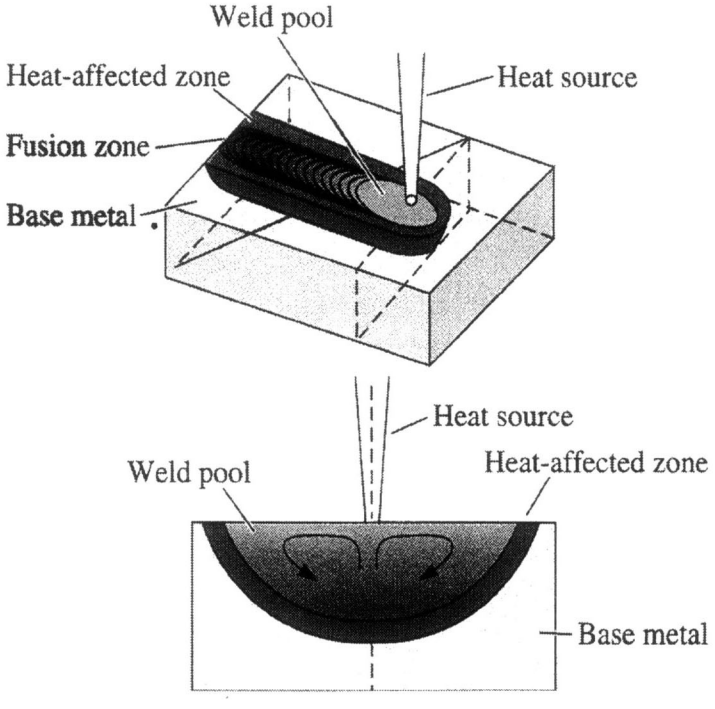
บทที่ 2

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัย

2.1 การเชื่อมโลหะ

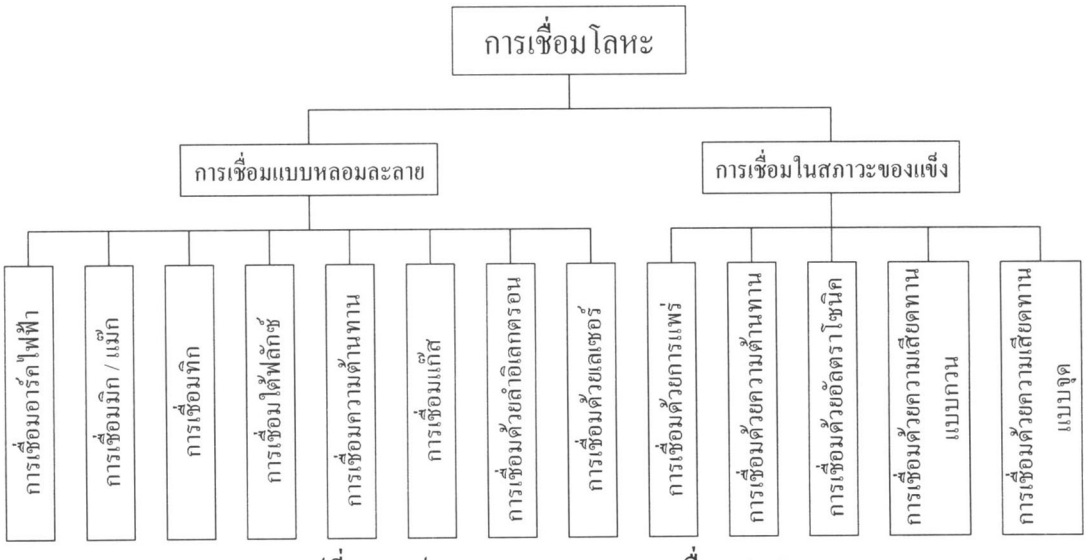
2.1.1 นิยามการเชื่อมโลหะ



รูปที่ 2.1 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ [1]

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [10] สรุปความรู้เบื้องต้นของการเชื่อมโลหะไว้อย่างน่าสนใจดังนี้ การเชื่อมโลหะ คือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน ขณะที่โลหะที่บริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่าลวดเชื่อม (Filler metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ตัวอย่างการเชื่อมโลหะอย่างง่ายแสดงในรูปที่ 2.1 ความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อน (Heat source) ถูกส่งผ่านไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างโลหะสองแผ่น (Base metal) ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อเชื่อม (Weld pool) และเมื่อเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามแนวรอยต่อ จะทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น โดยบริเวณบ่อเชื่อมหรือพื้นที่หลอมละลาย (Fusion zone) นี้ จะก่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นแนวเชื่อมที่มีโครงสร้างแตกต่างจากโลหะหลัก (Base metal) ในการเชื่อมพื้นที่สำคัญอีกพื้นที่ๆ มีความสำคัญ คือ พื้น

ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat affected zone) พื้นที่นี้อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอมละลาย เป็นพื้นที่ๆ ไม่มีการหลอมละลาย แต่ความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้างบริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป

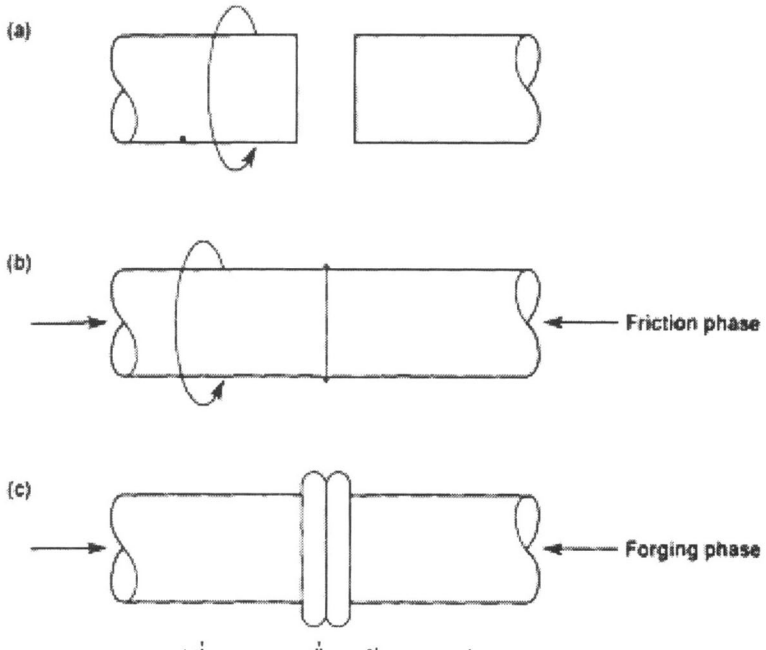


รูปที่ 2.2 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม [10]

