

# โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของทองเหลืองโดยกระบวนการเชื่อมแพร่ Microstructure and Mechanical Properties of Brass by Diffusion Welding Process

เดช เหมือนขาว<sup>1\*</sup> ยงยุทธ ดุลยกุล<sup>2</sup> และ ชัยยุทธ มิ่งาม<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ <sup>2</sup>อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
จังหวัดสงขลา 90000

<sup>3</sup>อาจารย์ โปรแกรมวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของทองเหลืองโดยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ โดยเป็นการเชื่อมทองเหลืองแบบต่อเกย ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ 500, 650 และ 800 องศาเซลเซียส แรงกด 12 MPa และเวลาดกดแช่ 60 นาที โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เน้นศึกษาโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลและพฤติกรรมระหว่างการแพร่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าบริเวณแนวเชื่อมเกิดการแพร่ของอะตอมทองเหลืองอย่างเห็นได้ชัดเจน สมบัติทางกลหลังจากการเชื่อมเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

## Abstract

The objective of this research is to investigate microstructure and mechanical properties of brass welded by diffusion welding process. The diffusion welding (DW) of brass welded over lap joints, bonding parameters were pressure at temperature 500, 650 and 800 °C, contact pressure of 12 MPa and holding time for 60 minutes respectively. The microstructure, mechanical properties and behaviour during bonding were investigated. The results show that in weld zone (Bond Line) diffusion of atom the brass significantly. The mechanical properties after diffusion welding process increased higher temperature

**คำสำคัญ** : โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล ทองเหลือง กระบวนการเชื่อมแพร่

**Keywords** : Microstructure, Mechanical properties, Brass, Diffusion welding process

\*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ [dechmaunkhaw@yahoo.com](mailto:dechmaunkhaw@yahoo.com) โทร. 08 5888 7753

## 1. บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

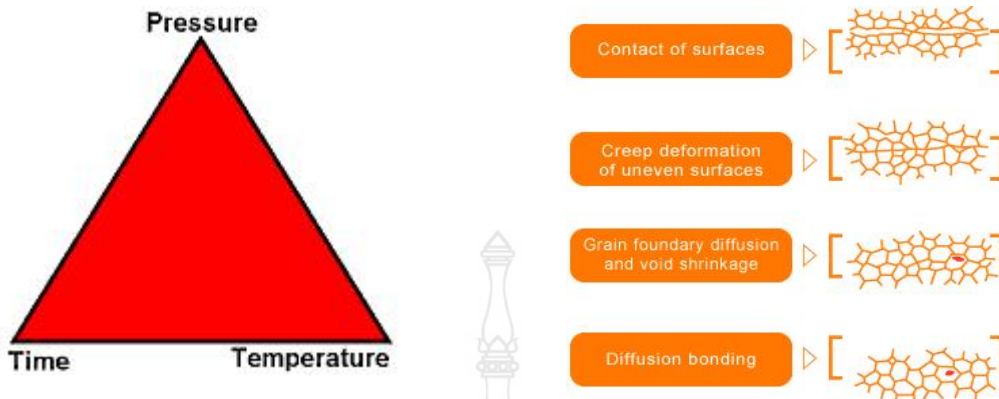
การพัฒนาเทคโนโลยีงานเชื่อมมาใช้ในการอุตสาหกรรมให้เหมาะสมกับสภาพของงาน และข้อจำกัดในการเชื่อมนั้นต้องคำนึงถึงส่งผลกระทบต่อผลต่าง ๆ ในการเลือกกระบวนการเชื่อม ซึ่งในการเลือกกระบวนการเชื่อมจึงมีความจำเป็น เพราะอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลลดลง ในปัจจุบันกระบวนการเชื่อมมีอยู่หลายวิธีในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการผลิตในงานอุตสาหกรรมนั้นๆ การเชื่อมที่ใช้ความร้อนจากการอาร์คเรียกว่า การเชื่อมแบบหลอมละลาย ซึ่งจะมีการแพร่ความร้อนที่ได้จากการอาร์ค จะทำให้เกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันของเนื้อโลหะบริเวณพอลวม การหลอมละลายของเนื้อโลหะหลังจากการเชื่อมเมื่อโลหะแข็งตัวจะเกิดโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับโครงสร้างเดิมของโลหะนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล มีความเค้นตกค้าง (Residual Stress) และการบิดงอ (Distortion) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการแตกของรอยเชื่อมในระหว่างการแข็งตัว และมีปัญหาการเกิดโพรงอากาศ (Porosity) สำหรับการเชื่อมทองเหลือง ซึ่งทองเหลืองมีส่วนผสมของสังกะสีในทองแดงส่งผลทำให้ความสามารถในการเชื่อมลดลง และสังกะสีมีจุดเดือดต่ำทำให้เกิดควันในระหว่างการเชื่อม จึงทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการการระบายอากาศที่เหมาะสมและกระบวนการเชื่อมทองเหลืองนิยมใช้กระบวนการเชื่อม คือ การเชื่อมมิก (Mig) การเชื่อมทิก (Tig) และการเชื่อมอาร์ค (SMAW)

