



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการอิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินที่มีผลต่อโครงสร้าง
ทางจุลภาคและสมบัติทางกลในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม A356 ซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อ
กึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

โดย ผศ.ดร. ประภาศ เมืองจันทร์บุรี และคณะ

พฤษภาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการอิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินที่มีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม A356 ซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อ
กึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

1. ผศ.ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.ศิริกุล วิสุทธิ์เมฆางกูร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รหัสโครงการ MRG5180291

ชื่อโครงการ โครงการอิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินที่มีผลต่อโครงสร้าง
ทางจุลภาคและสมบัติทางกลในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม A356 ซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อ
กึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

ชื่อนักวิจัย ผศ.ดร. ประภาศ เมืองจันทร์บุรี

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระยะเวลาโครงการ 15 พฤษภาคม 2551 ถึงวันที่ 14 พฤษภาคม 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเชื่อมต่อชนอะลูมิเนียมผสมที่หล่อโดยเทคโนโลยีกึ่งของแข็ง (SSM) A356 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (FSW) โดยในการศึกษาจะใช้ Tool (Pin) 2 ชนิด คือ หัว핀แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม มีตัวแปรคงที่ คือ ความเร็วในการหมุนของ Tool ที่ใช้ 1,750 rpm และมีตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ที่ใช้ 80, 120 และ 160 mm/min โดยมีมุมเอียงของ Tool ที่ใช้ 3 องศา

หลังจากการเชื่อมทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณรอยเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม พบว่าทั้งสามความเร็วเดินแนวเชื่อมมีลักษณะโครงสร้างที่ละเอียดมากประกอบไปด้วยอนุภาคซิลิกอนผสมในอะลูมิเนียมแมทริกซ์ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ให้ความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน จากการตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดซึ่งมีระบบเอ็กซ์เรย์ พบว่าโครงสร้างทั้งสามความเร็วเดินเชื่อม ของหัว핀แบบทรงกระบอกให้โครงสร้างที่ละเอียดมากกว่าหัว핀แบบสี่เหลี่ยม ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคซิลิกอนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ถูกกวน

ทดสอบความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม พบว่าทั้งสามความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะบริเวณรอยเชื่อมจะมีค่าความแข็งมากกว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิม

ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่ตัดตั้งฉากกับรอยเชื่อม ทั้งสามความเร็วเดินในการเดินแนวเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่ามากกว่าแบบสี่เหลี่ยม และค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่ตัดตามยาวของแนวเชื่อม โดยที่เนื้อโลหะเดิมมีค่าความแข็งแรงดึงประมาณ 185 MPa พบว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min ค่าของหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่ามากกว่าแบบสี่เหลี่ยมโดยเฉพาะที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min ของหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่ามากกว่าความเร็วเดินในการเดินแนวเชื่อมอื่น

คำหลัก การเชื่อมเสียดทานแบบกวน อะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็ง รูปแบบของหัว핀

ความเร็วในการเชื่อม

Project Code : MRG5180291

Project Title : Effect of welding speed and tool pin profile on metallurgy and Mechanical Properties

Of Joining of Semi Solid (SSM) Aluminium alloy A356 by Friction Stir Welding process

Investigator : Asst. Prof. Dr. Prapas Muangjunburee

Department of Mining and Materials Engineering Faculty of Engineering

Prince of Songkla University

E-mail Address : mprapas@eng.psu.ac.th

Project Period : 15 May 2008 - 14 May 2010

ABSTRACT

The effect of joining parameters and tool pin profile on microstructure and mechanical properties of semi-solid metal A356 joints produced by friction stir welding was investigated. In this work, the joints were made by using a fixed rotating speed of 1,750 rpm with varying welding speed of 80, 120 and 160 mm/min and 3^0 of tool angle. In addition, two different types of tool pins, cylindrical and square pin, were applied. The optical micrograph shows no voids, cracks or other weld defects. The Scanning electron microscope (SEM) reveals fine microstructure and uniform dispersion of Si (Silicon) particles obtained from cylindrical pin than that of square pin. The variation of hardness throughout the weld also reveals slightly greater at the stir zone for every welding speed for both pins. Transverse and longitudinal tensile strengths obtained from cylindrical pin are greater than square pin. Furthermore, the joint made from 1,750 rpm, 160 mm/min with cylindrical pin shows highest strength.

Keywords : Friction Stir Welding, Semi Solid Aluminium Alloys, Tool pin profile, Welding speed

Executive summary

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินที่มีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสม A356 ซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อกึ่งของแข็ง โดยทำการเชื่อม SSM A356 ซึ่งมีส่วนผสมหลักของ Al, Si 7% และ Mg 0.35% โดยการหมุนของเครื่องมือที่ความเร็วรอบ 1,750 rpm และอัตราความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 80, 120 และ 160 mm/min โดยจะใช้หัวพิน 2 ชนิด คือ แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดซึ่งมีระบบเอ็กซ์เรย์ด้วย (Scanning Electron Microscope, SEM กับ Energy Dispersive X-ray analysis, EDX) และสมบัติทางกลของการเชื่อมจากแต่ละตัวแปร ผลการทดลองเบื้องต้นลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วในการหมุนของ Tool ที่ 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120, 160 mm/min พบว่าผิวหน้าด้านบนของรอยเชื่อมมีลักษณะเรียบที่ความเร็วในการเดินเชื่อมสูง และที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ ผิวหน้ารอยเชื่อมมีลักษณะที่ขรุขระเป็นรอยที่เกิดจากบ่าของ Tool อีกทั้งเกิดครีบลึกนอยของด้าน Retreating พบว่าบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อมของหัวพินทั้งสองแบบเกิดการประสานกันที่ดีของรอยเชื่อมต่อชน และบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแยกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม โครงสร้างมหภาค ของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม พบว่าที่ทั้งสามความเร็วในการเดินแนวเชื่อม เมื่อรอยเชื่อมมีลักษณะคล้ายกับหัวหอมเป็นชั้นๆ ตามทิศทางการกวนของหัวพิน

โครงสร้างทางจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min บริเวณรอยเชื่อมมีลักษณะ โครงสร้างที่ละเอียดมาก ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาค Si ผสมในอะลูมิเนียมเมตริกซ์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ถูกกวน จากการตรวจสอบไม่พบข้อบกพร่องใดๆ ในรอยเชื่อม ส่วนโครงสร้างทางจุลภาคจากการใช้กล้อง SEM ของบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลของด้าน Retreating และด้าน Advancing พบว่าบริเวณรอยเชื่อมหลังจากการเชื่อมของหัวพินแบบทรงกระบอกโครงสร้างประกอบไปด้วยธาตุผสมต่างๆ กระจายอยู่ทั่วไปในอะลูมิเนียมเมตริกซ์ จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดของธาตุ Si เกิดการแตกหักและเล็กลง มีลักษณะกลมมนขนาดประมาณ 0.5-1.3 μm เมื่อเทียบกับขนาดของธาตุ Si ในบริเวณเนื้อโลหะเดิมกระจายตัวทั่วไปอย่างสม่ำเสมอในรอยเชื่อม ในส่วนของหัวพินแบบสี่เหลี่ยม โครงสร้างประกอบไปด้วยธาตุผสมต่างๆ กระจายอยู่ทั่วไปในอะลูมิเนียมเมตริกซ์ จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดของธาตุ Si เกิดการแตกหักและมีลักษณะเป็นแท่งและก้อนสี่เหลี่ยมที่ไม่มีลักษณะที่แน่นอน โดยที่ลักษณะเป็นแบบแท่งมีความโตประมาณ 2 μm มีความยาวประมาณ 5-8 μm และขนาดของก้อนสี่เหลี่ยมประมาณ 3-5 μm เมื่อเทียบกับขนาดของธาตุ Si ในบริเวณเนื้อโลหะเดิม กระจายตัวอย่างกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบในรอยเชื่อม

ค่าความแข็งแรงแบบไมโครวิกเกอร์ โดยกคบริเวณพื้นที่หน้าตัดรอยเชื่อม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลและเนื้อโลหะเดิมของทั้งสามความเร็วเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min ความแข็งแรงจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบทรงกระบอก ที่บริเวณรอยเชื่อม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลและเนื้อเดิม มีค่าความแข็งแรงประมาณ 60.6, 62.7 และ 59.9 HV เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของพื้นที่สองพบว่า ค่าความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่ามากกว่าค่าความแข็งแรงของหัว핀แบบสี่เหลี่ยมเล็กน้อยประมาณ 5-10% อันเนื่องมาจาก หัว핀แบบทรงกระบอกมีแรงเสียดทานทางกลและมีพื้นที่การเสียดทานระหว่างหัว핀กับเนื้อวัสดุที่มากกว่า ทำให้อะลูมิเนียมเกิดการไหลวนและเกิดการแตกหักของอนุภาคซิลิกอนที่ละเอียดมากกว่าหัว핀แบบสี่เหลี่ยม

การทดสอบความแข็งแรงดึง ทดสอบแรงดึงชิ้นงานที่ตัดตามขวางและตามยาว ทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} m/s ชิ้นงานทดสอบที่ตัดตามขวางกับรอยเชื่อม พบว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงของหัว핀แบบทรงกระบอกและหัว핀แบบสี่เหลี่ยม จะมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ เนื่องจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงมีโครงสร้างที่ละเอียดประกอบไปด้วยอนุภาคซิลิกอนที่เล็กกว่าและมีการกระจายตัวที่ดีกว่าความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ อย่างไรก็ตามจากทั้งสามความเร็วในการเดินแนวเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกมีความแข็งแรงดึงมากกว่าจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบสี่เหลี่ยม โดยเฉพาะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 160 mm/min ของหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าทุกๆ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม อันเนื่องมาจากแรงกดและความร้อนจากการเสียดทานที่มากกว่าหัว핀แบบสี่เหลี่ยมทำให้เนื้อวัสดุในรอยเชื่อมอยู่ในสภาวะพลาสติกโครงสร้างเกิดการเคลื่อนตัวได้สะดวกและถูกอัดแน่นด้วยแรงกด ทำให้โครงสร้างละเอียดและมีการกระจายตัวที่ดีกว่าจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบสี่เหลี่ยม ทำให้บริเวณรอยเชื่อมมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและมีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ชิ้นงานทดสอบที่ตัดตามยาวกับรอยเชื่อม โดยที่เนื้อโลหะเดิมค่าความแข็งแรงดึงจาก SSM A356 หลังการหล่อเฉลี่ย 185 MPa จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงพบว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงของหัว핀แบบทรงกระบอกและหัว핀แบบสี่เหลี่ยม จะมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงมีโครงสร้างที่ละเอียดประกอบไปด้วยอนุภาคซิลิกอนที่เล็กกว่าและมีการกระจายตัวที่ดีกว่าความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ อย่างไรก็ตามที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 mm/min จากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าเล็กน้อยจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบสี่เหลี่ยม ในขณะที่เดียวกันตามความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 และ 160 mm/min ของหัวหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบสี่เหลี่ยมอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 160 mm/min ของหัว핀แบบทรงกระบอกมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าความเร็วเดินแนวเชื่อมอื่นๆ อันเนื่องมาจากหัว핀แบบสี่เหลี่ยมอนุภาคของซิลิกอนมีลักษณะเป็นก้อนหยาบกว่าอนุภาคซิลิกอนที่ได้จากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบทรงกระบอกและมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำ

วัตถุประสงค์

3.1 เพื่อวิจัยหาเทคโนโลยีการเชื่อมต่อสมัยใหม่ที่เหมาะสมกับการเชื่อมต่อมัลติเมเดียซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อกิ่งของแข็ง