นอกจากนั้น กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ [10] ได้กล่าวไว้ว่า เทคโนโลยีการเชื่อมในปัจจุบันได้แบ่งการเชื่อมเป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 1.2 คือ การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) และการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid state welding) การเชื่อมแบบหลอมลาย หรือบางครั้งเรียกว่า การเชื่อมหลอมละลายแบบดั้งเดิม (Conventional fusion welding) ความหมายของการเชื่อมแบบหลอมละลายนี้มีลักษณะเดียวกันดังอธิบายในรูปที่ 2.1 การเชื่อมหลอมละลายสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ขณะที่การเชื่อมในสภาวะของแข็ง คือ การเชื่อมในสภาวะที่โลหะหลักไม่เกิดการหลอมละลายแต่อาศัยความร้อนที่เกิดจากแรงทางกล ทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้กล่าวถึงการเชื่อมในสภาวะของแข็งเป็นหลัก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงขอกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมในสภาวะของแข็งเท่านั้น

ปราโมทย์ พูนนายม และคณะ [11] ได้กล่าวไว้ว่า การเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid Solution Welding) คือ การเชื่อมต่อวัสดุสองชิ้นเข้าด้วยกัน โดยโลหะบริเวณรอยต่อของวัสดุทั้งสองชิ้นไม่เกิดการหลอมละลาย หรืออุณหภูมิของรอยต่อมีค่าต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุที่ทำการเชื่อม ส่วนมากรอยต่อของวัสดุเกิดการเชื่อมยึดกันได้ด้วยแรงทางกลหรือความเสียดทาน ตัวอย่างของการเชื่อมในสภาวะของแข็งแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยกระบวนการเชื่อมที่แสดงเรียกว่า การเชื่อม

ด้วยการเสียดทาน (Friction Welding) มีขั้นตอนการเชื่อม คือ วัสดุทรงกระบอกตัวที่หนึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงดังแสดงในรูปที่ 2.3 (a) กดเข้าหาวัสดุทรงกระบอกตัวที่สองที่ถูกยึดแน่นอยู่กับที่ไม่มีการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (b) ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานทำให้วัสดุบริเวณรอยต่อเกิดการอ่อนตัว ขณะเดียวกันแรงกดในแนวแกนยาวของแท่งทรงกระบอก จะอัดชิ้นงานเข้าด้วยกันทำให้เกิดการเชื่อมยึดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.3 การเชื่อมด้วยการเสียดทาน [12]

รูปแบบของการเชื่อมในสภาวะของแข็งประกอบไปด้วยการเชื่อมต่างๆ เช่น การเชื่อมด้วยการแพร่ (Diffusion welding) การเชื่อมด้วยความต้านทานแบบจุด (Resistance spot welding) การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิค (Ultrasonic welding) การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุด (Friction spot joining) หรือการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding) เป็นต้น เดิมทีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานมีวิธีการเชื่อมอยู่ 3 วิธีด้วย แต่เนื่องจากได้มีการวิจัยและพัฒนาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน จึงสามารถแบ่งการเชื่อมด้วยการเสียดทานออกเป็น 4 วิธี คือ

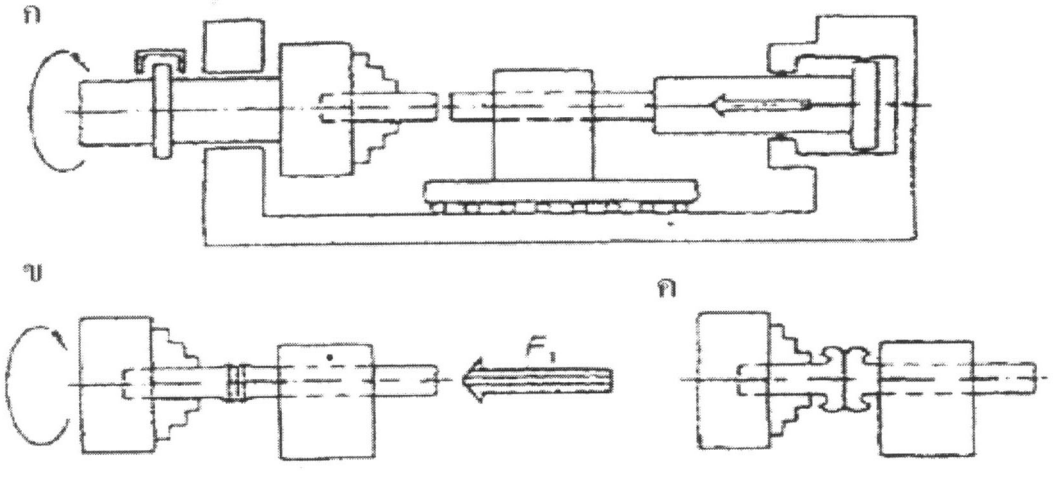
ก. การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบธรรมดา (Conventional Friction Welding) เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน โดยให้โลหะชิ้นงานชิ้นหนึ่ง และอีกชิ้นหนึ่งยึดอยู่กับที่ หลังจากเวลาผ่านไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง แล้วให้แรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งชิ้นงานหลอมติดกันและจะหยุดหมุนทันทีแสดงดังรูปที่ 2.4

ข. การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบแรงเฉื่อย (Inertia Welding) ชิ้นงานมีสองส่วน คือ ส่วนที่หมุน และส่วนที่อยู่กับที่ ส่วนที่หมุนจะถูกยึดอยู่ในอุปกรณ์ของเครื่องเชื่อม ซึ่งมีคอลเลค-