ดังนั้นจึงได้หาวิธีการเชื่อมทองเหลืองที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลไว้ให้ใกล้เคียงกับโลหะเดิมมากที่สุดภายหลังจากการเชื่อมและมีความปลอดภัยในการเชื่อมมากขึ้น โดยการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่ยึดโลหะเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะนั้น โดยที่โลหะยังอยู่ในสภาวะของแข็ง ซึ่งโลหะจะเชื่อมติดกันโดยความร้อนบริเวณชิ้นงานเชื่อมต่ำกว่าจุดหลอมเหลว สำหรับการเชื่อมโดยการแพร่ (Diffusion welding) ซึ่งกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่น้อยมาก จึงเป็นที่มาของงานการวิจัยนี้โดยจะศึกษาตัวแปรในการเชื่อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของทองเหลือง โดยกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ เพื่อความเหมาะสมทางด้านโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกล และนำผลมาปรับปรุงเพื่อเลือกใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมทั้งในแง่งานวิจัยและอุตสาหกรรมต่อไป

### 1.2 การสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็ง สามารถเชื่อมต่อวัสดุได้หลายชนิด เช่น เซรามิก (Ceramic) วัสดุผสม (Composites) เป็นต้น กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ต้องอาศัยตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ แรงกดขณะเชื่อม เวลาในการกดแช่ และอุณหภูมิในการเชื่อม นอกจากนั้นยังมีตัวแปรอื่นๆ ในการแพร่ เช่น ความราบเรียบของผิวรอยต่อ (Surface Roughness) ความสะอาดของผิวรอยต่อ (Cleaning Surface) เป็นต้น โดยกลไกการเกิดการเชื่อมต่อจะอาศัยการแพร่ของอะตอมระหว่างวัสดุที่เชื่อมต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

แรงกดขณะเชื่อม (Contact Pressure) จะใช้แรงกดที่มีค่าต่ำ โดยมีค่าต่ำกว่าค่าความเสีรูปของวัสดุ เพื่อป้องกันไม่ให้นำไปสู่การเสีรูปเล็กๆ (Micro Deformation) อุณหภูมิในการเชื่อม (Temperature) อุณหภูมิที่ให้ความร้อนในขณะที่เชื่อมอยู่ในช่วง 0.5-0.8 ของจุดหลอมเหลววัสดุที่นำมาเชื่อม (Melting Point) เวลาในการกดแช่ (Holding Time) เวลาที่ใช้ในการกดแช่จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ให้ความร้อนในขณะที่เชื่อมและแรงกดขณะเชื่อม โดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับกรยึดติดหลังจากการเชื่อม นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอีกมากมายที่ส่งผลกระทบต่อกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ โดยฟิล์มออกไซด์ก็ส่งผลให้กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ไม่ยึดติดได้เช่นกัน ในกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่จึงต้องอาศัยการควบคุมบรรยากาศจากการเชื่อมด้วย โดยในขณะที่เชื่อมต้องควบคุมบรรยากาศให้อยู่ในระบบสุญญากาศหรือบรรยากาศอาร์กอน



