



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตรังสิต

กระบวนการการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนขนาดหนา 22 มิลลิเมตร Welding Process for Carbon Steel, 22 mm Thickness

ณัฐกิจ ฮั่วะจินดา¹, พงศกร วังไฉ¹, เอกรินทร์ มณีรัตน์¹, สมภพ ทิมดิษฐ์¹, วิศรุต ถวิลวงศ์สุริยะ¹, ชัยพล ผ่องพลีศาล¹,
สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ² และ ชานนท์ มุลวรรณ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Nattakit Huajinda¹, Phongsakron wangnai^{1*}, Ekarin Maneerat¹,
Saharat Wongsrisa², Chanon Moolwan¹, Somphob Timdit¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University

²Department of Sustainable Industrial Engineering Management, Faculty of Engineering, Rajamangla
University of Technology Phra Nakhon

E-mail1* : phongsakron_w@renewcoils.com E-mail2* : saharat_w@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของแนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516 Gr.60 ที่มีความหนา 22 มิลลิเมตร โดยการเชื่อมเป็นแบบ TIG ใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน ER-70S-6 ใช้กระแส 115 แอมแปร์และเชื่อมไฟฟ้า ใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน E7016 ใช้กระแส 155 แอมแปร์ ชิ้นงานมีขนาด 650x300x22 มิลลิเมตร บากมุม 35 องศา จำนวน 2 ชิ้น การเชื่อมชิ้นงานต่อชนทำราบ เมื่อเชื่อมเสร็จนำไปทำการทดสอบ เอกซเรย์ ว่ามีปริมาณรูพรุนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นจะนำชิ้นงานไปทดสอบ 2 เงื่อนไข เงื่อนไขแรกนำชิ้นงานอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 610 C° นาน 1 ชั่วโมง โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย เฟส เฟอร์ไรต์และเพอร์ไรต์ ความแข็งบริเวณ Base metal 139.66 HV บริเวณ HAZ 183.41 HV บริเวณ Weld metal 169.31 HV ความแข็งแรงดึง 504 MPa เงื่อนไขที่สอง โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส เฟอร์ไรต์และเพอร์ไรต์ ความแข็งบริเวณ Base metal 199.75 HV บริเวณ HAZ 208.98 HV บริเวณ Weld metal 200.53 HV ความแข็งแรงดึง 529 MPa จากผลการทดสอบพบว่าเงื่อนไขทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของ ASME SECTION IX
คำสำคัญ: เหล็กกล้าคาร์บอน บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน เหล็กกล้า

Abstract

This research is to study the microstructure and mechanical properties of the ASTM A516 Gr.60 carbon steel welding rod with a thickness of 22 millimeters, using TIG welding, using ER-70S-6 standard welding wire using 115 amperes and electric welding. Using welding wire according to E7016 standard, using 155 Ampere current, the workpiece has the dimension of 650x300x22 mm, notching 35 degrees, amount 2 pieces. Welding workpiece to the flat post. After the welding is done, the x-ray test will show that the whole quantity is acceptable. After that, the workpieces will be divided into 2 conditions. First, the workpieces are heated to 610 C° for 1 hour. The result is the microstructure in pearl and ferrite phase. Hardness at the base metal 139.66 HV at the HAZ 183.41 HV at the Weld metal 169.31 HV with tensile strength 504 MPa. The specimen that is broken in the HAZ area because it is the most stiff. Second



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
 The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
 วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตรังสิต

condition. The result, the microstructure is in phase Pearl Lite and Ferrite Hardness at the base metal 199.75 HV at HAZ 208.98 HV at Weld metal 200.53 HV. Tensile strength 529 MPa. Test specimen fracture at HAZ due to being the most stiff area. The test results show that both conditions are within acceptable criteria according to the standard of ASME SECTION IX.