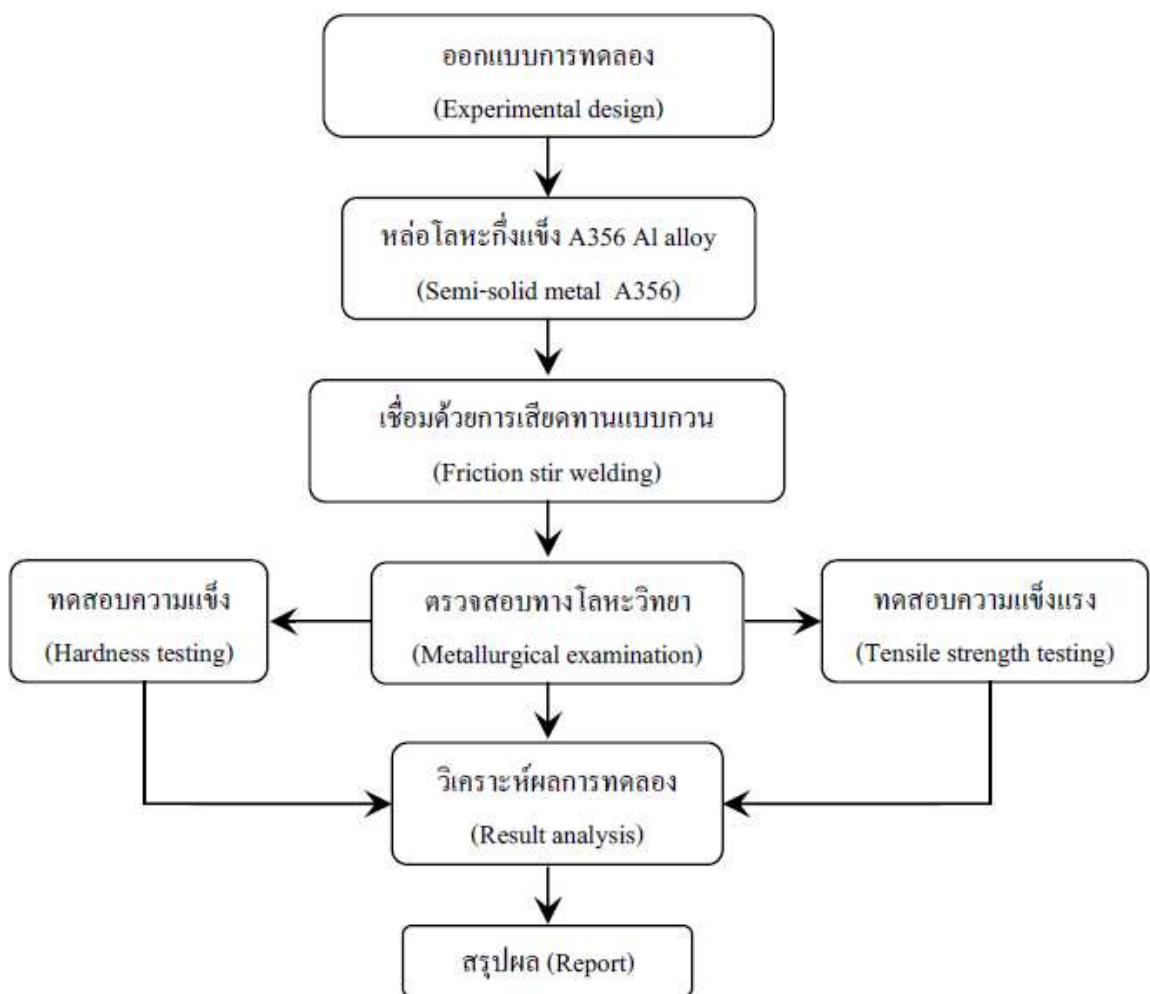
3.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเร็วของการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินซึ่งมีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคสำหรับการเชื่อมต่อมัลติเมเดียซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อกิ่งของแข็ง

3.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเร็วของการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อมสำหรับการเชื่อมต่อมัลติเมเดียซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อกิ่งของแข็ง

วิธีทดลอง

วัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยเพื่อมุ่งศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการเชื่อม ลักษณะรูปแบบของหัวพิน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด A356 ที่หล่อโดยกรรมวิธีการหล่อกึ่งของแข็ง (SSM) ด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลโดยกำหนดการทดลองดังนี้

1.1 การออกแบบวิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นวัสดุประเภทใหม่ที่ได้กำลังมีการพัฒนาและได้ทำการศึกษาในขณะนี้โดยทีมวิจัยของ เจษฎา วรรณสินธุ์ และทีมวิจัย ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งด้วยเทคนิค GISS ปัจจุบันนี้มีการใช้เทคโนโลยีการหล่อโลหะกึ่งของแข็งกันทั่วโลก ประเทศไทยก็เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการหล่อโลหะกึ่งของแข็งเพื่อประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมภายในประเทศ

1.2.1 อะลูมิเนียมหล่อผสมแบบกึ่งของแข็ง A356

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นวัสดุอะลูมิเนียมผสมเกรด A356 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1.1 ผ่านการหล่อขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งด้วยเทคนิค GISS (Gas induced semi-solid) ที่คล้ายกับการหล่อแบบ Rheocasting ซึ่งเทคนิค GISS จะทำการหล่อที่อุณหภูมิประมาณ 700°C เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 620°C จะใช้แก๊สเฉื่อยผ่านแท่งกราฟไฟต์พูน (แก๊สอาร์กอน หรือ ไนโตรเจน) เพื่อทำให้เกิดการไหลวนของน้ำโลหะเกิดการแตกหักของแกนเดนไดรต์ ใช้เวลาในการพ่นฟองแก๊สประมาณ 20 วินาที จากนั้นนำน้ำโลหะอะลูมิเนียมไปเทลงใน Mold แบบทรงกลมดังรูปที่ 1.2 (ก) และ (ข) แล้วอัด (Squeeze) ที่ความดันไม่น้อยกว่า 2,000 Psi ค้างไว้จนโลหะแข็งตัวได้เป็นชิ้นงานแบบแผ่นกลมที่มีความหนาประมาณ 6-8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1.3 (ก), (ข) และรูปที่ 1.3 (ค) เป็นโครงสร้างที่ได้จากการหล่อกึ่งของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (ก้อนสีขาว) เป็นเฟสอะลูมิเนียม (α) และบริเวณเฟสยูเทคติกส์ ประกอบด้วยเฟสอะลูมิเนียมผสมกับเฟสซิลิกอน (สีดำสลับขาว)



(ก)



(ข)

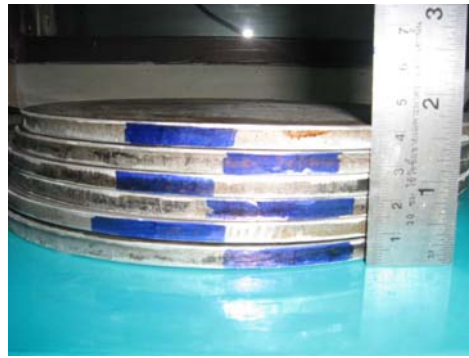
รูปที่ 1.2 แสดง Mold ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

ตารางที่ 1.1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสม A356 (W.T.%)

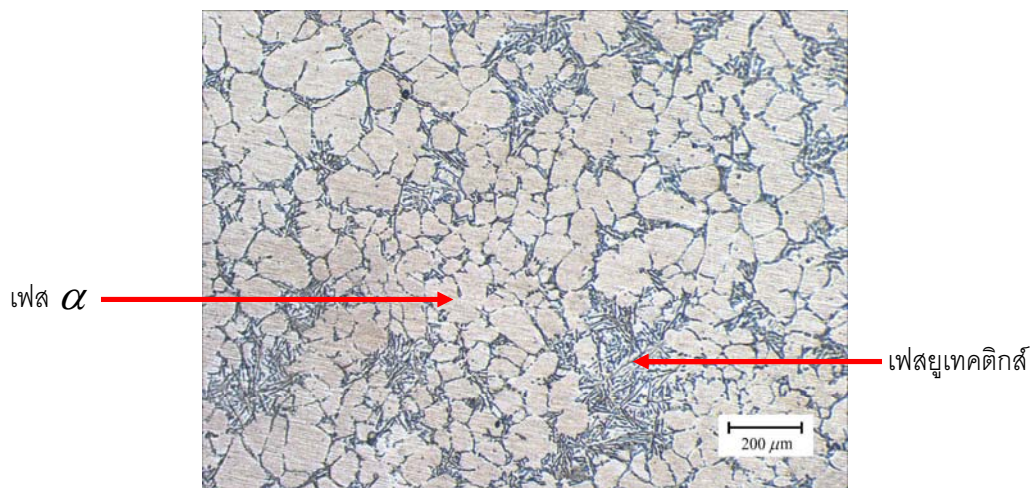
วัสดุ	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Al
A356	7.74	0.57	0.05	0.06	0.32	0.01	0.05	0.02	0.01	Bal.



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1.3 ภาพแสดงชิ้นงานและโครงสร้างของอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็งเกรด A356
ที่ได้จากการหล่อด้วยเทคนิค GISS

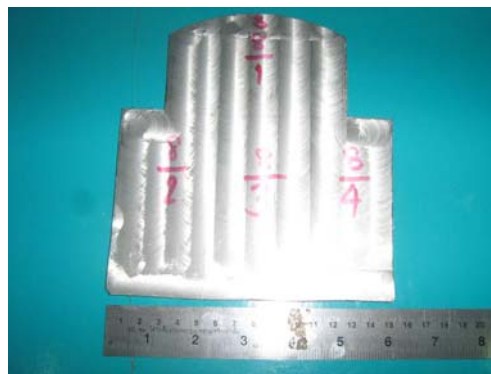
1.2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจากอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็ง A356

อะลูมิเนียมผสมหล่อทิ้งของแข็งเกรด A356 ที่ผ่านการหล่อแบบอัด (Squeeze casting) นำไปทำการปรับขนาดผิวชิ้นงานทั้งสองด้านด้วยเครื่องกัดแนวตั้ง (Milling) ให้มีขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) แล้วตัดชิ้นงานด้วยเครื่องเลื่อยสายพานให้มีขนาดความยาว x กว้าง x หนา 100 x 50 x 4 มิลลิเมตร จะได้ชิ้นทดสอบจำนวน 4 ชิ้นต่อหนึ่งแผ่นที่หล่อ ชิ้นทดสอบไม่มีการบากหน้าชิ้นงาน ซึ่งการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ โดยมีตัวแปรการทดลอง คือ รูปแบบของหัวพินสอง

ชนิดและความเร็วในการเชื่อมสามระดับ ดังนั้นในหนึ่งชั่วโมงจะต้องใช้ชิ้นทดสอบ 12 ชิ้น รวมการทดลองทั้งหมด 5 ชั่วโมง จะต้องใช้ชิ้นทดสอบ 60 ชิ้น การเตรียมชิ้นงานดังรูปที่ 3.5 (ก) และ (ข)



(ก)

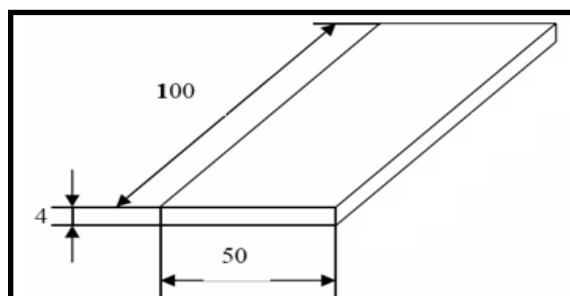


(ข)