รูปที่ 1 แสดงกลไกการเกิดการเชื่อมโดยการแพร่

กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็ง สามารถเชื่อมต่่วัสตุได้หลายชนิด โดยกลไกการเกิดการเชื่อมต้องอาศัยการแพร่ของอะตอมระหว่างวัสดุที่เชื่อมต่อกัน ดังแสดงในสมการที่ 1

$$D = Ae^{-Q/RT} \quad (1)$$

เมื่อ

D = Diffusion coefficient ( $\text{cm}^2$ ), minus sign expresses a negative gradient

T = Temperature in degrees Kelvin

R = Gas constant

A = Constant dependent on atomic vibration frequency, the entropy state, correlation of jumps and other factors

Q = Activation energy for diffusion

A. Urena, J.M. Gomez de SalaZar. 1993. ได้นำอะลูมิเนียมเกรด AA2124 และ AA8090 ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมาเชื่อมต่อด้วยกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ การเชื่อมชิ้นงานมีความหนา 6 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการให้ความร้อน (Temperature)  $470-520^{\circ}\text{C}$  เวลาในการกวดแช่ (Holding time) 60 นาที มีแรงกด (Contact pressure) ที่ 6 MPa การเชื่อมควบคุมให้อยู่ภายใต้สุญญากาศที่  $2 \times 10^{-4}$  Torr. ปรากฏว่าธาตุลิเทียมผสมอยู่ในอะลูมิเนียมเกรด AA8090 ช่วยทำลายฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ได้ ช่วยในการยึดติดที่ดีขึ้น

Anne Sunwoo, Reynold Lum. 1995. ได้ทำการทดลองอะลูมิเนียมเกรด 7475 ที่เชื่อมต่อด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแบบหลอมละลาย ถูกเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ ในการทดลองเชื่อมใช้ตัวแปร อุณหภูมิ  $510^{\circ}\text{C}$  แรงกดที่ใช้มีค่าต่ำกว่า 1.4 MPa โดยมีความเร็วในการกวดที่อัตรา  $2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  มีการเตรียมชิ้นงานเชื่อมที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งในการเชื่อมมีการเชื่อมภายใต้บรรยากาศอาร์กอน พบว่าที่แรงกด 0.55 MPa เริ่มให้ค่าความเครียด และฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ส่งผลอย่างมากต่อการเชื่อมอะลูมิเนียมเกรด 7475 จึงมีการเชื่อมภายใต้บรรยากาศอาร์กอนจะช่วยลดฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิวอะลูมิเนียมในขณะการเชื่อม

C.S. Lee, H. Li, R.S. Chandel. 1999. ได้ทำการเชื่อมอะลูมิเนียม 6061 ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 กับโลหะผสม (MMC) โดยอะลูมิเนียม 6061 มีขนาดอนุภาค  $28 \mu\text{m}$  และโลหะผสมมีขนาดอนุภาค  $42 \mu\text{m}$  ในการทดลองใช้อุณหภูมิ  $450^{\circ}\text{C}$  แรงกดที่ 10.69 MPa เวลาที่ใช้ในการกวดแตกต่างกัน โดยการเชื่อมให้อยู่ในบรรยากาศ

ทั่วไปเพื่อลดข้อจำกัดในการเชื่อมขนาดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และ ลดราคาที่แพงในการเชื่อมในสภาวะสุญญากาศ โดยการทำลายและสลายชั้นออกไซด์และรักษาผิวอินเตอร์เฟซที่สะอาดในระหว่างการแพร่พันธะ ด้วยวิธีการให้แรงกดที่แตกต่างกันในขณะที่เชื่อมดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อรักษาผิวเชื่อมและทำลายชั้นออกไซด์ที่เคลือบผิวเชื่อม ซึ่งหลังจากการเชื่อมปรากฏว่าประสิทธิภาพการยึดติดหลังจากการเชื่อมสูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์

A.S. Zuruzi, H. Li, G. Dong. 1999. ได้มีการพยายามเชื่อมโดยการแพร่อะลูมิเนียมในสภาวะบรรยากาศทั่วไปโดยมีการศึกษาความราบเรียบของผิวเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมอะลูมิเนียมเกรด 6061 ในการทดลองจะเชื่อมในสภาวะของบรรยากาศอากาศทั่วไปทำภายในเตาอบชิ้นงาน ซึ่งมีการใช้อุณหภูมิ  $450^{\circ}\text{C}$  แรงกดที่ 8.08 MPa เวลาที่ใช้ในการกดแช่ 30, 45, 60, 75, และ 90 นาที ขนาดชิ้นงานที่เชื่อมมีขนาด  $15.8 \times 15.8$  มิลลิเมตร มีการเตรียมผิวชิ้นงานที่กระดาษทรายเบอร์ P180 grit และ P1000 grit หลังจากการทดสอบสมบัติทางกลพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ P180 grit เวลาในการกดแช่ 75 นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ประสิทธิภาพการยึดติดหลังจากการเชื่อม 76 เปอร์เซ็นต์

P. He, X. Yue, J.H. Zhang. 2008. มีการนำกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่มาเชื่อมต่อวัสดุที่ต่างชนิดกันโดยมีการเชื่อมไททาเนียมผสม (Ti-6Al-4V) กับเหล็กกล้าไร้สนิม (1Cr18Ni9Ti) และใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวประสานในการเชื่อม จากการทดลองครั้งนี้มีการทำภายใต้การควบคุมบรรยากาศให้เป็นระบบสุญญากาศ ที่  $3 \times 10^{-3}$  Pa. ขัดด้วยกระดาษทรายที่เบอร์ 1000 grit โดยพบว่าที่อุณหภูมิ  $450^{\circ}\text{C}$  ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด การยึดเกาะระหว่างชั้นไททาเนียมผสมกับเหล็กกล้าไร้สนิมยึดติดดี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง  $600^{\circ}\text{C}$  กับพบว่าการยึดเกาะระหว่างชั้นไม่ดีส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าต่ำสุด

Horng-Yu Wu, Shyong Lee, Jian-Yih Wang. 1998. ได้ทำการการเชื่อมวัสดุหลายชนิดในชั้นเดียวกันโดยการเชื่อมแพร่ ใช้การอัดชิ้นงานและให้ความร้อนด้วยแผ่นเหล็กที่ร้อนจากด้านล่างชิ้นงาน ในการให้ความร้อนแต่ละครั้งจะใช้เวลาที่แตกต่างกัน ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีความหนา 3 มิลลิเมตร จากการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อทดสอบแรงเฉือนพบว่าที่เวลาที่กดอัดไว้ 7 ชั่วโมง รับแรงเฉือนดีที่สุดและเมื่อความร้อนยิ่งสูงขึ้นก็ยิ่งทำให้การยึดติดดียิ่งขึ้น

## 2. วิธีการทดลอง

การวิจัยนี้ใช้กรรมวิธีการเชื่อมแพร่ (Diffusion Welding) โดยใช้ทองเหลือง ตามมาตรฐาน ASTM C2800 เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม กำหนดรอยต่อเป็นแบบต่อเกย โดยเตรียมงานตามมาตรฐาน ASTM D1002 หลังจากนั้นวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจากลักษณะ ทางกายภาพ การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และการทดสอบสมบัติทางกล ดังนั้น การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินงานตามขั้นตอน ดังนี้

### 2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 เครื่องมืออุปกรณ์ในกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ (Diffusion Welding) โดยทำการออกแบบและสร้างโดยออกแบบเครื่องอัดในการอัดชิ้นงาน (Compression Machine) และชุดให้ความร้อนระบบปิดโดยให้อยู่ในตู้ควบคุมความร้อนซึ่งชิ้นงานยึดติดกับฐานรองชิ้นงาน รวมไปถึงจัดทำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน นอกจากนี้สามารถควบคุมแรงกดของเครื่องอัดชิ้นงาน และในการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมต่อทองเหลือง ASTM C2800 เช่น อุณหภูมิในการให้ความร้อน เวลาในการกดแช่และแรงกด เพื่อออกแบบการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องมืออุปกรณ์ในกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่

2.1.2 วัสดุทดลองเชื่อมเป็นทองเหลือง ตามมาตรฐาน ASTM C2800 เป็นวัสดุที่สามารถผลิตด้วยกรรมวิธีที่หลากหลาย เช่น การอบอ่อน การขึ้นรูปเย็น การชุบแข็งด้วยการอบคืนไฟและการคลายความเค้น ส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของทองเหลือง ASTM C2800

Brass Bar ASTM C2800	ส่วนผสมทางเคมี			
	Cu	Pb	Fe	Zn
	59.0-63.0	≤ 0.1	≤ .07	40

2.1.3 เครื่องมืออุปกรณ์ในศึกษาสมบัติทางโลหวิทยา (Metallurgical Investigation) หลังจากทำการเชื่อมแล้ว จะนำชิ้นงานมาทำการศึกษาในแง่ของโลหะวิทยาการเชื่อม เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางมหภาค โครงสร้างทางจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เครื่องหมายการค้า Zeiss รุ่น AX10 Imager A1m เป็นเครื่องมือสำหรับดูโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นกล้องจุลทรรศน์และส่วนที่เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูล แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กล้องจุลทรรศน์และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

2.1.4 เครื่องมืออุปกรณ์ในการศึกษาสมบัติทางกล (Mechanical Properties) โดยทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงบริเวณรอยต่อและทำการทดสอบแรงเฉือนของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ เครื่องหมายการค้า Testometric รุ่น M500-50kN เป็นเครื่องสำหรับทดสอบแรงเฉือนของงานเชื่อม แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแรงดึง

2.1.5 เครื่องทดสอบความแข็งเป็นเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า Controls Digital รุ่น DM 2 สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัล การวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของงานเชื่อม แสดงในรูปที่ 5

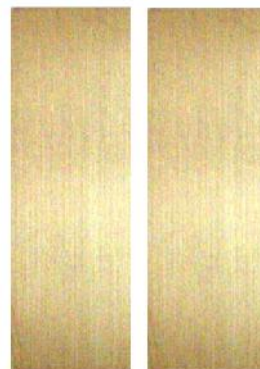
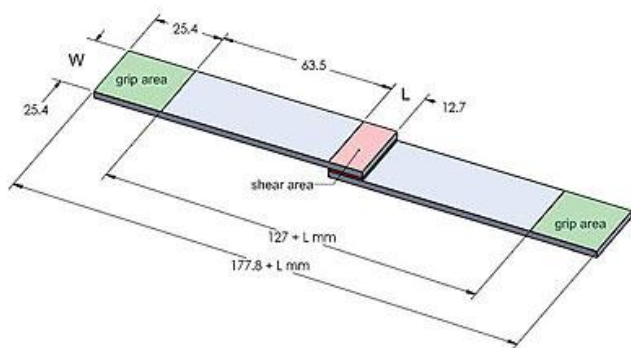


รูปที่ 5 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

## 2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เพื่อเป็นการลดความแปรปรวนของข้อมูล ที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ของการดำเนินงาน เช่น การเตรียมชิ้นงานทดลอง การเชื่อมชิ้นงานทดลอง ตลอดจนการตรวจสอบและทดสอบชิ้นงานหลังจากการเชื่อม จึงกำหนดขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆของงานเชื่อม ดังนี้

2.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดลองได้กำหนดรอยต่อตามมาตรฐาน ASTM D1002 โดยตัดชิ้นงานทดลองเชื่อมทองเหลือง ASTM C2800 ให้ได้ขนาด  $101.6 \times 25.4 \times 3$  มม. ขัดผิวชิ้นงานขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 220 500 600 800 1000 และ 1200 แสดงในรูปที่ 6



(ก) รอยต่อตามมาตรฐาน ASTM D1002

(ข) ชิ้นงานทดลองเชื่อม

**รูปที่ 6 การเตรียมชิ้นงานทดลองเชื่อม**

2.2.2 การเชื่อมชิ้นงานทดลอง ติดตั้งอุปกรณ์การเชื่อมโดยมีวิธีการ คือ ประกอบหัวกดเข้ากับชุดอุปกรณ์ของเครื่องเชื่อมแพร่ หลังจากนั้น ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบการทดลองเชื่อมชิ้นงานโดยการแพร่ (Diffusion Welding) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ คือ อุณหภูมิในการให้ความร้อน 500 650 และ 800 °C ใช้เวลาในการกดแช่ 1 ชั่วโมง โดยมีแรงกดที่ 12 MPa โดยทำการเชื่อมในบรรยากาศปกติ ดังแสดงตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงการออกแบบการทดลอง จำนวนงานเชื่อม 3 ชิ้น