ชัค (Collect-chuck) และล้อช่วยแรง (Flywheel) ซึ่งหมุนด้วยความเร็วคงที่ ที่ความเร็วหนึ่งจากนั้นจึงหยุดให้พลังงานที่ไปหมุนล้อช่วยแรง แต่ล้อช่วยแรงยังหมุนด้วยตัวเองอยู่ เนื่องจากแรงเฉื่อยในช่วงเวลาที่ล้อช่วยแรงหมุนด้วยตัวเองนี้ เมื่อนำชิ้นงานที่จับยึดอยู่กับที่มาสัมผัสกับชิ้นงานส่วนที่หมุนภายใต้แรงกดคงที่ พลังงานที่เกิดจากล้อช่วยแรงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่ผิวสัมผัสของชิ้นงานจะเกิดการหลอมเชื่อมติดกัน

ค. การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบล้อช่วยแรง (Flywheel Friction Welding) เป็นการรวมการเชื่อมแบบธรรมดาและแบบแรงเฉื่อยเข้าด้วยกัน โดยล้อช่วยแรงจะต่ออยู่กับมอเตอร์ขับเพื่อใช้ถ่ายกำลังไปยังเพลาหมุน (Spindle) และตัวคัปเปิ้ล (Couple) ซึ่งต่อรวมอยู่กับคลัทช์ (Clutch) ระบบของมอเตอร์ที่ใช้ขับล้อช่วยแรงจะหมุนอยู่ตลอดเวลา ชิ้นงานส่วนที่หมุนจะต่ออยู่กับคัปเปิลและอีกชิ้นหนึ่งอยู่กับที่หลังจากได้ความเร็วรอบของชิ้นส่วนที่หมุนตามที่ต้องการแล้วจึงให้แรงอัดชิ้นงานส่วนที่อยู่กับที่กับส่วนที่หมุน โดยเพิ่มแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อชิ้นงานติดกันก็จะหยุดหมุนทันที

ง. กระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่ดีในสภาวะของแข็ง คิดค้นโดยสถาบันการเชื่อมประเทศอังกฤษ (The welding institute : TWI) เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมแบบหลอมละลาย



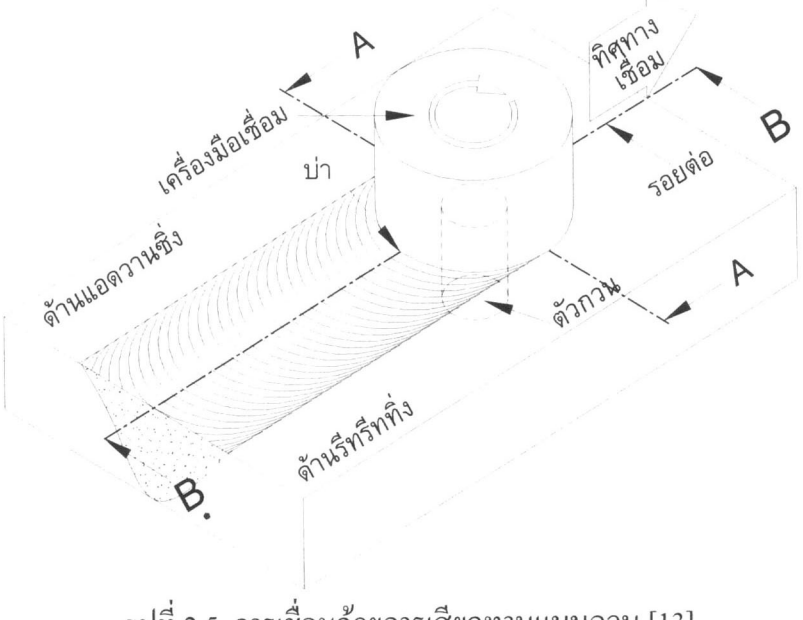
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเชื่อมแบบเสียดทานทั่วไป (ก) ชิ้นงานด้านซ้ายหมุนด้วยความเร็วรอบ (n) และชิ้นงานด้านขวาถูกเลื่อนเข้าด้วยแรงจากไฮดรอลิก ; (ข) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดด้วยแรง (F_1) จนชิ้นงานหลอมละลาย ; (ค) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดจนติดกันอย่างสมบูรณ์กับชิ้นงานด้านซ้าย ชิ้นงานเชื่อมจะหยุดหมุนทันที [12]

2.1.2 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [13]

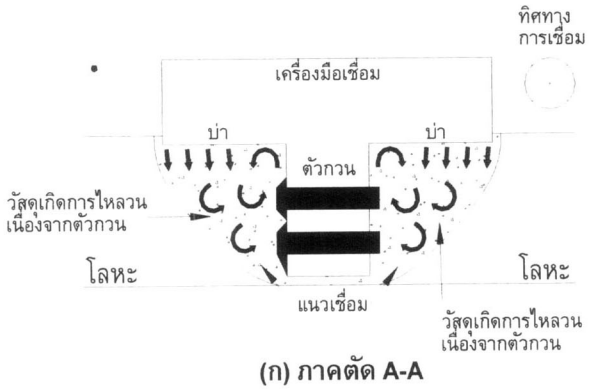
กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [13] ได้รายงานไว้ว่า การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน มีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น หลักการในการเชื่อม คือ ตัวกวนที่หมุนด้วยความเร็วสูง สอดเข้าไปในแนวต่อชนของแผ่นวัสดุ 2 แผ่นและทำให้เกิดความร้อนเสียดทานใต้บ่าเครื่องมือและทำให้วัสดุอ่อนตัวลง วัสดุที่อ่อนตัวจะถูกดันให้เคลื่อนที่รอบๆ ตัวกวน และเมื่อเครื่องมือเชื่อมเคลื่อนที่บ่าเครื่องมือเชื่อมจะกดและอัดวัสดุทำให้เกิดการรวมตัวของวัสดุเป็นแนวเชื่อม และสามารถประยุกต์ใช้การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสม และวัสดุต่างชนิดด้วย

