

■ Research Article



การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการเชื่อมเหล็กที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์ เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กแบบทิก (GTAW)

The study examines factors influencing the weldability of SKD 11 grade steel used in mold manufacturing through the Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) process. สราวุธ เขาวการกุล^{1*} และ วรเชษฐ์ หวานเสียง²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ลานนา เชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการเชื่อมเหล็กที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์ เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กแบบทิก (GTAW) โดยการศึกษาเริ่มจากการกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ กระแสเชื่อม จำนวนชั้นของรอยเชื่อม อัตราการป้อนเติมหลอด (Deposited Rate) อุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนและหลังเชื่อม จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบคุณสมบัติทางกล จากการทดลองพบว่า การเชื่อมแบบชั้นรอย 3 ชั้นเติมรอยยาก ใช้ความร้อนเข้าน้อย ส่งผลให้บริเวณกระแทกเชื่อมแคบกว่าการเชื่อมแบบชั้นเดียว และการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 105 แอมป์ ทำให้หลอดเติมและโลหะงานหลอมละลายเข้ากันได้ดี ไม่พบรอยแยกระหว่างชั้น (Lack of Inter-Run Fusion) แต่พบว่าผิวหน้าของรอยเชื่อมขรุขระ และยังมีรอยแตกยาว 25 เปอร์เซ็นต์ของความยาวรอยเชื่อม ซึ่งการเพิ่มอัตราการป้อนเติมจากการเติมหลอดครั้งละ 1 เส้น เป็นครั้งละ 2 เส้น จากการวัดด้วยเกจวัดพบว่าผิวหน้ารอยเชื่อมขรุขระเพิ่มขึ้น และจากตรวจสอบด้วยน้ำยาแทรกซึมไม่พบรอยแตกที่ผิวหน้ารอยเชื่อม[1] การให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ได้จากการคำนวณจากปริมาณคาร์บอนเกินบะ (CE) และการให้ความร้อนหลังเชื่อมเสร็จที่ 300 องศาเซลเซียสเช่นกัน ทำให้ไม่พบรอยแตกยาวหลังเชื่อมเสร็จ และมีค่าความแข็งสูงเท่ากับ 50 HRC ค่าความสามารถรับแรงกระแทกเท่ากับ 2.5 จูล (J) และหากเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนหลังเชื่อมเสร็จ 700-900 องศาเซลเซียส พบว่ารับแรงกระแทกได้มากขึ้น แต่ค่าความแข็งจะลดลง ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้ทำแม่พิมพ์ สรุปว่าเหล็ก SKD 11 มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ จึงควรให้ความสำคัญกับการกำหนดตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อม เพื่อไม่ให้เกิดความเค้นตกค้าง จนทำให้เกิดการแตกร้าวหลังการเชื่อมเสร็จ

Received:

3 August 2023

Revised:

1 June 2024

Accepted:

11 June 2024

Published:

27 June 2024

Corresponding*Author:**

s.jiau@rmutl.ac.th

Copyright:

© Rajamangala

University of

Technology Lanna.

All right reserved

ISSN

Print: 2586-8500

Electronic: 2586-8632

คำสำคัญ: เหล็กที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์, กระบวนการเชื่อมทิก, การอุ่นชิ้นงานก่อน และหลังเชื่อม, บริเวณกระแทก, ความเค้นตกค้าง

Abstract

The objective of this research study was to study the factors that influence the weldability of the steel used to produce molds. SKD 11 grade with TIG welding process (GTAW) Let's start by defining the welding conditions. Welding current, Number of layers of welds, Deposited rate, and heating temperature before and after welding. The welding specimen is then examined for cracks and tested for mechanical properties. Experiments have shown that 3-layer weld welding, full-notch welding, and low heat intake. As a result, the hot impact area is narrower than in full single-layer welding. And welding with a welding current of 105 amps, making the filling wire and melting metal go well together. Lack of inter-run fusion was not detected, but the surface of the weld was found to be concave, and 25 percent of the weld length was found. By increasing the feed rate from filling 1 wire at a time to 2 wires at a time, the measurement with the gauge showed that the weld surface bulge increased, and from the examination with the penetrator solution, no cracks were found on the weld surface. [1] Pre-heating at 300 degrees Celsius and post-heating at 300 degrees Celsius are the same. It has a high hardness of 50 HRC and an impact capacity of 2.5 joules (J), but if the heating temperature after welding is increased to 700–900 degrees Celsius, it is found that it can withstand more impact, but the hardness value will decrease, which is not suitable for mold making. In conclusion, SKD 11 steel has a low weld ability, so attention should be paid to determining important variables in welding. To avoid residual stress until it causes cracking after welding is completed.

Keywords: Mold steel, TIG welding process, Pre-Post Weld Heat Treatment, Heat Effected Zone, Residual Stress

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เปรียบเทียบกับหลายปีก่อน และอุตสาหกรรมผลิตที่เรียกกันว่า อุตสาหกรรมต้นน้ำ อาทิ อุตสาหกรรมหล่อโลหะ ป้อนขึ้นรูปโลหะ และอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์ อุตสาหกรรมเหล่านี้ขยายตัวเพิ่มขึ้น เพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตที่เพิ่มขึ้นภายในประเทศ