บรรยากาศในการเชื่อม ปกติ	อุณหภูมิ (°C)			เวลากดแช่(นาที)	แรงกด(MPa)
	500	650	800		
				60	12

2.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ในส่วนของการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยานั้น จะใช้วิธีการตรวจสอบ 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบจะเป็นชิ้นงานเดียวกัน การเตรียมชิ้นงานมีวิธีการดำเนินงาน คือ นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว มาตัดแบ่งเป็นชิ้นทดสอบแต่ละอย่าง ซึ่งในชิ้นงานแต่ละชิ้นสามารถตัดมาเป็นชิ้นตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาได้เท่ากับ 2 ชิ้น การเตรียมชิ้นงานสำหรับตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยนำชิ้นงานที่ตัดได้ขนาดแล้ว มาเตรียมเป็นชิ้นงานตรวจสอบ มีวิธีการดังนี้ การตัดชิ้นงานเชื่อมที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้าง การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบ การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การกัดด้วยน้ำยา (Etching) และการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

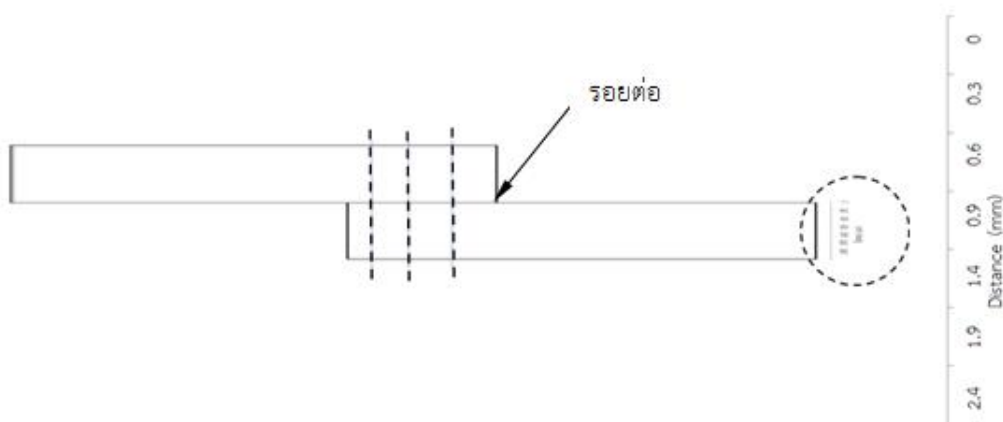
2.2.4 การทดสอบสมบัติทางกล

1) การทดสอบความแข็งแรงเฉือน โดยเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1002 หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยแรงเฉือน แสดงในรูปที่ 7 บันทึกข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ผลวิธีการทดสอบ



รูปที่ 7 การทดสอบแรงฉีก

2) การทดสอบความแข็ง จะใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยกำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณรอยเชื่อม วิธีการวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ใช้แรงกด 10 Kgf กดแช่เป็นเวลา 5 วินาที แสดงในรูปที่ 8 บันทึกข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ผลวิธีการทดสอบ



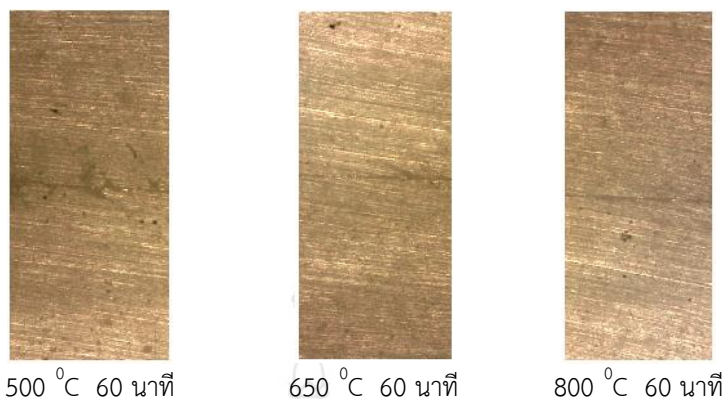
รูปที่ 8 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 3.1 การตรวจสอบโครงสร้างแบบมหภาค

