การศึกษาพฤติกรรมล้าจากการอบอ่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยวิธีแก๊สปกคลุม

Study of fatigue behavior of AISI 1050 steel annealing with metal active gas process

นิพนธ์ มณีโชติ[1*], ชัยยุทธ มีงาม[2]
Nipon Maneechot[1*], Chaiyoot Meengam[2]

Received: 10 November 2020 ; Revised: 8 February 2021 ; Accepted: 1 March 2021

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบอ่อนที่ส่งผลต่อความล้าของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 จากชิ้นส่วนเพลาที่ผ่านการเชื่อมด้วยวิธีแก๊สปกคลุม ตัวแปรคงที่ในการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สปกคลุมที่ตัวแปรคือ กระแสไฟฟ้าเชื่อม 130 แอมแปร์ ลวดเชื่อมชนิด ER70S-6 ความเร็วเดินเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที ชิ้นงานเชื่อมให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากการเชื่อมจะอบอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งถูกกำหนดเป็นตัวแปรตาม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอบอ่อนชิ้นงานหลังการเชื่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณอิทธิพลทางความร้อน อุณหภูมิอบอ่อนชิ้นงานที่สูงส่งผลให้ขนาดของเกรนโตขึ้น พบว่าอุณหภูมิอบอ่อน 900 องศาเซลเซียส บริเวณรอยเชื่อมมีขนาดความโตของเกรนเฉลี่ย 22.43 ไมโครเมตร และบริเวณอิทธิพลจากความร้อนขนาดของเกรนโตขึ้น มีขนาดเกรนเฉลี่ย 254.41 ไมโครเมตร นอกจากนั้นเฟสเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์ผสมด้วยกัน ส่งผลให้ได้สมบัติทางด้านความเหนียวและแข็งแรงที่ดี สำหรับการทดสอบความล้าพบว่าความเค้นทดสอบที่ 100 MPa ของชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่ 900 องศาเซลเซียส สามารถรับความล้าก่อนชิ้นงานเกิดการเสียหายที่ 235,780 รอบ อายุการล้าเพิ่มขึ้น 53.40 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: กระบวนการเชื่อมแก๊สปกคลุม เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ความล้า การอบอ่อน

Abstract

The purpose of this research was to study the influence of annealing temperature on the fatigue of AISI 1050 carbon steel from the shaft with gas metal arc welding. The constant parameters in the experiments were the electric current at 130 amperes, ER70S-6 type of electrodes, welding speed of 250 mm/min, and the samples were pre-heated in a furnace at 300 °C for a holding time 30 min. After welding, the samples were annealed at 700, 800, and 900 °C respectively, which are defined as dependent parameters. The results showed that the annealed temperature affected changes of microstructures weld zone and heat affect zone. A high annealing temperature resulted in the size of the grain to increase and the annealing temperature at 900 °C resulted in an average grain size at 22.43 μm in the weld zone and the grain size of heat affect zone increased around 254.41 μm. Additionally, it was found that the ferrite and pearlite phases were mixed together, resulting in good toughness and strength properties. For the fatigue test, it was found that the stress at 100 MPa and annealing temperature at 900 °C can be reached up to 235,780 fatigue cycles before pre-damaged. The fatigue life increased 53.40 percent.

Keywords: Gas Metal Arc Welding: GMAW, Carbon Steel AISI 1050, Fatigue, Annealing.

---

[1] อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000
[1] Lecture, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000
[2] Assist. Prof., Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000
* Corresponding author ; Nipon.ma17@gmail.com

บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 นิยมใช้เป็นชิ้นส่วนส่งกำลังในเครื่องจักรอาทิ เช่น เพลา (Sari & Yilmaz, 2006) เกียร์ เป็นต้นชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นชิ้นส่วนหมุนได้รับภาระวัฏจักรตลอดเวลาใช้งานและมีบริเวณเข้มข้นความเค้น หรือบริเวณความเค้นสะสม จึงมักชำรุดจากการล้า (Sitthipong, *et al*., 2016 ; Sitthipong, *et al*., 2017a ; Sitthipong, *et al*., 2017b) มีอายุการใช้งานจำกัด เพื่อนำไปสู่การยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเพลา เกรด AISI 1050 ทั้งนี้ วิธีการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนเพลาที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ต้องคำนึงถึงความร้อนป้อนเข้าชิ้นงานที่ส่งผลให้เกิดโครงสร้างแบบซีเมนไตท์ (Cementite Phase) ทำให้เกิดความแข็งสูง นำไปสู่ชิ้นงานเปราะ (Brittle) หลังการเชื่อม เป็นสาเหตุให้ความสามารถในการรับแรงบิดลดลง(Cryderman *et al*., 2011) เพราะชิ้นส่วนรับแรงบิดต้องมีคุณลักษณะแข็งเหนียว ดังนั้นการเลือกวิธีการเชื่อมซ่อมจึงสำคัญ อย่างไรก็ตามหลังจากการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนเพลาจะเกิดความเค้นตกค้าง (Residual Stress) บริเวณรอยเชื่อม (Shiozaki *et al*., 2015 ; Kumar & Singh, 2014) ส่งผลให้ความแข็งแรงและความแข็งแรงล้าต่ำลง การอบอ่อน (Annealing) เพื่อลดความเค้นตกค้างและเพิ่มความเหนียวให้กับชิ้นงานหลังการเชื่อมซ่อมจึงมีความน่าสนใจ ซึ่งอาจนำไปสู่การยืดอายุการใช้งานของเพลา