ก. บทนำ

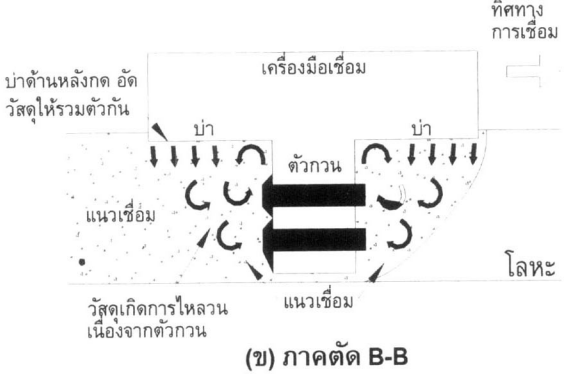
การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) เช่น อลูมิเนียมผสม [3] การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนนี้ได้มีการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิผลในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน รถยนต์ และเรือเดินสมุทร [4] และปัจจุบันเป็นกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความสนใจในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาสมบัติต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ลักษณะกระบวนการเชื่อมแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [13]



(ก) ภาคตัด A-A



(ข) ภาคตัด B-B

รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดแนวเชื่อมแสดงภาคตัดในรูปที่ 2.5

ตัวกวนที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อมสอดลงเข้าไปในรอยต่อของวัสดุจนกระทั่งบ่าของเครื่องมือ เชื่อมสัมผัสกับผิวของรอยต่อ ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวของตัวกวนและบ่าของเครื่องมือกับเนื้อวัสดุรอบๆ ตัวกวน ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวอยู่ในสภาวะคล้ายของไหล (Plastic Fluid-like State) และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้บ่าของเครื่องมือเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงภาคตัด A-A และ B-B ในรูปที่ 2.5 วัสดุที่เคลื่อนที่รอบๆ ตัวกวนจะเกิดการเคลื่อนที่สู่ด้านบนของรอยต่อ และเกิดการกดย้อนลงมาเนื่องจากการกดของบ่าเครื่องมือทำให้วัสดุเกิดการไหลวน หรือเกิดการกวน (Stirring) ภายใต้บ่าขึ้น ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้เป็นสิ่งที่ผู้คิดค้นกำหนดชื่อกระบวนการว่า “Friction Stir Welding” อย่างไรก็ตามคำจำกัดความในภาษาไทยในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดขึ้น ดังนั้นผู้เขียนจึงขอใช้คำว่า “การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน” เพื่อการอธิบายในบทความนี้เป็นเบื้องต้น ขั้นตอนต่อไปเมื่อวัสดุที่อ่อนตัวเกิดการไหลวนแล้ว และเมื่อตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่ วัสดุที่อ่อนตัวและเกิดการกวนอยู่ด้านหน้าของตัวกวนจะถูกถ่ายเทมาสู่ด้านหลังตามทิศทางการหมุนของตัวกวนทางด้านรีทรีทติ่ง และบางส่วนจะไหลจากด้านหลังสู่ด้านหน้าทางด้านแอดวานซิ่งดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6 (ด้านรีทรีทติ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนสวนทางกับทิศทางการเชื่อม ขณะที่ด้านแอดวานซิ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนขนานกับทิศทางการเชื่อม) จากนั้นเมื่อวัสดุส่งผ่านรอบๆ ตัวกวนและตัวกวนเกิดการ

เคลื่อนที่บ่าด้านหลังของเครื่องมือเชื่อม จะกด อัด และผสมวัสดุทำให้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6 (ข)

ข. ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการ

1) ข้อดี

- เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็ง ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวเป็นของแข็งของการเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบหลอมละลาย เช่น อลูมิเนียม จะหมดไป นอกจากนั้นผิวออกไซด์หนาที่เคลือบอยู่บนผิวของอลูมิเนียมจะถูกทำให้แตกออกด้วยการขัดหมุนของตัวกวนและกระจายไปทั่วทั้งแนวเชื่อม และลดปัญหาการเสื่อมสภาพของแนวเชื่อมลง แนวเชื่อมที่ได้ส่วนใหญ่เป็นแนวเชื่อมที่สมบรูณ์ไม่มีจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น
- กระบวนการเชื่อมราคาไม่แพง สามารถใช้เครื่องกัดในการเชื่อมได้
- ผิวหน้าแนวเชื่อมคุณภาพดีเยี่ยม
- ใช้พลังงานน้อย
- เชื่อมวัสดุหนาสูงสุด 12 มม. [14]
- ความแข็งแรงต่อความล้า (Fatigue strength) ดีเยี่ยม

2) ข้อเสีย

- ต้องจับยึดชิ้นงานให้แน่นเสมอเพราะแรงที่เกิดขึ้นมีค่าสูง
- ผลจากการเชื่อมทำให้เกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงาน ดังนั้นจึงต้องมีการอบชุบด้วยความร้อนเพื่อให้ได้สมบัติเดิมตลอดชิ้นงาน
- มีจุดบกพร่องที่มักเกิดขึ้นที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อม ที่เกิดจากการถอดตัวกวนออกจากแนวเชื่อม
- เหมาะสมกับการเชื่อมท่าราบ ชิ้นงานแบนยาว
- ช่องว่างระหว่างแผ่นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 10% ของความหนาแผ่นชิ้นงาน [14]

ค. ตัวแปรการเชื่อม

1) ความเร็วรอบ ความเร็วเดินแนวเชื่อม และมุมเอียงของตัวกวน

ตัวแปรเหล่านี้ส่งผลต่อพฤติกรรมของวัสดุบริเวณแนวเชื่อม ความเร็วรอบที่แตกต่างทำให้เกิดการกวนและการผสมของวัสดุในแนวเชื่อมที่แตกต่าง ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายวัสดุจากด้านหน้าของตัวกวนไปสู่ด้านหลังและทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบรูณ์ที่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

แตกต่างกัน ความเร็วรอบที่สูงทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงในแนวเชื่อม ความเอียงของตัวกวนที่ทำมุมกับแกนตั้งฉากของเครื่องกัดที่มีค่าเหมาะสมทำให้บ่าด้านหลังของเครื่องมือเชื่อมกดและกวนวัสดุรอบๆ ตัวกวนให้มีการผสมรวมกันได้มากขึ้น

