



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

## การศึกษาสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กหล่อเทาเกรด FC300 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบหุ้มฟลักซ์

Study the mechanical properties and microstructural of welding cast iron  
FC300 by the electric welding processes with covered electrode

นายธนากร เขมเกษม<sup>1</sup> นายศุภณัฐ ขวัญวิเชียร<sup>2</sup>  
ชานนท์ มุลวรรณ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

Thanakorn Khemkasem<sup>1</sup> supanat Kwanvichern<sup>2</sup>

E-mail : [tanakorn.th1985@gmail.com](mailto:tanakorn.th1985@gmail.com)<sup>1</sup> E-mail : [ratman001@hotmail.co.th](mailto:ratman001@hotmail.co.th)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กหล่อเทาเกรด FC300 ด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมแบบหุ้มฟลักซ์ ใช้ลวดเชื่อมเหล็กหล่อ MG210 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 90 แอมแปร์ การเชื่อมมี 2 เงื่อนไขได้แก่การให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 500°C และ 600°C การตรวจสอบหลังเชื่อมพบว่าการให้ความร้อนก่อนเชื่อม นั้นไม่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค บริเวณเนื้อโลหะ(Base metal) โครงสร้างประกอบด้วยเฟสของแกรไฟต์ ล้อมรอบไปด้วยเฟอร์ไรต์ บริเวณผลจากความร้อน(Heat effect zone) ประกอบด้วยเฟสเฟอร์ไรต์และแกรไฟต์ บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld zone) ประกอบด้วยเฟสของยูเทคติกและเหล็กคาร์ไบด์กระจายอยู่ในออสเทนไนต์ ซึ่งงานที่ให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิ 500°C ความแข็งเฉลี่ยบริเวณเนื้อโลหะ(Base metal) 208 HV ความแข็งเฉลี่ยบริเวณผลจากความร้อน(Heat effect zone) 200 HV ความแข็งเฉลี่ยบริเวณเนื้อแนวเชื่อม(Weld zone) 166 HV ความแข็งแรงดึงเฉลี่ย 122 N/mm<sup>2</sup> และความเหนียวต้านแรงกระแทกพลังงานที่ดูดซับเฉลี่ย 2.2 จูล ซึ่งงานที่ให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิ 600°C ความแข็งเฉลี่ยบริเวณเนื้อโลหะ(Base metal) 292 HV ความแข็งเฉลี่ยบริเวณผลจากความร้อน(Heat effect zone) 264 HV ความแข็งเฉลี่ยบริเวณเนื้อแนวเชื่อม(Weld zone) 167 HV ความแข็งแรงดึงเฉลี่ย 173 N/mm<sup>2</sup> และความเหนียวต้านแรงกระแทกพลังงานที่ดูดซับเฉลี่ย 6.2 จูล จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิ 600°C ให้สมบัติทางกลทางด้านความแข็ง ความแข็งแรงดึงและความเหนียวต้านแรงกระแทกที่ดีกว่าการให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่ 500°C

คำหลัก : เหล็กหล่อเทา, ความแข็ง, ความแข็งแรงดึง, ความเหนียวต้านแรงกระแทก



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

## Abstract

This research has studied the mechanical properties and microstructural of welding cast iron FC300 by the electric welding processes with covered electrode. Using cast iron MG210 diameter 3.2 mm. and use electrical current to weld 90 amperes. The welding has 2 conditions include heating before welding at the temperature difference 500°C, and 600°C Checking after the welding found that heating before welding does not affect the microstructural base metal. The structure consists of a phase of graphite surrounded by pearlite. The Heat effect zone consists of the phase pearlite and graphite. Weld zone consists of phase of eutectic and carbide steel disperses in the austenite. Workpiece heating before welding temperature of 500°C, the average hardness in Base metal 208 HV. The average hardness of Heat effect zone 200 HV, the hardness of the surfaces Weld zone 166 HV. Tensile strength averaged 122 N/mm<sup>2</sup> and the toughness impact resistance energy absorption average of 2.2 joules. Workpiece heating before welding at a temperature of 600°C, the average hardness in Base metal 292 HV. The average hardness of Heat effect zone 264 HV, the average hardness of the surfaces Weld zone 167 HV, tensile strength averaged 173 N/mm<sup>2</sup> and toughness impact resistance energy absorption average of 6.2 joules. It can be seen that the heat before welding temperature 600°C on the mechanical properties of hardness, tensile strength and toughness impact resistance better heat before welding of 500°C