อย่างไรก็ตามการพัฒนาอุตสาหกรรมยังมีปัญหาที่ต้องใช้องค์ความรู้ต่างๆหลายด้านเข้าไปแก้ไข และพัฒนา ยกตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ต้องใช้แม่พิมพ์โลหะ เนื่องด้วยวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์มีราคาค่อนข้างสูง และมีขั้นตอนในการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อน ส่งผลให้แม่พิมพ์มีต้นทุนในการผลิตที่สูง แม่พิมพ์ชนิดต่างๆจึงมีราคาสูงตาม ในขณะเดียวกัน ตามลักษณะการใช้งานของแม่พิมพ์ ต้องรับภาระค่อนข้างสูงทั้งแรงกระแทก แรงอัด และการเสียดสี จึงมีโอกาสสึกหรอ หรือมีมิติที่ผิดไปจากเดิมและหากการผลิตแม่พิมพ์ไม่มีคุณภาพสูงพอ อาจมีความเสี่ยงต่อการแตกร้าวค่อนข้างสูง ส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้นกว่าปกติ และไม่คุ้มค่ากับการลงทุน แต่หากสามารถหาวิธีการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์เหล่านี้ [2], [3]โดยวิธีการเชื่อมพอกผิวในบริเวณที่สึกหรอ[4] หรือการเชื่อมซ่อมในจุดที่มีการแตกร้าวได้อย่างเหมาะสม และภายหลังการได้รับวัฏจักรของความร้อนจากการเชื่อม ควรจะมีวิธีการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคด้วยกระบวนการทางความร้อนที่เหมาะสม[5], [6], [7], [8]เพื่อช่วยแก้ไขปัญหการแตกร้าว ยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมที่ต้องใช้งานแม่พิมพ์ในการผลิตได้

จากปัญหาดังกล่าว กลุ่มผู้ศึกษาวิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญ จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาในประเด็นดังกล่าว โดยเริ่มจากการศึกษาในเรื่องของโลหะวิทยา คุณสมบัติทางกลและความสามารถในการเชื่อมของวัสดุกลุ่มที่ใช้ทำแม่พิมพ์[9], [10], [11], [12] โดยเฉพาะเหล็กเกรด SKD 11 และได้ดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาหาตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมที่เหมาะสม รวมถึง วัฏจักรของความร้อนจากการเชื่อมที่จะมีผลโดยตรงกับวัสดุงานภายหลังการเชื่อมเสร็จ เพื่อนำไปปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางความร้อนทั้งก่อน และหลังเชื่อมเสร็จ ไปใช้ในการเชื่อมให้เกิดประสิทธิภาพ ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก(GTAW) [13], [14], [15], เนื่องจากกระบวนการเชื่อมทิก เป็นกระบวนการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูง และไม่มีเม็ดโลหะกระเด็นขณะอาร์ก ทำให้ลดโอกาสเกิดความเสียหายที่บริเวณผิวของแม่พิมพ์จากการเกาะติดของเม็ดโลหะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในแก้ไขปัญห เพื่อเป็นการสนับสนุน พัฒนาอุตสาหกรรมที่ใช้แม่พิมพ์ในการผลิต และจะได้เผยแพร่องค์ความรู้ สู่ผู้ที่ให้ความสนใจต่อไป

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาปัจจัยในการเชื่อมที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของโลหะรอยเชื่อมเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์เกรด SKD11 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กแบบทิก(GTAW)

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เหล็กเกรด SKD 11 เป็นเหล็กที่อยู่ในกลุ่มของเหล็กเครื่องมือ(Tool Steel) นิยมนำมาใช้ในการทำแม่พิมพ์ชนิดต่าง มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูง มีความสามารถในการชุบแข็งสูง และภายหลังปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางความร้อน จะมีความแข็งแรงสูงมาก ในทางตรงข้ามกลับมีความสามารถในการเชื่อมที่ต่ำ จึงไม่นิยม

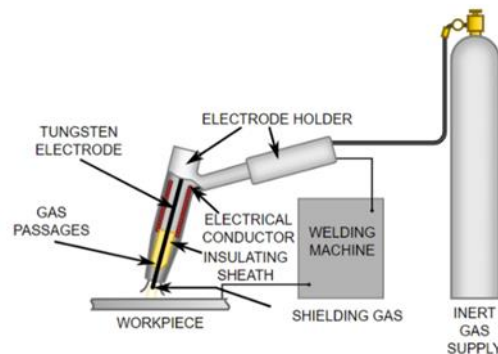
ประกอบขึ้นรูปด้วยวิธีการเชื่อม แต่หากต้องเชื่อม ควรให้ความสำคัญเงื่อนไขต่างๆ
ในการเชื่อม โดยจะได้กล่าวต่อไปนี้

Grade	ส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition %wt.)								
SKD11	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	V	Mo	Others
	1.4-1.6	Max 0.4	Max 0.6	11.0-13.0	0.8-1.2	Max 0.03	0.2-0.5	8.0-1.2	-

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีโดยเฉลี่ยของเหล็กเกรด SKD 11 (ที่มา:
https://steeljis.com/jis_steel_datasheet.php?name_id=159)

3.1 การเลือกกระบวนการเชื่อม

กระบวนการเชื่อมทิก(TIG) เป็นกระบวนการเชื่อมที่อาศัยความร้อนจากการอาร์ก
ระหว่างแท่งกึ่งสแตนกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมเพื่อป้องกันการปนเปื้อน
จากบรรยากาศ ดังนั้นจึงได้บ่อหลอมละลายที่สะอาด มีคุณภาพของโลหะรอยเชื่อม
หลังเชื่อมเสร็จค่อนข้างสูง และยังไม่เกิดโลหะกระเด็นทำให้ผิวชิ้นงานเกิดความ
เสียหายอีกด้วย



รูปที่ 1 แสดงภาพองค์ประกอบของกระบวนการเชื่อมทิก(GTAW)
(ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_tungsten_arc_welding)

3.2 การเลือกโลหะเติม (Filler Metal)

เหล็ก SKD 11 เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติทางกลภายหลังการปรับปรุงคุณสมบัติด้วย
กระบวนการทางความร้อนที่ต่ำมาก ดังนั้นโลหะเติมที่จะเลือกนำมาเติมลงในบ่อหลอม
จะต้องเลือกให้เหมาะสม เพื่อให้ได้โลหะรอยเชื่อมหลังเชื่อมเสร็จที่มีความแข็งแรงสูง
เช่นกัน

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม HB 61 R ซึ่งเป็นโลหะเชื่อมที่ให้รอยเชื่อมที่มีความแข็ง และทน
ต่อแรงเสียดสีสูง [4] (ที่มา: https://www.selectarc.com/sites/default/files/2022-01/Technical_Datasheets_Welding_Electrodes_EN.pdf)

C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Fe
0.40	1.00	1.00	9.00	1.00	1.00	base

3.3 การกำหนดอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานทั้งก่อนและหลังเชื่อม

ด้วยเหล็ก SKD 11 เป็นเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเป็นส่วนผสมค่อนข้างสูง จึงมีความสามารถในการชุบแข็งสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานและโลหะรอยเชื่อมภายหลังการเชื่อมเสร็จ เพื่อลดโอกาสเกิดการแตกร้าวในโลหะรอยเชื่อม และบริเวณกระบอกร้อนได้ โดยเริ่มจากการกำหนดอุณหภูมิอุ่นขึ้นงาน หาได้จากสมการข้างล่างนี้ จากนั้นนำค่าไปเทียบในตารางที่ 3

$$\text{ค่าคาร์บอนเทียบเท่า (CE)} = C + (\%Mn + \%Si) / 6 + (\%Cr + \%Mo + \%V) / 5 + (\%Cu + \%Ni) / 15$$

สมการอ้างอิงจากมาตรฐาน American Welding Society(AWS)

ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิของการอุ่นขึ้นงานเชื่อมที่มีความสัมพันธ์กับค่าคาร์บอนเทียบเท่า(CE)
ที่มา : วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (ปฐมนฤกษ) , 2548

ปริมาณคาร์บอนสมมูล	อุณหภูมิในการให้ความร้อน (Preheat Temperature)
น้อยกว่า 0.45 % ได้	สามารถละเว้นการ Preheat ได้
0.45 – 0.60 %	93 °C - 205 °C
มากกว่า 0.60 %	205 °C - 370 °C

3.4 การกำหนดค่าความร้อนเข้า (Heat Input)

ค่าความร้อนเข้ามีความสัมพันธ์กับระยะความกว้างของบริเวณกระบอกร้อน หากความร้อนเข้าสูง ขอบเขตของบริเวณดังกล่าวก็จะกว้าง ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อความแข็งแรงของโลหะรอยเชื่อม และบริเวณกระบอกร้อนข้างรอยเชื่อม อย่างไรก็ตามเราสามารถลดความร้อนเข้าได้โดยการเชื่อมแบบหลายรอยซ้อนกัน(Multiple Pass) แทนการเชื่อมแบบชั้นเดียว(Single Pass) โดยความร้อนเข้าสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Heat Input} = \frac{\text{Voltage} \times \text{Amperage} \times 60}{\text{Travel Speed} \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right)}$$

โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน The American system (given in ASME BPVC Section IX – QW 409.1 (a)

3.5 หาอัตราการป้อนเติมที่เหมาะสม

อัตราการป้อนเติมหมายถึง อัตราการเติมโลหะเติมลงในบ่อหลอมละลาย ซึ่งจะมี ความสัมพันธ์กับความร้อนเข้า และลักษณะผิวหน้าของโลหะรอยเชื่อม เพราะการเพิ่มอัตราในการป้อนเติมทำให้ความเร็วในการเชื่อมนั้นเพิ่มขึ้น และหากพิจารณาตามสมการข้างต้นแล้ว จะทำให้ความร้อนเข้าลดลง ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มอัตราการป้อนเติม จะส่งผลทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมโค้งนูน ซึ่งตามทฤษฎีจะทำให้เกิดความเค้นเกิดขึ้นจากหดตัวของของเหลวในขณะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นของแข็งน้อยกว่าผิวหน้าของรอยเชื่อมที่มีลักษณะเว้า

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม

- 1) วัสดุที่ใช้ในการวิจัยเป็นเหล็กกล้าเรื่องมืองานเย็น เกรด SKD 11 ความหนา 12 มิลลิเมตร ความกว้าง 60 มิลลิเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตร (ตามรูปที่ 2 a.)
- 2) ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นลวดเชื่อม HB61R มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร (ตามรูปที่ 2 b.)

3) ลวดทังสเตนผสม 2 % Thoriated (WT20) ขนาด 2.4 mm

4) แก๊สอาร์กอน (Ar) 100 เปอร์เซนต์

4.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน และดำเนินการเชื่อม

1) นำเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD 11 ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตร ทำการบากร่องวี มุมรวมเท่ากับ 60 องศา ลึก 6 mm. (ตามรูป 3 a.)

2) ทำความสะอาดผิวชิ้นงาน จากนั้นนำไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน(ตามรูป3b.)

3) นำชิ้นงานไปให้ความร้อนด้วยเตาอบไฟฟ้า 300 องศาเซลเซียส ก่อนการเชื่อม (จากการคำนวณโดยใช้สมการข้างต้น เหล็ก SKD11 มีค่า CE = 1.725 เมื่อเทียบกับตารางการเลือกใช้อุณหภูมิในการ Preheat ก็จะได้อุณหภูมิในการ Preheat เท่ากับ 205 – 370 °C) (ตารางที่ 3)

4) เริ่มเชื่อม โดยกำหนดให้เชื่อมแบบหลายรอยซ้อนกัน (Multiple pass) เชื่อม 3 ชั้น (ตามรูปที่ 4 a.) ซึ่งการเชื่อมป้อนเติมลวดเชื่อมที่ต่างกัน โดยเติมลวดครั้งละ 1 เส้น และ 2, 3, 4 เส้น เพื่อดูผลลัพธ์ของอัตราการป้อนเติม

5) อุณหภูมิชิ้นงานหลังการเชื่อมเสร็จแต่ละชั้น โดยแบ่งชิ้นงานออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มที่ 1 จะไม่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนใดๆ และกลุ่มที่ 2 นั้นจะให้ความร้อนที่ชิ้นงานหลังเชื่อมเสร็จโดยมีช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน เริ่มจาก 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C และ 900°C ด้วยเตาไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลทางด้านความแข็ง และการรับแรงกระแทก (ตามรูปที่ 4 b.)

6) นำชิ้นงานที่เสร็จแล้ว ไปเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบ แล้วนำไปทำชิ้นทดสอบความแข็ง และทดสอบแรงกระแทก

7) บันทึกบันทึกผลของการทดสอบทั้ง 2 แบบ เพื่อนำไปสรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง



(a)



(b)

รูปที่ 2 a. เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 b. ลวดเชื่อมทิกชนิดพิเศษ HB61R ขนาด 2.4 มม

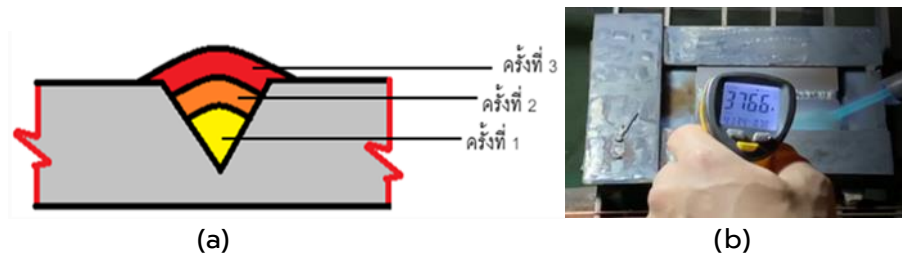


(a)



(b)

รูปที่ 3 a. แสดงการบากร่องชิ้นงาน (V 60°) b. นำชิ้นงานประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึด



รูปที่ 4 a. แสดงการเชื่อมแบบหลายรอยซ้อนกัน b. แสดงการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อม

5. ผลการวิจัย

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์เกรด SKD 11 จัดอยู่ในกลุ่มของเหล็กเครื่องมือ มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ ดังนั้นการจะเชื่อมให้สำเร็จ มีความจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับตัวแปรสำคัญในการเชื่อมอย่างมาก โดยผลลัพธ์ของการศึกษา แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ได้ดังนี้

5.1 ผลของความร้อนเข้า (Heat Input) ความร้อนที่มีผลกับโลหะรอยเชื่อมแบ่งได้ 2 ส่วน

1) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอุ่นชิ้นงานทั้งก่อนและหลังเชื่อม

- การอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Pre - Heat) เรากำหนดอุณหภูมิโดยคำนวณจากค่าคาร์บอนสมมูล (CE) ได้เท่ากับ 1.725 และเมื่อนำไปเทียบในตารางการกำหนดอุณหภูมิ จะได้อุณหภูมิอุ่นชิ้นงานเท่ากับ 205-370 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิอุ่นชิ้นงานที่ 300 องศาเซลเซียส ขณะเชื่อมโลหะชิ้นงานหลอมละลายได้ดี เหมาะกับความหนาชิ้นงานที่ใช้

- การอุ่นชิ้นงานหลังการเสร็จ (Post - Heat) ขั้นตอนนี้ จะทำทันที หลังการเชื่อมเสร็จ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราการเย็นตัว และลดความเค้นตกค้างในโลหะรอยเชื่อม จากการศึกษาค้นคว้า ช่วงอุณหภูมิ 300 (°C) เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม สามารถลดอัตราการเย็นตัว และความเค้นตกค้าง โดยไม่พบรอยแตกร้าวในโลหะรอยเชื่อม และที่สำคัญ ยังคงเหลือความแข็งที่เพียงพอต่อการนำแม่พิมพ์ไปใช้งานได้

2) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม

องค์ประกอบสำคัญของความร้อนในการเชื่อม คือ กระแสเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม ตามลำดับ ซึ่งความร้อนเข้า(Heat Input)สามารถคำนวณได้จากสมการตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และเนื่องจากเครื่องทิก เป็นแบบคงที่กระแส (CC) ในการทดลองนี้จึงขอกกล่าวถึงแอมป์(A)เป็นหลัก โดยการทดลองออกแบบให้แปรผันกระแสเชื่อม 5 ค่า โดยเพิ่มครั้งละ 3 แอมป์ เริ่มจาก 99, 102, 105, 108 และ 111 แอมป์ พบว่าช่วงกระแสต่ำสุด(99 A) ความหนาผิวหน้าของโลหะรอยเชื่อมเป็น 0 ไม่นูน และไม่พบรอยแตกร้าว แต่เมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น(111 A) พบว่าผิวหน้าของรอยเชื่อมเริ่มยุบเว้า และพบรอยแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของกระแส เมื่อทดลองตัดขวางรอยเชื่อมเพื่อดูการหลอมละลาย จะพบว่า ช่วงกระแสที่ต่ำกว่า 105 A มีการหลอมละลายไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น ระหว่างชั้นเชื่อม และไม่พบตั้งแต่ 105 A ขึ้นไป ซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อโลหะรอยเชื่อม

กระแสเชื่อม	99	102	105	108	111	แอมป์(A)
ความนูนของผิวหน้ารอยเชื่อม	0	- 0.4	- 0.6	- 0.8	- 1	มิลลิเมตร
รอยแตกร้าว	ไม่พบ	พบ10%	พบ 25%	พบ50%	พบ80%	%ความยาวรอยเชื่อม
หลอมละลายไม่สมบูรณ์	พบ 50%	พบ 25%	ไม่พบ ***	ไม่พบ	ไม่พบ	%พท.หน้าตัดรอยเชื่อม

5.2 ผลของอัตราการป้อนเติมที่เหมาะสม

จากการศึกษาในเรื่องความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสเชื่อม ทำให้ทราบว่าการเพิ่มกระแสเชื่อม โดยไม่ได้เพิ่มอัตราการป้อนเติม ทำให้ผิวหน้าของรอยเชื่อมยุบเว้า และเกิดการแตกร้าวเนื่องมาจากแรงจากการหดตัวรุนแรง และในขณะเดียวกันการใช้กระแสเชื่อมที่ต่ำเกินไปส่งผลทำให้การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะเลือกคงที่กระแสเชื่อมที่ 105 Amp.(เป็นช่วงที่มีการหลอมละลายได้สมบูรณ์ ไม่เกิดการแยกชั้น แต่พบรอยแตก 25 %) ซึ่งการทดลองเพิ่มอัตราการป้อนเติม โดยการเพิ่มจำนวนเส้นลวดที่เติมในครั้งเดียวกัน จากการป้อนลวดเติมครั้งละ 1 เส้น เพิ่มเป็นครั้งละ 2, 3 และ 4 เส้น ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณลวดเติม 2 เส้น ทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมนูนเพิ่มขึ้น (ความนูน +1.1 มม.) และนูนมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนเส้นของลวดเติม ซึ่งผลของการเพิ่มการเติมลวดเติมได้สรุปไว้ในตารางที่ 5

จากการทดลองพบว่าการทดลองเชื่อม โดยคงที่กระแสเท่ากับ 105 Amp. แต่เพิ่มอัตราการป้อนลวดเติม เป็น 2 เส้น ทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมมีความนูน มีการหลอมละลายที่สมบูรณ์ ไม่พบรอยแยกระหว่างชั้น และไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้ารอยเชื่อม

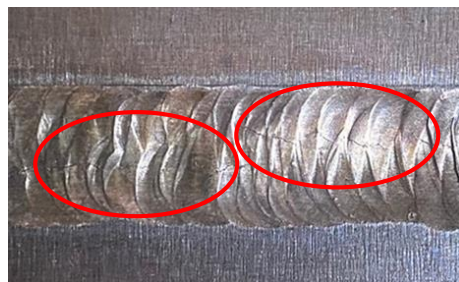


(a)



(b)

รูปที่ 5 แสดงช่วงกระแสต่ำสุดในการทดลอง (99 A) a. ไม่พบรอยแตกร้าว
b. ผิวหน้าไม่ยุบเว้า

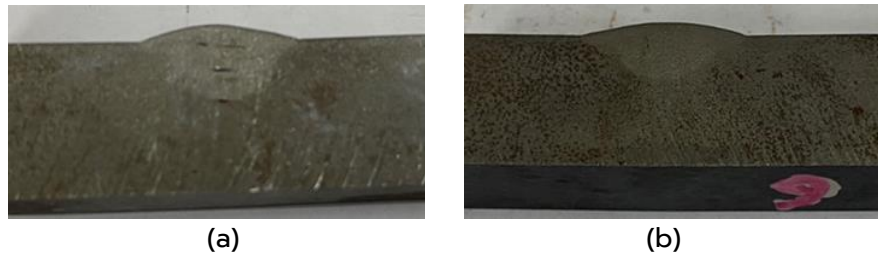


(a)



(b)

รูปที่ 6 แสดงช่วงกระแสสูงในการทดลอง(111 A) a. พบรอยแตกร้าวที่ผิวรอยเชื่อม 80 % b. ผิวหน้ารอยเชื่อมยุบเว้า -1 มม.



รูปที่ 7 แสดงถึงผลของกระแสไฟที่มีต่อการหลอมละลายของโลหะรอยเชื่อม a. พบรอยหลอมละลายไม่สมบูรณ์ 50% b. หลอมละลายสมบูรณ์

ตารางที่ 5 แสดงอัตราการป้อนเติม ต่อความหนาของผิวหน้ารอยเชื่อม โดยคงที่กระแสเชื่อมที่ 105 Amp.

อัตราป้อนเติมลดเต็ม	1	2	3	4	เส้น
ความหนาของผิวหน้ารอยเชื่อม	-0.6	+1.1	+2	+3	มิลลิเมตร



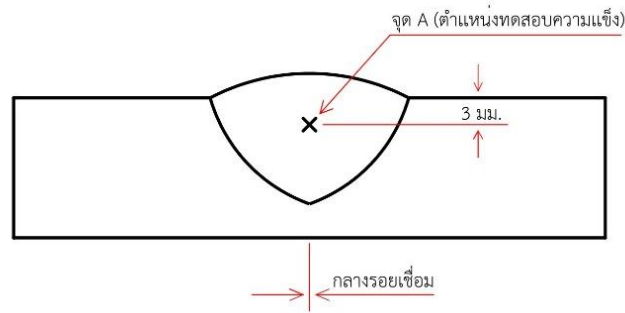
รูปที่ 8 แสดงผลของการของการเพิ่มอัตราการเติมลดเต็ม จากการเติมครั้งละ 1 เส้น เป็นครั้งละ 2 เส้น ทำให้รอยเชื่อมมีความหนาเพิ่มขึ้น วัดจากผิวชิ้นงาน 1.1 มม.

5.3 ผลของคุณสมบัติทางกล

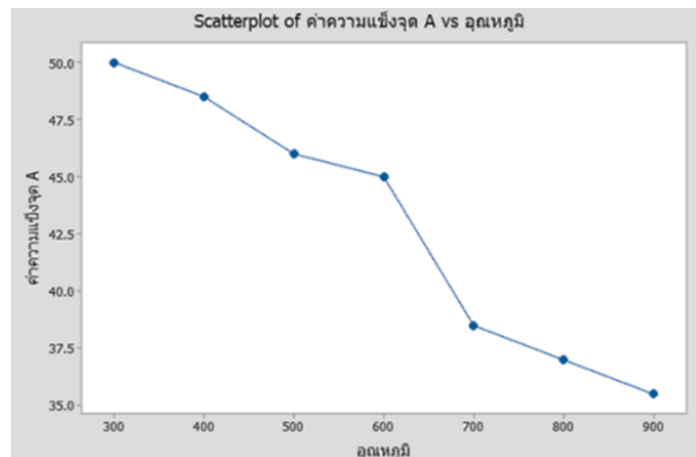
ตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะรอยเชื่อม ดังนั้นเพื่อให้รายงานการศึกษาวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ จึงไปออกแบบให้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกล 2 ประเภท ได้แก่ การทดสอบความแข็ง และการทดสอบแรงกระแทก โดยผลของการทดสอบจะได้กล่าวต่อไปนี้

1) การทดสอบความแข็ง การศึกษาวิจัยได้ออกแบบให้แปรผันอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ กำหนดได้ 7 ค่า คือ 300,400,500,600,700,800,900 องศาเซลเซียส โดยตัดขวางรอยเชื่อม(ด้วยวิธีทางกลไม่ให้สัมผัสกับความร้อน) และทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบแบบ ทดสอบความแข็งแบบ Rockwell ตามมาตรฐาน ASTM E18 ตรงตำแหน่ง A ตามรูปที่ 9 จากการทดลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ มีผลต่อความแข็ง โดยอุณหภูมิต่ำสุด(300 °C) โลหะรอยเชื่อมจะมีค่าความแข็งมากที่สุดคือ 50 HRC และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงสุด(900 °C) ค่าความแข็งจะลดต่ำลงเหลือ 35 HRC. ซึ่งได้สรุปเป็นรูปของแผนภูมิไว้ในรูปที่ 10

เนื่องจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เราได้ตั้งสมมติฐานเพื่อนำไปใช้เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ ดังนั้นรอยเชื่อมที่เชื่อมเสร็จควรจะมีความแข็ง 50-60 HRC เพื่อให้มีความสัมพันธ์และใกล้เคียงกับความแข็งของแม่พิมพ์ จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่จะใช้ในการอุ่นชิ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ ควรจะอยู่ที่ 300 °C จะเป็นช่วงที่เหมาะสม

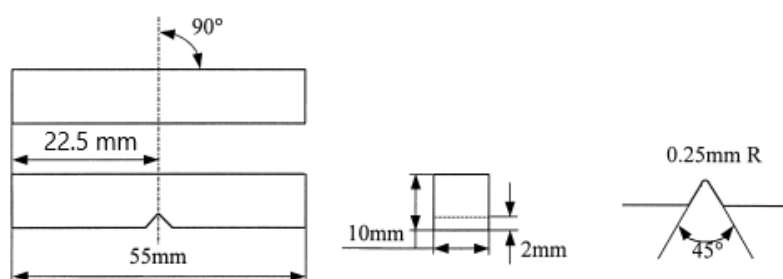


รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งทดสอบความแข็ง (จุด A) บนภาพตัดขวางรอยเชื่อม

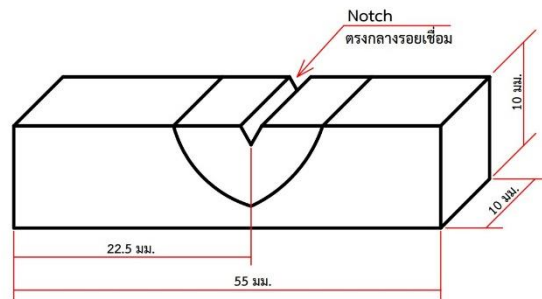


รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอุ่นชิ้นงาน ที่มีผลต่อค่าความ
แข็งในโลหะรอยเชื่อม

2) การทดสอบแรงกระแทก ผลจากหัวข้อที่ผ่านมา เรื่องของการอุ่นชิ้นงานหลังการเชื่อมเสร็จ ซึ่งนอกจากจะมีผลในเรื่องของการลดความเค้นตกค้าง และเรื่องของความแข็งที่ลดลงเมื่ออุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นแล้ว การอุ่นชิ้นงานยังมีผลโดยตรงกับความสามารถในการรับแรงกระแทกอีกด้วย ซึ่งการทดสอบได้เตรียมชิ้นงาน และดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM Designation: E 23 -01 แสดงไว้ในรูปที่ 11 และตำแหน่งของการทดสอบ(ตรงกลางที่ผิวหน้ารอยเชื่อม)ได้แสดงไว้ในรูปที่ 12 โดยผลของการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 และแผนภูมิสรุป ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13



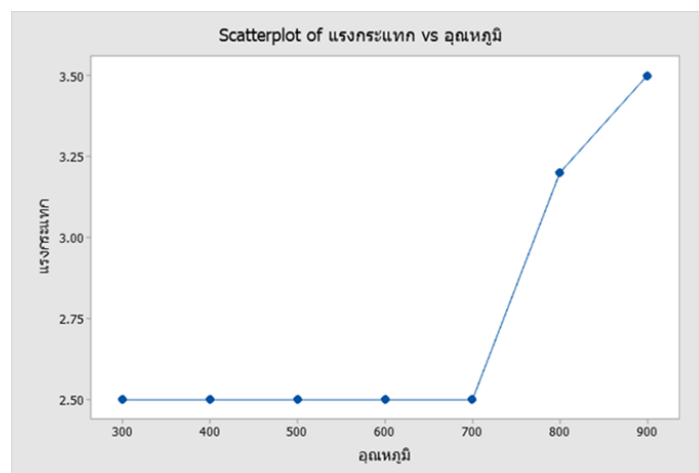
รูปที่ 11 แสดงการเตรียมชิ้นงาน อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM Designation: E 23 - 01



รูปที่ 12 แสดงตำแหน่งของ Nocth และตำแหน่งของการทดสอบ(ตรงกลางที่
ผิวหน้ารอยเชื่อม)

ตารางที่ 6 แสดงผลของการทดสอบแรงกระแทกที่ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ

อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นชิ้นงาน หลังเชื่อมเสร็จ °C	300	400	500	600	700	800	900
แรงกระแทกที่วัดได้ จูล (J)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.2	3.5



รูปที่ 13 แสดงแผนภูมิสรุปผลการทดสอบแรงกระแทกที่มีความสัมพันธ์ กับอุณหภูมิ
การอุ่นชิ้นงานหลังเชื่อม

จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิตั้งแต่ 300 °C ไปจนถึง 700 °C มีความ สามารถใน
การรับแรงกระแทกเท่ากัน (การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (ตามมาตรฐาน
ASTM E23-01)) แต่จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่า ช่วงอุณหภูมิ 300
°C ทำให้ได้ค่าความแข็งสูงสุด ตามที่เราต้องการ เพื่อนำไปใช้กับแม่พิมพ์

6. การอภิปรายผล

6.1 เรื่องความร้อนเข้า (Heat Input) ในหัวข้อนี้ มีสิ่งที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ 2
เรื่อง คือการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อม และกระแสเชื่อม โดยการอุ่นชิ้นงานจะถูกกำหนด
ตามค่าคาร์บอนสมมูล ซึ่งคำนวณได้ 300 °C ผลลัพธ์คือ สามารถช่วยลดอัตราการ
เย็นตัวของโลหะรอยเชื่อม และช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากการหดตัว ขณะรอย
เชื่อมกลายเป็นของแข็งได้ และจากการศึกษาเรื่องของการเชื่อมยังพบว่า
ช่วงของกระแส 105 แอมป์(A) ทำให้การหลอมละลายของโลหะรอยเชื่อมมีความ
สมบูรณ์ ไม่พบรอยแยกระหว่างชิ้นเชื่อม แต่ยังคงพบการยุบตัวของผิวหน้ารอย
เชื่อมลงไป -0.6 มม. และพบรอยแตกราว 25 % ของความยาวรอยเชื่อม ซึ่งทั้ง

สองประเด็นนี้ สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอัตราการป้อนเติม ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

6.2 เรื่องอัตราการป้อนเติม (Deposition Rate) การเพิ่มอัตราการเติมลดเติมลงในบ่อหลอมละลาย ส่งผลโดยตรงต่อความหนาของผิวหน้ารอยเชื่อม และยังทำให้เชื่อมได้ไวขึ้น จากการศึกษาพบว่าการเชื่อมด้วยกระแส 105 แอมป์(A) และเพิ่มอัตราการป้อนเติมลดจาก 1 เส้น เพิ่มเป็น 2 เส้น ทำให้รอยเชื่อมที่ยุบเว้า หนาขึ้นจากขอบชิ้นงานเป็น + 1.1 มม. และไม่พบรอยแตกร้าว สรุปได้ว่าการเพิ่มอัตราการป้อนเติมลดเติมขนาด 2.4 มม. ครั้งละ 2 เส้น เติมพร้อมกันลงในบ่อหลอมขณะเชื่อม ช่วยเพิ่มอัตราการป้อนเติม ทำให้รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่ยุบเว้า และไม่พบรอยแตกร้าวบนผิวหน้ารอยเชื่อม

6.3 เรื่องคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) คุณสมบัติของโลหะรอยเชื่อมที่ดี เป็นผลมาจากการกำหนดตัวแปรในการเชื่อมที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานหลังการเชื่อมเสร็จ(Post Heat) มีผลโดยตรงต่อค่าความแข็ง และความสามารถในการรับแรงกระแทก โดยการอุ่นชิ้นงานก่อน และหลังเชื่อม ที่อุณหภูมิ 300 °C มีผลต่อการคลายความเค้นบริเวณรอยเชื่อม และมีผลการทดสอบความแข็งเท่ากับ 50 HRC ซึ่งเป็นตามมาตรฐานการใช้แม่พิมพ์ ในขณะที่เดียวกันผลของการทดสอบความสามารถในการรับแรงกระแทกเท่ากับ 2.5 จูล(J) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมตามค่ามาตรฐาน (อ้างอิงจาก Handbook of mold, tool and die repair welding) เนื่องจากค่าความแข็งและค่าแรงกระแทก มีความสัมพันธ์กัน หากต้องการค่าแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งลดลงและไม่สามารถนำไปใช้งานกับแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นค่าตัวแปรทั้งหมดตามที่ได้กล่าวมา จึงเป็นค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ได้

7. บทสรุป

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์เกรด SKD 11 มีค่าคาร์บอนสมมูล(CE) เท่ากับ 1.725 จัดเป็นเหล็กที่มีความสามารถในการชุบแข็งสูง แต่มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ ดังนั้นการจะเชื่อมให้สำเร็จจะต้องมีควบคุมตัวแปรในการเชื่อมให้เหมาะสม จึงจะทำให้รอยเชื่อมมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการดำเนินการศึกษาวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kou,S. (2003). Improving Weld Geometry.Welding metallurgy.(pp. 294-295) New Jersey USA : John Wiley & Sons, Inc.
- [2] เฉลิมพล คล้ายนิล, & ณัฐศักดิ์ พสพวุฒิศร. (2558) การศึกษานิคมของเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีผลต่อพฤติกรรมกลศาสตร์ หลอมของแม่พิมพ์สำหรับการปั๊มเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง. CMUL: Journal Articles.
<http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/64792>.
- [3] STEVE THOMPSON. (1999). Handbook of mold, tool and die repair welding. United States of America: William Andrew Publishing.

- [4] Lin, Y. C., Chen, H. M., & Chen, Y. C. (2014). A Comparative Study of the Tribological Behavior of Tin Powder Clad on the JIS SKD11 Tool Steel with the GTAW Method. *Advanced Materials Research*, 966, 365-376.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.966-967.365>.
- [5] ดำรงค์ มีตรเหียนขุนทด. อิทธิพลของวัฏจักรความร้อนที่มีผลต่อโลหะเชื่อมมิก
เหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKD11 (Doctoral dissertation, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิชาวิศวกรรมการ
ผลิต).
- <http://www.repository.rmutt.ac.th/xmlui/handle/123456789/2400>.
- [6] Meng, Y., Zhang, J. Y., Zhan, H., Chen, Q., Zhou, J., Sugiyama, S.,
& Yanagimoto, J. (2019). Effects of subsequent treatments on the
microstructure and mechanical properties of SKD11 tool steel
samples processed by multi-stage thixoforging. *Materials
Science and Engineering: A*, 762, 138070.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138070>.
- [7] Chuaiphan, W., & Srijaroenpramong, L. (2014). Effect of welding
speed on microstructures, mechanical properties and corrosion
behavior of GTA-welded AISI 201 stainless steel sheets. *Journal
of Materials Processing Technology*, 214(2), 402-408.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.09.025>.
- [8] Olabi, A. G., & Hashmi, M. S. J. (1995). The effect of post-weld
heat-treatment on mechanical-properties and residual-stresses
mapping in welded structural steel. *Journal of materials
processing technology*, 55(2), 117-122.
[https://doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)01794-1](https://doi.org/10.1016/0924-0136(95)01794-1).
- [9] Kim, H., Kang, J. Y., Son, D., Lee, D. S., Lee, T. H., Jeong, W. C., &
Cho, K. M. (2014). Microstructures and mechanical properties of
cold-work tool steels: a comparison of 8% Cr steel with STD11.
Journal of the Korean Society for Heat Treatment, 27(5), 242-
252. <https://doi.org/10.12656/jksht.2014.27.5.242>.
- [10] Mandolino, C., Lertora, E., Davini, L., & Gambaro, C. (2014).
Investigation on gas metal arc weldability of a high strength
tool steel. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 345-352.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.042>.
- [11] Fukaura, K., Sunada, H., Yokoyama, Y., Teramoto, K., Yokoi, D., &
Tsujii, N. (1998). Improvement of strength and toughness of
SKD11 type cold work tool steel. *Tetsu-to-Hagané*, 84(3), 230-
235. https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.84.3_230.
- [12] คณิต สิกธิพันธ์. อิทธิพลของการเชื่อมอาร์กลดอุณหภูมิชักพอกแข็งซ้ำแนวต่อ
สมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS-SKD11 (Doctoral dissertation,
มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี ราช มงคล ธัญบุรี. คณะ วิศวกรรมศาสตร์. สาขา
วิชา วิศวกรรม การ ผลิต).
- <http://www.repository.rmutt.ac.th/xmlui/handle/123456789/2588>.

- [13] สมหมาย สารมาก. (2550). การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการเชื่อมแบบทิกสแตนอาร์คเพื่อลดการแตกร้าวสำหรับ เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเอสเคดี 11. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). เชียงใหม่. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
<http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/26911>
- [14] Kutelu, B. J., Seidu, S. O., Eghabor, G. I., & Ibitoye, A. I. (2018). Review of GTAW welding parameters. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 6(05), 541.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [15] Dubey, Y., Sharma, P., & Singh, M. P. (2023). Experimental investigation for GTAW optimization using genetic algorithm on S-1 tool steel. Materials Today: Proceedings.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.174>.