รูปที่ 1.4 แสดงการกัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการหล่อทิ้งของแข็ง



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.5 แสดงชิ้นทดสอบอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็งเกรด A356 ที่ผ่านการกัดขึ้นรูปและตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน

1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

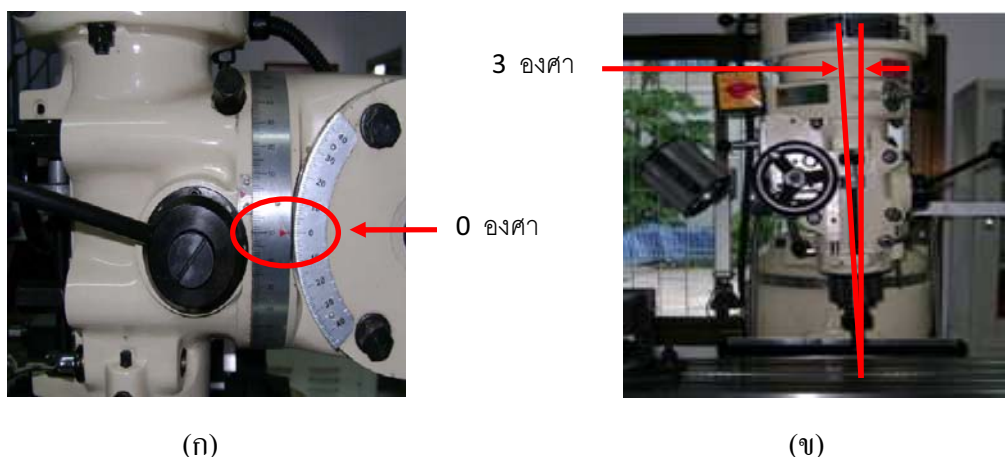
หลังจากออกแบบการทดลองเสร็จสิ้นแล้วและได้ทำการจัดเตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการเชื่อมเสร็จสิ้นแล้ว ก่อนการดำเนินงานในการทดลองจะทำการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ให้มีความเตรียมความพร้อมต่อการทดลอง ดังนี้

1. เครื่องกัดแนวตั้ง (Milling machine)
2. เครื่องเลื่อยสายพาน
3. เครื่องขัดกระดาษทราย ขัดสีกลาด

4. น้ำยาเคมีที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้าง
5. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness test)
6. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile strength)
7. กล้องถ่ายภาพกำลังขยาย 2-10 เท่า
8. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดซึ่งมีระบบเอ็กซ์เรย์ด้วย (Scanning Electron Microscope, SEM และ Energy Dispersive X-ray analysis , EDX)

1.3.1 การปรับมุมเอียงของเครื่องมือ

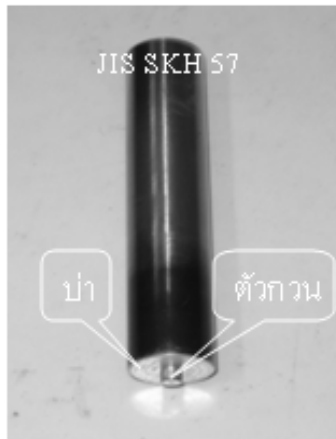
การปรับมุมเอียงของเครื่องมือเชื่อมโดยการประยุกต์เอาเครื่องกักแนวตั้งมาเป็นเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบกวนซึ่งจะต้องปรับให้เครื่องมือเอียงทำมุม 3 องศา กับผิวหน้าชิ้นทดสอบ และปรับระดับอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบให้ได้ระดับคงที่ตลอดความยาวของชิ้นทดสอบงานเชื่อมด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อผสม ดังรูปที่ 1.6 (ก) และ (ข)



รูปที่ 1.6 ภาพแสดงการปรับมุมเอียง 3 องศา ของหัวเชื่อม

1.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม

ลักษณะของเครื่องมือหรือ Tools ที่นำมาใช้ในการทดลองมีสองแบบ คือ แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ขนาดของบ่า $\varnothing 20$ มิลลิเมตร ตัวกวนมีขนาด $\varnothing 5$ มิลลิเมตร ความยาว 3.2 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กเครื่องมือความเร็วสูงมาตรฐาน JIS วัสดุ SKH 57 รูปที่ 1.7 (ก) ความยาวของตัวกวนจะมีค่าน้อยกว่าความหนาของแผ่นงานประมาณ 80% ในการเชื่อมเครื่องมือจะถูกจับยึดด้วยอุปกรณ์ของเครื่องกักที่มีการเอียงมุม 3 องศา รูปที่ 1.7 (ข)



(ก) เครื่องมือวัสดุ JIS SKH 57



(ข) อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ

รูปที่ 1.7 ลักษณะของ Tool และการจับยึด Tool

1.3.3 อุปกรณ์ในการจับยึดของการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

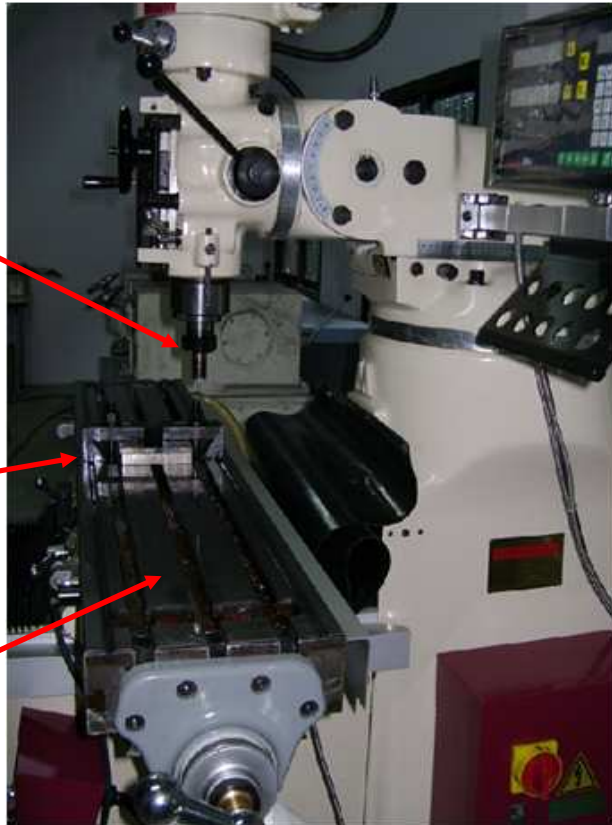
ส่วนต่างๆ ของเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบกวน ดังรูปที่ 1.8 แสดงส่วนชุดของหัวเชื่อมที่ใช้จับยึดหัวพิน และชุดจับยึดชิ้นงานในการเชื่อมโดยจะวางยึดติดกับแท่นรองเลื่อน

ในการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดและการจับยึดเครื่องมือ ดังรูปที่ 1.9 ของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนจะทำการจับยึดชิ้นงานสองชิ้นติดกับแท่นรองชิ้นงาน โดยใช้ตัวล็อกชิ้นงาน ด้านล่างชิ้นงานรองด้วยแผ่นเหล็กหนาสองชั้น โดยมีแผ่นประเก็นรองอยู่ตรงกลางแผ่นเหล็กทั้งสองชั้น และ Tools ยึดติดกับเหลาแกนหมุน จากการทดลองจะกำหนดให้ Tools หมุนอยู่กับที่ และชิ้นงานเคลื่อนที่ขณะเดินแนวเชื่อม

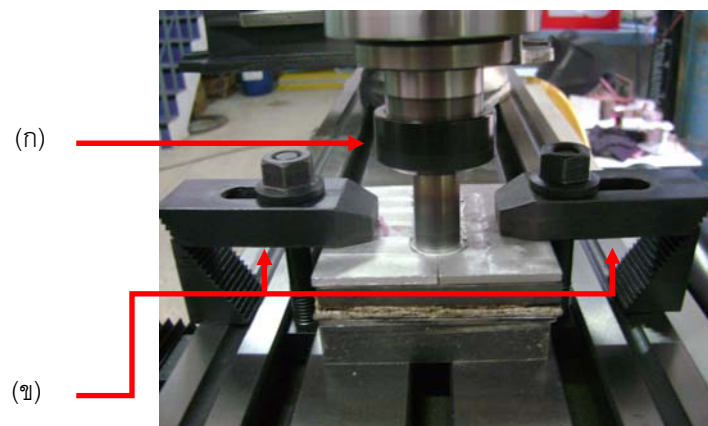
หัวเชื่อม หรือ Tools เอียง 3 องศา
(Rotation speed) ยึดด้วยตัวยึด
ดอกกัด ดังรูปที่ 1.9 (ก)

อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทดสอบยึด
อยู่กับที่ติดกับแท่นรองเลื่อน ดัง
รูปที่ 1.9 (ข)

แท่นรองเลื่อน (Welding speed)



รูปที่ 1.8 แสดงตำแหน่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน



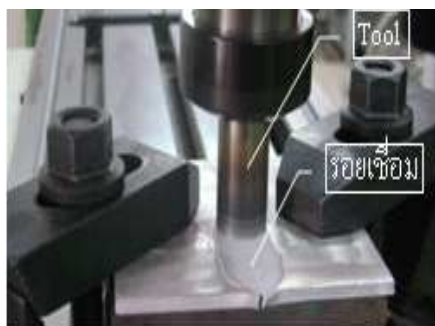
รูปที่ 1.9 แสดงการจับยึดชิ้นงานในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

1.4 กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

หลังจากการเตรียมวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เสร็จสิ้นแล้ว จากนั้นจะทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ Tool สองแบบ คือ หัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วในการหมุนของ Tool คงที่ 1,750 rpm และเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเดินเชื่อมสามระดับ 80, 120 และ 160 mm/min จับยึดชิ้นทดสอบให้แน่นกับแท่นรองชิ้นงาน หัวพินห่างจากขอบชิ้นทดสอบ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1.10 (ก) และ (ข) เริ่มต้นการเชื่อมโดยการเพิ่มแรงกดด้วยอัตราป้อนคงที่อย่างสม่ำเสมอจนน้ำหนักของ Tool สัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานพร้อมกับกำหนดให้แรงกดเริ่มต้นสูงสุดในขณะนั้นคงที่ประมาณ 450 กิโลกรัม ใช้เวลาในการกดจนน้ำหนักของ Tools สัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานขณะนั้นประมาณ 28 วินาที กำหนดให้การเสียดทานคงที่ ณ จุดเริ่มต้นค้างไว้ประมาณ 20 วินาที หลังจากนั้นก็เริ่มป้อนเดินแนวเชื่อมอัตโนมัติ ตามเงื่อนไขของแต่ละตัวแปรที่ได้ออกแบบไว้ในการทดลอง ดังรูปที่ 1.10 (ค) และ (ง) เมื่อสิ้นสุดการเชื่อมก่อนยกตัวกวนออกจากรอยเชื่อม ให้การเสียดทานคงที่ ณ ตำแหน่งสุดท้ายของการเชื่อม 10 วินาที ก่อนยก Tool ออกจากชิ้นทดสอบ



(ก) ปั่วของ Tool ห่างจากขอบชิ้นงาน 10 มม. (ข) แรงกดเริ่มต้น 450 กก. ก่อนเดินแนวเชื่อม 28 วินาที