Keywords: Carbon steel, Heat affected area, Steel

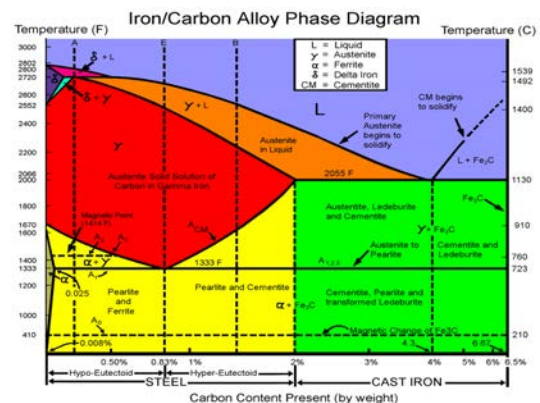
1. บทนำ

ที่มาของการทดสอบแนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนหนา 22 มิลลิเมตร เนื่องจากทางบริษัทรีนิวคอยส์ เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ ซัพพลาย จำกัด ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516 Gr.60 ในการประกอบเชื่อมฐาน Support สำหรับรองท่อในโรงงานอุตสาหกรรมตามมาตรฐานของ ASME SECTION IX ปี 2012 ทางมาตรฐานของ ASME การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนา 20 มิลลิเมตรขึ้นไป ต้องทำการให้ความร้อนหลังการเชื่อม(PWHT) แต่เมื่อ ปี 2016 ทางมาตรฐานของ ASME ปรับเปลี่ยนกระบวนการใหม่โดยการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนา 20 มิลลิเมตรขึ้นไปไม่ต้องทำการให้ความร้อนหลังการเชื่อม(PWHT) ดังนั้นจึงทำการวิจัยและกำหนดวิธีการทำงานใหม่เพื่อยืนยันกับผู้ว่าจ้างว่าสามารถใช้งานได้ตามที่ ASME SECTION IX ปี 2016 กล่าวไว้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คณะ วรรณโท [1] ให้จำกัดความว่า หลักการเชื่อมแบบทิก (TIG) เป็นหลักการทั่วไปคล้ายกับการเชื่อมโลหะ กล่าวคือ ความร้อนที่ทำให้โลหะหลอมละลายนั้นเกิดจากการอาร์ค ระหว่างอิเล็กโทรด Tungsten Electrode กับชิ้นงาน ขณะเดียวกันบริเวณที่เกิดจากการอาร์คจะมีแก๊สเฉื่อย Inert Gas ปกคลุมรอบบริเวณนั้น เพื่อป้องกันออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้นซึ่งเป็นอากาศ เข้ามารวมกับโลหะที่กำลังหลอมละลาย เรียกว่า การเติมออกซิเจน Oxidation จนกระทั่งความร้อนจากการอาร์คหลอมละลายชิ้นงาน เกิดบ่อหลอมละลาย Puddle เมื่อบ่อหลอมละลายเกิดขึ้น ณ บริเวณรอยต่อ จึงทำให้ขอบของชิ้นงานหลอมละลายติดกัน แต่เนื่องจากทั้งสแตนอิลิกโทรดเป็นวัสดุที่ไม่ละลายเติมเป็นเนื้อโลหะเชื่อม และสิ้นเปลือง คัดซ์ซึ่ จันทศรี และคณะ [2] ให้จำกัดความว่า การเชื่อมแก๊สเฉื่อยปกคลุมรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมในงานโครงสร้างอุตสาหกรรม