Keywords: cast iron, hardness, tensile strength, toughness impact resistance

## 1. บทนำ

เนื่องจากสมบัติทั่วไปของเหล็กหล่อเทา มีความแข็งแรงไม่สูงสามารถกลึงไส ตกแต่งให้ได้ขนาดตามต้องการได้ง่าย มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ และมีความสามารถในการไหลดีสามารถหล่อให้ได้รูปร่างชนิดซับซ้อนได้ง่าย [1] มีอัตราการขยายตัวน้อย สามารถใช้ทำส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ต้องการรูปร่างและขนาดที่แน่นอน มีความต้านทานต่อแรงอัด และรับการสั่นสะเทือนได้ดี[2] ใช้ทำแท่นรองรับอุปกรณ์เครื่องมือกลต่างๆ และสามารถที่จะปรับปรุงสมบัติความต้านทานแรงดึงได้มากขึ้นอยู่กับการ

ปรับปรุงส่วนผสมและการอบชุบทำให้ใช้งานได้กว้างขวาง เนื่องจากเหตุผลข้างต้นที่กล่าวมาแล้วปัจจุบันเหล็กหล่อเทาถูกจึงถูกนำมาใช้งานอุตสาหกรรมเนื่องจากมีราคาถูก และมีสมบัติในการใช้งานที่ดีได้แก่ ความสามารถในการหล่อขึ้นรูปมีความแข็งแรงในการรับแรงกด มีความต้านทานต่อการสึกหรอได้ดีและมีสมบัติเป็นตัวรองรับน้ำหนักที่ดี แต่เหล็กหล่อมีสมบัติในการรับแรงกระแทกไม่ดีและมีความสามารถในการยึดตัวได้ต่ำ มักก่อให้เกิดความเสียหายเหล็กหล่อเทาเกิดการแตกร้าวอันเนื่องจากการรับภาระแรงที่มากกระทำ[3]



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

เมื่อเกิดปัญหาด้านการแตกร้าว แนวทางการแก้ไขอยู่มากมายแต่หลัก ๆ พบว่ามีอยู่ 3 วิธี วิธีการแรกคือการเชื่อมซ่อมแซมรอยแตกร้าว การเชื่อมเพิ่มเนื้อขึ้นงาน วิธีการที่สองคือการติดตั้งโครงสร้างเสริมโดยการออกแบบโครงสร้างอื่นเพื่อมายึดติดและวิธีการการทำให้ขึ้นใหม่ทดแทน ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เพราะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าวิธีอื่น การแก้ไขด้วยวิธีการเชื่อมซ่อมแซมมักเป็นแนวทางเลือกลำดับแรก การเชื่อมเหล็กหล่อมักเกิดปัญหาในการเชื่อมเหล็กหล่อเป็นผลจากปริมาณคาร์บอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และออกซิเจน ในเหล็กหล่อมมีปริมาณที่สูง ความเหนียว (Toughness) ต่ำ ความไม่ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหล่อ[4] ขณะที่ทำการเชื่อมความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณโลหะฐาน (Base Metal) ไปจนถึงเนื้อเชื่อม (Weld Metal) มีอุณหภูมิสูงสุด และการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในบริเวณผลที่กระทบความร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) คาร์บอนจะรวมเหล็กเกิดเป็นซีเมนต์ไทต์ (cementite) หรือเหล็กคาร์ไบด์ เมื่อนำชิ้นงานไปใช้งานภายใต้ภาระต่าง ๆ โครงสร้างดังกล่าวที่ผ่านกระบวนการเชื่อมซ่อมแซมจะเป็นจุดเริ่มของการแตกหักจนส่งผลก่อให้เกิดปัญหาขึ้นได้[5]

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเชื่อม ใช้กระบวนการการเชื่อมอาร์คด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ (SMAW: Shield Metal Arc Welding) ชนิดแรงดึง MESSER MG210 (C=0.7, Ni=54, Fe & others (Balance)) ใช้วัสดุเหล็กหล่อเทาเกรด FC300 เป็นวัสดุสำหรับงานวิจัย โดยการหล่อขึ้นงานและทำการแมชชีนให้ได้ขนาดความกว้าง 300 มม. ยาว 400 มม.หนา 10 มม. จำนวน 4 ชิ้น โดย 2 ชิ้น เป็นการให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส อีก 2 ชิ้นเป็น

การให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส เชื่อมขึ้นงานชนิดแบบต่อชน ใช้กระแสไฟในการเชื่อม 90 แอมป์ เท่ากันทั้งสองอุณหภูมิ

2.2 การตรวจสอบแนวเชื่อมโดยการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึมชนิดย้อมสี (Penetrant Testing : PT)

2.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (Metallurgical Examination) ตามมาตรฐาน ASM Handbook Vol.9-2004 นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคที่บริษัท Testing Laboratory LPN Plate Mill Public Company Limited.