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการการอบอ่อนเพลาที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 หลังผ่านการเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) และประเมินอายุการล้า นอกจากนั้นจะประเมินโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม (Microstructure) และบริเวณอิทธิพลกระทบร้อน (Heat Affected Zone) ผลที่ได้จะประเมินผลและนำเสนอต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการยืดอายุการล้าและโครงสร้างจุลภาคของเพลาเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ด้วยกรรมวิธีการอบอ่อนหลังการเชื่อมแก๊สปกคลุม

ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุ

เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ใช้ในการทดลองเชื่อม เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐานญี่ปุ่น JIS-S50C และมาตรฐานเยอรมัน DIN 1.1206 (CK50/C50E) มีความต้านทานแรงดึงที่ 636 MPa และมีความแข็งแบบวิกเกอร์ที่ 280 HV โดยส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Chemical compositions of AISI 1050 Steel (Peasura & Sumarn, 2010) (mass fraction %)

Materials	Element (Wt%)		
	C	**Mn**	**Si**
AISI 1050	0.47-0.55	0.60-0.90	0.40
	S	**P**	
	0.035	0.03	

วิธีการทดลอง

เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ถูกเตรียมเป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม รอยต่อของชิ้นงานต่อชนแบบตัววีเดี่ยวแบบหน้ารากา (Single V-Butt with Root Face Joint) บากร่องมุมรวม 60 องศา ที่ความลึก 7 มิลลิเมตร (Face Surface) สำหรับด้านล่างของชิ้นงาน (Root Surface) มีความหนา 3 มิลลิเมตร ตามลำดับขนาดตัวอย่างชิ้นงานทดลอง 75x250x10 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxหนา) การเตรียมชิ้นงานเชื่อมเตรียมตามมาตรฐานงานเชื่อม AWS D1.1/D1.1 M: 2010 (American Welding Society, 2010) ดังแสดงใน Figure 1

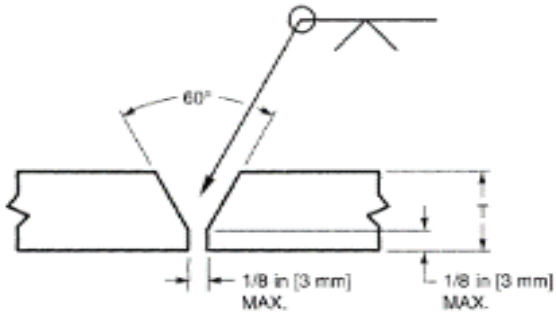


Figure 1 shows the American Welding Standard of AWS D1.1/D1.1M: 2010

การเชื่อมจะเชื่อมซ้อนแนวเชื่อม จำนวนแนวเชื่อมของทดลองแต่ละการทดลองจะมีจำนวน 8 แนว ในลักษณะซ้อนทับกันจนเต็มรอยเชื่อม ดังแสดงใน Figure 2

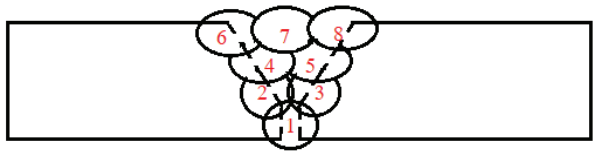


Figure 2 shows the layer of Welding

การทดลองนี้จะใช้เครื่องเชื่อมมิก-แมก ยี่ห้อ Fronius รุ่น TransPulsSynergi 2700 Alu-Edition สำหรับการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม การเชื่อมจะออกแบบชุดเชื่อมด้วยการ

ประยุกต์หัวเชื่อมให้เดินเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยหัวเชื่อมจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ออกแบบไว้ ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ก่อนการเชื่อมจะนำชิ้นงานทดลองให้ความร้อนก่อนการเชื่อม (Preheat) ด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำชิ้นงานทดลองเชื่อมตามตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการศึกษาเบื้องต้นและกำหนดเป็นตัวแปรคงที่ในการทดลอง ดังแสดงใน Table 2 หลังจากนั้นชิ้นงานหลังการเชื่อมถูกนำไปให้ความร้อนเพื่ออบอ่อนชิ้นงานตามตัวแปรตาม โดยอุณหภูมิในกระบวนการอบอ่อนชิ้นงานเชื่อมแตกต่างกัน ได้แก่ 700, 800, 900 องศาเซลเซียส และชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อนตามลำดับ เวลาในการอบอ่อน 60 นาที ชิ้นงานหลังอบอ่อนปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบจนถึงอุณหภูมิห้อง เพื่อปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานด้วยกระบวนการทางความร้อน การอบอ่อนจะช่วยลดความเค้นตกค้างหลังจากการเชื่อมและเพิ่มสมบัติทางด้านความเหนียว สำหรับการทดลองนี้จะใช้ชิ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ใช้ตัวอย่างในการทดลอง 60 ชิ้นงาน โดยขั้นตอนการเชื่อม ดังแสดงใน Figure 3

Table 2 Parameters and electrodes in the experiment

Parameter	Unit	GMAW
Electrode Types	-	ER70S-6
Welding Angle	o	75
Preheat temperature	°C	300
Shielding gas	-	80%Ar+20%CO_2
Mixer gas flow rate	l/min.	12
Filler diameter	mm	1.2
Current	A	130
Voltage	V	23.5
Welding speed	mm/min.	250

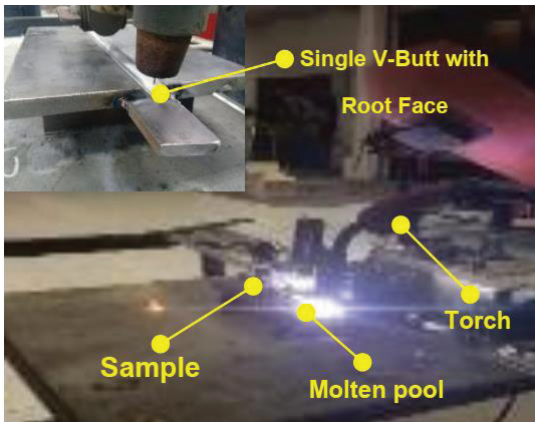


Figure 3 shows steps of AISI 1050 with the metal active gas welding process

การทดสอบความล้า

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมแล้วผ่านการอบอ่อนถูกนำมาเตรียมชิ้นงานทดสอบความล้าด้วยเครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (CNC) สำหรับการทดสอบความล้าจะเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E606 (American Society for Testing and Materials, 2012) (Figure 4) เพื่อวิเคราะห์จำนวนรอบต่อการเสียหายของชิ้นงานทดสอบ สำหรับความเค้นที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ 100, 200, 300, 400 และ 500 MPa ตามลำดับ โดยความเค้นทดสอบถูกกำหนดมาจากระดับที่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเดิม โดยเป็นการจำลองการรับความเค้นของชิ้นส่วนเพลาระดับที่แตกต่างกัน ดังแสดงขั้นตอนการทดสอบความล้าใน Figure 5



Figure 4 The specimen of fatigue follows ASTM E606 standard

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา

ชิ้นงานบางส่วนถูกเตรียมเพื่อนำไปตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา โดยตัดแบ่งชิ้นงานตามแนวขวางกับรอยเชื่อม การตัดแบ่งชิ้นงานใช้เลื่อยสายพาน และใช้น้ำหล่อเย็นระบายความร้อน เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคจากความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะตัดแบ่งชิ้นงาน จากนั้นขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายหยาบ เบอร์ 220, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ แล้วนำชิ้นงานไปขัดด้วยผ้าสักหลาดโดยใช้ผงขัดอะลูมินา (Alumina Oxide) ขนาด 0.05 ไมโครเมตร เป็นสารขัดผิวงานและชิ้นงานที่ได้หลังการขัดผิวนำไปกัดด้วยกรดผสม (Etching) ระหว่างกรดไนตริก ร้อยละ 2.5 ผสมกับแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ เวลาในการกัดกรด 5 วินาที สุดท้ายทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ แล้วใช้ลมร้อนเป่าให้ผิวหน้าชิ้นงานแห้ง ชิ้นงานที่เตรียมสำหรับตรวจสอบโครงสร้างเสร็จจะถูกนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ต่อไป

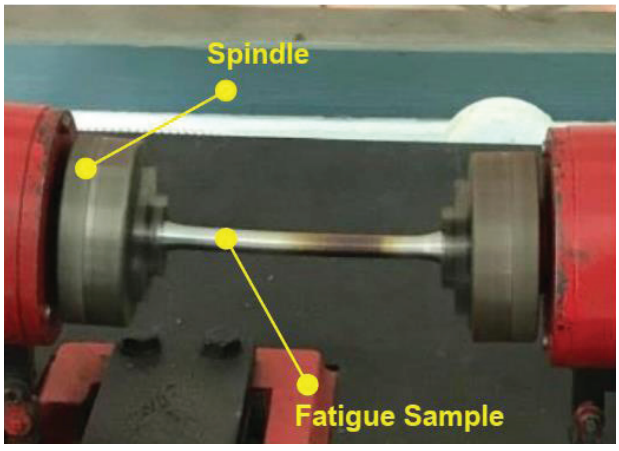


Figure 5 shows the step for fatigue test of AISI 1050 Steel

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการยืดอายุการล้าและโครงสร้างจุลภาคของเพลาเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ด้วยกรรมวิธีการอบอ่อนหลังการเชื่อมแก๊สปกคลุม สามารถแสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบความล้า

อายุการล้าที่ได้จากการทดสอบที่ความเค้นและอุณหภูมิอบอ่อนแตกต่างกันแสดงใน Table 3 ผลที่ได้ชี้ชัดว่าอุณหภูมิอบอ่อนกับอายุการล้าของเพลาเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 แปรผันตามกัน โดยแสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบอ่อนหลังการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุมที่อุณหภูมิอบอ่อนที่สูงมีแนวโน้มที่ดีต่อพฤติกรรมล้า สังเกตได้จากการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความเค้นทดสอบที่ 100 MPa แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย มีค่า 235,780 รอบ ในทางตรงกันข้าม การอบอ่อนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่ความเค้นทดสอบเดียวกัน พบว่าจำนวนรอบที่เกิดความเสียหายมีค่า 112,966 รอบ เนื่องจากการอบอ่อนที่อุณหภูมิสูง สามารถลดความเค้นตกค้างหลังการเชื่อม (Fan *et al.*, 2015)นอกจากนั้นเมื่อประเมินจำนวนรอบที่เกิดความเสียหายต่อความเค้นทดสอบในการทดลองอื่นๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเพลาที่ทดสอบด้วยความเค้นทดสอบสูงส่งผลให้เกิดวิบัติของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว สังเกตได้ว่าความเค้นทดสอบก็เป็นอีกสาเหตุของการวิบัติของชิ้นงาน (Das *et al.*, 2017) ดังแสดงใน Figure 6

Table 3 The values of stress and life cycle that cause damage

Stress (MPa)	Number of cycles that have been damage (rounds)			
	Not annealed	700 °C	800 °C	900 °C
100	109,853	112,966	177,802	235,780
200	44,881	46,398	55,329	76,126
300	5,333	6,640	7,687	10,755
400	2,728	3,354	4,561	6,564
500	1,110	1,350	1,412	2,190
Original metal	over 500,000			

หมายเหตุ: เนื้อโลหะเดิมทดสอบความเค้นที่ 500 MPa

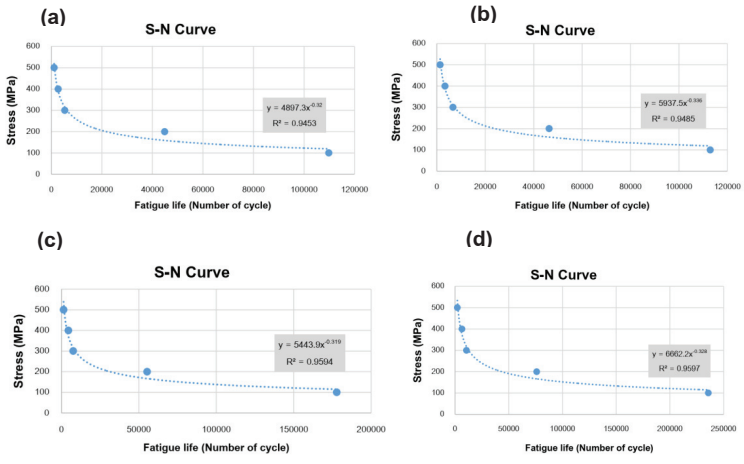


Figure 6 shows the relationship graphs of stress with fatigue life of AISI 1050 steel: (a) not annealing, (b) 700 °C, (c) 800 °C, and (d) 900 °C respectively

การวิเคราะห์อายุการล้าจะใช้สมการของ Basquin ซึ่งจะแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้น สามารถพิจารณาจากได้ด้วยสมการที่ 1 (Basquin, 1910)

$$\sigma_R = AN_R^B \quad (1)$$

สำหรับการพยากรณ์ทำนายอายุการล้าสามารถประเมินได้จากสมการที่ 2 (Das *et al.*, 2017)

$$N = 10^{\left(\frac{1}{b}\right)(\log\sigma - \log a)} \quad (2)$$

อายุการล้าของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อนแสดงในสมการที่ 3 และอายุการล้าของชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส แสดงในสมการที่ 4-6 ตามลำดับ

$$N = 10^{\left(\frac{1}{-0.32}\right)(\log\sigma - \log 4897)} \quad (3)$$

$$N = 10^{\left(\frac{1}{-0.336}\right)(\log\sigma - \log 5937)} \quad (4)$$

$$N = 10^{\left(\frac{1}{-0.319}\right)(\log\sigma - \log 5444)} \quad (5)$$

$$N = 10^{\left(\frac{1}{-0.328}\right)(\log\sigma - \log 6662)} \quad (6)$$

จากสมการที่ 3-6 สามารถนำไปพยากรณ์อายุการล้าของเพลาที่ทำจากเหล็กกล้า เกรด AISI 1050 ได้ จากการคำนวนแสดงให้เห็นว่าสามารถรับอายุการล้าเพิ่มขึ้นได้ 53.40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

ลักษณะผิวรอยแตก

จากการตรวจพินิจพบว่าจุดเริ่มต้นของรอยแตก(Initiation Crack) มีการขยาย มีการลุกลามเข้าไปในเนื้อวัสดุ (Propagation Crack) กระทั่งพื้นที่หน้าตัดไม่สามารถรับภาระจากความเค้นและนำไปสู่การแตกหักแบบทันทีทันใด (Overload) ซึ่งลักษณะการแตกที่ปรากฏเป็นพฤติกรรมการวิบัติจากการล้า ดังแสดงใน Figure 7