ผลการทดลอง จะพิจารณาจากลักษณะรูปร่างทางกายภาพของแนวเชื่อม ได้แก่ ความกว้างของต่อของรอยเชื่อมที่อุณหภูมิในการเชื่อม 500 650 และ 850 °C แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งวิเคราะห์ผลจากโครงสร้างมหภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 5 เท่า

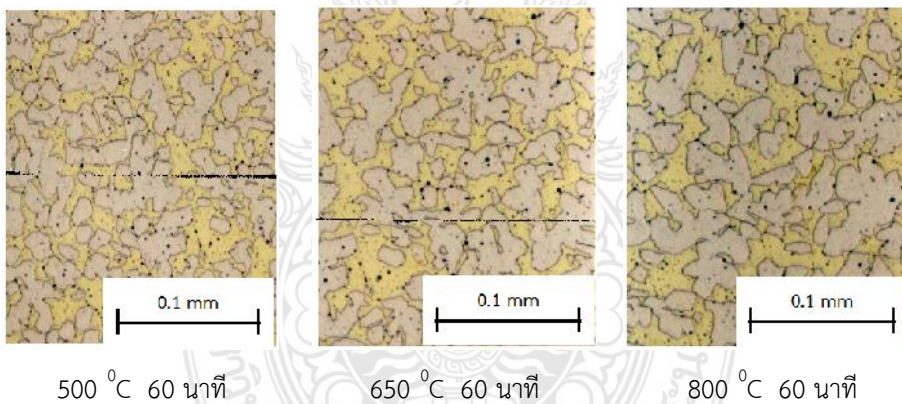




รูปที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อม

### 3.2 การตรวจสอบโครงสร้างแบบจุลภาค

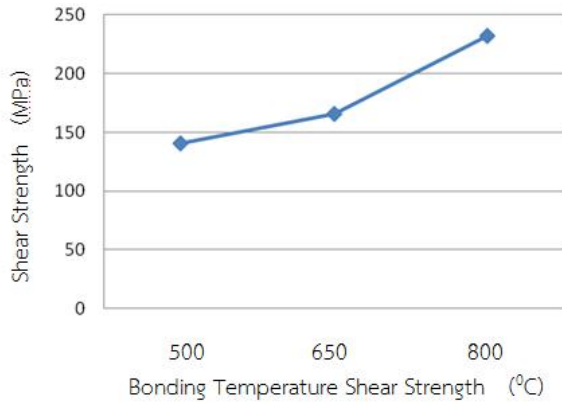
การวิจารณ์ผลการตรวจสอบโครงสร้างแบบจุลภาค จะพิจารณาจากลักษณะเกรนบริเวณรอยต่อการวิเคราะห์ ผลจากลักษณะโครงสร้างจุลภาคจะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 20 เท่า แสดงในรูปที่ 10 การเชื่อมด้วยโดยการแพร่ พบว่า ให้ผลโครงสร้างจุลภาคที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า การแพร่ของทองเหลืองแพร่ได้ดี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเป็นเนื้อเดียวกันจ่อมามากขึ้นแต่ในขณะเดียวกันขนาดเกรนจะมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อชิ้นงานเชื่อม ที่อุณหภูมิ 800 °C

### 3.3 ผลการทดสอบแรงเฉือน

พิจารณาการเชื่อมโดยกระบวนการแพร่ จะพบว่าที่อุณหภูมิ 500 °C จะให้ค่าความแข็งแรงเฉือนต่ำสุด 140.60 MPa ที่อุณหภูมิ 650 °C จะให้ค่าความแข็งแรงเฉือน 165.30 MPa และที่อุณหภูมิ 800 °C จะให้ค่าความแข็งแรงเฉือนสูงสุด 232.40 แสดงในรูปที่ 11