ผลิตน้ำตาล กระแสที่เชื่อมที่ดีที่สุดคือ 110 A แก๊สปกคลุมที่ดีที่สุดคือ Ar 80% + CO220% ความเร็วในการเชื่อมที่ดีที่สุดคือ 400mm/min โดยให้ค่ารับแรงดึงที่ดีที่สุดที่ 448 MPa ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ตัวแปรการเชื่อมดังกล่าวส่งผลต่อการหลอมละลายและการถ่ายโอนน้ำโลหะระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน และแก๊สปกคลุมช่วยให้การอาร์คมีความสมบูรณ์ จงกล ศรีธร [3] ศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์หลอมเหลว ให้คำจำกัดความว่า กรรมวิธีการเชื่อมโลหะแบบทิก (TIG - GTAW) คือ ความร้อนที่ทำให้โลหะหลอมละลายนั้นเกิดจากการอาร์คระหว่างแท่งทั้งสแตนอิลิกโทรด (Tungsten electrode) กับชิ้นงาน ขณะเดียวกันนั้น บริเวณที่เกิดการอาร์คจะมีแก๊สเฉื่อย(Inert gas) ปกคลุมบริเวณนั้นเพื่อป้องกันออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้นในอากาศเข้ามารวมกับโลหะที่กำลังหลอมละลาย ซึ่งเรียกว่า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจนกระทั่งความร้อนจากการอาร์คหลอมละลายโลหะชิ้นงานในบริเวณดังกล่าวจนเกิดเป็นบ่อหลอมละลาย ดังนั้น เมื่อบ่อหลอมละลายเกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อใดๆ ก็จะทำให้ชิ้นงานนั้นหลอมติดกัน



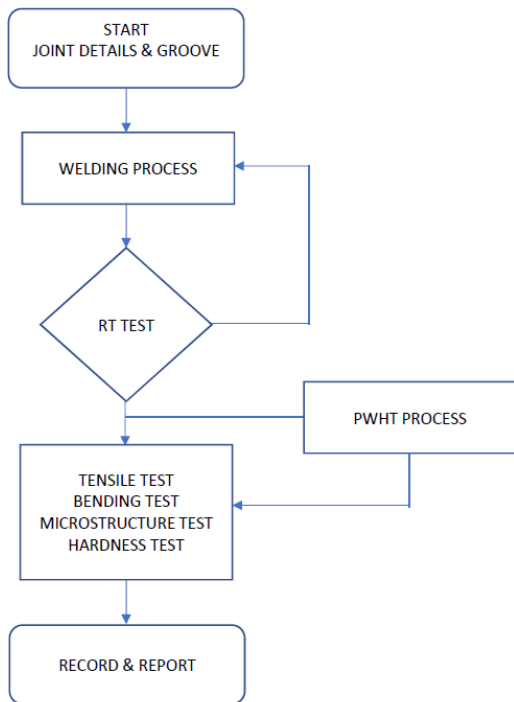
ที่มา: <http://nongcom-basic.blogspot.com/2014/10/materials.html>



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า

3.วิธีการดำเนินงาน

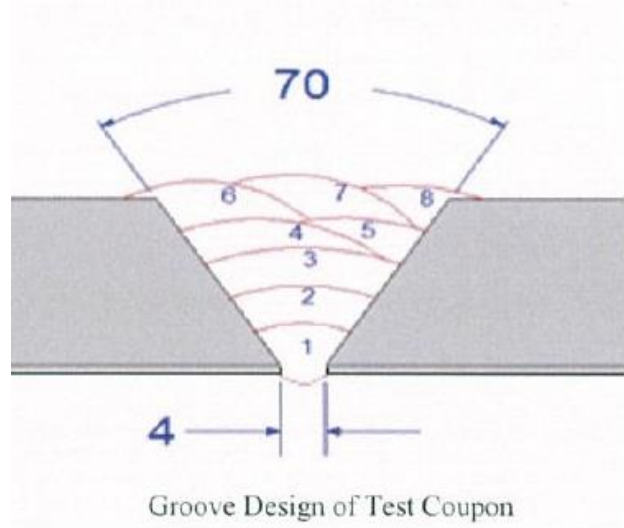
3.1 Flow chart (การดำเนินงาน)



รูปที่ 2 รูปภาพแสดงขั้นตอน การดำเนินงานและทดสอบ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ในการศึกษาสมบัติเชิงกล การล้าของแนวเชื่อม และ โครงสร้างจุลภาค เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516 Gr.60 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม TIG และ ไฟฟ้า ดังนี้

