

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

รอยต่อชนอลูมิเนียมเกรด 6063 ได้ผ่านการเตรียมชิ้นงานและทำการทดลองตามการออกแบบและวางแผนการทดลองในบทที่ 3 และอ้างอิงตามทฤษฎีในบทที่ 2 ทำให้ได้ผลการทดลองตามที่แสดงในบทนี้ เนื้อหาของบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ประกอบไปด้วยการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อชนของอลูมิเนียม 6063 จากนั้นนำตัวแปรที่ได้ไปทำการวัดค่าอุณหภูมิด้วยการใช้เทอร์โมคัพเพิล และใช้โปรแกรมการคำนวณด้วยพลศาสตร์ของไหลในการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในรอยต่อ โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

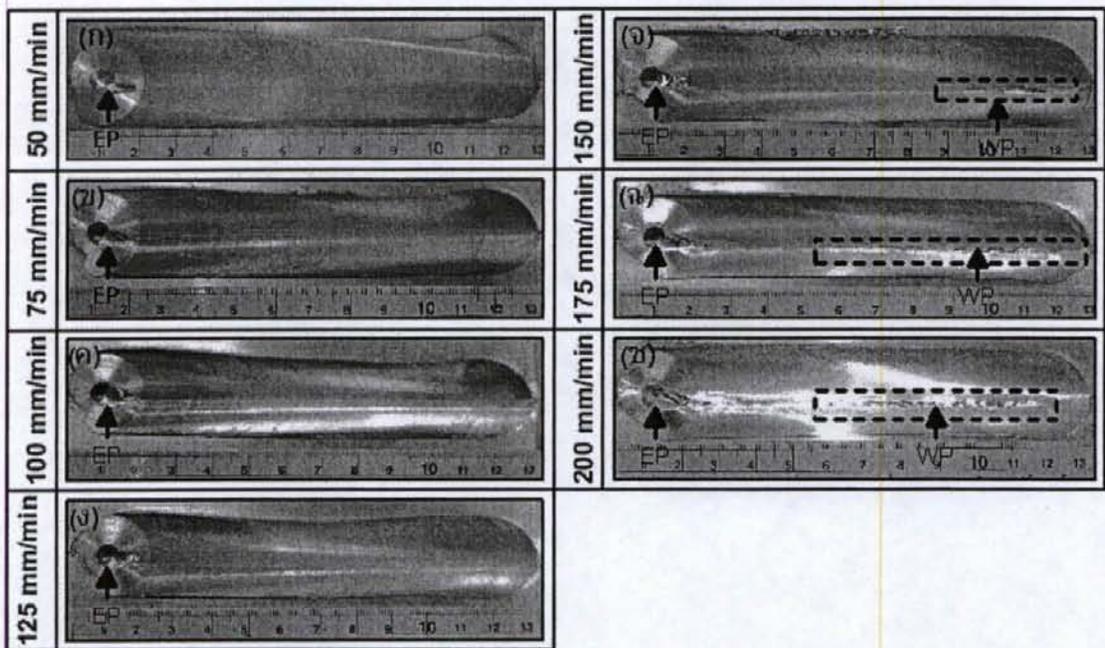
4.1 การหาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อชนของอลูมิเนียมผสมเกรด 6063

จากการสืบค้นข้อมูลการวิจัยภายในประเทศไทยนั้น รอยต่ออลูมิเนียมผสม 6063 มีผลการทดลองที่ได้รายงานไว้ คือ การศึกษาอิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1 [9] ที่ใช้ตัวกวนแบบทรงกระบอกในการเชื่อมรอยต่อเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาสภาวะการเชื่อมที่ดีให้คุณภาพของแนวเชื่อมที่ดีที่สุดต้องดำเนินการต่อไป เพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจวัดอุณหภูมิของแนวเชื่อม โดยตัวแปรการเชื่อมที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วย

- ตัวกวนรูปร่างทรงเกลียว ขนาดตามเกลียวมาตรฐาน M6
- ความเร็วรอบการหมุนของตัวกวน มีค่าเท่ากับ 2000 rpm
- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 75-150 mm/min
- ความเอียงของตัวกวนมีค่าเท่ากับ 2 องศา

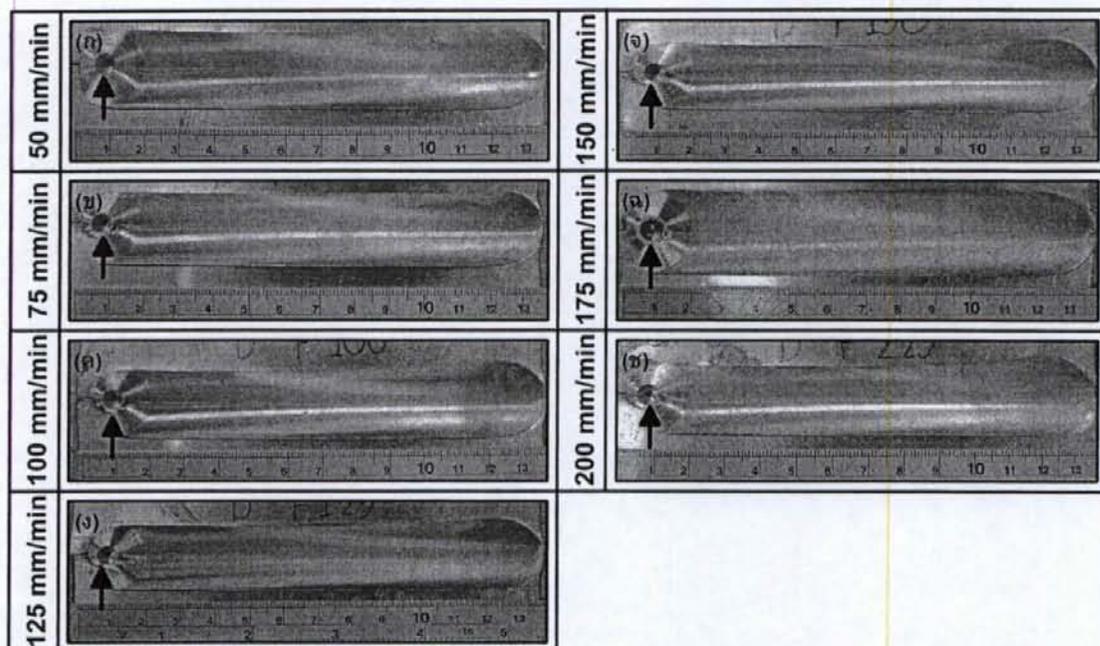
รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่าที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมทุกๆ สภาวะปรากฏจุดบดพร่องเป็นรูกลมดังแสดงด้วยลูกศร และอักษร EP ที่หมายถึงจุดสุดท้าย (Endpoint) พิจารณาจุดอื่นๆของผิวหน้าแนวเชื่อม ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ต่ำกว่า 125 mm/min ผิวหน้าแนวเชื่อมแสดงความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ไม่ปรากฏจุดบดพร่องหรือความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นบนผิวหน้าแนวเชื่อม ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่า ที่ค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ต่ำสามารถทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสม บูรณ์มากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นมากกว่า 125 mm/min เช่น 150-200 mm/min พบว่าการทำให้ได้ผิวหน้าแนวเชื่อม

ที่สมบูรณ์เป็นไปได้ยาก ความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเริ่มจากจุดเริ่มต้นของแนวเชื่อมเป็นแนวยาวดังแสดงด้วยพื้นที่เส้นประในรูปที่ 4.1 ความไม่สมบูรณ์นี้มีขนาดความโตและความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น การเกิดจุดบกพร่องในลักษณะนี้ คาดว่าเกิดจากการเดินแนวเชื่อมที่เร็วเกินไปทำให้การเติมอลูมิเนียมจากการกวาดด้วยตัวกวนที่บริเวณจุดเริ่มต้น ไม่เพียงพอ

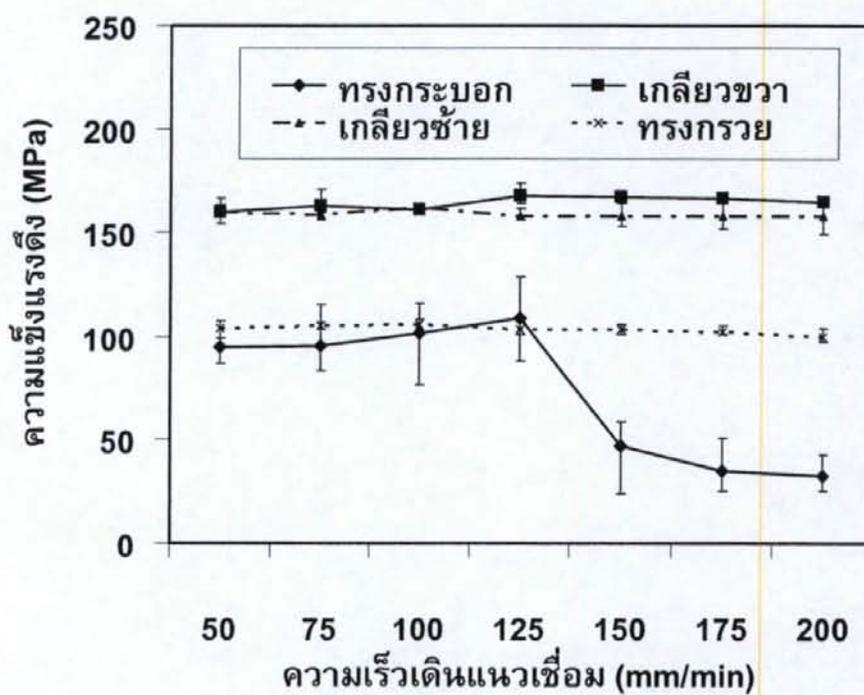


รูปที่ 4.1 ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP=จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย และค่า WP=จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วยสเกล: ซม.)

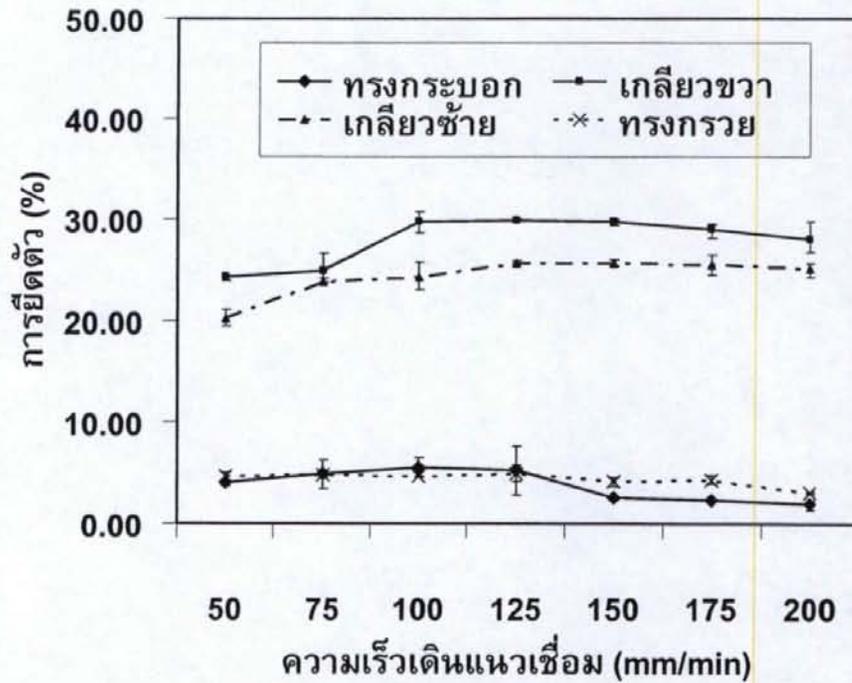
อย่างไรก็ตามจุดบกพร่องที่เกิดบนแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกไม่เกิดขึ้นเมื่อเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวย ทรงเกลียวซ้าย และเกลียวขวาดังแสดงในรูปที่ 4.2 ผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา พบว่าที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมทุกสภาวะยังคงมีจุดบกพร่องเป็นรูปกลมดังแสดงด้วยลูกศร ขณะที่จุดอื่นๆ ของผิวหน้าแนวเชื่อม ไม่ปรากฏจุดบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น ความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อมนี้ คาดว่าเกิดจากตัวกวนอื่นๆ นั้น สามารถกวนให้อลูมิเนียมเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เกิดการกวาดที่รุนแรงขึ้น ทำให้อลูมิเนียมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องและเกิดการเติมเต็มของอลูมิเนียมภายใต้เครื่องมือได้ดีขึ้น และในรายงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวกวนที่เหมาะสม สามารถทำให้เกิดผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ได้ คือ ตัวกวนทรงกรวย ทรงเกลียววนซ้าย และทรงเกลียววนขวา