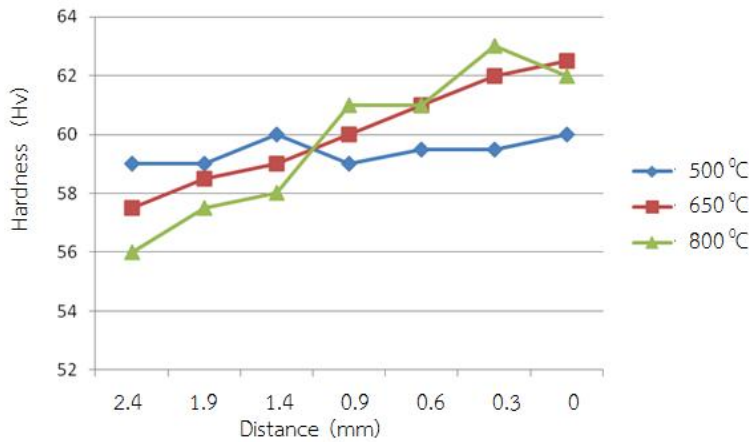


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบค่าความความแข็งแรงเฉือน

ค่าความแข็งแรงเฉือนพิจารณาการเชื่อม แสดงในรูปที่ 11 การเชื่อมโดยการแพร่จะให้ค่าความแข็งแรงเฉือนสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนและเวลาในการกดแช่เพิ่มขึ้นแต่ลักษณะทางกายภาพมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่คงรูปเดิม

### 3.4 ผลการทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งแรงเฉือน โดยเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1002 หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยแรงเฉือน ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็ง

จากรูปที่ 12 เป็นการทดสอบความแข็งบริเวณรอยต่อพบว่าจากผิวนอกของงานจนเข้าใกล้รอยต่อจะให้ค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน แต่บริเวณใกล้รอยต่อจะมีความแข็งลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการแพร่ของธาตุในบริเวณดังกล่าวระหว่างโลหะสองชิ้น

#### 4. สรุป

การเชื่อมทองเหลืองโดยการแพร่ จะพบว่ารูปร่างทางกายภาพของรอยต่อ ความกว้างของต่อของรอยเชื่อมจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเชื่อมสูงขึ้น และผลการตรวจสอบโครงสร้างแบบจุลภาค บริเวณรอยต่อพบว่าการแพร่ของทองเหลืองแพร่ได้ดี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเป็นเนื้อเดียวกันจะมีมากขึ้นแต่ในขณะเดียวกันขนาดเกรนจะมีความแตกต่างกัน ค่าความแข็งแรงเฉือนพบว่าค่าความแข็งแรงเฉือนให้ค่าความแข็งแรงเฉือนสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่รูปร่างอาจมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่คงรูปเดิม จากทดสอบความแข็งบริเวณรอยต่อพบว่าจากผิวหน้าของงานจนเข้าใกล้รอยต่อจะให้ค่าความแข็งที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการเชื่อมที่ยึดโลหะเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะนั้น โดยที่โลหะยังอยู่ในสถานะของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล ไม่มีความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ไม่เกิดการบิดงอ (Distortion) และมีความปลอดภัยสำหรับงานเชื่อม โดยเฉพาะการเชื่อมทองเหลืองมีส่วนผสมของสังกะสีมีจุดเดือดต่ำจะเกิดควัน และส่งผลทำให้ความสามารถในการเชื่อม

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และความเอื้อเฟื้อจากบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- A. Urena, J.M. Gomez de SalaZar. 1993. Bonding of aluminium matrix composites for application in the transport industry. Vol 3.
- Anne Sunwoo, Reynold Lum. 1995. Superplastic deformation enhanced diffusion bonding of aluminum alloy 7475. Vol. 33, No. 4, pp. 639-644.
- A.S. Zuruzi, H. Li, G. Dong. 1999. Effects of surface roughness on the diffusion bonding of Al alloy 6061 in air. pp. 244-248.
- C.S. Lee, H. Li, R.S. Chandel. 1999. Vacuum-free diffusion bonding of aluminium metal matrix composite. pp. 326-330.
- Hong-Yu Wu, Shyong Lee, Jian-Yih Wang. 1998. Solid-state bonding of iron-based alloys, steel-brass, and aluminum alloys. pp. 173-179.
- P. He, X. Yue, J.H. Zhang. 2008. Hot pressing diffusion bonding of a titanium alloy to a stainless steel with an aluminum alloy interlayer. pp. 171-176.