- การออกแบบเพื่อการทดลอง
- การเชื่อมชิ้นงานด้วย TIG และ ไฟฟ้า
- การอบชิ้นงานที่ 610 C° นาน 1 ชั่วโมง
- การตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยการเอกซเรย์
- การทดสอบโครงสร้างจุลภาค ทดสอบความแข็งแรงดึง และ ทดสอบการล้า แนวเชื่อมที่ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASME SECTION IX



รูปที่ 3 รูปภาพแสดงแนวรอยเชื่อมในการทดสอบ

นำเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516 Gr.60 มาทำให้ได้ขนาด 650x300x22 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้นทำการเตรียมรอยต่อด้วยกระบวนการปาดหน้าด้วยเครื่อง Milling เป็นรอยบากแบบ Single V-Groove มุมรอยบาก 70 องศา

การเชื่อม TIG และ ไฟฟ้า
ทำการเชื่อม TIG ในชั้น ROOT PASS และ เชื่อมไฟฟ้าในชั้นตอนของ HOT PASS , FILL PASS และ COVER PASS ให้เต็มแนวเชื่อม



รูปที่ 4 รูปภาพแสดงวิธีการเชื่อมชิ้นงานในท่าราบ



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตรังสิต



รูปที่ 5 รูปภาพแสดงชิ้นงานหลังเชื่อม

เอกซเรย์เพื่อตรวจสอบแนวเชื่อม และอบชิ้นงานที่ 610 C° นาน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 6 รูปภาพชิ้นงานก่อนทำการอบ 610 C° นาน 1 ชั่วโมง

ชิ้นงานที่ทำการทดสอบ

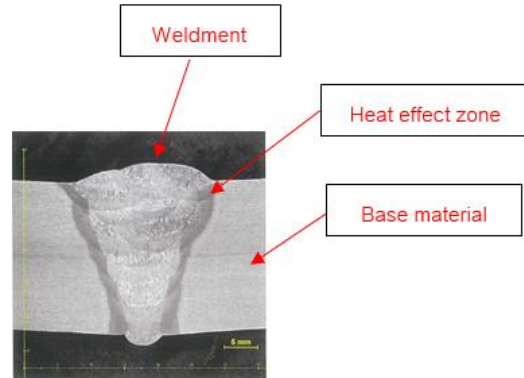
ชิ้นงานที่ทำ Post weld heat treatment และที่ไม่ได้ทำ Post weld heat treatment เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของโครงสร้าง

4.การทดสอบและการอภิปรายผล

การทดสอบโครงสร้างมหภาค Macrostructure Investigation

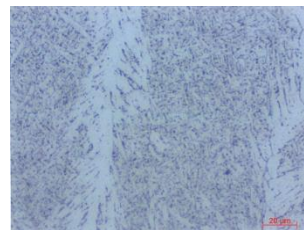
เป็นการทดสอบทางกายภาพหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่าจุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูความสมบูรณ์ของการเชื่อม ความแตกต่างรูปร่างของงานเชื่อม การแบ่งเขตชั้นของรอยเชื่อม การหลอมลึก ความกว้าง

ของบริเวณที่ได้รับความร้อน ตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่าง ๆ กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E304



รูปที่ 7 รูปภาพผลการทดสอบMacrostructure

การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค Microstructure Investigation กระทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนจะสามารถขยายได้สูงถึง 100,000 เท่าหรือมากกว่านี้ จุดประสงค์คือการศึกษาการกระจายตัวและลักษณะของเกรนโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อม เขตอิทธิพลที่ได้จากความร้อน HAZ และบริเวณโลหะเดิม BM การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบโครงสร้างจุลภาค กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E407



รูปที่ 8 รูปภาพผลการทดสอบMicrostructure

การทดสอบแรงดึง Tensile Testing

ทดสอบแรงดึงในแนวตามยาวของเนื้อเชื่อม All Weld Metal โดยใช้ชิ้นงานทดสอบแบบลดขนาด เนื้อเชื่อมต้องเตรียมจากงานเชื่อมต่อจนจุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงของงานเชื่อม Strength of Weld และ