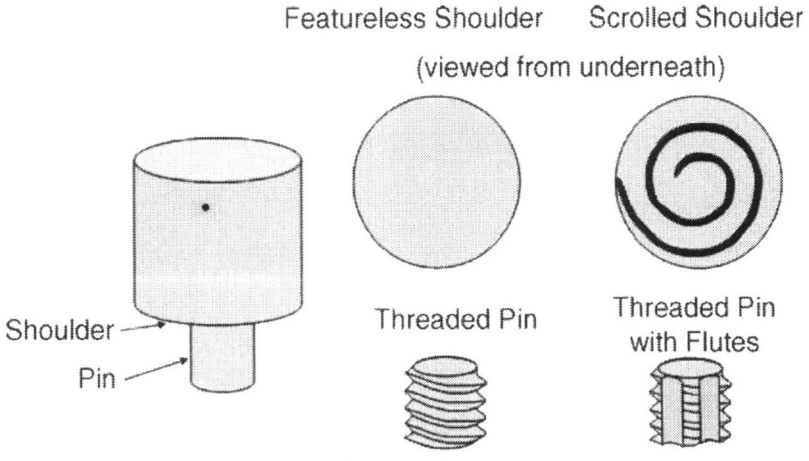
ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ทำการศึกษาค่าตัวแปรการเชื่อมเหล่านี้ เช่น การศึกษาอิทธิพลของความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยต่อชนอลูมิเนียม A356 ที่แสดงการเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงเมื่อความเร็วในการเดินแนวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการตกผลึกของซิลิกอนยูเตคติคในแนวเชื่อมอลูมิเนียมทำให้ค่าความแข็งและแข็งแรงเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งแรงสูงกว่าอลูมิเนียมที่ใช้เป็นวัสดุในการเชื่อม 20% [7] หรือแนวเชื่อมอลูมิเนียม 5083 ที่แสดงค่าความเค้นในแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่แตกต่างในแนวเชื่อมและเวลาในการผ่อนคลายความเครียดในแนวเชื่อมเปลี่ยนแปลงไป [15] อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วเดินแนวในการเชื่อมอลูมิเนียมกลุ่ม Al-Mg เกรด 6082 ไม่ส่งผลต่อความล้าตัวของแนวเชื่อม [16] และหากพิจารณาอัตราส่วนระหว่างความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 2017-T351 ค่าความแข็งแรงดึงจะมีค่าลดลงเมื่อค่าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น [17]

2) รูปร่างของเครื่องมือเชื่อม

เครื่องมือเชื่อมประกอบด้วยรูปร่างสำคัญดังแสดงในรูปที่ 2.7 คือ บ่าเครื่องมือและตัวกวน โดยหน้าที่หลักของเครื่องมือเชื่อม คือ การทำให้เกิดความร้อน และการทำการรวมผสมวัสดุรอบรอยต่อเข้าด้วยกัน ปัจจุบันมีการทดลองใช้เครื่องมือเชื่อมหลายรูปแบบเพื่อทำการเชื่อมอลูมิเนียม เช่น การใช้ตัวกวนเกลียวนวาเชื่อมอลูมิเนียม 2024 และ 6061 รวมตัวได้ดี ทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น [18]

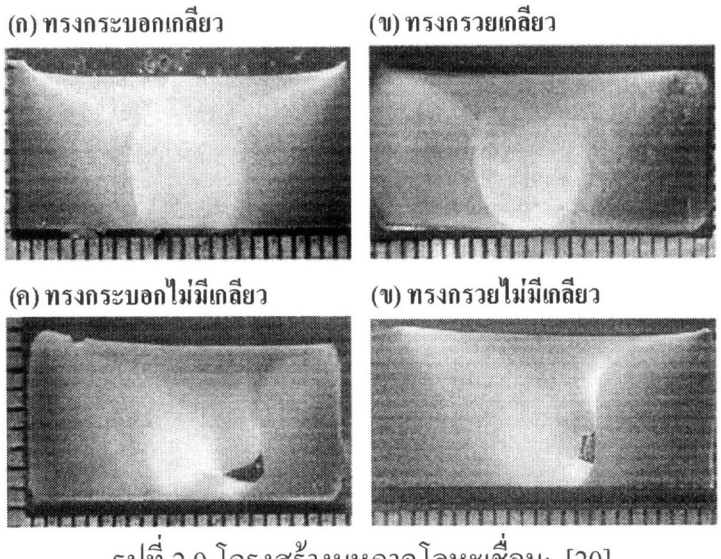
การใช้ตัวกวนรูปร่างปริซึมสี่เหลี่ยมจตุรัส เกลียววนขวา และเกลียววนซ้าย ในการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียม 1018 และแสดงการรวมตัวของวัสดุดีที่สุดในการใช้ตัวกวนเกลียววนขวา [19] หรือการเปรียบเทียบการใช้ตัวกวนทรงกระบอกเกลียววนขวา และทรงกรวยเกลียววนขวาดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 2014 ที่แสดงค่าแข็งแรงสูงสุดประมาณร้อยละ 75 ของความแข็งแรงของอลูมิเนียม ซึ่งได้จากตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา นอกจากนั้นตัวกวนทรงเกลียวทำให้ได้แนวเชื่อมที่สมบรูณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) ขณะที่จุดบก พร่องสามารถตรวจพบในตัวกวนที่ไม่มีเกลียวดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ค) และ (ง) นอกจากนั้นตัวกวนทรงกรวยเกลียววนขวาทำให้ขนาดของเม็ดเกรนเล็กและละเอียดขึ้นที่สุด และส่งผลทำให้ค่าความแข็งสูงสุดด้วย [20]

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 29 ก.พ. 2555
เลขทะเบียน 244297
เลขเรียกหนังสือ



รูปที่ 2.7 เครื่องมือเชื่อม FSW [14]

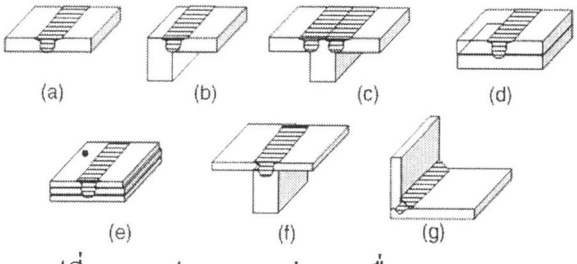
รูปที่ 2.8 เครื่องมือเชื่อมที่ออกแบบสำหรับรอยต่อชนอลูมิเนียม 2014 [20]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างมหภาคโลหะเชื่อม: [20]

