บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามลำดับขั้นตอนการทดลองและการเก็บข้อมูลทดสอบตามวิธีต่างๆ ด้วยเงื่อนไขการทดลองที่ได้วางไว้ ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งเป็นการทดลองในสถานการณ์เสมือนจริง สรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการพัฒนาเครื่องกัดโลหะเพื่องานเชื่อมต่อโลหะ

จากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่า เครื่องกัดโลหะแกนตั้งระบบกึ่งอัตโนมัติยี่ห้อ BEIJING รุ่น X5032 สามารถพัฒนาประยุกต์ใช้ สำหรับเชื่อมโลหะด้วยเทคนิคการเสียดทานแบบกวน กับอะลูมิเนียมผสม เกรด 6061-T6 ขนาดความหนา 6.0 มิลลิเมตร ที่มุมเอียงหัวกดเชื่อม 2.5 องศา ได้ทุกเงื่อนไขการทดลอง การตรวจสอบรอยเชื่อมเบื้องต้น ในระดับมหภาคด้วยสายตา ไม่ปรากฏการแตกร้าวและจุดบกพร่องจากการเชื่อมทดสอบ ซึ่งหัวกดเชื่อมที่ให้คุณภาพรอยเชื่อมที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้งานได้จริง ได้แก่หัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกผิวเรียบปลายโค้งมน ที่ความเร็วรอบหัวกดเชื่อม 1,180 รอบต่อนาที ความเร็วในการเชื่อม 600 มิลลิเมตรต่อนาที หรือตัวอย่างรหัส R-H600

5.2 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกลในรอยเชื่อม

การวิเคราะห์ผลการศึกษารอยเชื่อมด้านสมบัติทางกลในสองกรณี ได้แก่การทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึง และค่าความแข็งบริเวณตัดภาครอยเชื่อม สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.2.1 ผลการศึกษาความต้านทานแรงดึงสูงสุด จากการทดสอบแรงดึงบริเวณรอยเชื่อม สรุปได้ว่า ความต้านทานแรงดึงรอยเชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายโค้งมน ตามเงื่อนไขการทดลอง R-H600 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานได้จริง มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ย 256±5 MPa เมื่อเทียบกับวัสดุเดิมที่มีความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดย เฉลี่ย 295±5 MPa รอยต่อเชื่อมมีสมรรถนะความแข็งแรงเท่ากับ 86.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงในรอยเชื่อมน้อยกว่าวัสดุเดิม 13.3 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการยืดตัวของรอยเชื่อมเฉลี่ย 10.0 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถนะการยืดตัวของรอยเชื่อมเท่ากับ 57.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า น้อยกว่าวัสดุเดิม 42.9 เปอร์เซ็นต์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

5.2.2 ผลการศึกษาค่าความแข็งบริเวณภาคตัดรอยเชื่อม การศึกษาค่าความแข็งบริเวณ HAZ สรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีผลกระทบต่อค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน ซึ่งรอยเชื่อมจากการทดลองทุกเงื่อนไข มีค่าความแข็งน้อยกว่าวัสดุเดิม ที่มีค่าความแข็งตามแนวรีดโดยเฉลี่ย 107.0±3 VHN ค่าความแข็งในภาคตัดรอยเชื่อมโดยเฉลี่ย 85.0±3 VHN บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อมมีความกว้างเท่ากับ ความโตของบ่าให้ความร้อนขนาด 18.0 มิลลิเมตร หรือค่าความแข็งบริเวณ HAZ ลดลงจากเดิมโดยเฉลี่ย 22.0 VHN

การหักขาดจากการทดสอบแรงดึงของการทดลองเงื่อนไขต่างๆ พบว่าการหักขาดสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าความแข็ง โดยจะหักขาดบริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ที่ค่าความแข็งต่ำสุดในลักษณะตั้งฉากกับแนวแรงหรือขนานตามแนวรอยเชื่อม และมีสองเงื่อนไขคือชิ้นทดสอบรหัส R-L475 และ T-L750 ที่หักขาดบริเวณขอบแนวเชื่อมด้านขวา (Retreating) ในลักษณะเฉียงจากบนลงล่างประมาณ 45 องศา เข้าหากึ่งกลางรอยเชื่อม และมีแต่เฉพาะเงื่อนไขการทดสอบ R-H600 ที่เกิดการหักขาดบริเวณขอบแนวเชื่อมด้านซ้าย (Advancing) ในลักษณะเฉียงลงในทิศเข้าหากึ่งกลางรอยเชื่อมเช่นเดียวกัน

5.3 สรุปผลการศึกษาโครงสร้างในรอยเชื่อมระดับมหภาคและจุลภาค

การวิเคราะห์ผลการศึกษาโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมด้วยภาพถ่ายทางโลหะวิทยา เพื่อศึกษาผลกระทบจากความร้อนและแรงทางกลจากการเชื่อม ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยานี้ได้ศึกษาโครงสร้างในสองระดับ ได้แก่ระดับมหภาค ที่สามารถมองเห็นผลการศึกษาด้วยตาเปล่าหรือใช้กำลังขยายไม่เกิน 10 เท่า และระดับจุลภาคที่ใช้กำลังขยาย มากกว่า 50 เท่า สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.3.1 ผลการศึกษาโครงสร้างภาคตัดรอยเชื่อมระดับมหภาค จากการศึกษาผลกระทบทางความร้อนบริเวณภาคตัดรอยเชื่อม สรุปได้ว่า ความเร็วรอบการเชื่อม สร้างผลกระทบทางความร้อนสองลักษณะคือ ลักษณะที่หนึ่งกลุ่มตัวอย่างที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที บริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมป้านประมาณ 120 องศา คล้ายปลายคมเจาะของดอกสว่าน มีขนาดความกว้างโดยประมาณเท่ากับบ่าให้ความร้อนของหัวกดเชื่อม และมีระยะซึมลึกของรอยเชื่อม โดยประมาณเท่ากับขนาดความยาวของสลักแกนหมุนกวน

ลักษณะที่สองกลุ่มตัวอย่างที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที บริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนจะมีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดความกว้างของบ่าให้ความร้อนหัวกดเชื่อม การซึมลึกโดยประมาณเท่ากับความหนาของชิ้นทดสอบ ซึ่งมีขนาดความยาวเท่ากับเส้นรัศมีพอดี

5.3.2 ผลการศึกษาโครงสร้างภาคตัดรอยเชื่อมระดับจุลภาค

การวิเคราะห์ผลด้วยภาพถ่ายโครงสร้างบริเวณภาคตัดรอยเชื่อม ด้วยกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า ทำการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค โดยแบ่งพื้นที่เป็นห้าส่วน นับจากบริเวณกึ่งกลาง ตรงกับตำแหน่งของสลักแกนหมุนกวน และบริเวณตำแหน่งขอบด้านข้างสลักแกนหมุนกวนทั้งสองด้าน สุดท้ายเป็นตำแหน่งวัสดุเดิมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมทดสอบ สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในรอยเชื่อม มีความแตกต่างกันสามส่วนเหมือนกันทุกเงื่อนไขทดลอง คือ

โครงสร้างโลหะบริเวณขอบรอยเชื่อมด้าน Retreating เกรนโลหะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากแรงทางกล เพราะขอบข้างของสลักแกนหมุนกวนเคลื่อนตัวผ่าน และเกรนเกิดการเคลื่อนตัวเปลี่ยนทิศทางเข้าหากึ่งกลางรอยเชื่อมด้านล่าง ในลักษณะโค้งลงเล็กน้อย

โครงสร้างโลหะในบริเวณตำแหน่งกึ่งของสลักแกนหมุนกวน ในรอยเชื่อมที่ปกติ เกรนจะมีขนาดเล็กกว่าส่วนอื่นๆ และมีขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งเกิดจากการแทรกตัวผ่านของสลักแกนหมุนกวน ส่วนในรอยเชื่อมที่ไม่ปกติ พบข้อบกพร่องระดับจุลภาคมีลักษณะเป็นริ้วรอยยาว แทรกตัวตามขอบเกรน ซึ่งจะมีผลทำให้สมรรถนะการยืดตัวของรอยเชื่อมลดลง แต่ความต้านทานแรงดึงยังอยู่ในพิกัด

โครงสร้างโลหะบริเวณขอบรอยเชื่อมด้าน Advancing เกรนบริเวณส่วนที่ได้รับแรงทางกล เนื่องจากการเสียดสีของสลักแกนหมุนกวน เคลื่อนตัวแทรกผ่านเกรนทำให้มีขนาดเล็กลงกว่าส่วนที่ไม่ได้รับแรงทางกลอย่างเห็นได้ชัดเจน และมีการเคลื่อนตัวของเกรนรุ่นแรงกว่า โดยมีการเคลื่อนตัวเข้าหากึ่งกลางรอยเชื่อมด้านล่างในลักษณะโค้งลงมากกว่า 60 องศา จากขอบด้านบนลงมาด้านล่าง ซึ่งตรงกับตำแหน่งขอบข้างของสลักแกนหมุนกวน

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัย การพัฒนาเครื่องกัดโลหะแกนตั้งระบบกึ่งอัตโนมัติ สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวน อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ตามเงื่อนไขต่างๆ จนสำเร็จลุล่วง พบว่ามีประเด็นปัญหาที่น่าสนใจควรที่จะมีการศึกษาวิจัยในอีกสองกรณีได้แก่

5.5.1 ข้อเสนอแนะประเด็นปัญหากรณีที่หนึ่ง ควรมีการศึกษาถึงโครงสร้างและสมบัติเชิงกลในรอยเชื่อม ด้วยกระบวนการทางความร้อนภายหลังการเชื่อมโดยเปรียบเทียบกับรอยเชื่อมแบบปกติ เพื่อให้ทราบข้อมูล การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลในรอยเชื่อม เช่น ความเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของรอยเชื่อม หรือความเปลี่ยนแปลงสมรรถนะการยืดตัวของรอยเชื่อม ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างระดับจุลภาค

5.5.2 ข้อเสนอแนะประเด็นปัญหากรณีที่สอง ควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาลักษณะบ่าให้ความร้อนหัวกดเชื่อม ของสลักแกนหมุนแบบผิวเกลียว ที่ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที ที่ใช้ความเร็วในการเชื่อม 750 มิลลิเมตรต่อนาที โดยตัวอย่างการทดลองตามเงื่อนไข T-L750 ให้รอยเชื่อมที่มีสมรรถนะการต้านทานแรงดึงสูงถึง 90.6 เปอร์เซ็นต์ และมีสมรรถนะการยืดตัวของรอยเชื่อมสูง 64.3 เปอร์เซ็นต์ แต่มีคุณภาพของผิวรอยเชื่อมหยาบขรุขระไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งประเด็นปัญหานี้อาจมีแนวทาง ในการหารูปแบบบ่าให้ความร้อน (แสดงตามรูปที่ 2-4) ให้ผิวรอยเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อไปในอนาคต