2.4 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล

1) การทดสอบความแข็ง (Vickers Micro Hardness Testing) ตามมาตรฐาน ASM E Sec IX:2017 ใช้แรงในการกด 10 วินาที และมีระยะระหว่างจุด 2 มม. กึ่งกลางรอยเชื่อม

2) การทดสอบการต้านแรงดึง (Tension Test) ตามมาตรฐาน ASM E Sec IX:2017 ขึ้นทดสอบแรงดึง Tension Testing หลังจากที่ได้ทำการเชื่อมเสร็จแล้ว นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการ Wire Cut ให้ได้ขนาดตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของประเทศสหรัฐอเมริกา หมายเลข รหัส ASME Section IX ว่าด้วย Welding and Brazing Qualification แล้วนำไปทดสอบ 3 ชิ้น ด้วยเครื่องทดสอบ Shimadzu UH-200A / 3209826

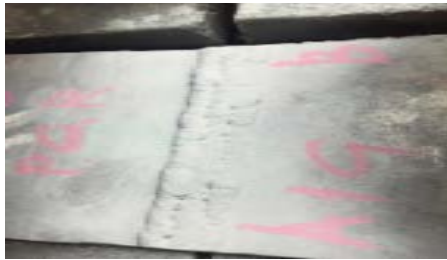
3) การทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact Test) ตามมาตรฐาน ASME BPVC IX: 2017 หลังจากที่ได้ทำการเชื่อมเสร็จ นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการ Wire Cut ให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน แล้วนำไปทดสอบ 3 ชิ้น ด้วยเครื่องทดสอบ Tinius Olsen-84/173009



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสารแทรกซึม

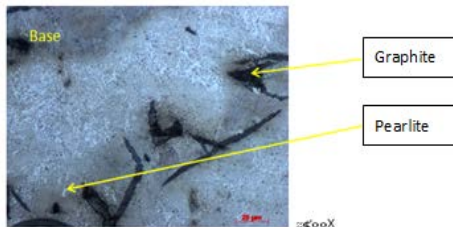


ภาพที่ 1 การตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสารแทรกซึม

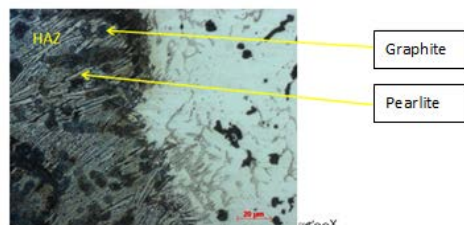
การตรวจสอบแนวเชื่อมผลไม่พบจุดบ่งชี้ใดๆ ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐานการตรวจสอบของรอยเชื่อม

#### 3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

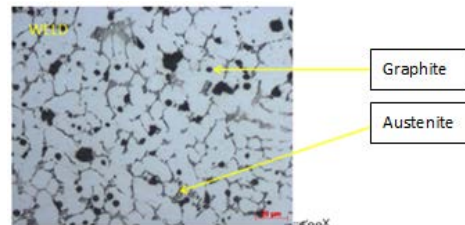
1) การให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส (Pre heat 500 °C)



ภาพที่ 2 โครงสร้างบริเวณเนื้องาน (Base Metal) พบเป็นโครงสร้างที่มีเกล็ดกราไฟต์บริเวณรอบๆ ล้อมรอบไปด้วยเฟิร์ลไลต์

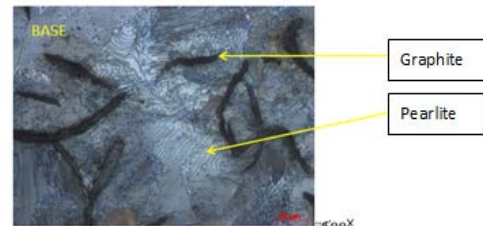


ภาพที่ 3 โครงสร้างบริเวณเขตที่ได้รับผลกระทบความร้อน (Heat Effect Zone) พบมีโครงสร้างเฟิร์ลไลต์อยู่มีการเชื่อมต่อดูดกันกับกราไฟต์