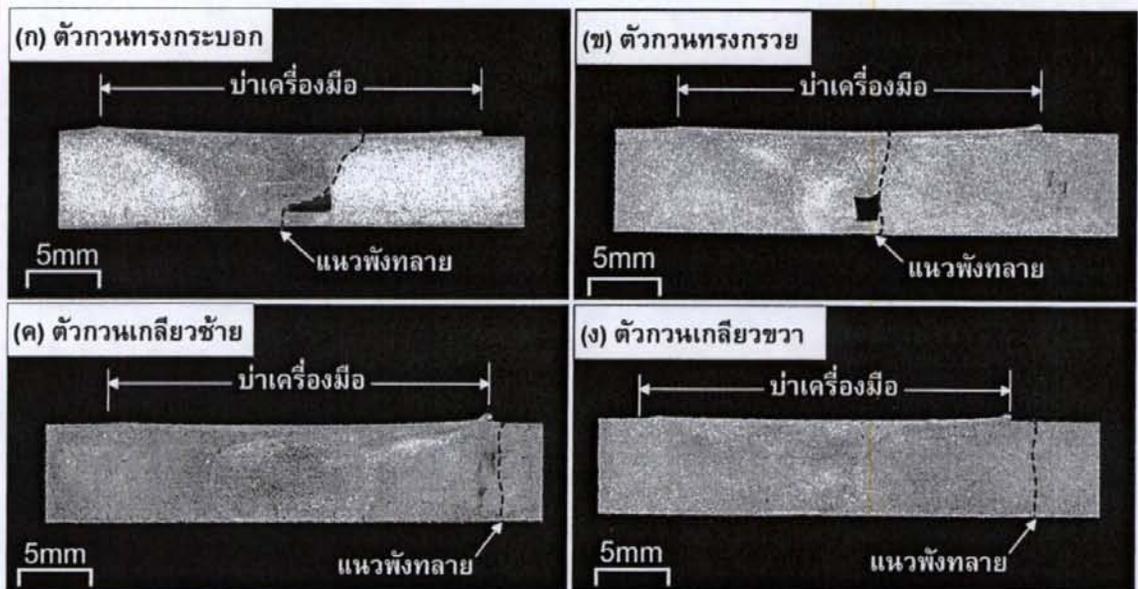
รูปที่ 4.2 ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียววนขวาที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ (หน่วยสเกล: ซม.)



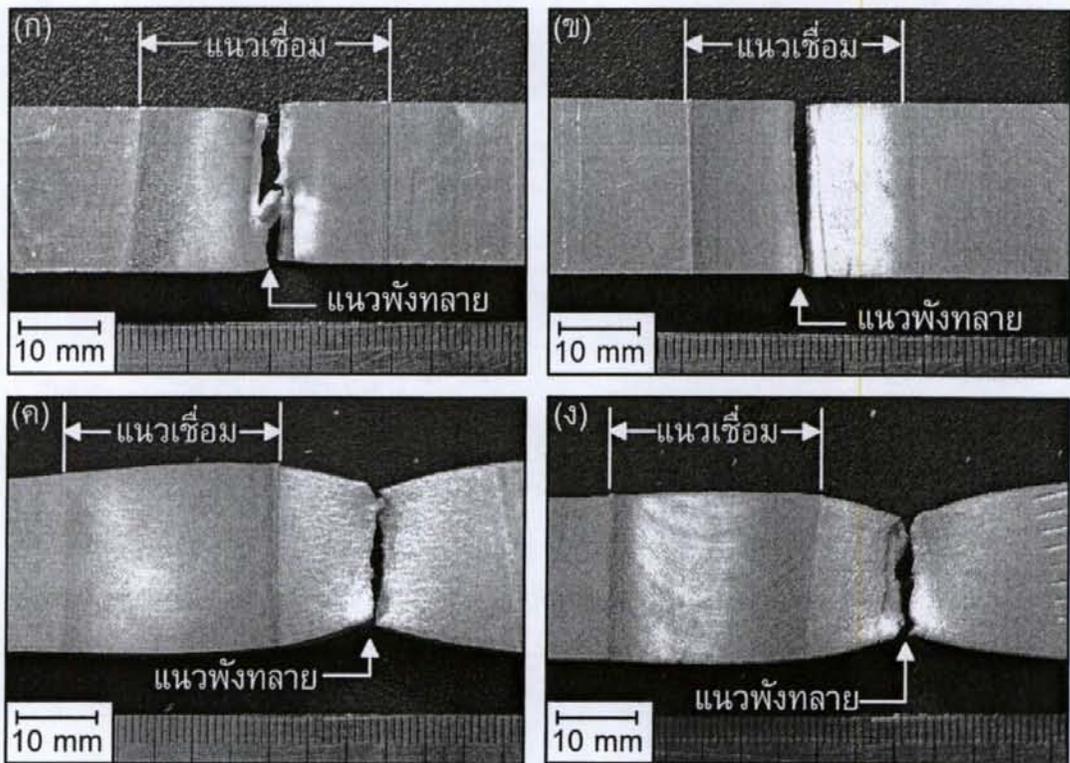
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดตัวและความเร็วเดินแนวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ



รูปที่ 4.5 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm และ 125 mm/min.



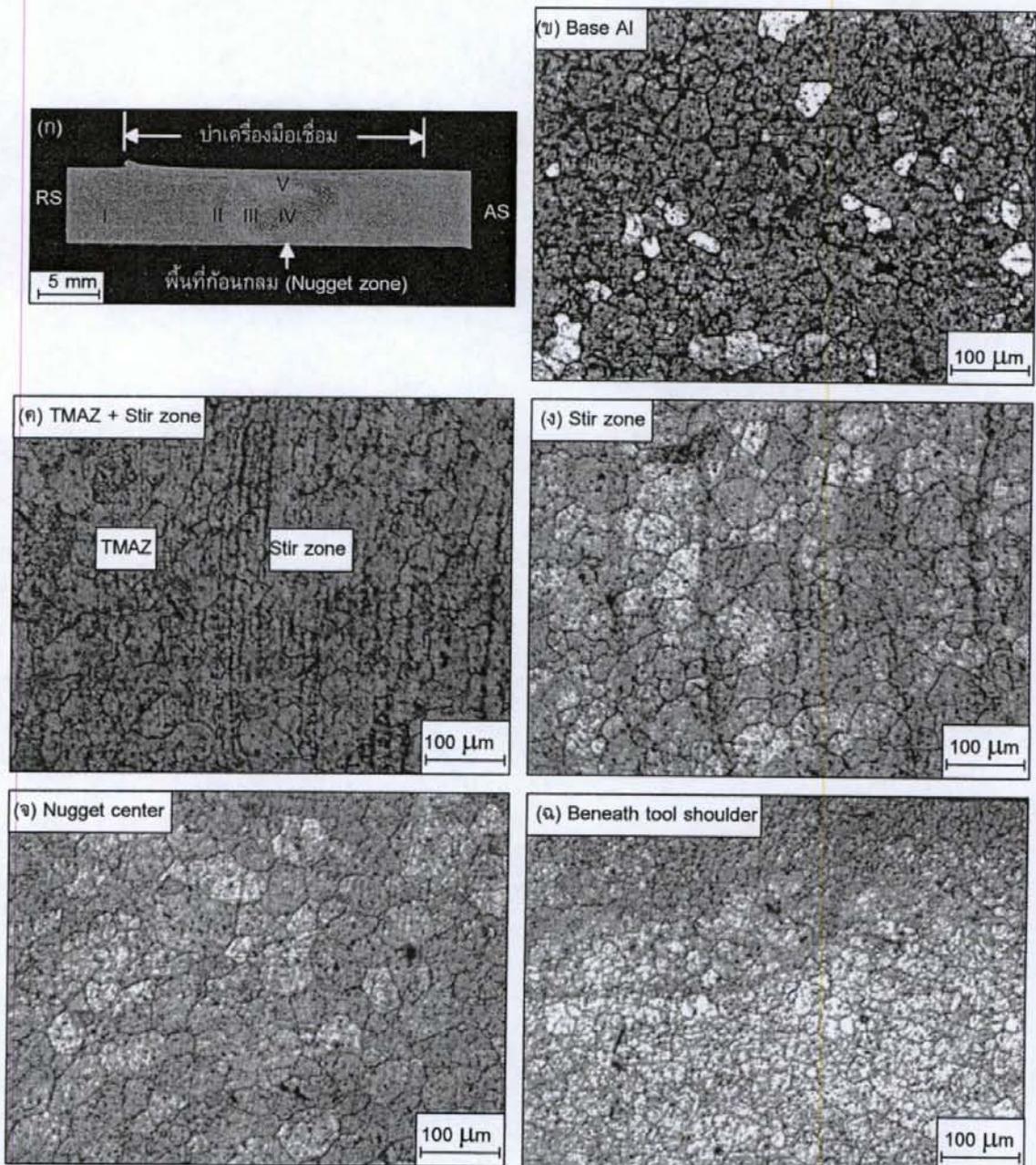
รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min.: (ก) ทรงกระบอก (ข) ทรงเหลี่ยมซ้าย (ค) ทรงเหลี่ยมขวา และ (ง) ทรงกรวย

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึงและ % การยึดตัวของชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ และค่าความเร็วเดินแนวเชื่อม 50 – 200 mm/min พบว่าชิ้นทดสอบที่ทำการเชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอก แสดงค่าความแข็งแรงและค่าร้อยละการยึดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าสูงสุดที่ค่าประมาณ 110MPa และ 5.36% เมื่อเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 50 ถึง 125 mm/min และลดลงอีกครั้ง เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 150 ถึง 200 mm/min การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดจุดบกพร่องที่บริเวณมุมด้านล่างของแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) ทำการวัดเปรียบเทียบความโตตามแนวแกน X และ Y ของจุดบกพร่องนี้ พบว่ามีค่าเฉลี่ยสำหรับ 50 mm/min ประมาณ 1.554 mm และ 2.818 mm ค่าเฉลี่ยสำหรับ 125 mm/min ประมาณ 1.530 mm และ 2.754 mm และค่าเฉลี่ยสำหรับ 200 mm/min ประมาณ 4.372 mm และ 3.369 mm ซึ่งแสดงขนาดมิติที่ใหญ่ขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมนั้นมีค่าน้อยกว่าหรือสูงกว่าค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมซึ่งในตัวแปรแรก คือ ตัวกวนทรงกระบอกนั้นมีค่าความเร็วเดินที่เหมาะสมที่ 125 mm/min แนวการพังทลายของชิ้นงานเมื่อทำการทดสอบแรงดึงนั้นเกิดขึ้นผ่านจุดดังกล่าวและขยาย

ไปยังผิวด้านบนของแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.6 และแนวเส้นประในรูปที่ 4.5 (ก) จึงสามารถสรุปได้ว่า จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อนอกจากนั้นพบว่าจุดบกพร่องนี้ที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายกับจุดบกพร่องที่เกิดในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่ออลูมิเนียมเกรด 2025 [14] และอลูมิเนียมเกรด 6063-T6 [28] แต่ในรายงานผลการทดลองการเชื่อมอลูมิเนียมทั้งสองเกรดนั้นไม่ได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกาเกิดจุดบกพร่องและความแข็งแรงดึงไว้ อย่างไรก็ตาม Mishra and Ma [13] ได้กล่าวไว้ว่า หากมีการเอียงตัวกวนเพิ่มมากขึ้นหรือรูปร่างของตัวกวนถูกออกแบบให้มีลักษณะที่คาดว่าจะทำให้เกิดการกวนที่รุนแรงขึ้นและจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นจะสามารถกำจัดออกได้ [13] ซึ่งจากคำกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบตัวกวนในการทดลองต่อไป

ตัวกวนทรงกรวย เป็นตัวกวนของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนที่ออกแบบ เพื่อลดแรงเสียดทานที่มักเกิดขึ้นสูงในขั้นตอนของการกดตัวกวนลงระหว่างรอยต่อของแนวเชื่อม [13] อย่างไรก็ตามในการใช้ตัวกวนทรงกรวยในการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 ไม่สามารถกำจัดจุดบกพร่องที่เกิดในตำแหน่งด้านล่างของรอยเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ข) ลงได้ จุดบกพร่องในตำแหน่งและลักษณะนี้เป็นลักษณะเดียวกับที่เกิดในรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก และเป็นสาเหตุให้รอยต่อมีความแข็งแรงน้อยลงและเป็นจุดกำเนิดการพังทลายที่ขยายตัวต่อไปสู่ด้านบนของแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) และแนวเส้นประในรูปที่ 4.5 (ข) จุดบกพร่องนี้ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยค่าความแข็งแรงสูงสุดของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยมีค่าสูงสุดประมาณ 106 MPa ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min และค่าการยืดตัว 4.66%

รอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงเกลียววนซ้ายและขวา สามารถกำจัดจุดบกพร่องที่พบในรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกและทรงเกลียวในตำแหน่งมุมด้านล่างของแนวเชื่อมลงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ค) และ (ง) โครงสร้างมหภาคที่ได้แสดงความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่ไม่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้น ทำให้จุดกำเนิดการพังทลายที่เกิดขึ้นในรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงที่ผ่านมานั้นหมดไป เมื่อนำรอยต่อไปทำการทดสอบแรงดึงพบว่าชิ้นงานเกิดการพังทลายที่บริเวณ โลหะหลักอลูมิเนียม ไม่เกิดที่บริเวณแนวเชื่อมอีกต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.6(ค)-(ง) และเส้นประในรูปที่ 4.5 (ค)-(ง) ค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากรอยต่อมีค่าความแข็งแรงกว่าโลหะอลูมิเนียมที่ใช้เชื่อม และค่าความแข็งแรงที่ได้เป็นค่าความแข็งแรงของโลหะอลูมิเนียมเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียววนซ้ายและขวา ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ได้มีค่าประมาณ 168MPa ที่รอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนวนซ้าย ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min



รูปที่ 4.7 โครงสร้างแนวเชื่อมตัวกวนเกลียวซ้าย: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่ที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวน (จ) พื้นที่นั้กเกิด (ฉ) พื้นที่ใต้บ่าเครื่องมือ

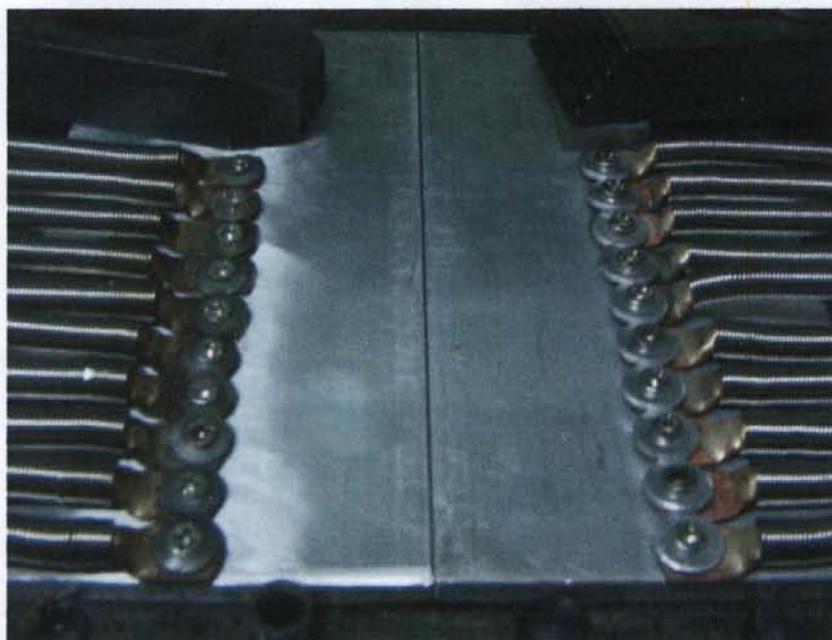
รูปที่ 4.7 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยทังสเตนเคลือบด้วยคาร์บอน ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุดในการทดลองครั้งนี้ ตัวอักษร AS หมายถึงด้านแอดวานซ์ และตัวอักษร RS หมายถึง ด้านรีทริทัง รอยเชื่อมแสดงความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นภายในแนวเชื่อม บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเรียกว่า “พื้นที่การกวน (Stir zone)” พบอลูมิเนียมมีขนาดเป็นวง พื้นที่นี้เรียกว่า “พื้นที่นุกเกต (Nugget zone)” ซึ่งเป็นพื้นที่การกวนรุนแรง และอลูมิเนียมที่อ่อนตัวจากความร้อนเสียความ ถูกตัดเฉือน และอัดอย่างรุนแรงเข้าด้วยกัน บริเวณพื้นที่นี้รูปแบบของเม็ดเกรนจะเกิดการก่อตัวขึ้นใหม่และมีขนาดเล็กกลมมนขึ้น ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่มีความแตกต่างบนโครงสร้างมหภาคที่ตำแหน่ง I ถึง V มีรายละเอียดดังนี้ รูปที่ 4.7 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะหลักอลูมิเนียม 6063 ที่รูปร่างของเม็ดเกรนที่ไม่เป็นระเบียบและไม่กลมมน ทำการวัดขนาดเกรนด้วยวิธีการลากเส้นตัดผ่านเกรน (Linear Interception) ตามมาตรฐาน ASTM E112 [29] พบว่ามีขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 33.99 μm จุดที่ II คือขอบเขตระหว่างพื้นที่รับอิทธิพลจากความร้อนและแรงทางกล (Thermo-mechanical Affected Zone: TMAZ) [14,19,30] ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนและแรงทางกล ทำให้เม็ดเกรนมีขนาดที่กลมมนดังแสดงในพื้นที่ด้านซ้ายของเส้นประรูปที่ 4.7 (ค) และหากเปรียบเทียบกับรูปร่างของเม็ดเกรนโลหะหลักอลูมิเนียม 6063-T1 พบว่ากลมมนและเป็นระเบียบกว่า ขณะที่ด้านขวาของเส้นประในรูปที่ 4.7 (ค) รูปที่ 4.7 (ง) และรูปที่ 4.7 (จ) นั้น คือ พื้นที่การกวนที่อลูมิเนียมเกิดการก่อตัวของเกรนใหม่ (Dynamic Re-crystallization) [30] ที่มีความละเอียดและกลมมน ทำการวัดขนาดเกรนพบว่ามีขนาดเกรนเฉลี่ย 18.49 μm ซึ่งมีขนาดที่เล็กกว่าอลูมิเนียมหลักเปรียบเทียบกับขนาดเกรนของพื้นที่การกวนของรอยต่อที่เชื่อมด้วยทังสเตนเคลือบที่มีค่าขนาดเกรนประมาณ 25.42 μm พบว่ามีค่าที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามบริเวณขนาดเกรนที่ได้ไม่ใช่ขนาดเกรนที่เล็กที่สุด ตำแหน่งที่มีขนาดเกรนเล็กที่สุด คือ ตำแหน่งด้านล่างของบ่าเครื่องมือเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ฉ) เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับความร้อนสูงและเกิดการเลื่อนสูงสุดในแนวเชื่อม [30] แต่มีบริเวณการเกิดสลิกลงมาจากผิวหน้าแนวเชื่อมเพียง 150 μm เท่านั้น

ในการทดลองหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับรอยต่ออลูมิเนียม 6063 โดยทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตัวกวน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

- ตัวกวนทรงกระบอกและตัวกวนทรงกรวยทำให้เกิดจุดบกพร่องในแนวเชื่อมบริเวณด้านล่าง และเป็นจุดกำเนิดการพังทลายบริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อม
- ตัวกวนทรงเกลียววนซ้ายและวนขวาทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลักอลูมิเนียม

- ความแข็งแรงสูงสุดในการทดลองมีค่าเท่ากับ 168 MPa ที่ตัวกวนทรงเกลียววนซ้าย ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนว 125 mm/min
- โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนวนซ้าย ทำให้เกิดการก่อตัวของเกรนใหม่ที่มีขนาดที่เล็กและกลมมนกว่าโลหะหล่ออลูมิเนียม

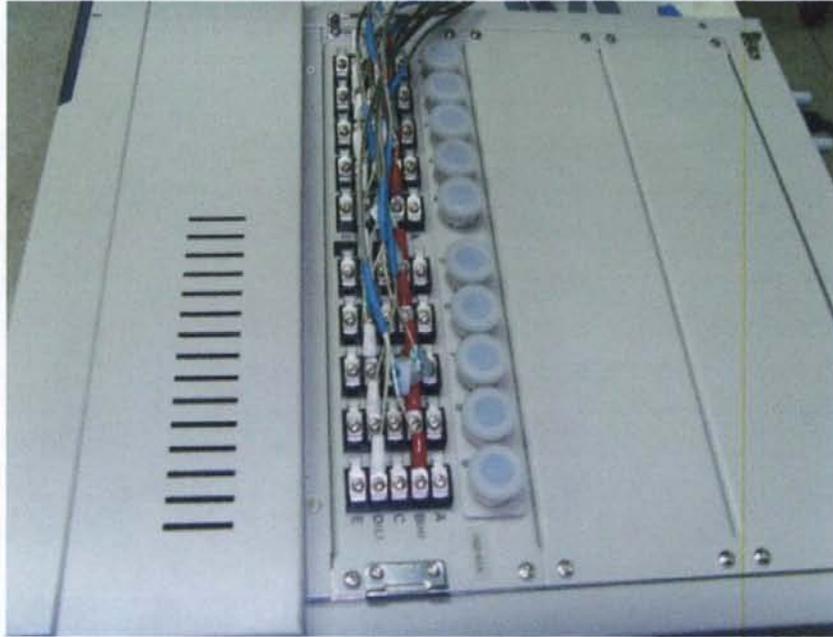
4.1 ผลการวัดอุณหภูมิของรอยต่อชนด้วยเทอร์โมคัพเพิล



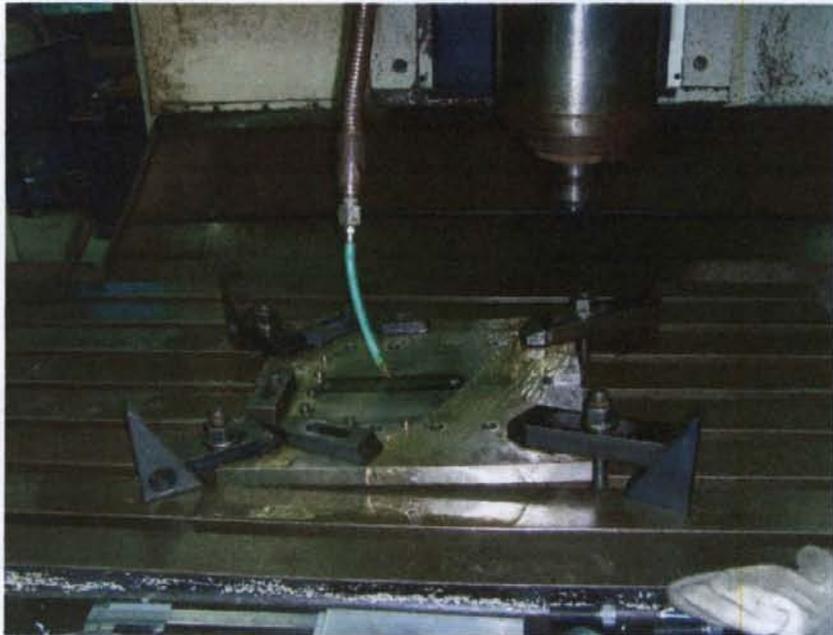
รูปที่ 4.8 การติดตั้งเทอร์โมคัพเพิลลงบนแผ่นอลูมิเนียม