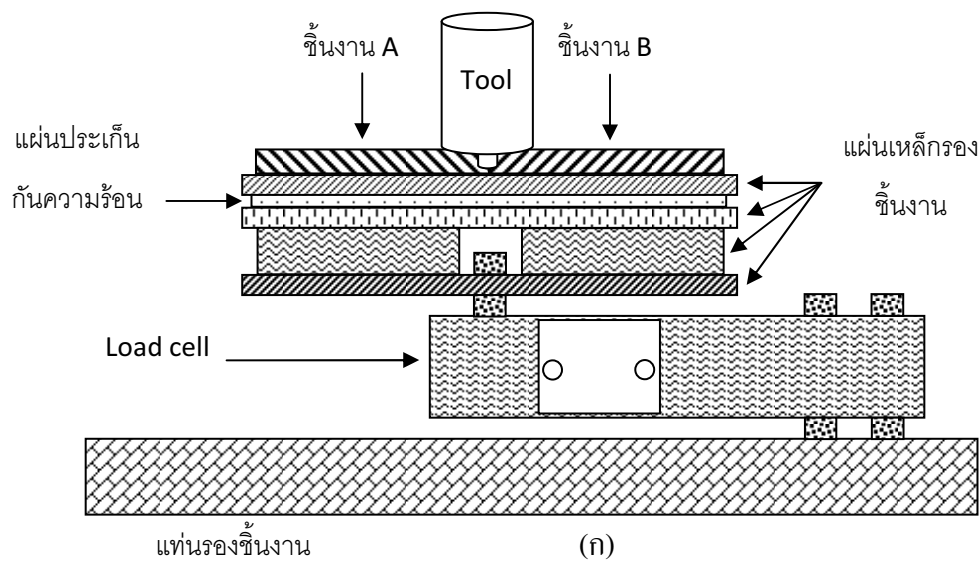
(ค) เดินแนวเชื่อมอัตโนมัติ



(ง) สิ้นสุดการเดินแนวเชื่อม

รูปที่ 3.10 กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

1.4.1 การวัดแรงกดในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน



รูปที่ 1.11 การวัดค่าแรงกดในการเชื่อมอะลูมิเนียม SSM A356 โดยใช้ Load cell

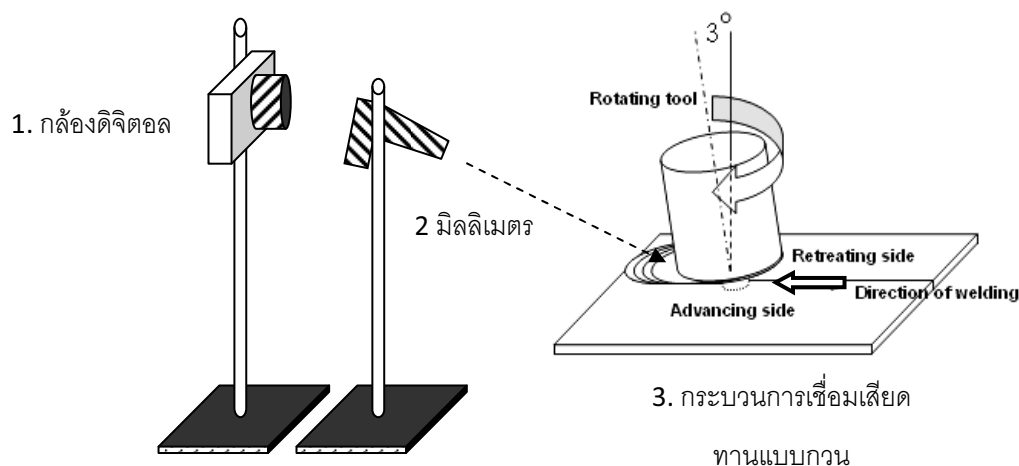
แรงกดที่เกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมสามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องมือวัด Load cell เพื่อให้ทราบพฤติกรรมของแรงกดที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง A356 จากการทดลองโดยใช้ Tool (หัวพิน) สองชนิดด้วยกัน คือ หัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม มีความเร็วในการหมุนของ Tool คงที่ 1,750 rpm และเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเดินเชื่อมสามระดับ 80, 120 และ 160 mm/min แรงกดขณะทำการเชื่อมมีแรงที่เกิดขึ้นสามช่วง ช่วงแรกเป็นการเพิ่มแรงกดในขณะที่เริ่มต้นของการเชื่อมจนบ่าสัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงาน ช่วงที่สองเป็นการเพิ่มแรงกดขณะทำการเชื่อมก่อนเดินแนวเชื่อม ช่วงที่สามแรงกดเพิ่มขึ้นจากความเร็วในการเชื่อม ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นนอกเหนือการควบคุมจน

สิ้นสุดรอยเชื่อม ดังรูปที่ 1.11 (ก) และ (ข) จะทำการบันทึกค่าด้วยกล้องดิจิทัลแบบบันทึกวิดีโอได้ มาช่วยในการบันทึกค่าจากจอแสดงผลของเครื่องวัดแล้วจึงนำมาพล็อตกราฟ

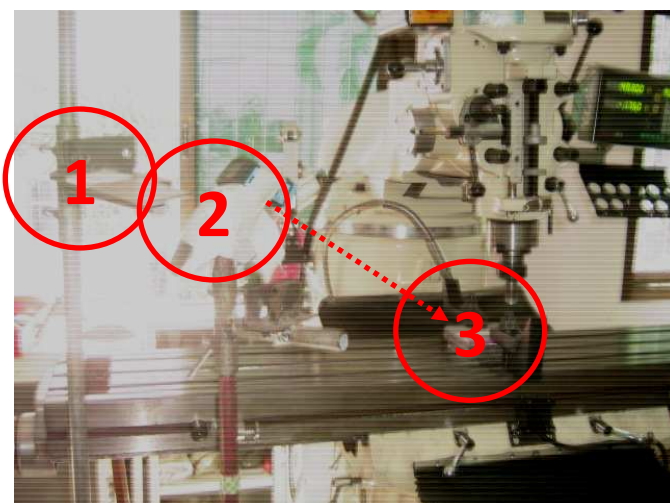
1.4.2 การวัดอุณหภูมิขณะทำการเชื่อม

2. เครื่องวัดอุณหภูมิ

แบบอินฟราเรด



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.12 แสดงการวัดอุณหภูมิขณะทำการเชื่อม

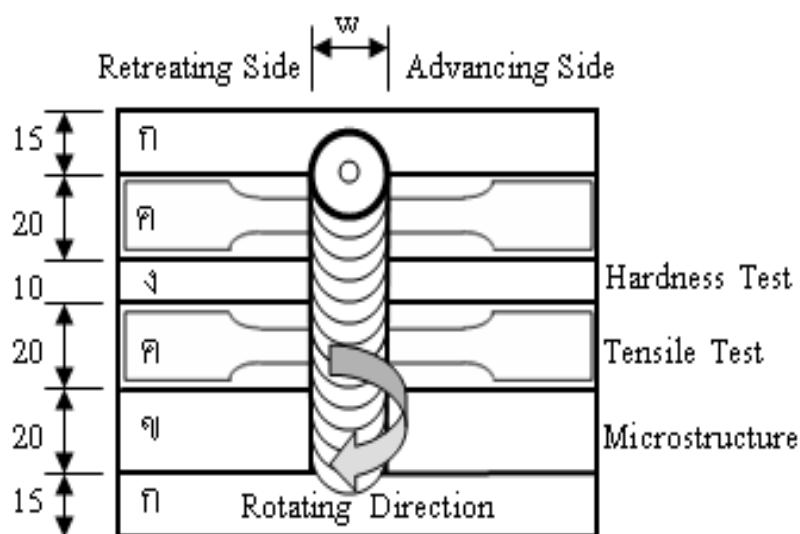
จากการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของหัว핀แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ความเร็วในการหมุนของ Tool ที่ 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ดังแสดงในรูปที่ 1.12 โดยการ

วัดจะทำการวัดห่างจากบ่าของ Tools ประมาณ 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้การบันทึกค่าด้วยกล้องดิจิทัลแบบบันทึกวิดีโอได้ มาช่วยในการบันทึกค่าจากจอแสดงผลของเครื่องวัด แล้วจึงนำมาพล็อตกราฟ

1.4.3 การ Lay out ตัดชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม

หลังจากทำการเชื่อมชิ้นงานเสร็จแล้วนำแผ่นงานที่เชื่อมไป Lay out เพื่อตัดชิ้นงานไปเตรียมเป็นชิ้นทดสอบทางโลหะวิทยาและทดสอบทางกล ดังรูปที่ 1.13

รูปที่ 1.13 แสดงลักษณะของการตัดชิ้นทดสอบ (A) ตำแหน่งเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดรอยเชื่อม (B) ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (C) ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (D) ชิ้นงานทดสอบความแข็งและตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (W) ตามยาวของรอยเชื่อม

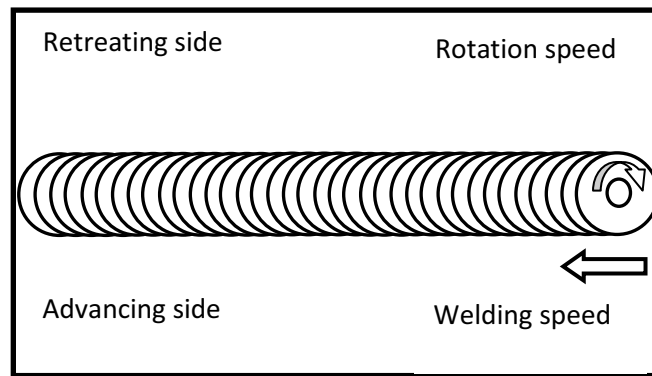


รูปที่ 1.13 การ Lay out ชิ้นงานทดสอบทางโลหะวิทยาและทางกล

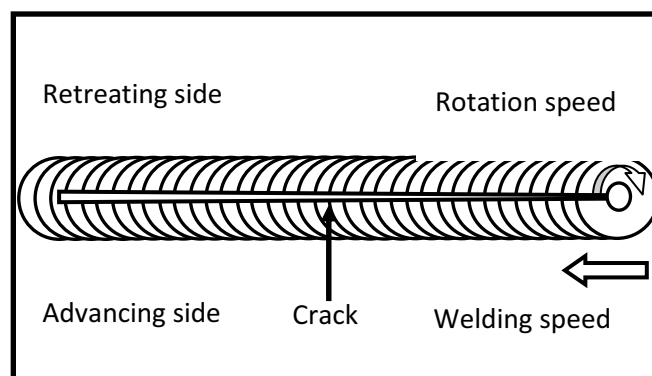
1.5 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อม

1.5.1 การตรวจสอบผิวหน้าของรอยเชื่อมด้วยสายตา

การตรวจสอบผิวหน้าของรอยเชื่อมจากภาพถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลกำลังขยายต่ำในแต่ละตัวแปรของการเชื่อม เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม ลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากบ่าของ Tool ตรวจสอบการซึมลึกของรอยเชื่อม หลังจากการเชื่อมจะทำการตรวจสอบรอยเชื่อมบริเวณด้านบนและด้านล่าง ด้วยสายตาเพื่อดูว่ารอยเชื่อมมีการประสานกันของชิ้นงานทั้งสองชิ้นที่นำมาเชื่อมต่อกันได้ดีเพียงใด ดังรูปที่ 1.14 มีการประสานกันที่ดีของชิ้นงานเชื่อมทั้งสองชิ้น หรืออีกในกรณีหนึ่ง เมื่อทำการตรวจสอบด้วยสายตาแล้วหากพบว่ารอยเชื่อมไม่ประสานกันหลังจากการเชื่อมแสดงว่ารอยเชื่อมนั้นไม่สามารถใช้งานได้ จะต้องทำการศึกษาและปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ใหม่ ดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.14 รอยเชื่อมจากการเสียดทานแบบกวนที่มีความสมบูรณ์



รูปที่ 1.15 รอยเชื่อมจากการเสียดทานแบบกวนที่ไม่สมบูรณ์

1.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

หลังจากการตรวจสอบด้วยสายตาแล้วไม่พบข้อบกพร่องใดๆ ของรอยเชื่อม ก็นำชิ้นงานไป Lay out และตัด ดังรูปที่ 1.13 จากนั้นนำไปเคลือบด้วยน้ำยา Epoxy ดังรูปที่ 1.16 ขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 150, 320, 400, 600, 800, 1,000 ถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับ ในการขัดวางกระดาษทรายลงบนแผ่นงานขัดหน้าเรียบแล้วขัดผิว

ตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้น ในขณะนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ผงโลหะรวมถึงซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดขึ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิมจนกว่าจะถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย ดังรูปที่ 1.17

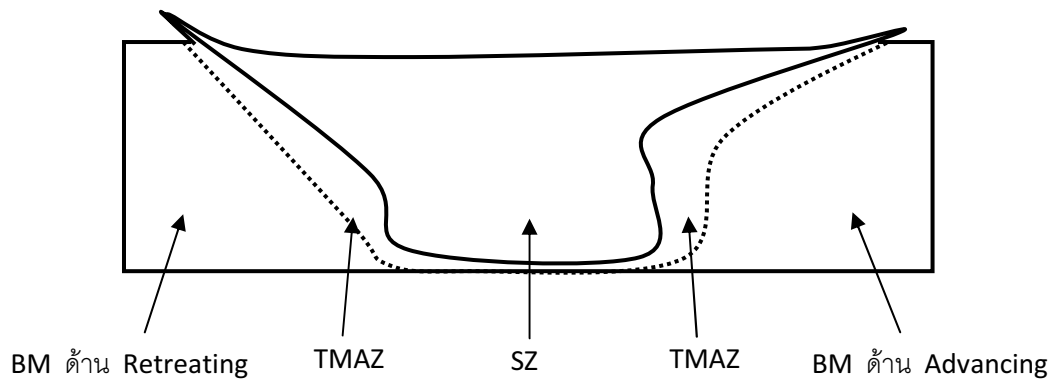


รูปที่ 1.16 แสดงชิ้นงานที่เคลือบด้วยน้ำยา Epoxy



รูปที่ 1.17 แสดงการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

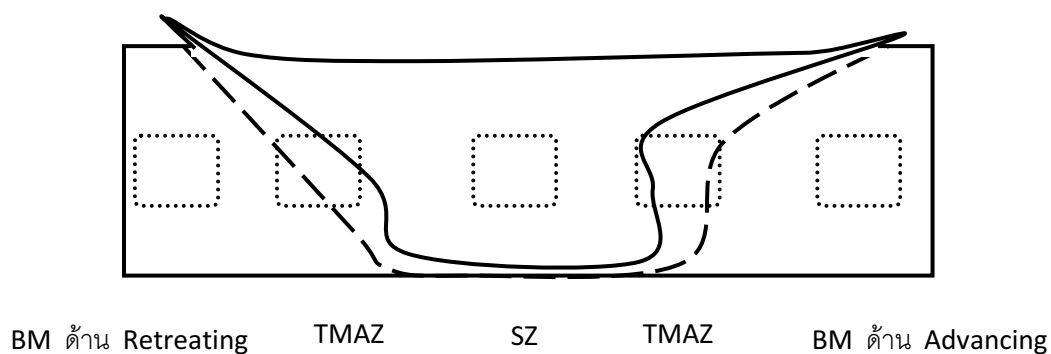
จากนั้นนำไปขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้ เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากอะลูมินา (Alumina oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium oxide) ที่มีขนาดตั้งแต่ 5 - 1 ไมครอน กัดผิวชิ้นทดสอบด้วยสารละลายเจือจาง Keller's reagent และนำชิ้นงานไปล้างด้วยแอลกอฮอล์และน้ำเคลือบป้องกันออกไซด์ ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคด้วยกล้องกำลังขยาย 2-4 เท่า เพื่อคุณลักษณะการไหลวนของเกรนภายในรอยเชื่อม ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 แสดงบริเวณต่างๆ ของโครงสร้างมหภาคจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

1.5.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OM)

ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เป็นชิ้นงานทดสอบเดียวกันกับชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาค ซึ่งหลังจากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคแล้วก็นำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (Micro-specimen) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ กำลังขยาย 50 ถึง 200 เท่า เพื่อตรวจสอบโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเดิม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลด้าน Retreating กับ Advancing และบริเวณที่ถูกกวนของรอยเชื่อม ตรวจสอบข้อบกพร่องและความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมแต่ละตัวแปรของการเชื่อม อีกทั้งดูการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนหลังจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ดังรูปที่ 1.19

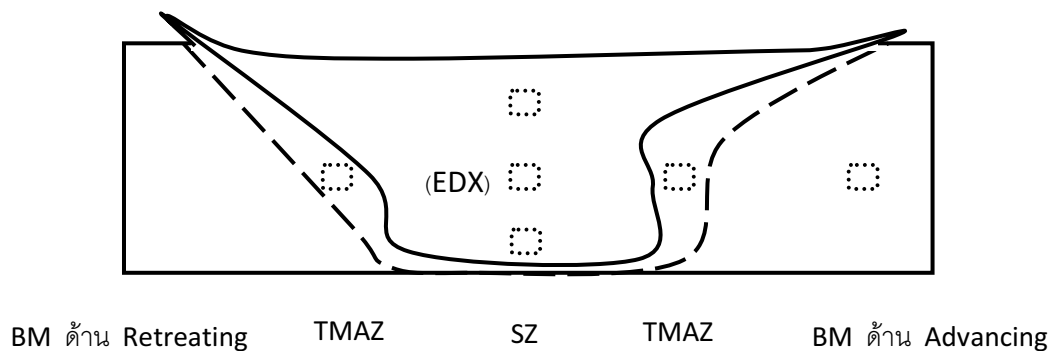


รูปที่ 1.19 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วย OM

1.5.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งมีระบบเอ็กซ์เรย์ด้วย (EDX)

ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด และ EDX เป็นชิ้นงานทดสอบเดียวกันกับชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาคและชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วย

กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า 20 kV เพื่อตรวจสอบโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเดิม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลด้าน Retreating กับ Advancing และบริเวณที่ถูกกวนของรอยเชื่อม ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรน ดูการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกอนและธาตุผสมอื่นๆ หลังจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน และการตรวจสอบด้วย EDX จะทำการตรวจสอบเพียงจุดเดียวในบริเวณที่ถูกกวน เพื่อดูว่าเฟสดังกล่าวเป็นธาตุอะไร ดังรูปที่ 1.20



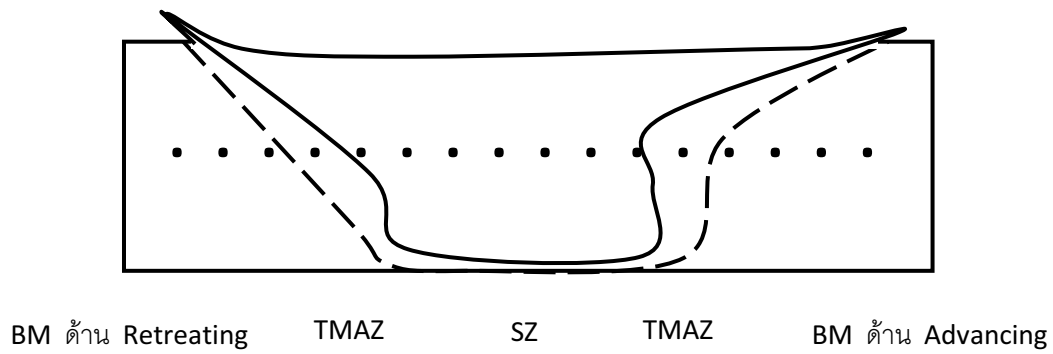
รูปที่ 1.20 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้อง SEM และ EDX

1.6 การทดสอบสมบัติทางกล

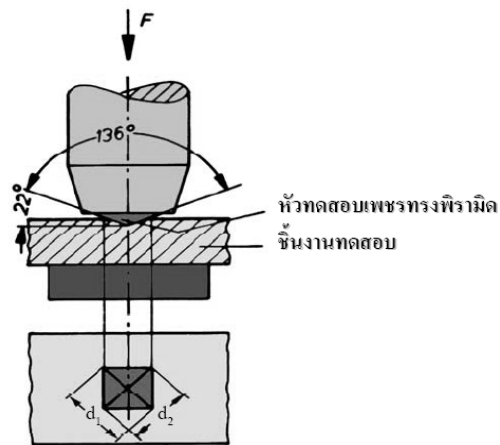
เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวรโดยการกดผิวหน้าของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องมือโครวิกเกอร์ เพื่อทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงกด เป็นค่าความแข็งของชิ้นทดสอบ และการดึงเพื่อทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึงของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง เป็นค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ ดังนี้

1.6.1 การทดสอบความแข็ง

ชิ้นงานทดสอบความแข็งเป็นชิ้นงานเดียวกันกับชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างซึ่งหลังจากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างทางจุลภาคเสร็จสิ้นแล้ว ก็นำชิ้นงานไปทดสอบความแข็งเพื่อหาความสามารถในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดกระทำลงบนชิ้นทดสอบ โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ กดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อม ระยะห่างรอยกด 60 – 70 μm ดังรูปที่ 1.21 แรงกดที่ใช้ 100 gf กดเป็นเวลา 10 วินาที หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ค่าความแข็งคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว ดังรูปที่ 1.22 สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากประมาณ 5 kgf/mm^2 จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ ประมาณ 1,500 kgf/mm^2 โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ



รูปที่ 1.21 แสดงตำแหน่งกคจากการวัดความแข็ง



รูปที่ 1.22 แสดงแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์

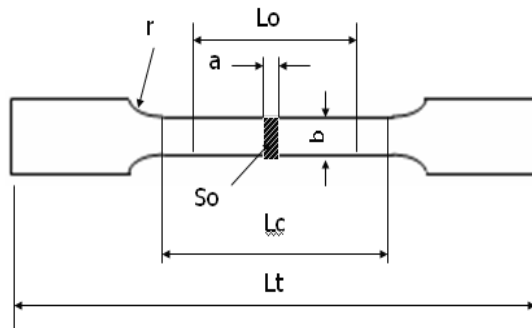
การวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ บริเวณภาคตัดขวางรอยเชื่อม เพื่อหาว่าในแต่ละบริเวณของชิ้นงานเชื่อมมีค่าความแข็งภายในเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ดังรูปที่ 1.22 และจากการคำนวณโดยใช้สมการ 1.1

$$\text{สมการ} \quad HV = \frac{1.854P}{d^2} \dots\dots\dots (1.1)$$

โดยที่ HV คือ ค่าความแข็งแบบ Vickers (kgf/mm²)
P คือ แรงกด (kgf)
d คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d₁ และ d₂ เฉลี่ย (mm)

1.6.2 การทดสอบแรงดึง

1.6.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบของเนื้อโลหะเดิม (BM)



รูปที่ 1.23 ภาพแสดงขนาดมาตรฐาน ASTM ของชิ้นทดสอบ



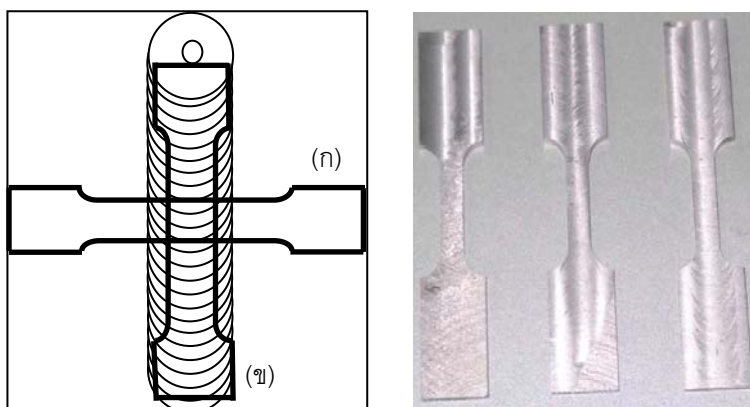
รูปที่ 1.24 ภาพแสดงการขึ้นรูปชิ้นทดสอบแรงดึงของเนื้อโลหะเดิม



รูปที่ 1.25 ภาพแสดงชิ้นทดสอบมาตรฐานของเนื้อโลหะเดิม SSM A356

การเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงของอะลูมิเนียมผสม SSM A356 ซึ่งหลังจากการหล่อทิ้งของแข็ง (BM) เพื่อนำค่าจากการทดสอบแรงดึงของเนื้อโลหะเดิมไปเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงที่ทำการเชื่อม โดยการนำไปลดขนาดด้วยเครื่องกัดแนวตั้งและตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อที่จะนำไปกัดขึ้นรูปดังรูปที่ 1.24 เตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM (E8) ดังรูปที่ 1.25 ขนาดของชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3.23 ดังนี้ $a = 4$, $b = 6$, $r = 12$, $L_0 = 24$, $L_t = 100$, $L_c = 27$ mm. และ $S_0 = 24$ mm²

1.6.2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบของงานเชื่อม



รูปที่ 1.26 การเตรียมชิ้นทดสอบของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวน

การเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวน จะมีสองลักษณะ คือ เตรียมชิ้นทดสอบโดยการตัดตามขวางกับรอยเชื่อมและตัดตามยาวกับรอยเชื่อม โดยการเตรียมจะใช้วิธีการเดียวกันกับการเตรียมชิ้นงานทดสอบของเนื้อโลหะเดิม ชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม (Strength of weld) จากชิ้นงานเชื่อมต่อชนด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ดังรูปที่ 1.26 (ก) ชิ้นทดสอบตัดตามขวางรอยเชื่อม (ข) ชิ้นทดสอบตัดตามยาวรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM (E8)

1.6.2.3 วิธีการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่าความแข็งแรงของงานเชื่อม (Strength of weld) โดยการทดสอบแรงดึงในงานเชื่อมเสียดทานแบบกวน นำชิ้นทดสอบที่เตรียมโดยการตัดตามขวางกับรอยเชื่อมและตัดตามยาวกับรอยเชื่อมไปทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิต่ำ ความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} mm/s ดังรูปที่ 1.27



รูปที่ 1.27 แสดงการทดสอบแรงดึง

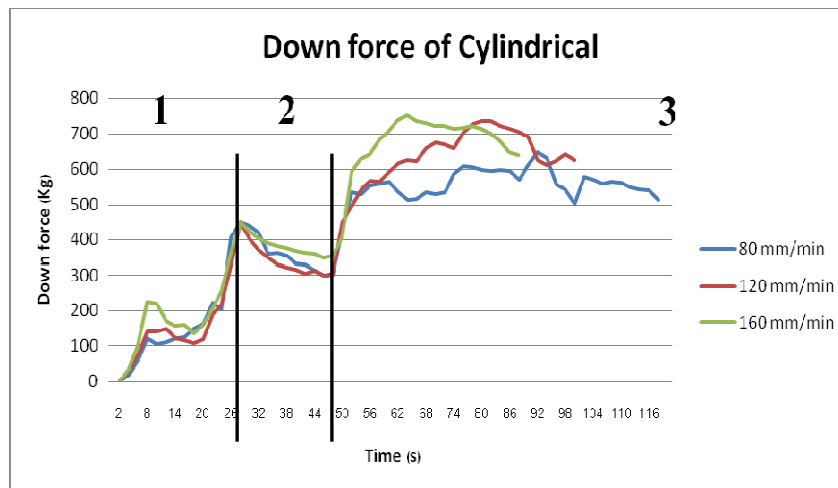
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาและทำการทดลองในเบื้องต้น โดยการนำเอาเครื่องกัดแนวตั้งแบบกึ่งอัตโนมัติประยุกต์เป็นเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบกวน ในการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบของ Tool (หัวพิน) และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมของการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมที่หล่อโดยเทคโนโลยีกึ่งของแข็งเกรด A356 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน กำหนดให้ความเร็วในการหมุนของ Tool คงที่และแรงกดเริ่มต้นคงที่ 450 กิโลกรัม จากการศึกษาเบื้องต้นโดย อับดุล บินระหีม (2008) พบว่าที่ความเร็วในการหมุนของ Tool มากกว่าหรือน้อยกว่า 1,750 rpm และความเร็วในการเดินเชื่อมน้อยกว่า 80 mm/min หรือมากกว่า 160 mm/min หลังจากการเชื่อมพบว่ารอยเชื่อมไม่ประสานเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดช่องว่างในรอยเชื่อม ทำให้เป็นข้อมูลในการกำหนดปัจจัยการทดลองดังนี้ คือ รูปแบบของ Tools ที่ใช้ในการทดลองมี 2 แบบ คือ หัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม กำหนดความเร็วในการหมุนของ Tool (หัวพิน) คงที่ 1,750 rpm แต่จะทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเดินแนวเชื่อม มี 3 ระดับ คือ 80, 120 และ 160 mm/min ในหนึ่งการทดลองจะเชื่อมทั้งหมด 6 ชิ้น และจะทำการทดลอง 5 การทดลองรวมทั้งหมด 30 ชิ้น ตัวแปรที่กล่าวมามีผลต่อกระบวนการเชื่อมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนจากการเสียดทาน ซึ่งมีผลต่อเนื้อโลหะบริเวณที่ถูกกวนและสมบัติทางกลของรอยเชื่อม ผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดค่าที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งผลในทางด้านโลหะวิทยาและผลทางสมบัติทางกล ผู้ทำการทดลองจึงได้นำเอา มาแสดงเพื่อเป็นตัวแทนเพียง 1 การทดลอง ดังต่อไปนี้

2.1 การวัดแรงกดขณะทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

2.1.1 การวัดแรงกดในขณะทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

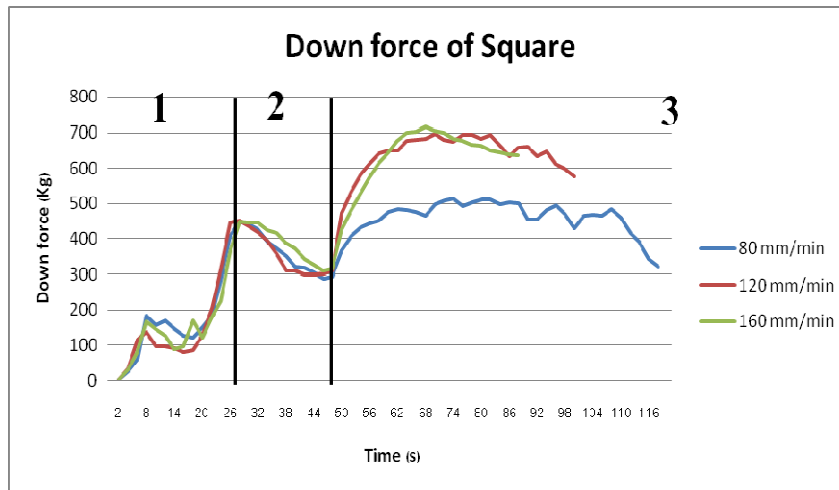
จากการทดลองโดยการวัดแรงขณะทำการเชื่อมซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของหัวพิน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีผลต่อแรงกดขณะทำการเชื่อมของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง A356 จากรูปที่ 2.1 และ 2.2 ในช่วงที่ 1 เป็นช่วงป้อนแรงกดเริ่มต้น กำหนดให้มีค่าคงที่ 450 กิโลกรัม ด้วยเวลาที่ใช้ในการกดจนบ่าของ Tool สัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานประมาณ 28 วินาที ช่วงที่ 2 เป็นช่วงของการหยุดป้อนแรงกดและค้างไว้ประมาณ 20 วินาที เพื่อให้เกิดการสะสมของความร้อนแผ่กระจายทั่วทั้งชิ้นงาน หลังจากนั้นช่วงที่ 3 จะเป็นช่วงของการป้อนเดินอัตโนมัติ ซึ่งแรงในช่วงนี้จะอยู่นอกเหนือการควบคุม



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงค่าแรงกดของหัวพินแบบทรงกระบอก

2.1.2 การวัดแรงกดจากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอก

จากการวัดแรงกดของหัวพินแบบทรงกระบอกขณะเชื่อม ที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min พบว่าแรงกดบนชิ้นงานทดสอบขณะเดินแนวเชื่อม คือในช่วงที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 558, 637 และ 680 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ในขณะเดินแนวเชื่อม คือในช่วงที่ 3 จะมีค่าคงที่อยู่ช่วงหนึ่งซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 605, 718 และ 723 กิโลกรัม ตามลำดับดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง จะมีค่าของแรงกดเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงความร้อนที่เกิดสะสมในรอยเชื่อมยังไม่มากพอที่จะทำให้ภายในเนื้อของวัสดุเกิดความอ่อนตัวหรืออยู่ในสภาวะพลาสติก จึงทำให้เกิดแรงต้านระหว่างหัวพินกับเนื้อวัสดุมากตามไปด้วย เมื่อเทียบกับที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำหัวพินจะมีลักษณะของการหมุนอยู่กับที่เป็นเวลานานกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อของวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติกมากกว่าทำให้ลดแรงต้านทานระหว่างหัวพินกับเนื้อวัสดุขณะเชื่อม



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่าแรงกดของหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

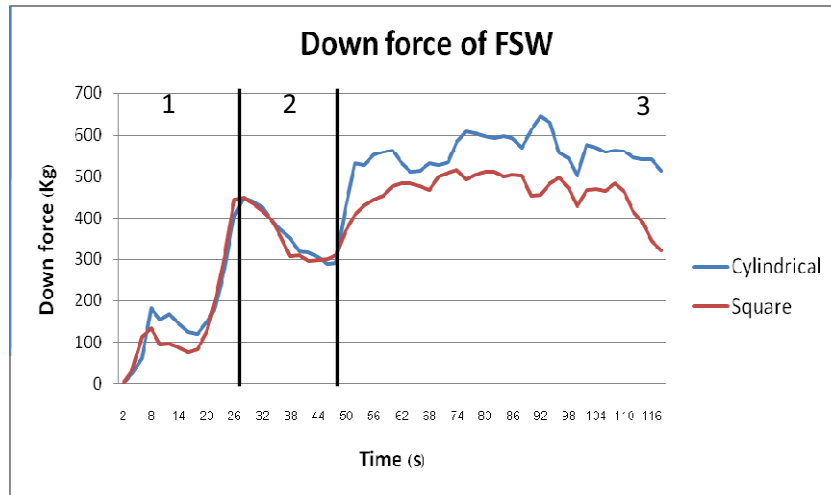
2.1.3 การวัดแรงกดจากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

จากการวัดแรงกดของหัวพินแบบสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min พบว่าแรงกดบนชิ้นทดสอบขณะเดินแนวเชื่อม คือ ช่วงที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 461, 633 และ 643 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ในขณะที่เดินเชื่อมจะมีค่าคงที่ในช่วงหนึ่งซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 485, 689 และ 691 กิโลกรัม ตามลำดับดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง จะมีค่าของแรงกดเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงความร้อนที่เกิดสะสมในรอยเชื่อมยังไม่มากพอที่จะทำให้ภายในเนื้อของวัสดุเกิดความอ่อนตัวหรืออยู่ในสภาวะพลาสติก จึงทำให้เกิดแรงต้านระหว่างหัวพินกับเนื้อวัสดุมากตามไปด้วย เมื่อเทียบกับที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำหัวพินจะมีลักษณะของการหมุนอยู่กับที่เป็นเวลานานกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อของวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติกมากกว่าทำให้ลดแรงต้านระหว่างหัวพินกับเนื้อวัสดุขณะเชื่อม

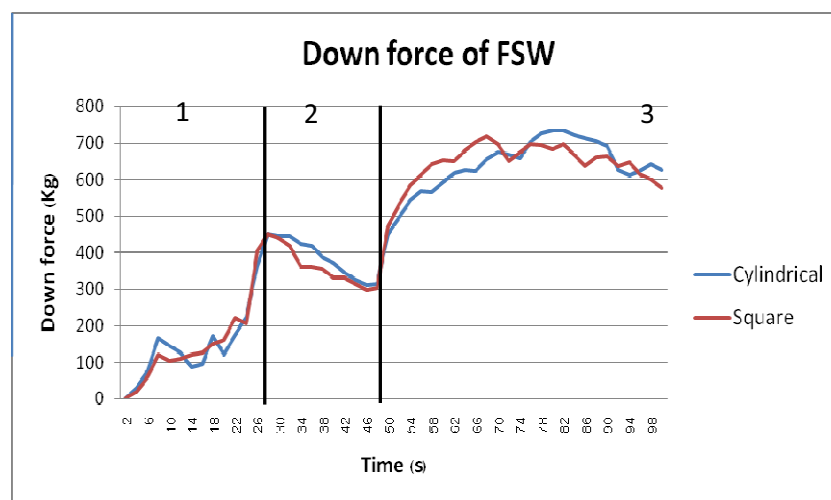
2.1.4 การเปรียบเทียบค่าแรงกดจากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

จากการเปรียบเทียบค่าแรงกดจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.3 (ก), (ข) และ (ค) พบว่าค่าแรงกดบนชิ้นงานทดสอบขณะทำการเชื่อมที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 และ 160 mm/min ของหัวพินแบบทรงกระบอกมีค่าแรงกดมากกว่าหัวพินแบบสี่เหลี่ยมเล็กน้อยประมาณ 5 % แต่ในขณะเดียวกันที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 mm/min ของหัวพินแบบทรงกระบอกมีค่าแรงกดมากกว่าหัวพินแบบสี่เหลี่ยมอย่างเห็นได้ชัดคิดเป็นประมาณ 25 % อันเนื่องมาจากลักษณะของหัวพินแบบทรงกระบอกมีพื้นที่การเสียดทานที่สัมผัสกับเนื้อวัสดุขณะเชื่อม

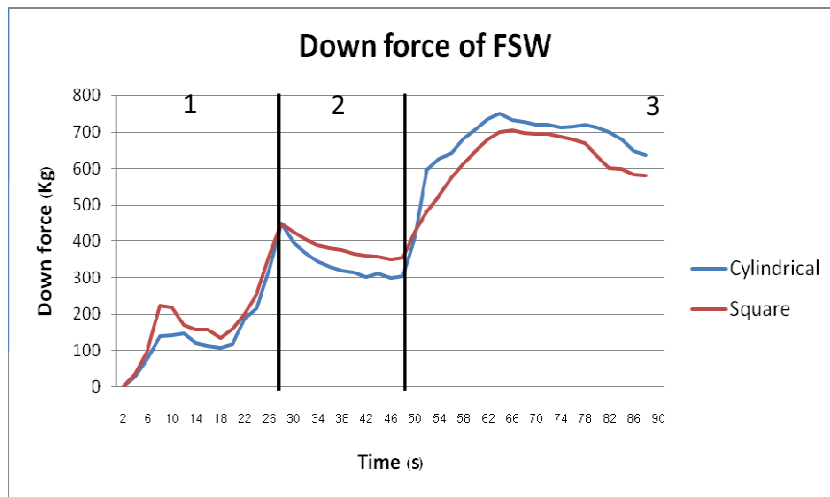
มากกว่าลักษณะของหัวพินแบบสี่เหลี่ยมส่งผลให้การเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอกเกิดแรงต้านภายในเนื้อวัสดุมากกว่าการเชื่อมด้วยหัวพินแบบสี่เหลี่ยม



(ก) 80 mm/min



(ข) 120 mm/min



(ค) 160 mm/min

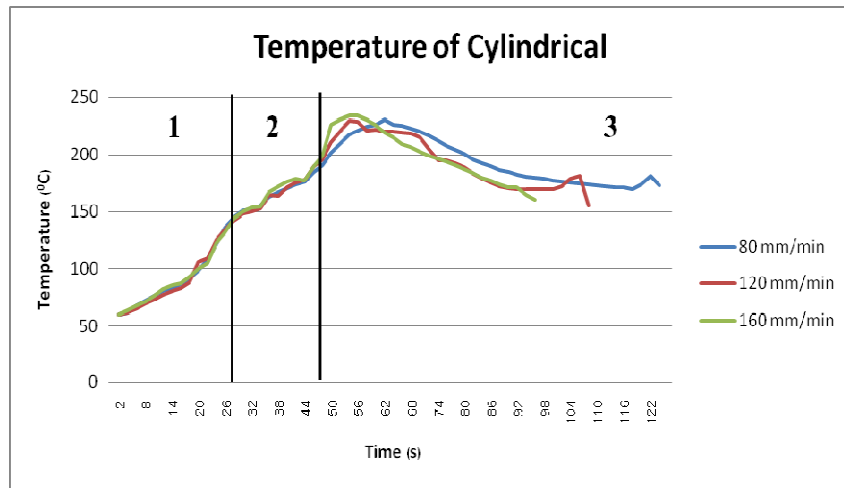
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่าแรงกดของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม

2.2 การวัดอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

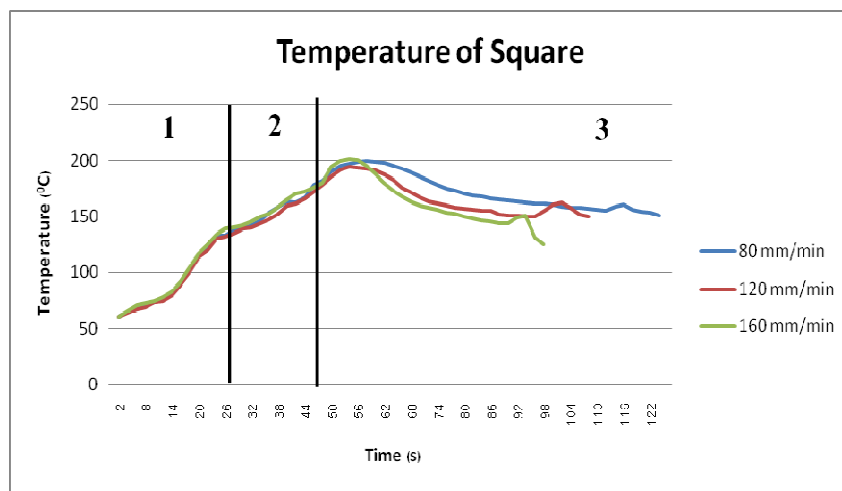
จากการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของหัวพินและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีผลต่ออุณหภูมิขณะทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็ง A356 เชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม ความเร็วในการหมุนของหัวพินที่ 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min ช่วงที่ 1 เป็นช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากการป้อนแรงกดเริ่มต้นจนบ่าของ Tool สัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานใช้เวลาประมาณ 28 วินาที ในช่วงที่ 2 เป็นช่วงของอุณหภูมิที่ได้จากการหยุดป้อนแรงกดและค้างไว้ประมาณ 20 วินาที อุณหภูมิจะลดลง ในช่วงที่ 3 เป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำการเดินแนวเชื่อมโดยอัตโนมัติ

2.2.1 การวัดอุณหภูมิจากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอก

จากการทดลองดังรูปที่ 2.4 แสดงค่าอุณหภูมิของหัวพินแบบทรงกระบอกหลังจากการเชื่อมพบว่าอุณหภูมิขณะเดินแนวเชื่อม คือในช่วงที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 210, 205 และ 197 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงจะมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำจะมีลักษณะของการหมุนวนของหัวพินในรอยเชื่อมเป็นเวลานานกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงจึงทำให้ความร้อนเกิดการสะสมมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่ได้มีค่ามากนักของความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 120 และ 160 mm/min แต่จะแตกต่างกันมากของความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 80 และ 160 mm/min อันเนื่องมาจากความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่างกันมาก



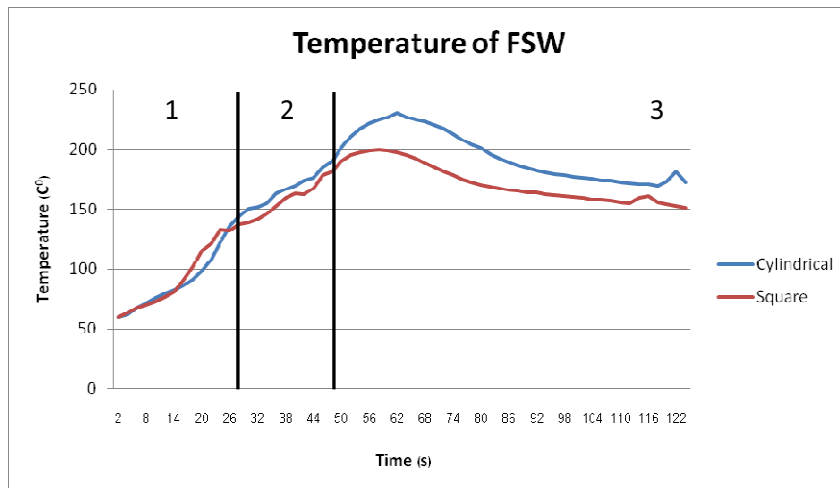
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของหัวพินแบบทรงกระบอก



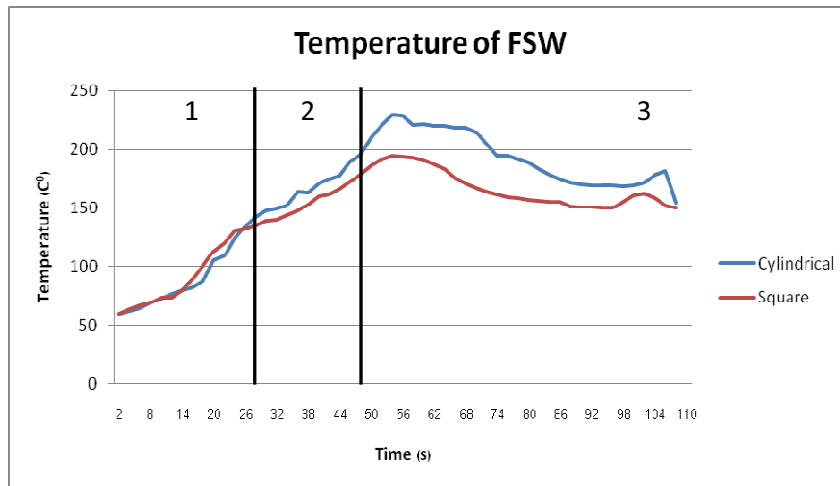
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

2.2.2 การวัดอุณหภูมิจากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

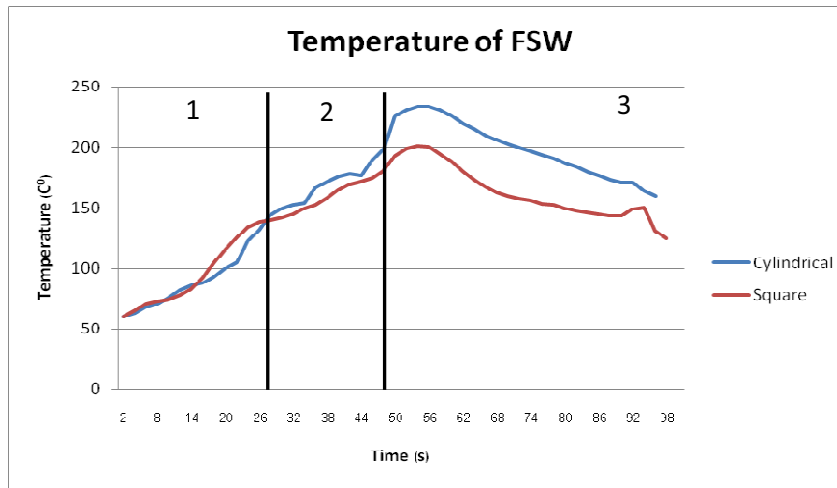
จากการทดลองดังรูปที่ 2.5 แสดงค่าอุณหภูมิของหัวพินแบบสี่เหลี่ยมหลังจากการเชื่อมพบว่า อุณหภูมิขณะเดินแนวเชื่อมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 171, 166 และ 162 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงจะมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำจะมีลักษณะของการหมุนวนของหัวพินในรอยเชื่อมเป็นเวลานานกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงจึงทำให้ความร้อนเกิดการสะสมมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ต่างกันไม่ได้มีค่ามากนักในแต่ละความเร็วเดินแนวเชื่อม แต่จะแตกต่างกันมากของความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 80 และ 160 mm/min อันเนื่องมาจากความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่างกันมาก



(ñ) 80 mm/min



(ŧ) 120 mm/min



(ค) 160 mm/min

รูปที่ 2.6 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม

2.2.3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

จากการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนดังรูปที่ 2.6 (ก), (ข) และ (ค) พบว่าอุณหภูมิในช่วงที่ 1 และ 2 ของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยมไม่มีความแตกต่างกัน อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องในช่วงที่ 1 และจะลดลงเล็กน้อยในช่วงที่ 2 อย่างไรก็ตามในช่วงที่มีความแตกต่างกันก็คือในช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงของการเดินแนวเชื่อม จากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอกจะมีค่าอุณหภูมิมากกว่าการเชื่อมด้วยหัวพินแบบสี่เหลี่ยมคิดเป็นประมาณ 10 % ของทั้งสามความเร็วในการเดินแนวเชื่อม อันเนื่องมาจากหัวพินแบบทรงกระบอกมีพื้นที่สัมผัสและการเสียดทานภายในเนื้อวัสดุตลอดเวลา อีกทั้งแรงกดขณะเดินแนวเชื่อมของหัวพินแบบทรงกระบอกมีค่ามากกว่าหัวพินแบบสี่เหลี่ยม จึงทำให้การเสียดทานเกิดความร้อนมากกว่าหัวพินแบบสี่เหลี่ยมเช่นกัน

2.3 การตรวจสอบผิวหน้ารอยเชื่อมของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม

จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง A356 ของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วในการหมุนของ Tool 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80, 120 และ 160 mm/min ใช้การสังเกตด้วยสายตาเพื่อตรวจสอบดูว่ารอยเชื่อมมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไรบ้างหลังจากการเชื่อม

2.3.1 ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมของหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

ผลจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 (ก), (ข) และ (ค) จากการเชื่อมด้วยหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม พบว่าผิวหน้าด้านบนของรอยเชื่อมมีลักษณะเรียบที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงความร้อนที่สะสมในรอย

เชื่อมยังน้อยที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติก เมื่อเทียบกับที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำ จะมีลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่ขรุขระเป็นรี้วรอยที่เกิดจากบ่าของ Tool สัมผัสกับผิวหน้ารอยเชื่อม อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติก เนื้อวัสดุในรอยเชื่อมเกิดการอ่อนตัวทำให้มีรี้วรอยเกิดขึ้น อีกทั้งที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำจะเกิดครีปมากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูงโดยเฉพาะด้าน Retreating อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติกเกิดการเคลื่อนตัวได้สะดวก ลื่นออกจากบ่าของ Tool เกิดเป็นครีปด้าน Retreating เพราะว่าด้าน Retreating เป็นด้านที่ทิศทางการหมุนของ Tool สวนทางกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม พบว่าบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อมเกิดการประสานกันที่ดีในรอยเชื่อมต่อชน และบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแยกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม แต่จะเกิดรูบริเวณจุดสิ้นสุดของรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากปลายของหัวพิน



(ก) 80 mm/min



(ข) 120 mm/min



(ค) 160 mm/min

รูปที่ 2.7 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของหัวพินแบบทรงกระบอก



(ก) 80 mm/min



(ข) 120 mm/min



(ค) 160 mm/min

รูปที่ 2.8 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของหัว핀แบบสี่เหลี่ยม

2.3.2 การเปรียบเทียบลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม

จากการเปรียบเทียบผิวหน้าด้านบนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนของหัว핀แบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 (ก), (ข) และ (ค) พบว่าผิวหน้ารอยเชื่อมของหัว핀แบบทรงกระบอกมีลักษณะที่หยาบและเกิดริ้วรอยมากกว่ารอยเชื่อมของหัว핀แบบสี่เหลี่ยมอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็วในการเดินเชื่อมต่ำ และจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบทรงกระบอกจะเกิดครีบมากกว่าจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบสี่เหลี่ยมโดยเฉพาะในด้าน Retreating อันเนื่องมาจากความร้อนและแรงกดที่มากกว่าหัว핀แบบสี่เหลี่ยม ความร้อนที่มากกว่าทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติกมากกว่าด้วยเช่นกัน อีกทั้งยังมีแรงกดที่มากกว่ามากระทำขณะเชื่อมจึงทำให้มีลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่ขรุขระเป็นรอยที่เกิดจากบ่าของ Tool มากกว่าการเชื่อมด้วยหัว핀แบบสี่เหลี่ยม เหตุผลที่เกิดเป็นครีบด้าน Retreating เพราะว่าด้าน Retreating เป็นด้านที่ทิศทางการหมุนของ Tool สวนทางกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม พบว่าบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อม

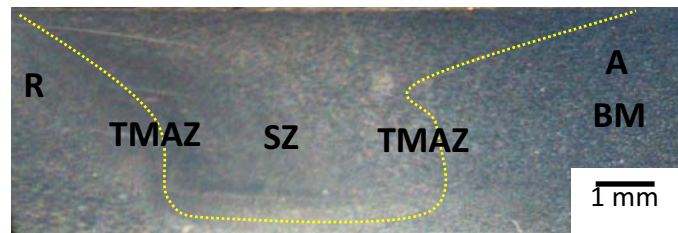
ของหัวพินทั้งสองแบบเกิดการประสานกันที่ดีของรอยเชื่อมต่อชน และบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแยกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม แต่จะเกิดรูบริเวณจุดสิ้นสุดของรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากปลายของหัวพิน

2.4 โครงสร้างมหภาคของหัวพินแบบทรงกระบอกและแบบสี่เหลี่ยม

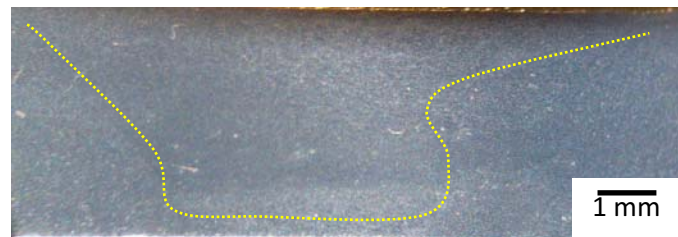
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนในอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็ง A356 โดยการตัดชิ้นทดสอบในทิศทางตั้งฉากกับรอยเชื่อมและให้รอยเชื่อมอยู่ตำแหน่งกลางของชิ้นทดสอบ จัดตามขั้นตอนของการเตรียมชิ้นทดสอบ กัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายเจือจาง Keller's reagent เพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในบริเวณรอยเชื่อม และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลด้าน Retreating และด้าน Advancing ด้วยกล้องที่มีกำลังขยายต่ำ 2-8 เท่าของความเร็วในการหมุนของ Tools ที่ 1,750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 80, 120 และ 160 mm/min ดังนี้

2.4.1 โครงสร้างมหภาคของหัวพินแบบทรงกระบอกและหัวพินแบบสี่เหลี่ยม

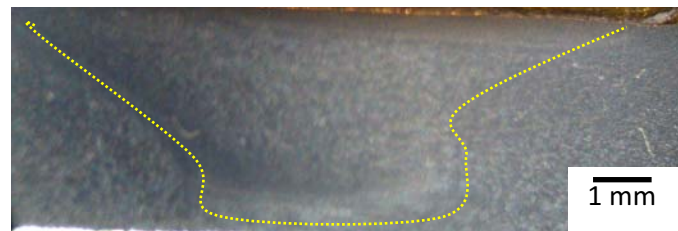
จากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็ง A356 แสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 (ก), (ข) และ (ค) พบว่าบริเวณที่ถูกกวนของหัวพินแบบทรงกระบอกทั้งสามความเร็วในการเดินแนวเชื่อมไม่มีข้อบกพร่องใดๆ เกิดขึ้นกับรอยเชื่อม รอยเชื่อมมีลักษณะที่ประสานกันเป็นอย่างดีของชิ้นงานทั้งสองชิ้น ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำรอยเชื่อมจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายกับหัวหอมรีที่มีรูปแบบเด่นชัดมากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง [Z.Y. Ma et al. (2006)] อันเนื่องมาจากที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่ำความร้อนที่เกิดขึ้นภายในรอยเชื่อมมีมากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง จึงทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติกมากกว่าเกิดการไหลวนช้าๆ รอบตัวกวน จากการสังเกตในบริเวณที่ถูกกวนของทั้งสามความเร็วเดินแนวเชื่อมจะมีลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมที่เรียบกว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิม อันเนื่องมาจากการกวนของหัวพิน อีกทั้งในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลด้าน Retreating จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่แคบและเรียบมากกว่าบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลด้าน Advancing อันเนื่องมาจากด้าน Retreating เป็นทิศทางที่ความเร็วในการหมุนของหัวพินสวนทางกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม จึงทำให้โครงสร้างเกิดการไหลวนสวนทางกันคล้ายกับถูกอัด และด้าน Advancing มีโครงสร้างที่คล้ายกับถูกดึงเป็นบริเวณกว้าง อันเนื่องมาจากเป็นด้านที่ทิศทางการหมุนของหัวพินกับทิศทางการเดินแนวเชื่อมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



(ก) 80 mm/min



(ข) 120 mm/min



(ค) 160 mm/min

รูปที่ 2.9 โครงสร้างมหภาคจากการเชื่อมด้วยหัว핀แบบทรงกระบอก (R) Retreating side, Advancing side, (TMAZ) Thermo-mechanical affected zone และ (SZ) Stir zone