3) รอยต่อ

ในปัจจุบันรอยต่อ FSW ที่มีการใช้งานอุตสาหกรรมหรืองานวิจัยมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.10 ประกอบไปด้วย รอยต่อชนแผ่นวัสดุสองแผ่นที่ความหนาเท่ากัน รอยต่อมุม รอยต่อตัวที รอยต่อเกย รอยต่อมุมฉาก เป็นต้น



รูปที่ 2.10 รูปแบบรอยต่อการเชื่อม FSW [14]

ง. การเชื่อมอลูมิเนียมผสม

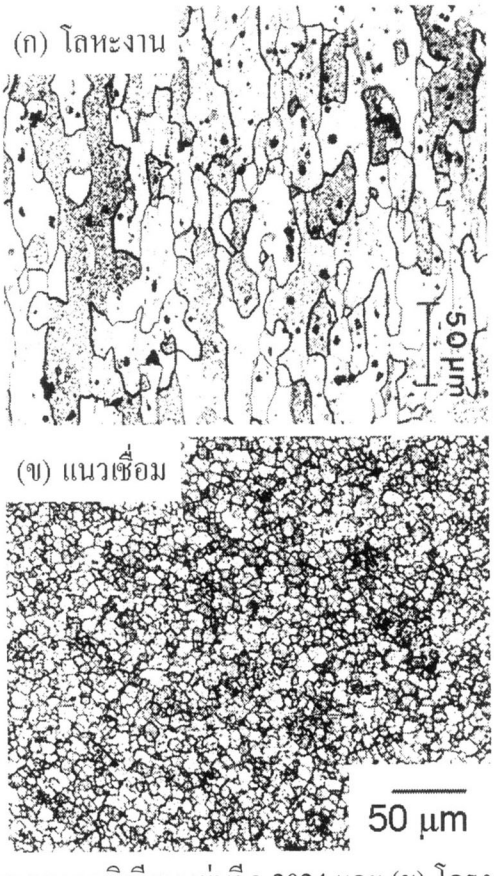
อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความยากต่อการเชื่อมหลอมละลาย เนื่องจากสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่ามากกว่าเหล็กถึง 6 เท่า ทำให้ความร้อนที่ให้กับอลูมิเนียมเกิดการถ่ายเทออกจากรอยต่ออย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นออก ไซด์ที่เกิดบนผิวของอลูมิเนียม เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้แนวเชื่อมมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากออกไซด์ของอลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวสูง (2040°C) กว่าอลูมิเนียมถึง 3 เท่า เมื่อทำการเชื่อม หากไม่สามารถกำจัดออกไซด์บนผิวชิ้นงานออกให้หมดได้จะส่งผลทำให้การควบคุมบ่อหลอมละลายเป็นไปด้วยความยากลำบาก และเกิดการรวมตัวกับโลหะเชื่อมเกิดเป็นจุดบกพร่องต่างๆ เช่น รูพรุน ได้ [3]

จากหลักการการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ที่กล่าวในข้างต้น ปัญหาที่เกิดจากผลความแตกต่างของอุณหภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ที่ส่งผลทำให้เกิดความยากลำบากในการควบคุมบ่อหลอมละลาย หรือการรวมตัวระหว่างออกไซด์กับโลหะเชื่อม สามารถถูกกำจัดออกไปได้ เนื่องจากการเชื่อมนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายของอลูมิเนียม และการเกิดการเชื่อมยึดกันระหว่างวัสดุเกิดจากการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุที่ถูกกระทำด้วยแรงทางกลเท่านั้น

เนื่องจากการปฏิบัติการภายใต้จุดหลอมละลายของอลูมิเนียม ทำให้โครงสร้างที่เกิดจากการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวเป็นของแข็ง คือ โครงสร้างเดนไดรท์ (Dendrite structure) ที่เกิดขึ้นในโลหะเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมหลอม ละลายซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งสูงไม่เกิดขึ้น แต่ทำให้เกิดโครงสร้างเกรนที่กลมและเล็กละเอียดมากขึ้น ส่ง ผลโดยตรงทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.11 เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหลักที่มีรูปร่างเรียวยาวดังแสดงในรูปที่

2.11 (ก) เกรนในโลหะเชื่อมมีความกลมมนและเล็กละเอียดมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ข)

ที่ผ่านมา อลูมิเนียมส่วนใหญ่ได้ถูกทดลองทำการเชื่อมด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และเป็นที่ยอมรับว่าสามารถทำให้ได้ค่าความแข็งแรงเทียบเท่าหรือสูงกว่าอลูมิเนียมที่เป็นโลหะหลักที่ใช้ในการเชื่อม [17] ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกสำคัญในการเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่อไป



รูปที่ 2.11 (ก) โครงสร้างจุลภาคอลูมิเนียมแผ่นรีด 2024 และ (ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมของอลูมิเนียม 2024 [15]