รูปที่ 4.8 แสดงวิธีการจับยึดเทอร์โมคัพเพิลลงไปในรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม โดยการติดตั้งนี้ใช้เทอร์โมคัพเพิลจำนวน 20 ตัวติดตั้งพร้อมกัน และต้องระมัดระวังไม่ให้หน้าสัมผัสของเทอร์โมคัพเพิลสัมผัสกันเป็นอันขาด เพราะจะทำให้เกิดการอ่านค่าอุณหภูมิเกิดการผิดพลาดได้ ในการวัดอุณหภูมินั้นได้ทำการวัดครั้งละ 20 จุด โดยสาเหตุที่ทำการวัดทีละ 20 จุด ทั้งที่จำนวนจุดที่ต้องการวัดมีมากกว่า 200 จุด เนื่องจากช่องสัญญาณของอุปกรณ์ขยายสัญญาณนั้นมีช่องสัญญาณเพียง 20 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ข้อมูลที่ได้จากการวัดแต่ละจุด ถูกนำมาทำการสร้างแผนภาพด้วยโปรแกรมแมทแลบอีกครั้ง ในการวัดอุณหภูมิของรอยต่อแต่ละครั้ง เนื่องจากไม่สามารถทำการวัดอุณหภูมิของรอยต่อให้เสร็จสิ้นภายในครั้งเดียวได้ ดังนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดด้วยเทอร์โมคัพเพิลจึงจำเป็นต้องทำซ้ำไปมา ความร้อนที่เกิดในแนวเชื่อมในการเชื่อมแต่ละครั้งจึงเกิดการสะสมไปอยู่ที่อุปกรณ์การจับยึด ดังนั้นเพื่อให้อุณหภูมิของอุปกรณ์จับยึดนี้มีค่าปกติที่อุณหภูมิ ห้อง คือ 20°C

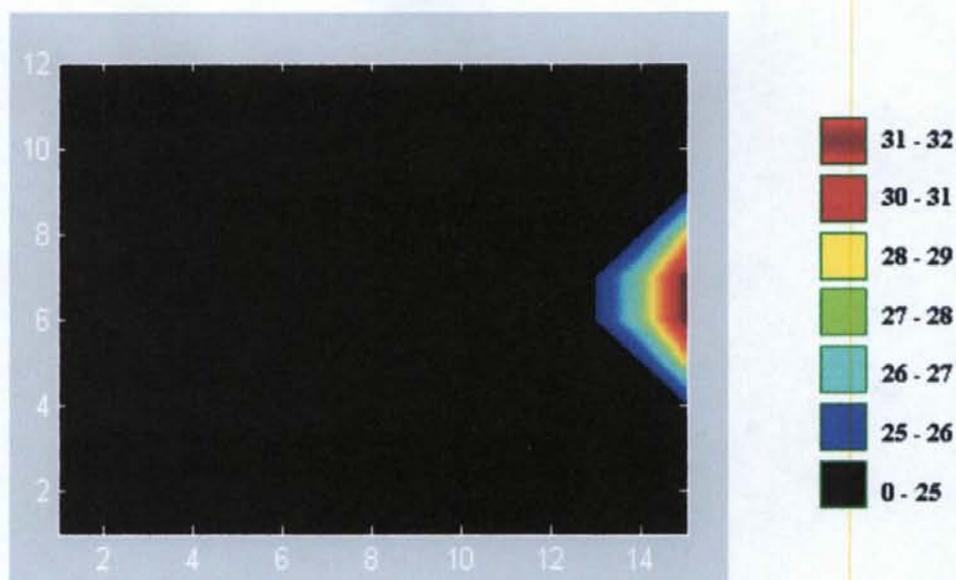
และป้องกันไม่ให้อุณหภูมิที่สะสมในรอยต่อเกยนั้น ส่งผลต่ออุณหภูมิของรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม 6063 ที่ต้องการทำการวัดอุณหภูมิ จึงต้องมีการเปิดน้ำหล่อเย็นให้ทำการระบายความร้อนที่อุปกรณ์ จับยึดทุกครั้งก่อนการเชื่อมแนวต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.10



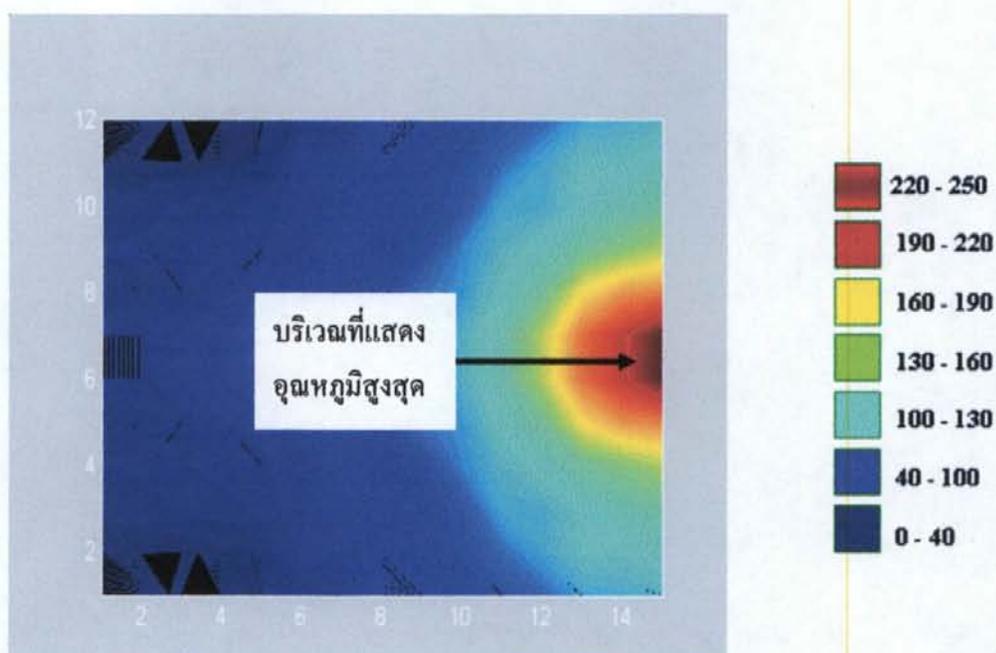
รูปที่ 4.9 จุดต่อของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.10 การลดความร้อนของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานหลังจากการเชื่อมแนวแรก



รูปที่ 4.11 การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยค่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับ
อลูมิเนียมที่เวลา 2 วินาที

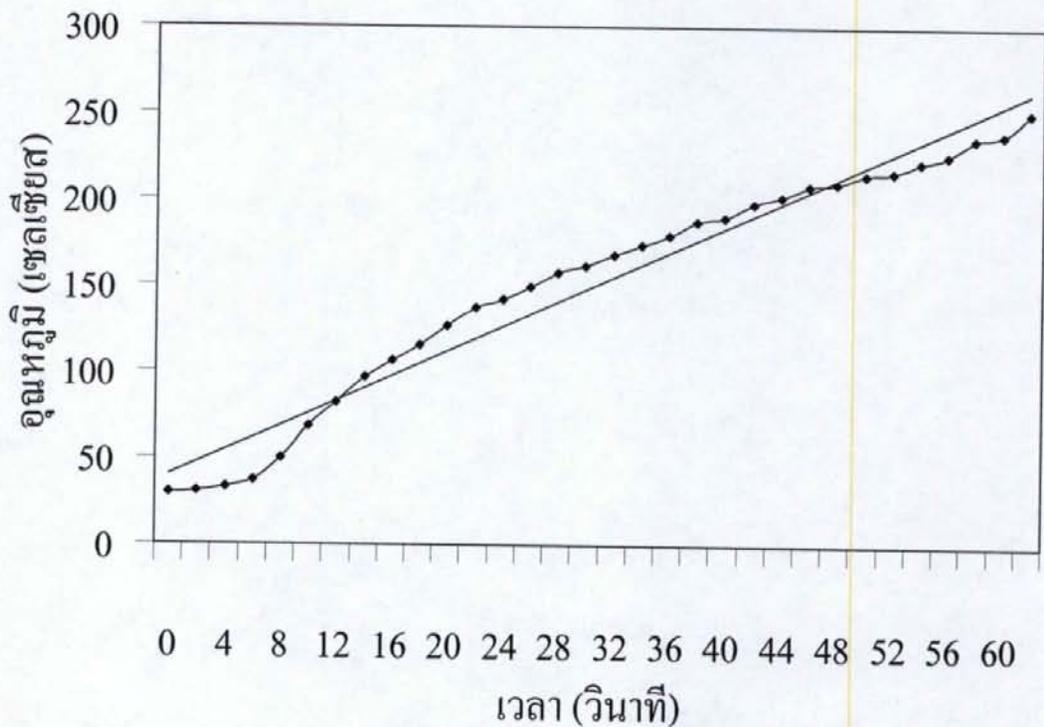


รูปที่ 4.12 การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยค่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับ
อลูมิเนียมที่เวลา 62 วินาที

นอกจากนั้นเพื่อทำให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมาก เครื่องมือเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมรอย
ต่อนั้นได้ถูกกำหนดให้ใช้เชื่อมแนวเชื่อม 5 แนวเท่านั้น เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการกระบวนการ

เชื่อม คือ การหลอมติดของอลูมิเนียมเข้าสู่รอยผิวเกลียวของตัวกวน และการสึกหรอกของตัวกวน ในการทดลองนี้จึงทำการขึ้นรูปตัวกวนในปริมาณที่มาก คือ 100 ตัว (ความยาวของเครื่อง มือเชื่อม แต่ละตัวยาว 60 มม.) ซึ่งความยาวของแท่งเพลากลมที่ต้องใช้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 6000 มม.

รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายความร้อนของรอยต่ออลูมิเนียมเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าไปสัมผัส พิจารณาการเพิ่มอุณหภูมิที่บริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อเริ่มทำการเชื่อมพบว่า เมื่อตัวกวนที่หมุน ด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm สัมผัสกับผิวของอลูมิเนียมแล้วความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของ ตัวกวนมีค่าประมาณ 30-32 °C ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อตัวกวนถูกกดลึกลงไป ในเนื้ออลูมิเนียมซึ่งในการทดลองนี้ทำการกดลงที่อัตราป้อน 0.1 mm/sec จนจุดสุดท้ายที่ตัวกวนถูก สอดลงในเนื้ออลูมิเนียมที่ระยะ 6.0 มม. โดยที่ปากของเครื่องมือเชื่อมไม่ได้สัมผัสกับผิวอลูมิเนียมมี ค่าประมาณ 250°C ที่บริเวณกึ่งกลางของการกวนดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่จุดเริ่มต้นของแนวเชื่อม

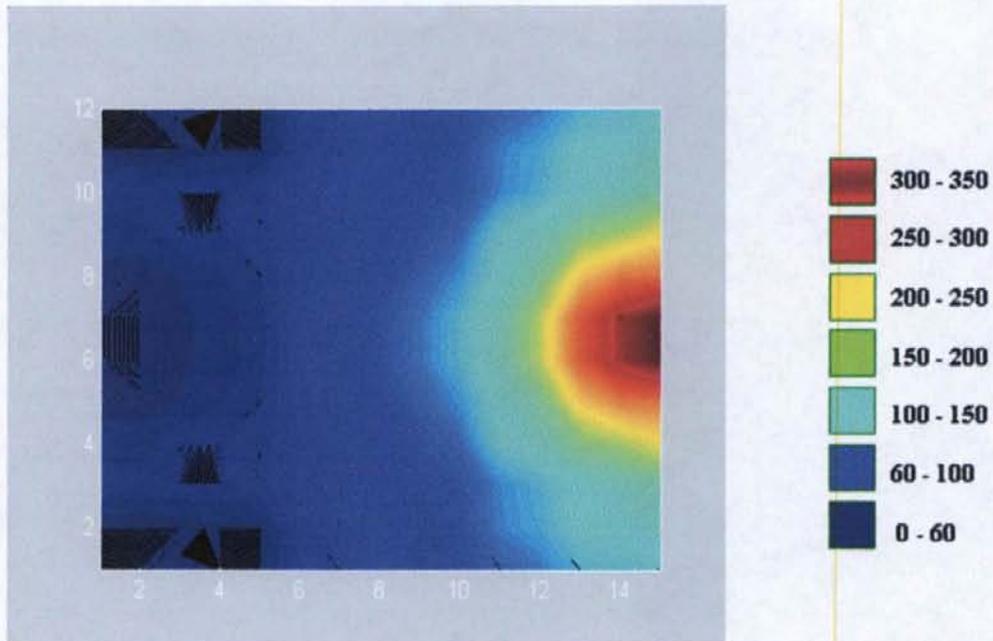
ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณจุดกึ่งกลางที่เริ่มทำการกดตัวกวนลงสู่แผ่นอลูมิเนียม เพื่อทำการเปรียบเทียบการเพิ่มอุณหภูมิบนรอยต่อบริเวณจุดเริ่มต้น เมื่อทำการกดตัวกวนรูปร่างทรง กระบอกผิวเกลียวมาตรฐาน M6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 6.1 มม. ลงสู่แผ่นอลูมิเนียมที่

