งมากที่สุดตามตารางการออกแบบการทดลอง Orthogonal Arrays  $L_9(3^3)$  ได้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.50

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานโดยวิธีการทากูชิ

Experiments	Austenitizing temperature	Tempering temperature	Tempering time	Hardness (HRC)
1	1000	300	120	58.90
2	1000	250	90	60.20
3	1000	200	60	61.50
4	1020	300	90	59.75
5	1020	250	60	61.00
6	1020	200	120	61.90
7	1050	300	60	60.40
8	1050	250	120	61.25
9	1050	200	90	62.50

##### 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

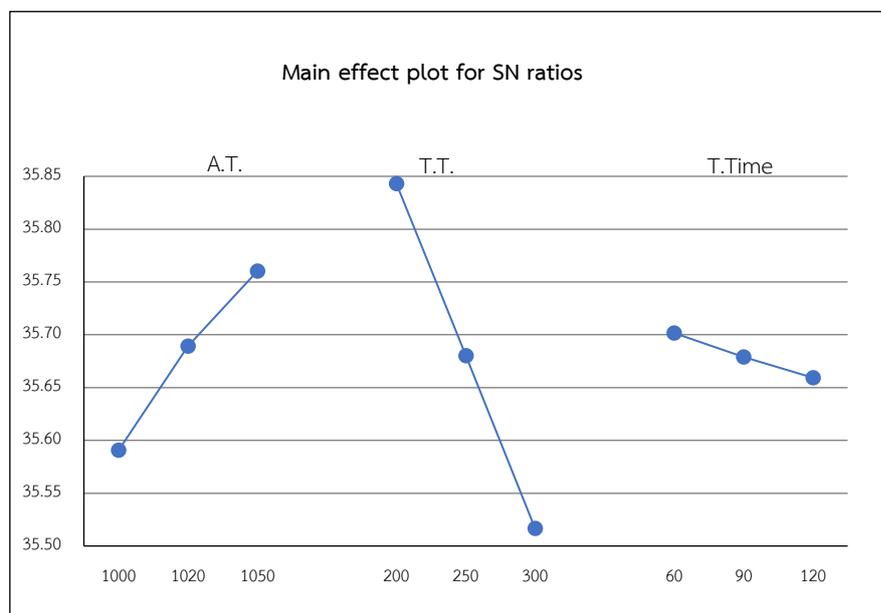
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ กำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อ วิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง จากผลการทดลองดังตารางที่ 4 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยอุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.001 อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่า เท่ากับ 0.000 และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 0.018 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าทุกปัจจัยส่งผล ต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A.T.	2	2.1172	1.05861	952.75	0.001
T.T.	2	7.8206	3.91028	3519.25	0.000
T.Time.	2	0.1206	0.06028	54.25	0.018
Error	2	0.0022	0.00111		
Total	8	10.0606			

#### 4.3 ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการออสเทมเปอร์ริง

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากอัตราส่วน S/N ดังภาพที่ 4 ของการทดลองแบบลักษณะคุณภาพยิ่งมามากยิ่งดี ซึ่งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการออสเทมเปอร์ริงคือ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยได้ค่าความแข็ง (HRC) มากสุดเท่ากับ 62.67



ภาพที่ 4 ผลกระทบสำหรับอัตราส่วน S/N ของค่าความแข็ง

#### 4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

ผลการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการพยากรณ์ ซึ่งประกอบด้วยค่าอุณหภูมิของ ออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที ตามลำดับ ไปดำเนินการตามกระบวนการ ออสเทมเปอร์ริงกับชิ้นงานตัวอย่าง พบว่า ได้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.60 ซึ่งมีค่าความ คลาดเคลื่อนจากค่าพยากรณ์คิดเป็น 0.11%

#### 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมือ งานเย็นโดยใช้วิธีการทากูชิ โดยกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งที่ 1000 1020 และ 1050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวที่ 300 250 และ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการอบคืนตัวที่ 120 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที โดยให้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.60 อย่างไรก็ตามจากผลการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยให้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.67 คิด ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เท่ากับ 0.11% โดยผลของกระบวนการออสเทมเปอร์ริงที่ได้ เป็นไปตามโครงสร้างของเบไนต์ ตามแผนภาพที่ที่ขึ้นนิการแปลงอุณหภูมิแบบต่อเนื่องของ ASM handbook (Dossett & Totten, 2013) ซึ่งทำให้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นมีสมบัติทางกลที่ เหมาะสมกับงานตัดเฉือน

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้ความสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี

#### 7. เอกสารอ้างอิง

เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์, และพงศกร หลีตระกูล. (2560). การศึกษาอิทธิพลของระยะ ช่องว่างคมตัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับการตัดเหล็กกล้าความ แข็งแรงสูง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 24(3), 1-12.  
มานิช रिทินโย, ชัยวัฒน์ พิรทัตสุวรรณ, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, พงษ์ศักดิ์ รุนกระโทก, อนุชิต คงฤทธิ์, และจิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. (2560). ผลของกระบวนการทางความเย็นต่อปริมาณของ

- โครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 12(1), 43-50.
- วัฒน์พร ชนไฮ, และอุษณีย์ กิตกัธกร. (2556). ผลของเวลาในการอบอบสแตนเลสซึ่งต่อการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสามวัตถุของเหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 8(2), 11-20.
- สมนึก วัฒนศรียกูล. (2557). **โลหะวิทยา** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- Abbasi, E., Luo, Q., & Owens, D. (2018). Case study: Wear mechanisms of NiCrVMo-steel and CrB-steel scrap shear blades. **Wear**, 398–399, 29–40.
- Antony, J., & Jiju Antony, F. (2001). Teaching the Taguchi method to industrial engineers. **Work Study**, 50(4), 141–149.
- Bubphachot, B., Premanond, V., & Keawtatip, P. (2005). Optimum Heat Treatment Conditions for C45 Steel in Fine Blanking Process. **Engineering and Applied Science Research**, 32(4), 551–562.
- Deutsche Edelstahlwerke. (16 September 2021). **Cold-Work Tool Steel and High-Speed Steel**. Retrieved from [https://www.dewstahl.com/fileadmin/files/dewstahl.com/documents/Publikationen/Broschueren/006\\_DEW\\_Kaltarbeitsstahl\\_GB.pdf](https://www.dewstahl.com/fileadmin/files/dewstahl.com/documents/Publikationen/Broschueren/006_DEW_Kaltarbeitsstahl_GB.pdf).
- Dossett, J.L., Totten, G.E., & ASM Handbook Committee (Eds.). (2013). **ASM Handbook: Steel Heat Treating, Fundamentals and Processes. Volume 4A**. Asm International.
- Ghani, J.A., Choudhury, I.A., & Hassan, H.H. (2004). Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. **Journal of Materials Processing Technology**, 145(1), 84–92.
- Hatanaka, N., Yamaguchi, K., & Takakura, N. (2003). Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal. **Journal of Materials Processing Technology**, 139(1-3 SPEC), 64–70.
- Limooei, M.B., & Hosseini, S. (2014). Optimization of heat treatment in manganese steel by Taguchi method. **Applied Mechanics and Materials**, 598, 43–46.
- Muhammad, M., Siddiqui, M.A., & Muhammad, S. (2017). Experimental investigation and optimization of process parameters for through induction hardening using



factorial design of experiments. **Journal of Engineering Research**, 5(3). 174-185.

Neugebauer, R., Bouzakis, K.D., Denkena, B., Klocke, F., Sterzing, A., Tekkaya, A. E., & Wertheim, R. (2011). Velocity effects in metal forming and machining processes. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 60(2), 627–650.

Qamar, S.Z. (2009). Effect of heat treatment on mechanical properties of H11 tool steel. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, 35(2), 115–120.

Son, D., Kim, H., Kang, J.Y., Yun, H.Y., Lee, J.J., Park, S.K., Lee, T.H., & Lee, J. (2017). Analyses of the failures on shear cutting blades after trimming of ultra high-strength steel. **Engineering Failure Analysis**, 71, 148–156.