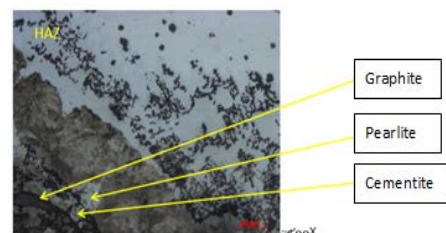


ภาพที่ 4 โครงสร้างโครงสร้างที่บริเวณแนวละลายของลวดเชื่อม (Weld Zone) ลักษณะโครงสร้างที่บริเวณแนวละลายของลวดเชื่อม โครงสร้างเมทริกซ์ของ Eutectic carbide อยู่ใน austenite มีขนาดแตกต่างกันของการกระจายกราฟต์แบบทรงกลม

2) การให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมที่อุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส (Pre heat 600 °C)



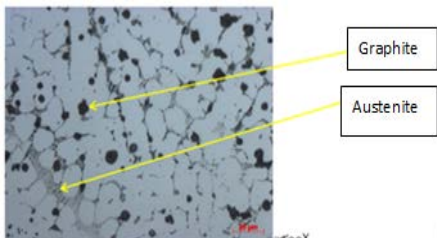
ภาพที่ 5 โครงสร้างบริเวณเนื้องาน (Base Metal) โครงสร้างที่มีกราไฟต์แบบรูปแบบ A บริเวณรอบๆ ล้อมรอบไปด้วยเฟิร์ลไลต์



ภาพที่ 6 โครงสร้างบริเวณเขตที่ได้รับผลกระทบความร้อน (Heat Effect Zone) โครงสร้างมีเฟิร์ลไลต์อยู่ในซีเมนไต์ มีการเชื่อมต่อดูดกันกับกราไฟต์บางส่วน

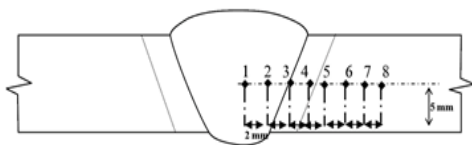


การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

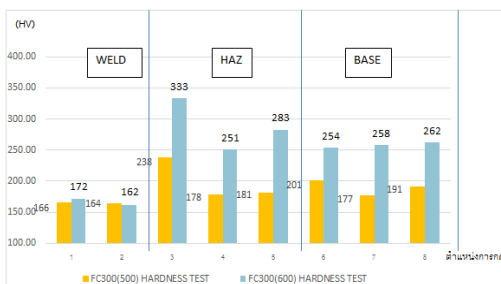


ภาพที่ 7 โครงสร้างโครงสร้างที่บริเวณแนวละลายของลวดเชื่อม (Weld Zone) ลักษณะโครงสร้างที่บริเวณแนวละลายของลวดเชื่อม โครงสร้างเมทริกซ์ของ Eutectic- carbide อยู่ใน austenite มีขนาดแตกต่างกันของการกระจายกราฟไฟต์แบบทรงกลม

### 3.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness test result)

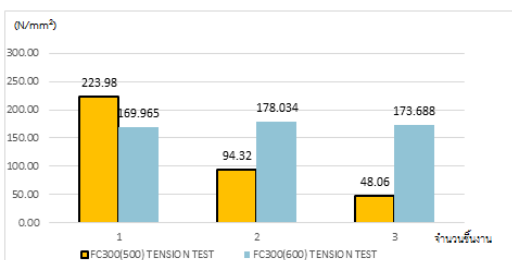


ภาพที่ 8 ตำแหน่งของกดแรงเพื่อทดสอบความแข็ง



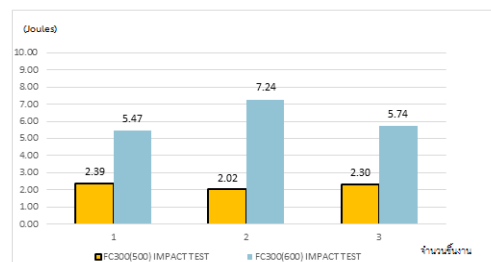
ภาพที่ 9 ผลการทดสอบความแข็งระหว่างการอุ่นขึ้นงานก่อนเชื่อมที่ 500 °C และ 600 °C

### 3.4 ผลการทดสอบแรงดึง (Tension test result)



ภาพที่ 10 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง ระหว่างการให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมที่ 500 °C และ 600 °C

### 3.5 ผลการทดสอบการรับแรงกระแทก (Impact testing result)



ภาพที่ 11 ผลการทดสอบความเหนียวด้านแรงกระแทก ระหว่างการให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมที่ 500 °C และ 600 °C

## 4. ผลการสรุป

จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนขึ้นงานก่อนเชื่อมไม่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค แต่มีผลต่อสมบัติเชิงกล การให้ความร้อนขึ้นงานก่อนการเชื่อมที่อุณหภูมิ 600 °C ให้ค่าสมบัติเชิงกลเฉลี่ยทางด้านความแข็ง ความแข็งแรงดึง ความเหนียวด้านแรงกระแทกได้ดีกว่าการให้ความร้อนขึ้นงานก่อนการเชื่อมที่อุณหภูมิ 500 °C หากต้องการนำเหล็กหล่อเทาเกรด FC300 ไปใช้ในการทำขึ้นงานหรือชิ้นส่วนของเครื่องยนตโดยมีการอุ่นขึ้นงานก่อนการเชื่อมที่อุณหภูมิ 500 °C และ 600 °C และหากต้องการขึ้นงานที่ให้ความแข็งแรง ความแข็งแรงดึง ความเหนียวด้านแรงกระแทกได้ดีกว่าควรใช้ขึ้นงานที่ให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ 600 °C

## 5. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กหล่อเทาเกรด FC300 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบหุ้มฟลักซ์ ควรเพิ่มชิ้นงานทดสอบให้มีจำนวนชิ้นงานทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยเพิ่มเติม ควรเพิ่มชิ้นงานในการตรวจสอบ 5-10 ชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ได้แม่นยำมากขึ้น



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน บริษัทเอส.อาร์.บี.โกลด์โปร จำกัด สำหรับการเชื่อมงานและการตรวจสอบแนวเชื่อมและบริษัท Testing Laboratory LPN Plate Mill Public Company Limited สำหรับการทดสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลในงานวิจัยครั้งนี้

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] นายคุณเชษฐ์ วงษาบุญโน, นายเอกรัฐ ธาตุวิสัย, นายศิริศักดิ์ คำภาพันธุ์. การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อเทา : ปริมาณนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปีการศึกษา 2560

[2] ฐิตนันท์ มีทอง, บวรโชค ผู้พัฒน์. การศึกษาผลกระทบของการสั้นของคลื่นเสียงอัลตราโซนิกต่อความสามารถในการเชื่อมด้านการใช้งานเหล็กหล่อเทา : การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556

[3] พรวิสา วงศ์ปัญญา. เอกสารประกอบการสอนวิชา 531 204 ปฏิบัติการโลหการกายภาพ 2 : 531 204 Physical Metallurgy Laboratory II

[4] กรรมวิธีการหล่อเหล็กหล่อ : [http://eng.sut.ac.th/me/box/2\\_55/436304/6Casting.ppt](http://eng.sut.ac.th/me/box/2_55/436304/6Casting.ppt)

[5] UDDEHOLM ASSA. ผู้นำด้านการแก้ไขปัญหาด้านการทำแม่พิมพ์ : แนวคิดด้านยานยนต์ของ ASSA

[6] กฤษฎ ภู่ออยู่, กิติพันธ์ จินกลับ, ดำรงค์ศักดิ์ วันดีวงศ์, ชานนท์ มุลวรรณ, เจษฎา วงษ์อ่อน และประยูร สุรินทร์. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการล้าของแนวเชื่อมเหล็กหล่อกราไฟต์กลม : การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

[7] ยงยุทธ์ี ดุลยกุล. ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[8] Dr. Menomonee Falls. MG 260 N ickel-iron electrode for welding cast iron AWS – ENiFe-CI AC or DC reverse (electrode +) : <http://www.messerwelding.com/DATA%20SHEET%20PDF/MG%20260.pdf>

[9] อ.ดร.รัตน์ บริสุทธิ์กุล. โลหการกายภาพ 3 : <http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/2013>

[10] ปราโมทย์ อุทัยวัฒน์. การเชื่อมอาร์กวดหัวมัลกซ์ : <http://www.swicac.ac.th/DATA/palmon/3/6.pdf>



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society  
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

[11] การทดสอบหาตำแหน่งผิวชิ้นงาน :

<http://app.eng.ubu.ac.th/~ie/metric/1302423/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%2011%20Nondestructive%20test.ppt>

[12] นาย สมชาย ชุ่มรัตน์. มาตรฐานการตรวจสอบรอย

เชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่

ทำลาย : กรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2551