ความเร็วในการป้อนลงในทิศทางแกน Z ด้วยความเร็ว 0.1 mm/sec. ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4.13 อุณหภูมิของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำ คือ ประมาณ 1.2 °C/s เมื่อตัวกวนเริ่มลดลงไปที่บริเวณแนวเชื่อมที่ค่าความลึกประมาณ 0.6 มม. ค่าความร้อนที่มีอัตราการเพิ่มต่ำนี้เกิดขึ้นจากอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวนั้นถูกตัดและดันออกจากรอยต่อ เนื่องจากการหมุนตัดของตัวกวนตามหลักการของการปาดผิวโลหะทั่วไป ด้วยเหตุนี้การเสียดทานที่เกิดขึ้นจึงค่อนข้างต่ำและส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มอุณหภูมิในอัตราที่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 4.13 ช่วงระยะเวลา 0-6 วินาทีดังกล่าว

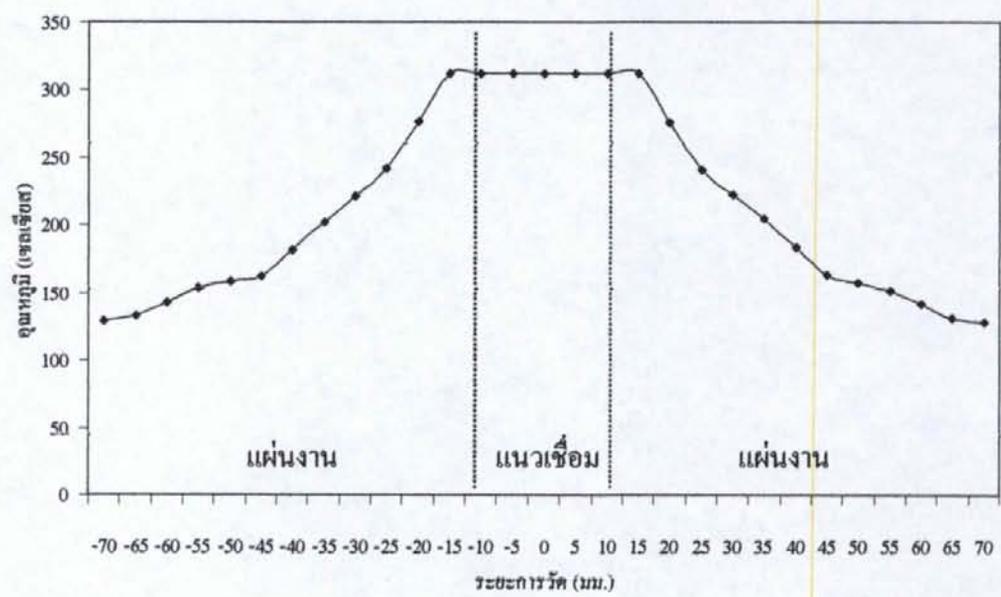
อย่างไรก็ตามเมื่อตัวกวนถูกกดลงไปในระดับความลึกที่มากขึ้น คือ 0.8 มม. อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นมีค่าสูงเช่น ช่วงที่ตัวกวนกดลึกจาก ระยะ 0.6 มม. ถึง 2.4 มม. มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ค่าประมาณ 5.8 ซึ่งมีค่าสูงเกือบ 5 เท่าของอุณหภูมิช่วงเริ่มกดตัวกวนลงสู่อุณหภูมิเย็น ผลที่ได้นี้ เกิดขึ้นเพราะว่าไม่มีอุณหภูมิเกิดการถูกตัดและดันออกจากรอยต่อดังเช่นที่เกิดขึ้นในช่วงของการกดตัวกวนในระยะ 0.6 มม. ที่ผ่านมา อุณหภูมิที่ไม่ถูกตัดออกนั้นทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสกับพื้นที่ผิวของตัวกวนที่หมุนด้วยความเร็วสูงมากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลทำให้เกิดความร้อนเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้อุณหภูมิของแนวเชื่อมนี้มีค่าเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่ก่อให้เกิดการเชื่อมระหว่างแผ่นอุณหภูมิทั้งสอง เนื่องจากอุณหภูมิของรอยต่อยังคงมีค่าที่ต่ำกว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมินี้มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อตัวกวนถูกกดลงมาที่ระดับค่าความลึกที่เพิ่มสูงขึ้น ทำการสร้างเส้นแนวโน้มลากลผ่านชุดข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าช่วงระยะเวลาในการกดตัวกวนลงสู่รอยต่อตั้งแต่ 12-48 มม. หรือ 12-48 วินาทีนั้น ค่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของรอยต่อนั้นมีค่าสูงกว่าแนวโน้มเฉลี่ยของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของแนวเชื่อม ขณะเดียวกันเมื่อความลึกเพิ่มจาก 48-62 วินาทีนั้น ค่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมิมีค่าลดลงเล็กน้อย การลดลงของค่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมินี้ไม่สามารถหาคำตอบได้อย่างแน่ชัดในการทดลองครั้งนี้ และสมควรทำการศึกษาและทดลองหาเหตุผลในอนาคตเกี่ยวกับโลหะวิทยากายภาพของอุณหภูมิเย็นในจุดนี้ต่อไป หลังจากการสร้างเส้นแนวโน้มของอุณหภูมิต่อรอยต่อที่จุดเริ่มต้น ในช่วงที่ตัวกวนถูกกดลงไปแนวเชื่อมที่ระยะประมาณ 6.00 มม. พบว่ามีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ค่าประมาณ 3.57 °C/s

รูปที่ 4.14 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่บริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อหลังจากที่ตัวกวนถูกกดลงไปแนวเชื่อมที่ระยะค่าความลึกเท่ากับ 6.2 มม. และบ่าของเครื่องมือกดลงไปบนผิวของอุณหภูมิเย็น พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณผิวรอยต่อมีค่าเพิ่มมากกว่ารอยต่อที่บ่าเครื่องมือไม่ได้แตะกับผิวของอุณหภูมิเย็นประมาณ 50°C ผลที่ได้นี้ทำให้เข้าใจได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระดับที่สามารถทำการเชื่อมวัสดุเข้าด้วยกันได้นั้นเกิดขึ้นจากบ่าเครื่องมือเชื่อม บริเวณจุดเริ่มต้นเมื่อเริ่มเดินแนวเชื่อมที่ระยะเวลา 78 วินาทีมีค่าเท่ากับ 315°C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจุดหลอมเหลวของอุณหภูมิเย็น 6063-T1 ที่ใช้ในการทดลองที่มีค่าประมาณ 621°C แล้ว พบว่ามีค่าประมาณ 0.5 เท่าของอุณหภูมิ

เนี่ยมดังกล่าวซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก และเป็นการยืนยันว่าการเชื่อมพริกชั้นเสตอร์นี้เป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งที่กระทำในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุที่ทำการเชื่อม

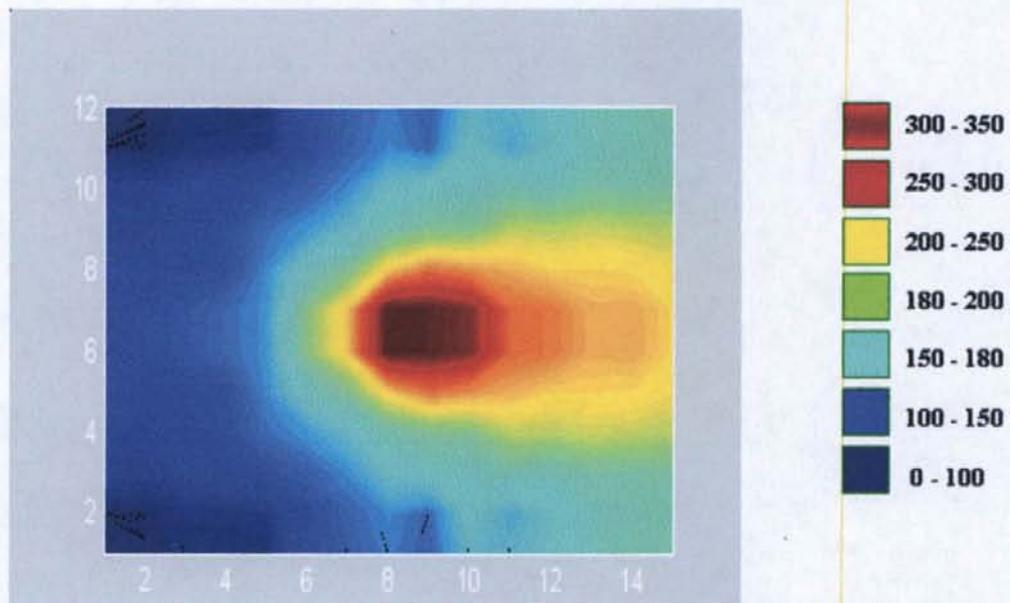


รูปที่ 4.14 การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับ อุณหภูมิเนี่ยมที่เวลา 78 วินาที



รูปที่ 4.15 การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา 78 วินาที

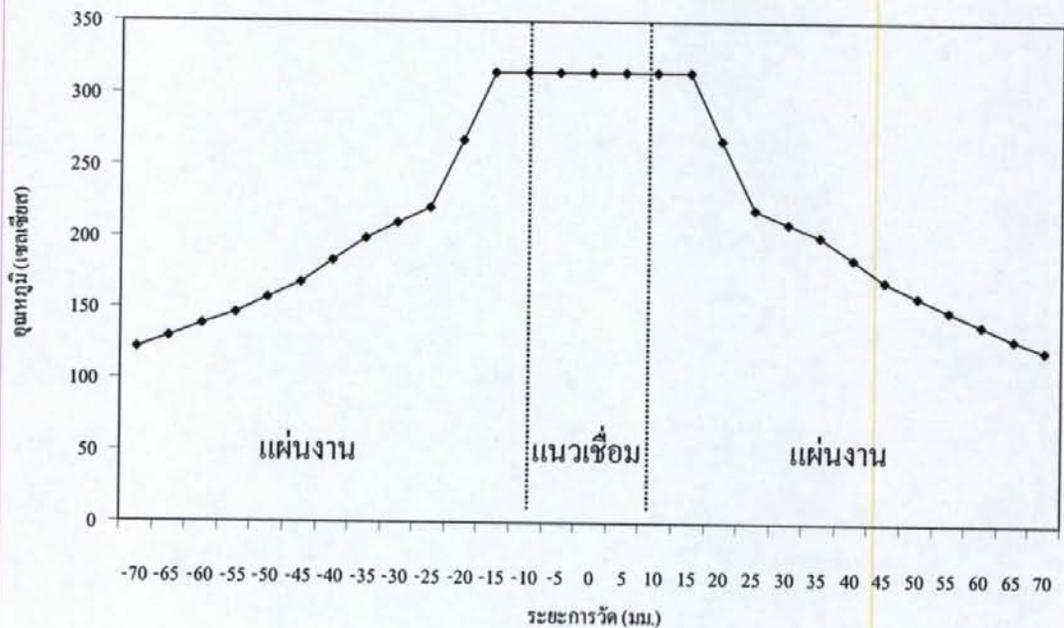
รูปที่ 4.15 แสดงการกระจายตัวของความร้อนตามแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อม หรือแนวความยาวโดยมีทิศทางการเชื่อมพุ่งออกมาจากหน้ากระดาษ พบว่าค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าสูงสุดที่บริเวณด้านข้างของแนวเชื่อมบริเวณจุดที่ใกล้กับแนวเชื่อมที่สุด คือ ประมาณ 312 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิของแนวเชื่อมที่ได้มีค่าที่ลดลงไปตามระยะทางการวัดที่เพิ่มขึ้น พิจารณาการลดลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้น พบว่าไม่ได้เกิดการลดลงของค่าอุณหภูมิที่เป็นลักษณะความชันที่เป็นเส้นตรงเช่นเดียวกันกับการเพิ่มอุณหภูมิในจุดต่างๆ ของรอยต่อ สาเหตุที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นได้จากหลายๆ องค์ประกอบ เช่น ส่วนผสมทางเคมีบนแผ่นรอยต่อที่ไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในอูมิเนียมผสมนั้นเกิดความแตกต่างกันได้ นอกจากนี้หากพิจารณาถึงรูปแบบของการผลิตอูมิเนียมซึ่งอูมิเนียมที่เลือกใช้นั้นเป็นอูมิเนียมที่ผ่านการหล่อ แล้วนำมาทำการรีดขึ้นรูปด้วยสภาวะ T1 ดังนั้นจึงคาดได้ว่าความสม่ำเสมอของส่วนผสมทางเคมี ลักษณะทางกายภาพของอูมิเนียมนี้อาจจะมีค่าไม่เท่ากันก็ได้ อย่างไรก็ตามการพิสูจน์คำพูดนี้ควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อทำให้เกิดข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และเป็นเหตุเป็นผลที่สามารถนำไปทำการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมจริงได้ต่อไป



รูปที่ 4.16 การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอูมิเนียมที่เวลา 110 วินาที

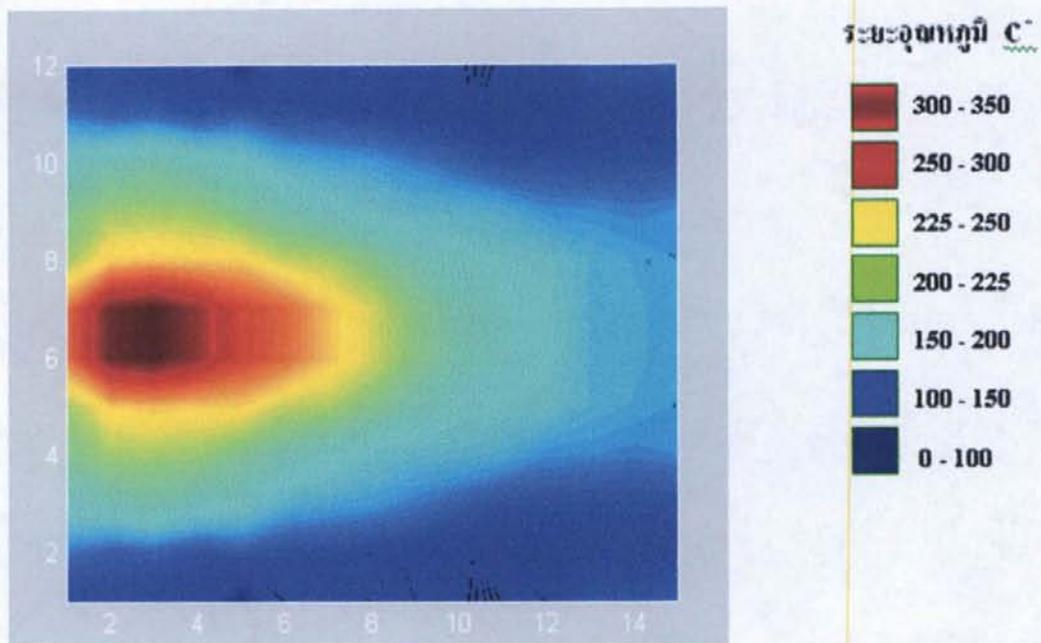
รูปที่ 4.16 แสดงการกระจายอุณหภูมิบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อมที่ตัวกวนที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm เดินด้วยความเร็ว 125 mm/min พิจารณาจุดที่เครื่องมือเชื่อมเดินไปที่

ตำแหน่งกึ่งกลางความยาวของแนวเชื่อม พบการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายกับที่เกิดในรูปที่ 4.12 คือประกอบไปด้วยชั้นของอุณหภูมิสูง ปานกลาง และต่ำเช่นเดียวกัน แต่ความกลมมนของพื้นที่แสดงอุณหภูมินั้นมีค่าความกลมมนน้อยกว่า หรือมีรูปร่างที่ค่อนข้างเป็นวงรีกว่า พื้นที่ของการกระจายอุณหภูมิส่วนด้านหน้าของแนวเชื่อมแคบกว่า การเกิดขึ้นนี้คาดว่าเกิดจากการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะที่ตัวกวนที่หมุนด้วยความเร็วสูงนั้นเกิดการเคลื่อนที่ นอกจากนั้นบริเวณพื้นที่ๆ ผ่านการเชื่อมเป็นแนวเชื่อมแล้ว มีค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง คือ อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่มากกว่า 200°C ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของจุดเริ่มต้นของการเชื่อมที่มีค่าประมาณ 312°C และอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางความยาวแนวเชื่อมที่มีค่าประมาณ 321°C พบว่าที่จุดกึ่งกลางความยาวแนวเชื่อมมีอุณหภูมิที่สูงกว่าประมาณ 10°C การเพิ่มขึ้นนี้คาดว่าความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมที่มีแนวเชื่อมค่อนข้างยาวขึ้น



รูปที่ 4.17 การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา 110 วินาที

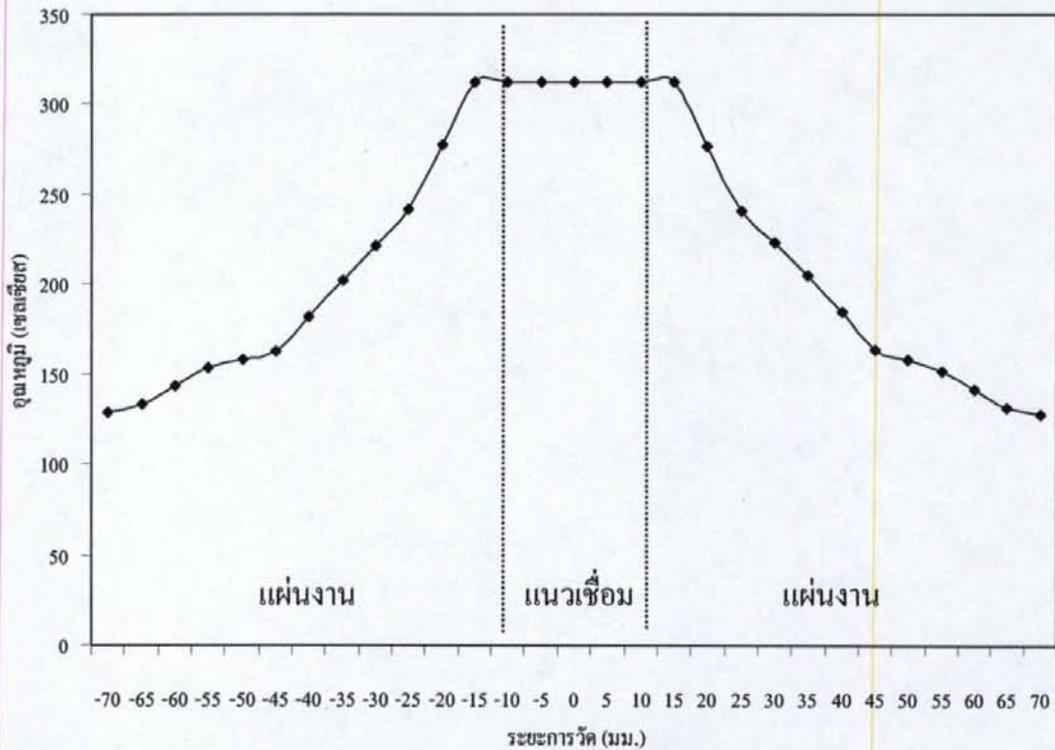
รูปที่ 4.17 แสดงการกระจายตัวของความร้อนตามแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อม หรือแนวความยาวโดยมีทิศทางการเชื่อมพุ่งออกมาจากหน้ากระดาษ พบว่าค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าสูงสุดที่บริเวณด้านข้างของแนวเชื่อมบริเวณจุดที่ใกล้กับแนวเชื่อมที่สุด ผลที่ได้นี้คล้ายกับที่เกิดขึ้นที่จุดเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 321°C จากนั้นอุณหภูมิของแนวเชื่อมที่ได้มีค่าที่ลดลงไปตามระยะทางการวัดที่เพิ่ม ขึ้น การลดลงของอุณหภูมิไม่ได้เกิดการลดลงของค่าอุณหภูมิที่เป็นลักษณะความชันที่เป็นเส้นตรงเช่นเดียวกันกับการเกิดที่จุดเริ่มต้น



รูปที่ 4.18 การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับ
อลูมิเนียมที่เวลา 136 วินาที

รูปที่ 4.18 แสดงแผนภาพการกระจายอุณหภูมิบนรอยต่ออลูมิเนียมที่จุดสุดท้ายของการเชื่อม ก่อนการถอนเครื่องมือเชื่อมออกจากรอยต่อ พบการกระจายตัวของอุณหภูมิลดลงจากที่ที่เกิดขึ้นที่ บริเวณจุดเริ่มต้นและจุดกึ่งกลางความยาวการเดินแนวเชื่อม คือประกอบไปด้วยชั้นของอุณหภูมิสูง ปานกลาง และต่ำเช่นเดียวกัน ความกลมมนของพื้นที่แสดงอุณหภูมินั้นมีลักษณะเดียวกันกับการ กระจายอุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางความยาวแนวเชื่อม คือ มีรูปร่างที่ค่อนข้างคล้ายวงรี ทำการ เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของจุดเริ่มต้นของการเชื่อมที่มีค่าประมาณ 312°C และอุณหภูมิที่บริเวณ กึ่งกลางความยาวแนวเชื่อมที่มีค่าประมาณ 321°C พบว่าที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมมีค่าอุณหภูมิ สูงสุด คือ 332°C ซึ่งเกิดจาก การเพิ่มขึ้นของความร้อนที่สะสมขณะทำการเชื่อมในแผ่นรอยต่อและ ในอุปกรณ์การจับยึดชิ้นงานของรอยต่อที่มียาว

รูปที่ 4.19 แสดงการกระจายตัวของความร้อนตามแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อม พบว่าค่า อุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้น มีค่าสูงสุดที่บริเวณด้านข้างของแนวเชื่อม อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าประ มาณ 321°C ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิของรอยต่อที่จุดเริ่มต้น จากนั้นอุณหภูมิของแนวเชื่อมที่ได้มีค่า ที่ลดลงไปตามระยะทางการวัดที่เพิ่มขึ้น การลดลงของอุณหภูมิไม่ได้เกิดการลดลงของค่าอุณหภูมิที่ เป็นลักษณะความชันที่เป็นเส้นตรงเช่นเดียวกันกับการเกิดที่จุดเริ่มต้น



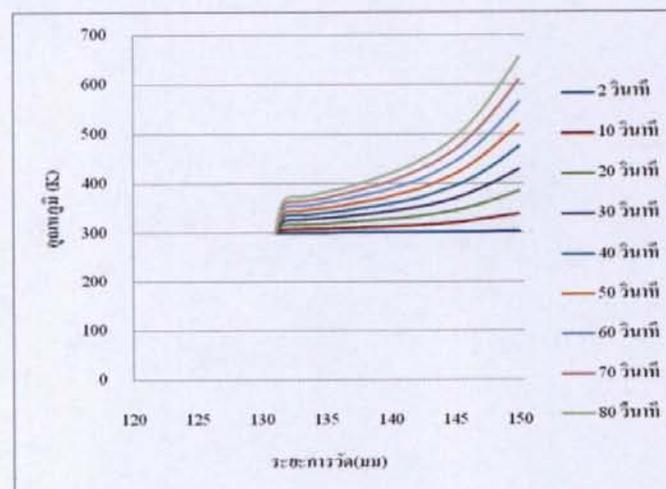
รูปที่ 4.19 การกระจายอนุภาคนิวเคลียร์แนวตัดขวางทิศทางเชื่อมที่ระยะเวลา 136 วินาที

จากผลการตรวจวัดอนุภาคนิวเคลียร์ที่ได้นี้ สามารถยืนยันอนุภาคนิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่งว่า การเชื่อมพริกซ์สเตอริโอรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด 6063-T1 สามารถเกิดขึ้นได้ที่อนุภาคนิวเคลียร์ประมาณ 0.5 เท่าของอนุภาคนิวเคลียร์ของอลูมิเนียมเกรดนี้ นอกจากนั้นอนุภาคนิวเคลียร์ที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลทางทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่า อนุภาคนิวเคลียร์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมที่มีความแข็งแรงสูงนั้นมีค่าประมาณ 0.5-0.6 เท่าของอนุภาคนิวเคลียร์ของวัสดุที่ทำการเชื่อม [1-5] อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการวัดอนุภาคนิวเคลียร์มีตัวแปรหลายๆ ตัวที่ทำให้อนุภาคนิวเคลียร์ไม่ได้เป็นไปตามความเป็นจริงได้ เช่น ความสะอาดของพื้นผิวสัมผัสระหว่างเทอร์โมคัพเพิลและอลูมิเนียม ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำความสะอาดในระดับที่อาจกล่าวได้ว่าดีที่สุด อย่างไรก็ตามคาดว่าสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นยังคงหลงเหลืออยู่ จุดต่อระหว่างขั้วเทอร์โมคัพเพิลและเครื่องมือวัด การขันสกรูยึดให้แน่นทำให้การวัดอนุภาคนิวเคลียร์มีค่าที่ตรงมากกว่า อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติจริงนั้นได้ทำการยึดให้แน่นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จากข้อมูลในการวัดอนุภาคนิวเคลียร์นี้ ผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลนี้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่พยากรณ์ด้วยการคำนวณด้วยพลศาสตร์ของไหลในหัวข้อต่อไป

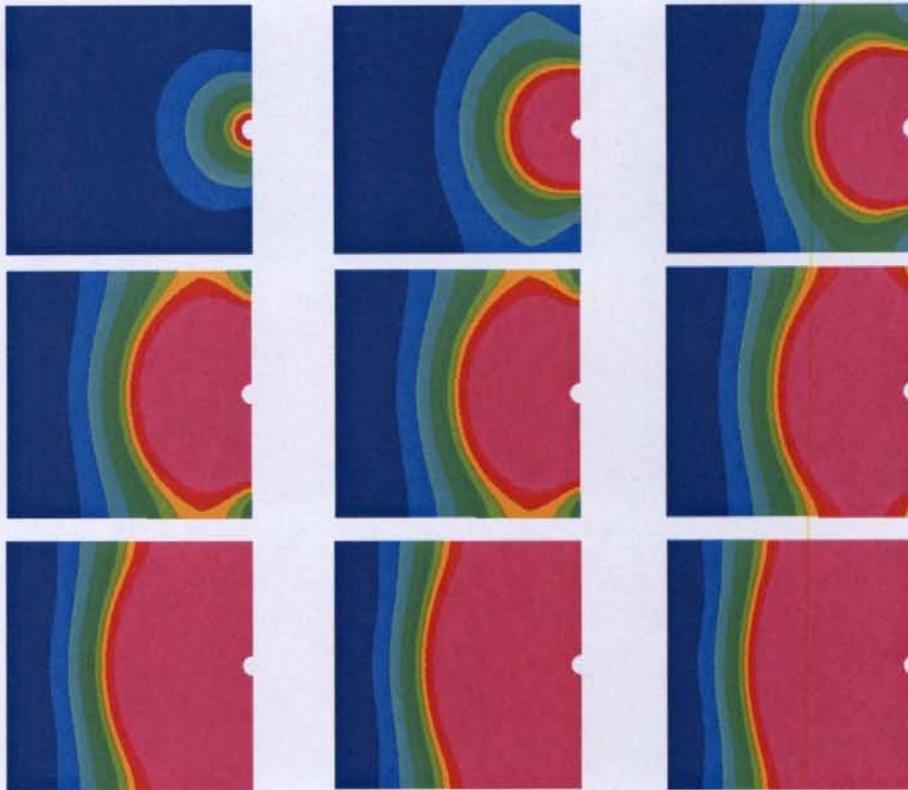
4.3 ผลการพยากรณ์ด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

มีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณหาค่าการกระจายอุณหภูมิตามความยาวของชิ้นงานซึ่งแบ่งพิจารณาเป็น 3 กรณีดังนี้ ที่จุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียม จุดกึ่งกลาง และ จุดสิ้นสุดโดยมีการพิจารณาเวลาในการกระจายอุณหภูมิตามความยาว

รูป 4.20 เป็นการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆ จาก 2 - 80 วินาทีที่จุดเริ่มต้น โดยการกระจายอุณหภูมิจะเริ่มจากบริเวณเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียมอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเมื่อทำการกดตัวกวนรูปร่างทรงกระบอกผิวเกลียวมาตรฐาน M6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 6.1 มม. ลงสู่แผ่นอลูมิเนียมที่ความเร็วในการป้อนลงในทิศทางแกน Z ด้วยความเร็ว 0.1 mm/sec. อุณหภูมิของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำ คือ ประมาณ 1.2 °C/s เมื่อตัวกวนเริ่มกดลงไปทีบริเวณแนวเชื่อมที่ค่าความลึกประมาณ 0.6 มม. ค่าความร้อนที่มีอัตราการเพิ่มต่ำนี้เกิดขึ้นจากอลูมิเนียมที่บริเวณพื้นผิวนั้นถูกตัดและดันออกจากรอยต่อ เนื่องจากการหมุนตัดของตัวกวนตามหลักการของการปาดผิวโลหะทั่วไป ด้วยเหตุนี้การเสียดทานที่เกิดขึ้นจึงค่อนข้างต่ำและส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มอุณหภูมิในอัตราที่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งเป็นการจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆ จาก 2 - 80 วินาทีที่จุดเริ่มต้นด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) ทำนายผลของอุณหภูมิพบว่าในขณะที่เริ่มกดตัวกวนอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและมีการกระจายความร้อนไปยังบริเวณรอบๆ เข้าสู่ด้านในของชิ้นงานไปทางด้านซ้ายมือ ซึ่งของการกระจายอุณหภูมิมีการแบ่งโดยใช้สีซึ่งสีชมพูคือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดและค่อยๆ ลดลงการกระจายอุณหภูมิแผ่เป็นวงกว้างขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอีกทั้งมีการกระจายไปยังบริเวณขอบทั้ง 2 ข้างของชิ้นงาน



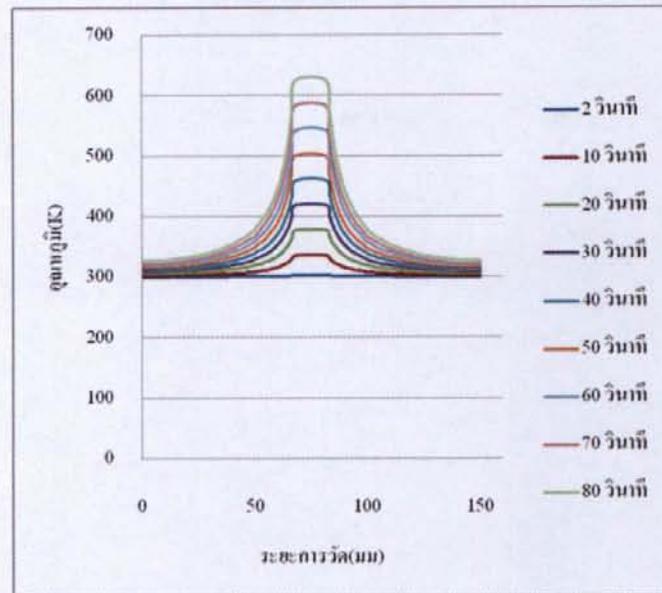
รูปที่ 4.20 การกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆ จาก 2 - 80 วินาทีที่จุดเริ่มต้น



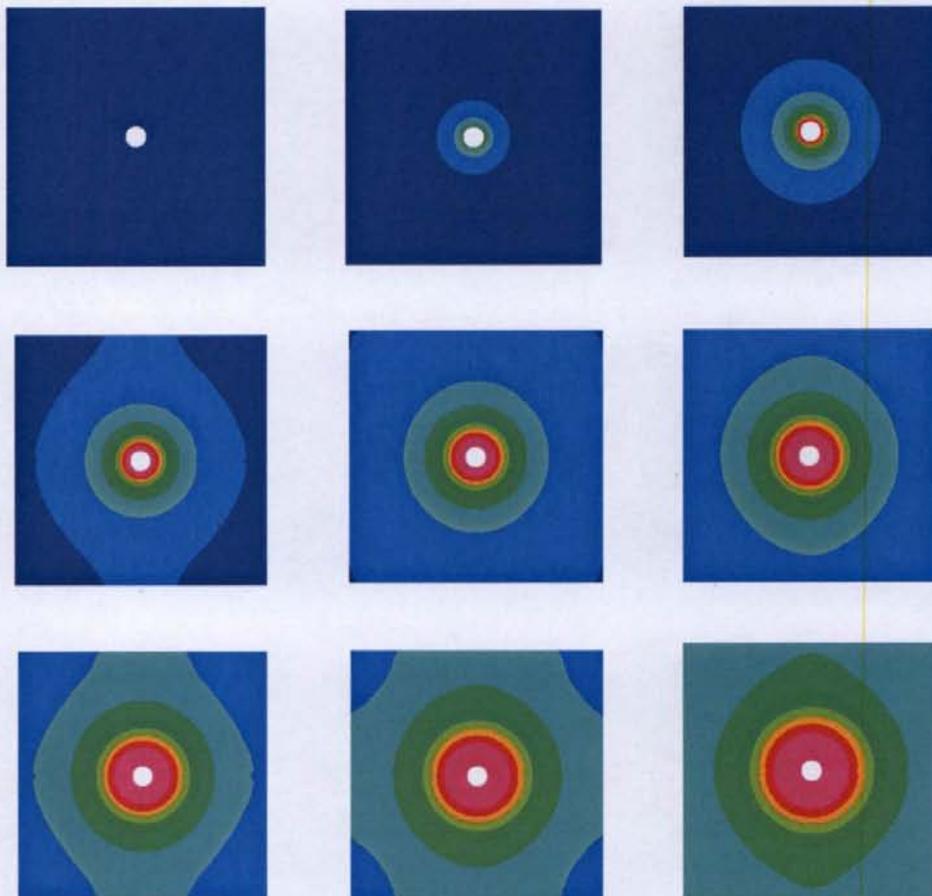
รูปที่ 4.21 การจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดเริ่มต้น

ในกรณีถัดมาเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปทำนายผลในกรณีที่เลื่อนตัวกวนไปจุดที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน โดยมีการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิตามความยาวของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ ตามรูป 4.22 พบว่าความร้อนจะค่อยๆกระจายตัวจากบริเวณตรงกลางไปบริเวณรอบๆ ในลักษณะความชันของเส้นกราฟจะค่อยๆลดลงยิ่งเพิ่มเวลาในการกวนมากขึ้นเท่าใดอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยเท่านั้น อุณหภูมิสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของหัวกด

รูปที่ 4.23 เป็นการพิจารณา โดยมีการจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆ จาก 2 – 80 วินาทีที่จุดกึ่งกลาง ในขณะที่เริ่มกวนตัวกวนอุณหภูมิค่อยๆเพิ่มขึ้นการกระจายอุณหภูมิจะเกิดขึ้นในลักษณะเป็นวงและจะขยายเป็นวงกว้างเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในลักษณะสมดุกรอบทิศทางจนกระทั่งเวลาผ่านไป 30 วินาทีจะมีการขยายอุณหภูมิออกไปด้านข้างของชิ้นงานและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งครอบคลุมไปทั่วผิวของชิ้นงาน

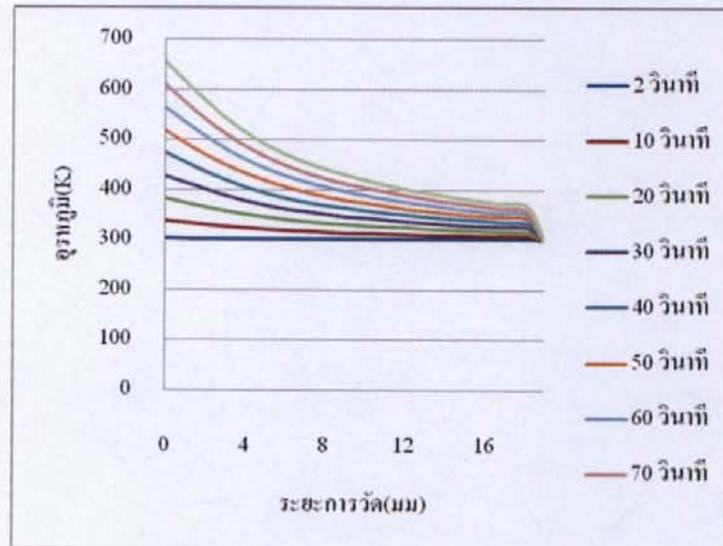


รูปที่ 4.22 การกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดกึ่งกลาง



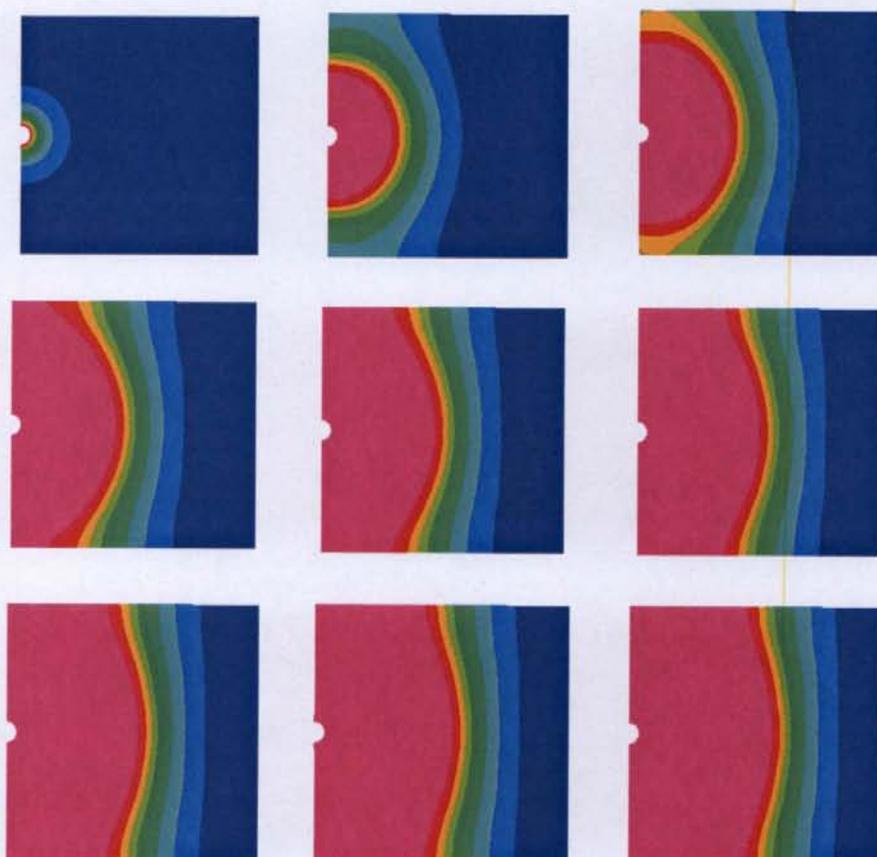
รูปที่ 4.23 การจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดกึ่งกลาง

ในกรณีสุดท้ายเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปทำนายผลในกรณีที่เลื่อนตัวกวนไปกอดที่บริเวณปลายของชิ้นงาน โดยมีการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิตามความยาวของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ ดังรูป 4.24 มีการกระจายอุณหภูมิแผ่เป็นวงกว้างเข้าด้านในของชิ้นงานซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับกรณีแรก อุณหภูมิจะค่อยๆสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.24 การกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดสิ้นสุด

รูป 4.25 เป็นการพิจารณาโดยมีการจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่ตรงปลายของชิ้นงาน ในขณะที่เริ่มกอดตัวกวนอุณหภูมิค่อยๆเพิ่มขึ้นการกระจายอุณหภูมิจะกระจายไปบริเวณรอบๆเป็นวงกว้างในลักษณะสมมาตรเท่าๆกันและเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการกระจายอุณหภูมิจะขยายออกไปด้านข้างของชิ้นงานพร้อมกับขยายเข้าด้านในของชิ้นงานและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างช้าๆและต่อเนื่องกันไปซึ่งจะเห็นได้จากการกระจายอ้างอิงโดยชั้นของแถบสีตั้งแต่อุณหภูมิสูง(สีชมพู) แล้วค่อยๆลดลงมาจนเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิบรรยากาศ(สีน้ำเงิน)



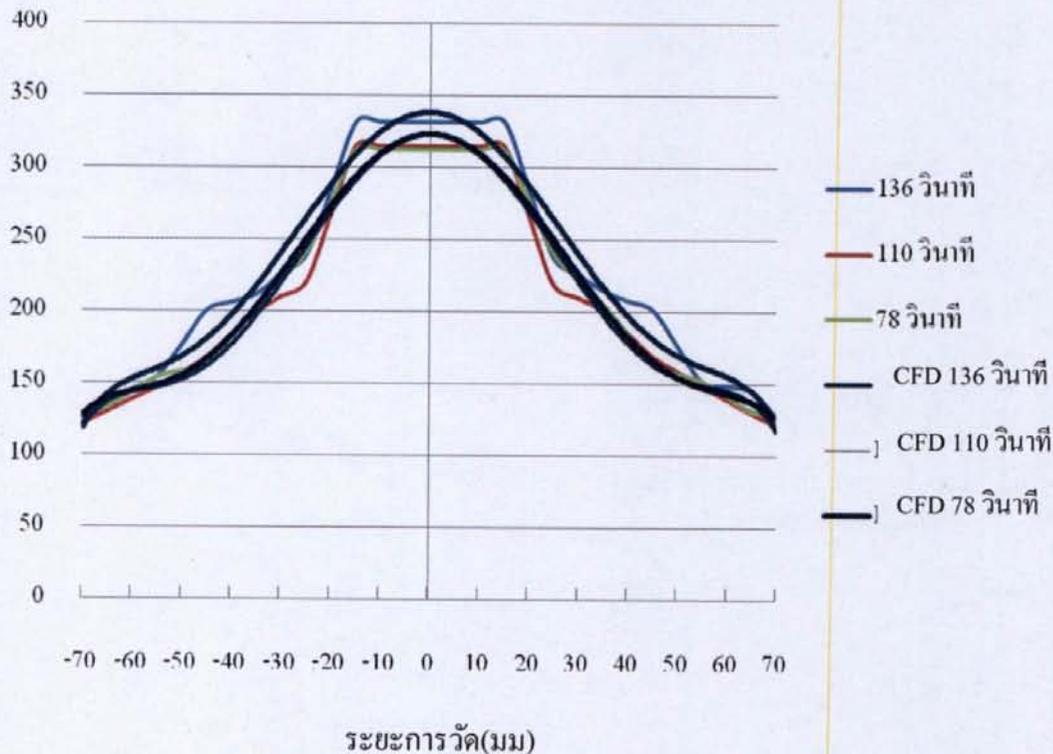
รูปที่ 4.25 การจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 - 80 วินาทีที่จุดสิ้นสุด

จากการจำลองทางด้านพลศาสตร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำนายผลอุณหภูมิจากการกดของตัว
 กวนที่บริเวณต่างๆพร้อมทั้งเพิ่มระยะเวลาในการกดสามารถวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิซึ่งแสดง
 ออกมาอยู่ในรูปของชั้นแถบสีทำให้ง่ายในการเข้าใจและทราบถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้น โดยที่ยังไม่
 ต้องเชื่อมจริง และมีการศึกษาหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเชื่อมซึ่งจะมีการเปรียบเทียบผลการ
 ทดลองกับแบบจำลองอีกครั้งในหัวข้อถัดไป

4.4 การเปรียบเทียบผลการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัพเพิลและการพยากรณ์ด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

จากหัวข้อที่ 4.1 รอยต่อชนแผ่นอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063-T1 ได้ถูกนำมาทำการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมอันประกอบด้วย ความเร็วรอบของตัวกวน ความเร็วเดินแนวเชื่อม และรูปร่างของตัวกวน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความแข็งแรงดึงสูงสุด ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวได้ทราบว่า ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้เกิดค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดประกอบไปด้วย ความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดิน 125 mm/min และตัวกวนรูปทรงกระบอกผิวเกลียวมาตรฐาน M6 ตัวแปรการเชื่อมที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1 นี้ได้นำมาทำการเชื่อมรอยต่ออีกครั้ง และทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัพเพิลจนกระทั่งได้ข้อมูลการทดลองจริงที่เกิดในกระบวนการเชื่อม และสามารถนำไปใช้ในการเป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตในภาคอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1 ได้ถูกนำมาทำการพยากรณ์อีกครั้งด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD)

อุณหภูมิ (เซลเซียส)



รูปที่ 4.26 การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา ต่างๆเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางด้านพลศาสตร์ของไหล CFD

จากข้อมูลที่ได้สามารถสรุป ความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการใช้เทอร์โมคัพเพิลนั้นแสดงค่าออกมาเป็นองศาเซลเซียส ขณะที่ในการใช้การคำนวณด้วยพลศาสตร์ของไหลนั้นแสดงค่าเป็นเคลวิน

- ค่าที่ได้จากการนำข้อมูลการวัดด้วยเทอร์โมคัพเพิลมาทำการสร้างกราฟด้วยโปรแกรมเมทแลปนั้นมีความละเอียดน้อยกว่ากราฟ ที่ได้จากการคำนวณด้วยพลศาสตร์ของไหล เนื่องจากการวัดด้วยเทอร์โมคัพเพิลนั้นเป็นการวัดเฉพาะจุด รวมกันหลายๆ จุด และทำการวัดจนกระทั่งครบทุกจุดตามที่ออกแบบไว้ จำเป็นต้องทำการเชื่อมก่อนข้างหลายครั้ง อีกทั้งหากต้องการทำการวัดด้วยความละเอียดก่อนข้างสูงจำเป็นต้องใช้เวลามากกว่านี้ ซึ่งความเป็นจริงเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก จากข้อมูลที่ได้ในกราฟการกระจายความร้อนในหัวข้อที่ 4.2 และภาคผนวก ก. สังเกตเห็นได้ว่าพื้นที่ต่างๆ หรือเส้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้นมีความเรียบมนก่อนข้างน้อยกว่ากราฟการกระจายความร้อนที่ได้จากการคำนวณพลศาสตร์ของไหลดังแสดงในรูป 2.6

- การวัดอุณหภูมิบริเวณด้านล่างของบ่าเครื่องมือเชื่อมด้วยเทอร์โมคัพเพิลนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการเชื่อมฟริกชันสเตอร์นี้จะทำให้อุณหภูมิบริเวณดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนรูปร่างรุนแรง หากนำเอาเทอร์โมคัพเพิลไปติดที่บริเวณดังกล่าวแล้วอาจทำให้เกิดการเสียหาย และเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ อย่างไรก็ตามการคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นสามารถทำได้

- รายละเอียดภายใต้เครื่องมือเชื่อมไม่สามารถแสดงค่าได้โดยการใช้เทอร์โมคัพเพิลแต่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นสามารถทำได้

- การคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นสามารถพยากรณ์ค่าอุณหภูมิที่มีค่าใกล้เคียงกับการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัพเพิลได้ อย่างไรก็ตามการคำนวณพลศาสตร์ของไหลให้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าการวัดด้วยเทอร์โมคัพเพิล เหตุผลที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นให้ค่าที่สูงกว่าเพราะการคำนวณนั้นอาศัยค่าทางทฤษฎีเป็นค่าที่นำมาป้อนเข้าสู่โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งในการปฏิบัติจริงนั้นเป็นไปได้ยาก นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ในทางปฏิบัตินั้น พบว่า ฟิล์มออกไซด์ การต่อขั้วเทอร์โมคัพเพิลต่างๆ นั้นล้วนเป็นข้อจำกัดที่ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าค่าการคำนวณทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม การคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนรอยต่อการเชื่อมฟริกชันสเตอร์อุณหภูมิผสมเกรด 6063-T1 ได้เช่นเดียวกันกับการใช้โปรแกรมไฟไนท์อีลีเมนต์