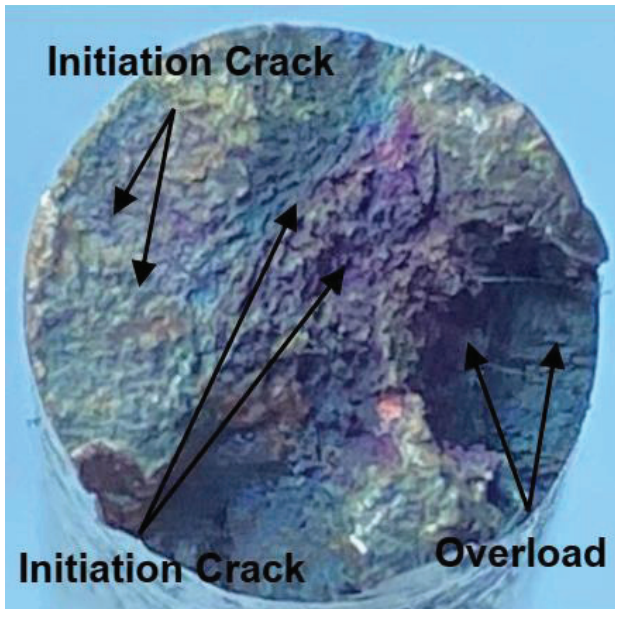


Figure 7 The fracture surface of AISI 1050 Steel

ลักษณะโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จะพิจารณาจากลักษณะเกรนบริเวณรอยเชื่อม (Weld Metal ; WM) และบริเวณอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affect Zone ; HAZ) เพื่อประเมินขนาดของเกรนและลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ตรวจสอบบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณอิทธิพลจากความร้อน ตรวจสอบด้วยกำลังขยาย 100 เท่า ผลการทดลองพบว่าเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1050 ที่ผ่านการเชื่อม แต่ชิ้นงานไม่ผ่านการอบอ่อนรอยเชื่อมมีโครงสร้างเฟอร์ไรต์ละเอียด (Ferrite) ขนาดความโตเกรนเฉลี่ยที่ 10.21 ไมโครเมตร (ลักษณะสีขาว) และมีโครงสร้างซีเมนไทต์ (Cementite) แทรกตัวระหว่างโครงสร้างเฟอร์ไรต์ (ลักษณะสีดำ) ดังแสดงใน Figure 8(a) ขณะที่บริเวณอิทธิพลจากความร้อนแสดงให้เห็นว่ามีเพิร์ลไลต์ (Pearlite) ลักษณะสีขาวสลับสีดำ ส่งผลให้บริเวณอิทธิพลจากความร้อนมีความแข็งสูง นำไปสู่การแตกหักแบบเปราะได้ง่าย (Sivam *et al.*, 2019) ซึ่งเกรนมีลักษณะที่หยาบ ขนาดของเกรนเฉลี่ยที่ 133.33 ไมโครเมตร ดังแสดงใน Figure 8(b) ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบความล้าแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานทดสอบมีการแตกหักบริเวณอิทธิพลจากความร้อน อย่างไรก็ตามเหล็กกล้า เกรด AISI 1050 ที่ผ่านการเชื่อม แต่ไม่ผ่านการอบอ่อนจะเกิดความเค้นตกค้างหลังจากการเชื่อมที่สูง ซึ่งเป็นอีกสาเหตุของการแตกหักแบบเปราะหลังการทดสอบความล้า (Lin *et al.*, 2008)

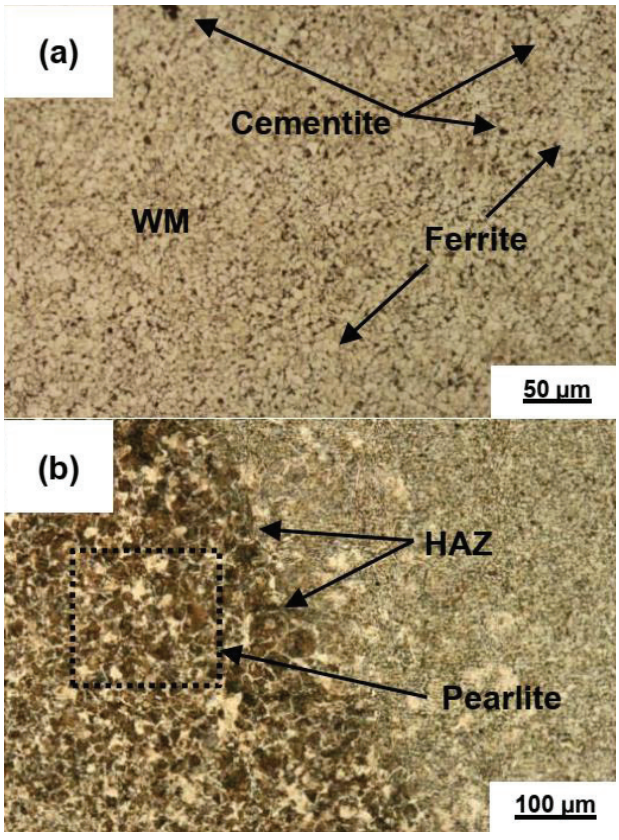


Figure 8 Shows the microstructure of the weld zone at not annealing

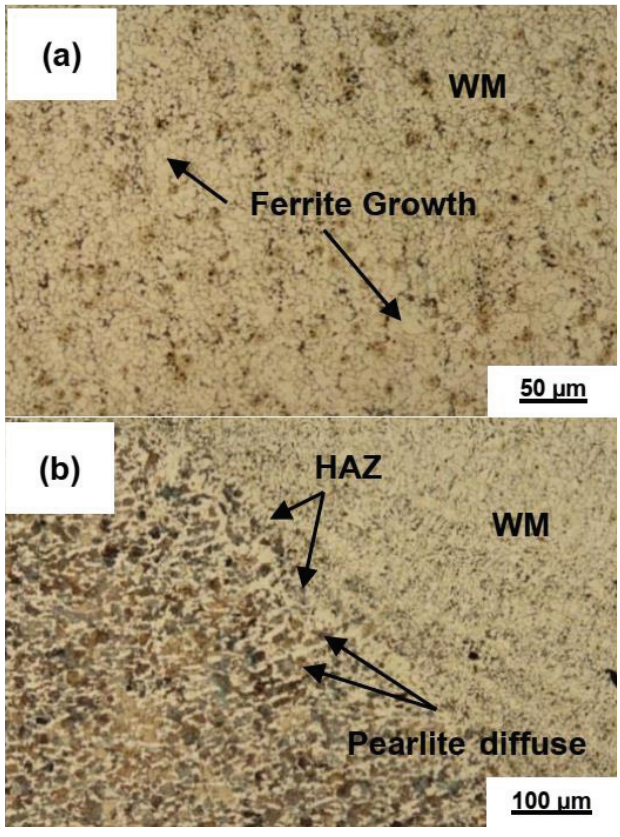


Figure 9 Shows the microstructure of the weld zone at 700 °C

Figure 9 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ที่ผ่านการอบอ่อนหลังการเชื่อมที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่าบริเวณรอยเชื่อมมีการเติบโตของโครงสร้างเฟอร์ไรต์ ขนาดเกรนเฉลี่ยที่ 16.66 ไมโครเมตร เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่อบอ่อน ดังแสดงใน Figure 9(a) ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบอ่อนทำให้เกิดพลังงานกระตุ้น นำไปสู่การเชื่อมต่อกันของเกรนบริเวณขอบเกรน ส่งผลให้เกรนมีขนาดที่โตขึ้น (Shibata *et al.*, 1996) ในทำนองเดียวกันโครงสร้างเพิร์ลไลต์บริเวณอิทธิพลจากความร้อนก็มีการเติบโตของเกรนเช่นกัน พบว่าขนาดของเกรนมีค่าเฉลี่ยที่ 211.07 ไมโครเมตร ดังแสดงใน Figure 9(b) โดยโครงสร้างเพิร์ลไลต์บางส่วนมีการตกตะกอนของสารละลายของแข็ง (Solid Solution) และละลายในบริเวณของขอบอิทธิพลจากความร้อนเข้าไปยังบริเวณรอยเชื่อม ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติทางด้านความแข็งเหนียวเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลที่ดีต่อการรับแรงกระทำแบบความล้า (Okuda *et al.*, 2019)

สังเกตได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนให้สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเติบโตของเกรนบริเวณรอยเชื่อมและทำให้โครงสร้างเพิร์ลไลต์บริเวณอิทธิพลจากความร้อนแพร่เข้าสู่รอยเชื่อม ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานมีความเหนียวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอบอ่อนสูงขึ้นทำให้โครงสร้างเฟอร์ไรต์ร่วมตัวและมีลักษณะเป็นแบบแผ่น ความร้อนทำให้อะตอมภายในวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ นำไปสู่การเชื่อมต่อกันบริเวณขอบเกรน (Grain Boundary) โดยการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่าบริเวณรอยเชื่อมโครงสร้างเฟอร์ไรต์มีขนาดเกรนเฉลี่ย 19.75 ไมโครเมตร ดังแสดงใน Figure 10(a) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่อบอ่อนและชิ้นงานที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 700 องศาสเซลเซียส พบว่าเกรนมีขนาดโตขึ้น ในขณะที่บริเวณอิทธิพลจากความร้อนพบว่าขนาดของเกรนมีค่าเฉลี่ยที่ 222.92 ไมโครเมตร ดังแสดงใน Figure 10(b) นอกจากนั้นการอบอ่อนที่อุณหภูมิสูงทำให้ชิ้นงานลดความเค้นตกค้างหลังจากการเชื่อม (Lin & Chang, 2010)

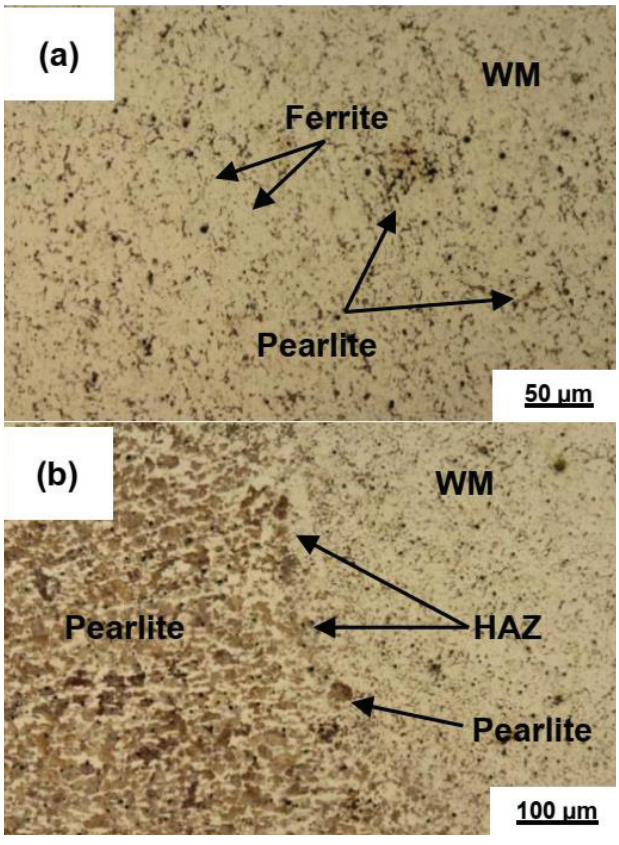


Figure 10 Shows the microstructure of the weld zone at 800 °C

โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 900 องศาเซลเซียส แสดงในรูป Figure 11 ผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเพิร์ลไลต์เริ่มมีการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ สังเกตได้จากโครงสร้างเพิร์ลไลต์แพร่เข้าสู่บริเวณรอยเชื่อมอย่างสมบูรณ์ โครงสร้างผสานเป็นเนื้อเดียวกันจนมีลักษณะสีเทา จากการวัดขนาดเกรนบริเวณรอยเชื่อมพบว่าขนาดเกรนเฉลี่ย 22.43 ไมโครเมตร ดังแสดงใน Figure 11(a) คล้ายๆ กัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเพิร์ลไลต์บริเวณอิทธิพลจากความร้อนก็มีการเติบโตของเกรนเช่นกัน พบว่าขนาดของเกรนมีค่าเฉลี่ยที่ 254.41 ไมโครเมตร ดังแสดงใน Figure 11(b) ซึ่งผลของโครงสร้างจุลภาคในทุกการทดลองมีทิศทางไปทางเดียวกัน จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการอบอ่อนที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้โครงสร้างทางโลหะวิทยาเปลี่ยนแปลงด้วย ผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคจะมีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางด้านความล้าด้วยเช่นกัน (Zhao *et al*., 2019) ซึ่งชิ้นส่วนเพลาเป็นชิ้นส่วนที่รับแรงกระทำจากการบิดตัวและรับภาระแบบความล้าที่ถูกกระทำแบบต่อเนื่อง จึงต้องการลักษณะของชิ้นงานที่มีความแข็งที่ผิวนอกและมีความเหนียวที่เนื้อด้านในวัสดุ(Zulmiardi & Meriatna, 2017) อย่างไรก็ตามการอบอ่อนที่อุณหภูมิสูงเกินไป อาจนำไปสู่การเสียรูปของชิ้นงานหรือการสูญเสียความแข็งแรง แต่จะได้สมบัติทางด้านความเหนียวเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะไม่ส่งผลในทางที่ดีต่อชิ้นส่วนรับแรงบิดได้เช่นกัน (Michel *et al.,* 2006)

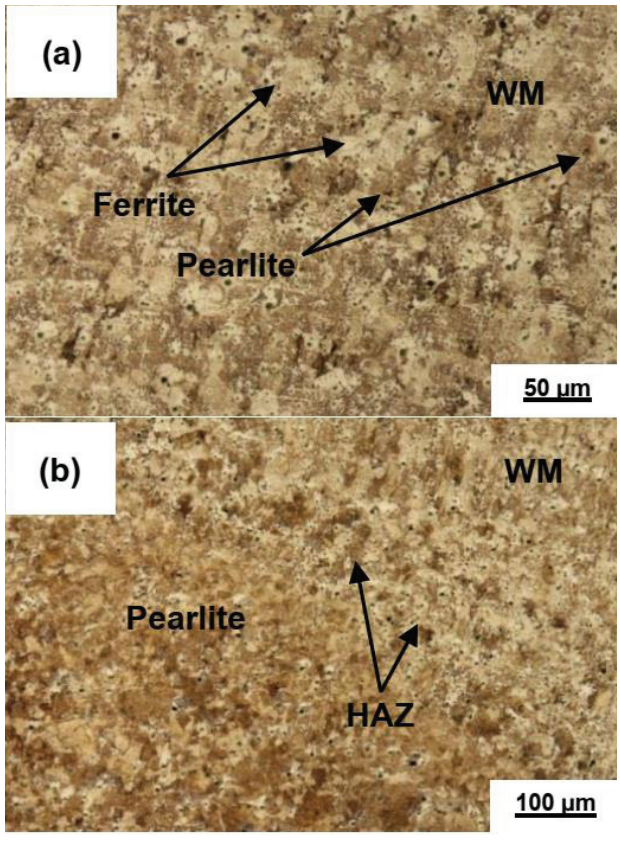


Figure 11 Shows the microstructure of the weld zone at 900 °C

สรุปผล

การศึกษาวิธีการยืดอายุการล้าและโครงสร้างจุลภาคของเพลาเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 ด้วยกรรมวิธีการอบอ่อนหลังการเชื่อมแก๊สปกคลุม สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

(1) โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณอิทธิพลจากความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากอบอ่อน โครงสร้างเฟอร์ไรต์มีการเติบโตของเกรนที่อุณหภูมิสูง พบว่าชิ้นงานหลังการเชื่อมในบริเวณรอยเชื่อมที่ไม่อบอ่อนมีขนาดเกรนเฉลี่ยที่ 10.21 ไมโครเมตร แต่เมื่อผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ขนาดเกรนจะโตขึ้นอยู่ที่ความยาว 22.43 ไมโครเมตร ในขณะที่บริเวณอิทธิพลจากความร้อนของรอยเชื่อมที่ไม่อบอ่อนมีขนาดเกรนเฉลี่ยที่ 133.33 ไมโครเมตร และการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกรนโตขึ้นเช่นกัน มีขนาดเกรนที่ 254.41 ไมโครเมตร ตามลำดับ

(2) ผลการทดสอบความล้าแสดงให้เห็นว่าภายใต้การทดสอบความล้าที่ภาระความเค้นทดสอบเดียวกัน การอบอ่อนชิ้นงานเพลาที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1050 อุณหภูมิอบอ่อนที่ 900 องศาเซลเซียส สามารถรับแรงล้าได้ 235,780 รอบ ก่อนการเสียหาย ซึ่งสามารถประเมินอายุการล้าได้จากสมการ $N = 10^{\left(\frac{1}{-0.328}\right)(\log\sigma - \log 6662)}$ และสามารถเพิ่มอายุการล้าได้ 53.40 เปอร์เซ็นต์

(3) ผิวรอยแตกหลังการทดสอบความล้ามีการขยายจากขอบชิ้นงานทดสอบ โดยมีการลุกลามเข้าไปในเนื้อวัสดุจนกระทั่งพื้นที่หน้าตัดที่เหลือไม่สามารถรับภาระความเค้นทดสอบได้ จึงเกิดการแตกหักแบบทันทีทันใด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการทดลองวิจัยจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาและได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบความล้าจากสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา ซึ่งทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials. (2012). *ASTM E606/E606M-12, Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing*, American Society for Testing and Materials.

American Welding Society. (2010). *Structural welding code-steel. AWS D1.1 D1.1M:2010 (22nd Edition).* An American National Standard.

Basquin, O.H. (1910). “The exponential law of endurance tests: American Society of Testing Materials”. *ASTM,10*, 625-630.

Cryderman, R., Shamsaei, N. & Fatemi, A. (2011). “Effects of continuous cast section size on torsion deformation and fatigue of induction hardened 1050 steel shafts”. *Journal of Materials Processing Technology, 211*(1), 66-77.

Das, B., Bakkar, A., Khutia, N. & Das, D. (2017). “Low Cycle Fatigue Performance Evaluation of TMT rebar.” *Materials Today: Proceedings, 4*(2), 2554-2563.

Fan, K.L., Liu, X. S., He, G.Q., Cheng, H., & Zhang, Z. (2015). “Influences of strain rate on the low cycle fatigue behavior of gravity casting Al alloys”. *Materials Characterization, 107*, 239-248.

Kumar, P. & Singh. A. (2014). “Experimental and numerical investigation of strain rate effect on low cycle fatigue behaviour of AA 5754 alloy”. *Materials Science and Engineering, 364*, 1-7.

Lin, C.Y. & Chang, K.Y. (2010). “Elucidating the microstructure and wear behavior of tungsten carbide multi-pass cladding on AISI 1050 steel”. *Journal of Materials Processing Technology, 210*(2), 219-225.

Lin, C.Y. ; Hung, J.P. & Hsu, T.C. (2008). “Failure Analysis of Reverse Shaft in the Transmission System of All-Terrain Vehicles”. *Journal of Failure Analysis and Prevention, 8*, 75–80.

Michel, S., Kieselbach, R. & Martens, H. (2006). “Fatigue strength of carbon fibre composites up to the gigacycle regime (gigacycle-composites),” *International Journal of Fatigue, 28*(3), 261-270.

Okuda, K., Ogawa K. & Ichikawa Y. (2019). “Influence of microstructure on fatigue property of ultra-high-strength steels”. *Frattura ed Integrità Strutturale, 48*, 125-134.

Peasura, P. & Sumarn, L. (2013). “Effect of Post Weld Heat Treatment on Carbon Steel AISI 1050 in Heat Effected Zone”. *Advanced Materials Research, 650*. 612-615.

Sivam S.P.S.S., Loganathan, G.B., Umasekar, V.G., Kumar, P.S.S. & Raja, S. (2019). “Study on Microstructural Characteristics and Mechanical Behaviour of AISI1050 Steel under Various Heat Treatments”. *International Journal of Vehicle Structures & Systems, 11*,15-20.

Sari, N.Y & Yilmaz, M. (2006). “Investigation of abrasive + erosive wear behaviour of surface hardening methods applied to AISI 1050 steel”. *Materials & Design, 27*(2), 470-478.

Shibata, H., Tokaji, K., Ogawa, T. & Shiota, H. (1996). “Microstructure dependence of fatigue strength and fatigue crack propagation in titanium aluminide”. *International Journal of Fatigue, 18*(2), 119-125.

Shiozaki, T., Tamai, Y. & Urabe, T. (2015). “Effect of residual stresses on fatigue strength of high strength steel sheets with punched holes”. *International Journal of Fatigue, 80*, 324-331.

Sitthipong, S., Towatana, Sitticharoenchai, P. & Meengam, C. (2017). "Abrasive Wear Behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel". *Materials Today: Proceedings, 4*, 1492–1499.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A. & Meengam, C. (2017)."Fatigue Life Evaluation of Weld Surfacing LB 52 Grade". *Key Engineering Materials, 744*, 259-263.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A. & Meengam, C. (2016). "Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding," *Materials Science Forum, 872*, 62-66.

Zhao, Z., Xu, P.F., Cheng, H., Miao, J. & Xiao, F.R. (2019). "Characterization of Microstructures and Fatigue Properties for Dual-Phase Pipeline Steels by Gleeble Simulation of Heat-Affected Zone". *Materials, 12*(12), 1-13.

Zulmiardi & Meriatna. (2017). "Study on Impact Strength Against Welding Smaw on Hardening Steel AISI 1050". *Emerald Publishing Limited, 1*, 259-264.