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า

สมบัติทางกลด้านอื่น ๆ ความแข็งแรงที่จุดคราก Yield Strength เปอร์เซ็นต์การยืดตัว Percent Elongation การเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M:2006 วิธีการทดสอบงานวิจัยนี้ตามมาตรฐาน ASTM E8



รูปที่ 9 รูปภาพการทดสอบ Hardness Testing

การทดสอบความแข็ง Hardness Testing

การวัดความแข็งด้วยหัวกดเพชรมีลักษณะเป็นรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา เป็นเวลา 5 - 10 วินาที สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะเนื้อนิ่มมาก ที่มีค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/cm² ไปจนถึงโลหะที่มีความแข็งมากๆ ประมาณ 1,500 kgf/cm² โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด เปลี่ยนเฉพาะแรงกดเท่านั้น การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบกำหนดตามมาตรฐาน ASTM E92

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม

Sample NO. 656-62-1 HV Test Location	Hardness Value			
	Point No.	Line 1	Point No.	Line 2
Base metal of Left Side	1	145.3	16	149.8
	2	150.1	17	151.5
	3	151.4	18	155.0
Heat Affected Zone (HAZ) Left Side	4	235.4	19	170.9
	5	268.2	20	180.9
Weld Metal	6	289.7	21	200.3
	7	198.7	22	196.2
	8	202.7	23	103.1
Heat Affected Zone (HAZ) Right Side	9	210.2	24	192.3
	10	232.5	25	190.5
	11	195.5	26	180.9
Base metal of Right Side	12	188.2	27	174.9
	13	148.9	28	151.6
	14	148.3	29	151.8
	15	146.9	30	150.6

5. สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516 Gr. 60

เงื่อนไขแรกนำชิ้นงานอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 610 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง ผลที่ได้โครงสร้างจุลภาคอยู่ในเฟส เฟอร์ไรต์และเพอร์ไรต์ ความแข็งบริเวณ Base metal 139.66 HV บริเวณ HAZ 183.41 HV บริเวณ Weld metal 169.31 HV ความแข็งแรงดึง 504 MPa ชิ้นงานที่ทดสอบแตกหักบริเวณ HAZ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความแข็งมากที่สุดเงื่อนไขที่สอง ผลที่ได้โครงสร้างจุลภาคอยู่ในเฟส เฟอร์ไรต์และเพอร์ไรต์ ความแข็งบริเวณ Base metal 199.75 HV บริเวณ HAZ 208.98 HV บริเวณ Weld metal 200.53 HV ความแข็งแรงดึง 529 MPa ชิ้นงานที่ทดสอบแตกหักบริเวณ HAZ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความแข็งมากที่สุด จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคพบว่าการทดสอบทั้งสองเงื่อนไขอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของ ASME SECTION IX แต่ชิ้นงานที่ผ่านการอบให้ความร้อน จะทนแรงดึงได้มากกว่า เนื่องจากมีความแข็งแรงลดลงและมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้น ชิ้นงานที่ผ่านการอบให้ความร้อนจึงเหมาะกับการใช้งานในงานอุตสาหกรรมมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณ อ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ, ผศ.ชานนท์ มูลวรรณ และ อ.สมภพ ทิมดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำในการดำเนินโครงการ และช่วยให้โครงการดังกล่าวนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะวิศวกรรมศาสตร์, การเชื่อมโลหะด้วยวิธี TIG; กรุงเทพมหานคร: สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2543
- [2] ศักดิ์ชัย จัมทศรี, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และสุรัตน์ ตรียวนพงศ์, การเชื่อมแก๊สเฉื่อยปกคลุมรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมในโรงงานสร้างอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล หน่วยงานภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า

- [3] จงกล ศรีธรร การศึกษาผลกระทบของกระบวนการ
เชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอก ผิวแข็ง
เหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์หลอมเหลว
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
2558