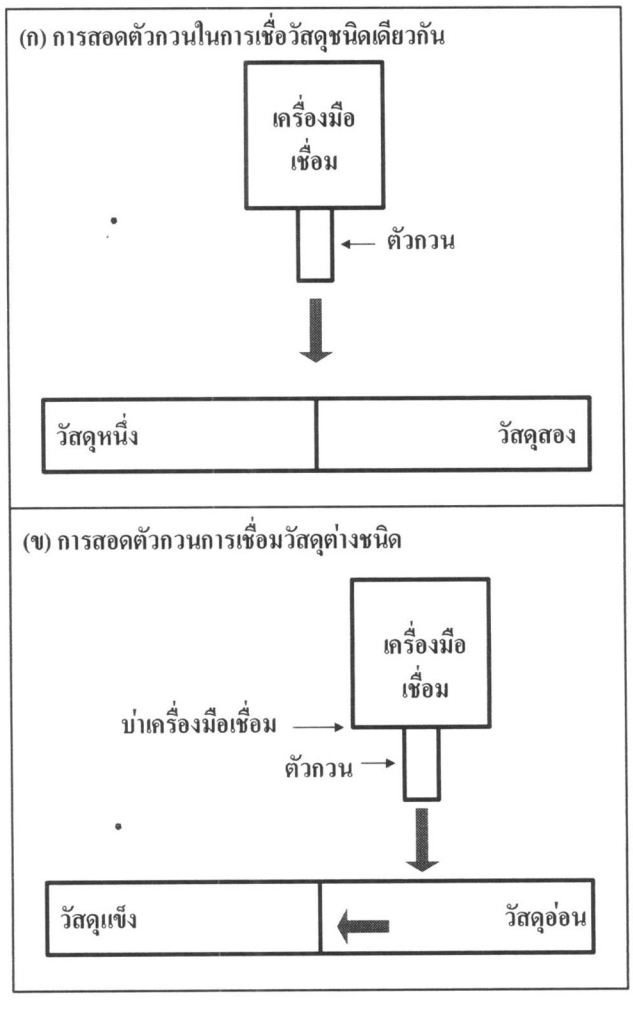
จ. การเชื่อมวัสดุต่างชนิด

ในอุตสาหกรรมรถยนต์ปัจจุบันได้นำเอาอลูมิเนียมเข้ามาใช้แทนที่เหล็ก เพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างของรถยนต์ [19] แต่การต่อเชื่อมอลูมิเนียมและเหล็กเข้าด้วยกันเป็นวิธีที่ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากโลหะทั้งสองมีสมบัติทางกล กายภาพ และเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดจุดบกพร่องต่างๆ ขึ้น

ในปัจจุบัน ปัญหาเหล่านี้ลดลง เนื่องจากการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถเชื่อมรอยต่อได้ผลเป็นที่ยอมรับได้ เช่น รอยต่อระหว่างอลูมิเนียม 5083 และเหล็กกล้า SS400 [20] หรือรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสม Al6061 และเหล็กกล้า AISI1018 [21] หรือรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม

6013-T4 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 [22] ซึ่งรอยต่อเหล่านี้แสดงความแข็งแรงดึงสูงกว่าร้อยละ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมที่ใช้เชื่อม

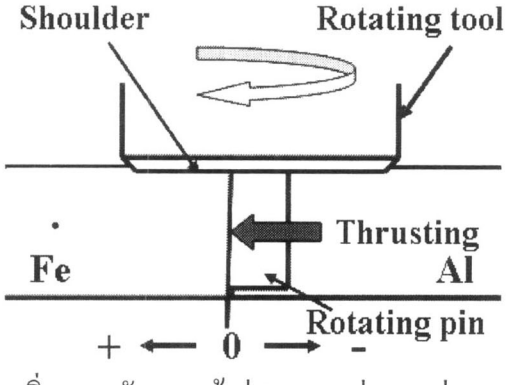
อย่างไรก็ตามในการเชื่อมอลูมิเนียมเข้ากับเหล็กมีเทคนิคสำคัญที่ควรระมัดระวัง คือ เทคนิคการสอดตัวกวนเข้าสู่รอยต่อ ในการสอดตัวกวนเข้าสู่รอยต่อของอลูมิเนียมผสม แนวเส้นผ่านศูนย์กลางและแนวของรอยต่อจะอยู่ที่แนวเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) แต่ในกรณีของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กไม่สามารถสอดเข้าโดยตรงดังเช่นอลูมิเนียม เนื่องจากความแข็งของวัสดุที่ต่างกันจะทำให้เกิดการเลื่อนไถลของตัวกวนออกจากแนวรอยต่อชน และเกิดการแตกหักได้ ดังนั้นเทคนิคการสอดตัวกวนในการเชื่อมอลูมิเนียมและเหล็กมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) ควรนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งมีขั้นตอน คือ ตัวกวนถูกสอดเข้าสู่ด้านอลูมิเนียมจนกระทั่งบ่าเครื่องมือเชื่อมจมลงไปสู่ผิวหน้าของอลูมิเนียมจากนั้นจึงเคลื่อนตัวกวนเข้าหาผิวด้านข้างของเหล็กเพื่อทำให้ได้รอยเชื่อมตามต้องการ [17]



รูปที่ 2.12 ความแตกต่างของการสอดตัวกวนเข้าสู่รอยต่อชนของการเชื่อมวัสดุเดียวกันและต่างกัน

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เป็นทางเลือกในการเชื่อมโลหะที่ยากต่อการเชื่อมหลอมละลาย หากเลือกตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อ จะทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีสมบัติทางกล เคมี และกายภาพเท่า กับหรือดีกว่าโลหะที่ใช้เชื่อม นอกจากนั้นยังเป็นกระบวน การที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และประหยัดพลังงาน เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมของประเทศต่อไป

ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก Kimapong and Watanabe [20] รายงานเทคนิคการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิ เนียม A5083 และเหล็กกล้า SS400 ว่าในการสอดตัวกวนเข้าสู่แนวรอยต่อชนของแผ่นอลูมิเนียมและเหล็ก มีความแตกต่างจากการสอดตัวกวนเข้าสู่แนวต่อของการเชื่อมวัสดุชิ้นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยในการเชื่อมอลูมิเนียมผสม แนวเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกวนจะต้องอยู่แนวเดียวกับแนวรอยต่อ (Butt Path) ของแนวเชื่อม ขณะเดียวกันกันในการเชื่อมอลูมิเนียมเข้ากับเหล็ก การสอดตัวกวนที่แนวเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกวนและแนวรอยต่อเป็นแนวเดียวกันนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการพังทลายของตัวกวน จึงจำเป็นต้องสอดตัวกวนลงไปในด้านของอลูมิ เนียมก่อนและเคลื่อนผิวด้าน ข้างของตัวกวนเข้าสู่ด้านของเหล็กดังรูปซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่า "เทคนิคการกระตุ้นผิวของเหล็กเพื่อให้เกิดการเกาะยึด (Interface activated-adhesion technique)" ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตำแหน่งการเริ่มสอดตัวกวนเข้าสู่แนวรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก [20]

นอกจากนั้น Kimapong and Watanabe [23] ได้รายงานกลไกที่ทำให้เกิดการเชื่อมยึดรอยต่อเกยระหว่างแผ่นอลูมิเนียมและเหล็กหนา 3 มิลลิเมตร ด้วยการเสียดทานแบบกวนดังแสดงในรูปที่ 2.14

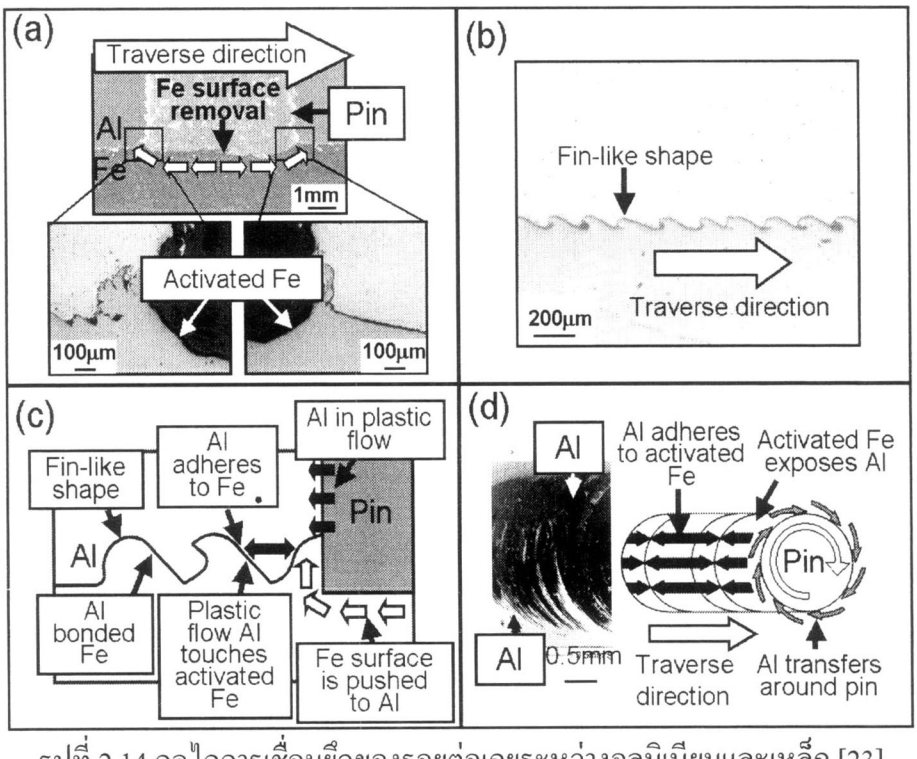
ขั้นตอนที่ 1 ตัวกวนที่หมุนสอดลงไปในชิ้นงานจนกระทั่งปลายของตัวกวนอยู่ในตำแหน่งความลึกที่กำหนด ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างวัสดุและตัวกวนทำให้วัสดุรอบๆตัว

กวนอ่อนตัวเข้าสู่ภาวะพลาสติกหลอมเหลวคล้ายของไหล (Fluid-like Plastic State) อลูมิเนียมจะเกิดการเคลื่อนที่รอบๆตัวกวน

ขั้นตอนที่ 2 ผิวของเหล็กภายใต้ปลายตัวกวนจะถูกขัดและกำจัดชั้นบางๆบนผิวหน้าของเหล็กด้วยตัวกวนที่กำลังหมุนดังแสดงในรูปที่ 2.14 (a) ส่วนของผิวหน้าเหล็กจะถูกดันขึ้นไปบนด้านอลูมิเนียมและมีลักษณะคล้ายกับครีบของปลา (Fin-like Shape) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (b) ผิวของเหล็กที่ติดกับตัวกวนที่หมุนจะเปลี่ยนภาวะเป็น "ผิวกระตุ้น (Activated Steel Surface)" ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (a) และ (c)

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อตัวกวนเริ่มเคลื่อนที่ตามทิศทางการเดินแนวเชื่อมอลูมิเนียมจะถูกส่งผ่านรอบๆตัวกวนจากด้านหน้าของบ่าเครื่องมือสู่ด้านหลังของบ่าเครื่องมือ และเข้าสู่ช่องว่างระหว่างตัวกวนและครีบของเหล็กที่สร้างขึ้นมาและมีภาวะเป็นผิวกระตุ้นในขั้นตอนที่ 2 ดังแสดงในรูป 2.14 (c) ทิศทางการเติมอลูมิเนียมแสดงไว้ในรูป 2.14 (d) จากนั้นผิวกระตุ้นของเหล็กดึงดูดอลูมิเนียมที่เคลื่อนที่ใกล้เคียงและเกิดการยึดเหนี่ยวกันระหว่างโลหะสองชนิดด้วยพันธะโลหะ (Metallic Bond)

ขั้นตอนที่ 4 ตัวกวนที่หมุนและเคลื่อนที่ตามทิศทางการเดินแนวเชื่อมสร้างครีบของเหล็กขึ้นมาและเปลี่ยนภาวะเป็นผิวกระตุ้นดังแสดงในรูป 2.14 (c) และ (d) เมื่อครีบอันอื่นๆถูกสร้างขึ้นและดันเข้าหาอลูมิเนียมและทำให้เกิดการเชื่อมยึดระหว่างโลหะทั้งสองขึ้น



รูปที่ 2.14 กลไกการเชื่อมยึดของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก [23]

ตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และสมมติฐาน รอยต่อของวัสดุที่เกิดจาการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เกิดจากการไหลตัวของวัสดุที่อ่อนตัวจากความร้อนเสียดทานและเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของวัสดุ ตัวแปรการเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งชี้การเกิดขึ้นของการไหลอย่างมีประสิทธิภาพของวัสดุ และค่าความแข็งแรงของรอย ต่อที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน ตัวแปรการเชื่อมที่สำคัญประกอบไปด้วย

- ความหนาของวัสดุ
- ชนิดของรอยต่อ
- ชนิดของวัสดุ
- รูปร่างของตัวกวน
- ความเร็วรอบของตัวกวน
- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม
- ความเอียงของตัวกวน
- ตำแหน่งการวางแผ่นอลูมิเนียม

2.2 สมมติฐานและกรอบแนวคิดวิธีการวิจัย

พิจารณาการเสนอและอธิบายทฤษฎีกลไกการเกิดการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม ดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมา คาดว่าการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมผสม อลูมิเนียมแผ่นรีดและสภาพหล่ออลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถเกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยสมบัติทางกลและกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ความแข็ง ความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูป ความต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance) การนำความร้อน อาจทำให้การไหลของวัสดุรอบๆ รอยต่อเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่แสดงด้านบน โดยเฉพาะรูปร่างตัวกวน คาดว่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ และทำให้ได้รอยต่อสม บรูณ์ที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงได้