บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

ผลทดลองการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุ ชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทเนติค 304 ด้วยเหล็กเหนียวหล่อ SC410 โดยมีค่าตัวแปรที่ใช้ในการ ทดลองดังนี้กระแสที่ใช้ในการเชื่อมประมาณ 140 180 และ 220 แอมแปร์.อัตราการไหลของแก๊ส อาร์กอนประมาณ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 300 และ 400 มม./ นาที สามารถอธิบายผลการทดสอบได้ดังนี้

4.1 ตัวแปรของกระแสเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

4.1.1 กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที



(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่า ความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหว่งขอบ แนว (Undercut) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูงที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.1 (ข) (ค) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiecai Feng Et al [24] ที่ได้ กล่าวไว้ว่า การเปลี่ยนความยาวระยะการอาร์ค ที่เพิ่มขึ้นกับอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ เกิดรอยแหว่งขอบแนว (Undercut) พร้อมกันทั้ง 2 ด้าน ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม ต่ำ คือ 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.1 (ก) มีเม็ดโลหะทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 และการเกิดรอย แหว่งขอบแนว (Undercut) นั้นหายไป และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่าง คล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ การเปลี่ยนแปลง รูปร่างและขนาดของแนวเชื่อมนี้สัมพันธ์กับสมการทางความร้อนของการเชื่อมโดยตรง ที่แสดงไว้ว่า ความเร็วเดินเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความร้อนในแนวเชื่อมมีค่าลดลง ค่าความร้อนที่ลดลง ทำให้การแผ่กระจายความร้อนไปบริเวณโดยรอบของแนวเชื่อมมีค่าน้อย และทำให้โลหะหลอมเหลว ไม่สามารถกระจายออกไปบริเวณด้านข้างได้ แนวเชื่อมจึงมีความนูนสูงกว่าและความกว้างของแนว เชื่อมมีค่ามากกว่า [25]



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.2 ความแข็งแรงกระแทกหรือค่าการดูดซับพลังงานของรอยเชื่อมซึ่งแสดงค่าความ เหนียว (Toughness) หรือเปราะ (Brittle) ของเนื้อโลหะ พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อ ทุกๆ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตรา การไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับ การทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม304 ดัง รูปที่ 4.4 และมีค่าความแข็งแรงแนวโน้มต่ำที่สุด คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) สาเหตุ เนื่องจากเกิดจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.3 (ข) และ (ค) แสดงลักษณะการ พังทลาย และจุดบกพร่องหรือสแลกฝังใน (Slag Inclusion) ในขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ค่าการดูดซับพลังงาน มีค่าเท่ากับ 0 J เนื่องจากบริเวณแนวเชื่อมเกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.3 (ก) ลักษณะการพังทลาย อัตราความเร็วเดินแนวเชื่อม ส่งผลต่อความเหนียวของโลหะเชื่อม นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อ การเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่า เท่ากับ 223 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที



รูปที่ 4.3 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.3 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปก คลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดิน เชื่อม 200 มม./นาที จะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงเนื่องจาก บริเวณโลหะเชื่อมไม่มีการผสมกับลวดเชื่อมซึ่งทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มสีดำบริเวณรอยพังทลายดังรูปที่ 4.3 (ก) และส่งผลถึงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำและสอดคล้องกับรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.9 ลักษณะการ พังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ขณะที่ ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที พบว่า บริเวณรอยพังทลายมีลักษณะเป็นรอยแตกสลับ ฟันปลา (Zigzag) และสังเกตพื้นที่หน้าตัดรอยพังทลายลักษณะผิวค่อนข้างหยาบ และรอยพังทลาย เกิดตรงบริเวณจุดบกพร่องของแนวเชื่อม 4.3 (ข) (ค)



รูปที่ 4.4 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ พบจุดบกพร่อง (Defect) มีขนาดเล็ก และเกิดช่องว่าง (Gap) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมทางด้านเหล็กหล่อเหนียว SC410 แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4 2 และลักษณะการพังทลายดังรูปที่ 4.3 ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น 300 และ 400 มม./นาที พบจุดบกพร่อง (Defect) มีขนาดใหญ่ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 ดังรูปที่ 4.4 (ข) (ค) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายรูปที่ 4.3 (ข) (ค) และทำการวัดค่าความ กว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการ เปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความ นูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มี ค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังกราฟรูปที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiecai Feng Et al. [22]



รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่ ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อ ดังรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความ แข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูง กว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงาน กล่าวคือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 มีค่าความแข็งสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำ ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็ง ใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304



รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าการดูดซับ พลังงาน 223 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงใน รูปที่ 4.6 (ก) พบจุดบกพร่องเกิดช่องว่าง (Gap) มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.074 มม. เม็ดเกรนจะมี ลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว และการเกิดเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขต พื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของโลหะหลอมเหลวใน โลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือพื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ ประกอบด้วยเดนไดร์ทของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดร์ทมีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลาง ของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.6 (ค) ที่มี ลักษณะของเดนไดร์ทละเอียดที่มีทิศทางลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่ เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้นทำให้ ทราบเหตุผลที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม304 พื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียว หล่อ และบริเวณโลหะเชื่อมจึงมีค่าการดูดซับพลังงานแตกต่างกัน



4.1.2 กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม

- (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
 (ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
- (ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.7 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.7 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้น โดยใช้ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหว่งขอบแนว (Undercut) และเกิดจุดบกพร่อง (Defect) บริเวณแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.7 (ก) (ค) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.7 (ข) ลักษณะบริเวณบ่อ หลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] การเกิดรอยแหว่งขอบ แนว (Undercut) และจุดบกพร่อง (Defect) นั้นหายไป แต่มีเม็ดโลหะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าไร้ สนิม304



รูปที่ 4.8 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.8 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูง ของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการ ทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีค่าความแข็งแนวโน้มสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม304 ทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงระยะ การทดสอบวงกลมหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.11 และค่าความแข็งมีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมด้วย กระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที นอกจากนั้นความเร็วในการ เดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม ขณะที่ค่าความ แข็งแรงที่มีแนวโน้มต่ำ คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) สาเหตุเนื่องจากเกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.9 (ก) และมีจุดบกพร่องในบริเวณแนวเชื่อม หรือ สแลกฝัง ใน (Slag Inclusion) ดังรูปที่ 4.9 (ข) (ค) ค่าความเซ็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่า เท่ากับ 239 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304



รูปที่ 4.9 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.9 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปก คลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดิน เชื่อม 200 มม./นาที จะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงเนื่องจาก บริเวณโลหะเชื่อมไม่มีการผสมกับโลหะเติมซึ่งทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มสีดำบริเวณรอยพังทลายดังรูปที่ 4.9 (ก) และส่งผลถึงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำสอดคล้องกับรูปที่ 4.8 ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที พบว่า บริเวณรอยพังทลายมีลักษณะเป็นรอยแตกสลับฟันปลา (Zigzag) และ สังเกตพื้นที่หน้าตัดรอยพังทลายลักษณะผิวค่อนข้างหยาบ และรอยพังทลายเกิดตรงบริเวณ จุดบกพร่องของแนวเชื่อม 4.9 (ข) (ค)



รูปที่ 4.10 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.10 ผลการตรวจโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ พบ จุดบกพร่อง (Defect) บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ดังรูปที่ 4.10 (ก) (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานที่มีค่าต่ำบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4 8 และลักษณะการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมที่พบจุดบกพร่อง (Defect) ดังรูปที่ 4.9 และทำการ วัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าลดลง ส่วนค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่า ความเร็วเดินแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังกราฟรูปที่ 4.10 และสอดคล้องกับกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมี ตำแหน่งตั้งแต่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อ พบว่า ค่า ความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.8 กล่าวคือ ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่ กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการ ทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 มีค่าความแข็งสูงซึ่งสอด กับลักษณะการพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณด้านทางเหล็กกล้าไร้สนิม304 ดังรูปที่ 4.9 (ข) (ค) และเมื่อ เปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณ กึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณ



รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเซื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าการดูดซับ พลังงาน 239 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ด้านรอยต่อ เหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงดังรูปที่ 4.12 (ก) เกิดบริเวณที่ไม่ผสม (Unmixed Zone) และมี ช่องว่าง (Gap) เกิดขึ้นเล็กน้อย สาเหตุเนื่องจากมีโลหะชิ้นงานไม่หลอมเหลวและเกิดเป็นฟิล์มชั้น บางๆ ที่บริเวณขอบรอยเชื่อม (Fusion Boundary: FB) ดังแสดงด้วยลูกศรสีแดง และมีเม็ดเกรนที่ ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากช้ายไปขวา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของ โลหะหลอมเหลวในโลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดร์ทมี ทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ข) และ ด้านซ้ายของรูปที่ 4.12 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดร์ทละเอียดที่มีทิศทางการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจาก ขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ด เกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมน และสมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 นอกจากนั้นไม่พบ จุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม304 และบริเวณโลหะ เชื่อม 4.1.3 กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม

(ก) 200 มม/นาที	เม็ดโลห	sus304
FOWA10	รูปร่างวงรี	10 JJ
(ข) 300 มม/นาที	รูปร่างหยดน้ำตา	SU5304
SCW410	รอยแหว่งขอบแนว จุดบกพร่อง	10 MM
(ค) 400 มม/นาที 	รูปร่างหยดน้ำตา	SU5304
5CW410	จุดบกพร่อง	<u>10 มม</u>

(ก)	ความเร็วเดินเชื่อม	200	มม./นาที
(ข)	ความเร็วเดินเชื่อม	300	มม./นาที
(ค)	ความเร็วเดินเชื่อม	400	มม./นาที

รูปที่ 4.13 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.13 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้น และความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนว เชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหว่งขอบแนว (Undercut) ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ดัง รูปที่ 4.13 (ข) และเกิดจุดบกพร่องบริเวณผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.13 (ข) (ค) แสดงบริเวณวงกลมเส้นประสีแดง และลักษณะบริเวณบ่อหลอม ละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ ความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 มี เม็ดโลหะเกิดขึ้น และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ



รูปที่ 4.14 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.14 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูง ของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของ แนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มี แนวโน้มค่าความแข็งสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิม304 ทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 และ 2 ดัง รูปที่ 4.17 และค่าความแข็งมีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหล ของแก๊สปกคลุม 10 และ 15 ลิตร/นาที ดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.11 นอกจากนั้นความเร็วในการเดิน แนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเปราะของรอยต่อเชื่อม ขณะที่ค่าความแข็งแรงที่มีแนวโน้มต่ำ คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) สาเหตุเนื่องจากเกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) ซึ่ง สอดคล้องกับรูปที่ 4.15 (ก) (ข) ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่าเท่ากับ 164 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของ แนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304



รูปที่ 4.15 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.15 พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ ความเร็วเดินเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที จะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 เนื่องจาก แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ไม่ติดกับเนื้อโลหะเดิมเหล็กเหหนียวหล่อ SC410 บางส่วนทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มสี ดำ บริเวณรอยพังทลายดังรูปที่ 4.15 (ก) (ข) และส่งผลถึงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำบริเวณแนวเชื่อม สอดคล้องกับรูปที่ 4.14 ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที พบว่า บริเวณพังทลายพื้นที่หน้าตัด ของชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนรูปร่างมีลักษณะเป็นรอยคล้าย Cup และ Cone [17] และเกิดคอคอด บริเวณพังทลายลักษณะคล้ายการแตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture)

รูปที่ 4.16 ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหล ของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ พบจุดบกพร่อง (Defect) มีขนาดเล็ก บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ดังรูปที่ 4.16 (ก) ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานที่มีค่าแนวโน้มต่ำบริเวณแนว เชื่อม ดังรูปที่ 4 14 และลักษณะการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมที่พบจุดบกพร่อง (Defect) ดัง รูปที่ 4.15 และทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่า ความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่า ความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความนูนของแนว เชื่อม (H) ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความลึกของแนว เชื่อม (P) มีค่าลดลง และ ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังกราฟรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.14 กล่าวคือ ค่า ความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความ แข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 มี ค่าความแข็งสูงซึ่งสอดกับลักษณะการพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณด้านทางเหล็กกล้าไร้สนิม304 ดังรูปที่ 4.17 (ข) (ค) และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำ ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหล็กกล้าไร้สนิม 304





รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดิน แนวเชื่อม 400 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที แสดงค่าการดูดซับ พลังงาน 164 J บริเวณโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ด้าน รอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงดังรูปที่ 4.18 (ก) เม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้า ใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว และเดนไดร์ทมีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลาง ของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.18 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดร์ทละเอียดที่มีทิศทางการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่ เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410

4.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม 4.2.1 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



(ก)	ความเร็วเดินเชื่อม	200	มม./นาท์
(ข)	ความเร็วเดินเชื่อม	300	มม./นาท์
(ค)	ความเร็วเดินเชื่อม	400	มม./นาทิ



รูปที่ 4.19 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความ นูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และลักษณะบริเวณบ่อหลอม ละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ ความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ดังรูปที่ 4.19 (ข) (ค) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ขณะที่ ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.19 (ก) ลักษณะบริเวณบ่อ หลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ ความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่า เพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหว่งขอบแนว (Undercut) ซึ่งสอดคล้อง กับงานวิจัยของ Subodh [26] ที่แสดงผลการวัดขนาดโครงสร้างมหภาคหน้าตัดบริเวณหลอมละลาย แนวเชื่อม (Fusion Zone) พบว่า เมื่อความร้อนในการเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ความกว้างของแนวเชื่อมมี ค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.20 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.20 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งแรงกระแทกสูง คือ ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที มีค่าการดูดซับพลังงานใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งการทดสอบแรง กระแทกเฉลี่ยอยู่ที่ 296 J ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที มีค่าการดูดซับพลังงาน แนวโน้มสูงบริเวณ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้าน เหล็กกล้าไร้สนิม304 โลหะเชื่อม และมีแนวโน้มค่าการดูดซับพลังต่ำบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone)



รูปที่ 4.21 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.21 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปก คลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดิน เชื่อม 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.21 (ก) จะเกิดขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงคล้ายกับลักษณะแตกหักแบบ เปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการดูดซับพลังงานสูง ดังรูปที่ 4.20 ขณะที่ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.21 (ข) มีลักษณะการ แตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักคล้าย Cup และ Cone [27] และชิ้นทดสอบไม่ขาดออกจากกัน ขณะที่ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./ นาที ดังรูปที่ 4.21 (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณที่พบ จุดบกพร่องซึ่งผลสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานสูง ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.22 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปก คลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ดังรูปที่ 4.22 พบว่า ไม่มีจุดบกพร่องใดๆ ซึ่ง สอดคล้องกับลักษณะการพังทลายที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ทุกความเร็วเดินแนว เชื่อม ดังรูปที่ 4.15 และทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Jiecai Feng Et Al. [24] ส่วนค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเร็ว เดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง และค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่า ความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังกราฟรูปที่ 4.22

รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่บริเวณแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.20 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนว เชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด ในขณะที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมจะมีแนวโน้มต่ำบริเวณตำแหน่ง ระยะการทดสอบจุดที่ 1 ดังรูปที่ 23



รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.24 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่แสดงความแข็งแรง กระแทก 297 J ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียว หล่อ SC410 แสดงในรูปที่ 4.24 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะ หลัก SC410 เม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้าใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดง ด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว การเกิดเม็ดเกรนที่ ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของ โลหะหลอมเหลวในโลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศ ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือพื้นที่ ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดร์ทของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดร์ทมี ทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ข) และ ด้านซ้ายของรูปที่ 4.24 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดร์ทละเอียดที่มีทิศทางลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลาง จากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสี ขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความ กลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 นอกจากนั้นไม่ พบจุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่ตรวจสอบ



รูปที่ 4.24 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

4.2.2 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.25 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.25 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่า ความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหว่งขอบแนว (Undercut) ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.25 (ข) (ค) และลักษณะ บริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะ เกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.25 (ก) เกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) ทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 บริเวณขอบ แนวเชื่อม และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของแนวเชื่อมนี้ สัมพันธ์กับสมการทางความร้อนของการเชื่อมโดยตรง ที่แสดงไว้ว่า ความเร็วเดินเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความร้อนในแนวเชื่อมมีค่าลดลง ค่าความร้อนที่ลดลงทำให้การแผ่กระจายความร้อนไป บริเวณโดยรอบของแนวเชื่อมมีค่าน้อย และทำให้โลหะหลอมเหลวไม่สามารถกระจายออกไปบริเวณ

ด้านข้างได้ แนวเชื่อมจึงมีความนูนสูงกว่าและความกว้างของแนวเชื่อมมีค่ามากกว่า [25] และมี ลักษณะแนวโน้มเหมือนกับรูปที่ 4.1 ที่สภาวะการเชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์



รูปที่ 4.26 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.26 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูง ของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 โลหะเชื่อม นอกจากนั้นความเร็วใน ้การเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเปราะของรอยต่อเชื่อม ขณะที่ค่าความแข็งแรงมี แนวโน้มต่ำ คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่า ี้มีค่าเท่ากับ 255 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 และรูปที่ 4.27 ลักษณะการพังทลายของ กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.27 (ก) จะ เกิดขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงและบริเวณพื้นที่ผิวหน้าตัดมีความเป็นมันวาวคล้ายกับลักษณะแตกหัก แบบเปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการดูดซับพลังงานที่แสดงค่าสูง ้บริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.26 ขณะที่การพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ดัง รูปที่ 4.27 (ข) (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนว พังทลายมีลักคล้าย Cup และ Cone [27] และชิ้นทดสอบไม่ขาดออกจากกัน ซึ่งผลสอดคล้องกับค่า การดูดซับพลังงานที่มีแนวโน้มต่ำเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.27 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.28 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส ปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่า ความนูนของแนวเชื่อม (H) และ ทำการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่า ความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าลดลง เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความลึกของแนว เชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมส่งผลให้การหลอมละลาย (Fusion Zone) สมบูรณ์สงผลต่อการซึมลึกของโลหะเติมทำให้ค่าความลึกของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.28 ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกสภาวะความเร็วเดินเชื่อมบริเวณแนวเชื่อม



รูปที่ 4.29 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

ผลการทดสอบค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ดังรูปที่ 4.29 พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่สุดบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 บริเวณจุดทดสอบตำแหน่งที่ 1 ที่ความเร็วเดิน แนวเชื่อม 400 มม./นาที ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที ค่าความแข็งของ ชิ้นทดสอบมีลักษณะค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะ เชื่อมสูงกว่าโลหะเดิม



รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดิน แนวเชื่อม 300 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าความแข็งแรง กระแทก 255 J รูปที่ 4.30 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะหลัก SC410 บริเวณเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียว ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว การเกิดเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจาก ซ้ายไปขวา ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือพื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดน ไดร์ทของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดร์ทมีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อม ดัง แสดงในรูปที่ 4.30 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.30 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดร์ทละเอียดที่มีทิศทาง ลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะ เชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม304



4.2.3 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม

รูปที่ 4.31 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.31 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้น และความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนว เชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหว่งขอบแนว (Undercut) ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที ดัง รูปที่ 4.31 (ค) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็ว เดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 และ 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.31 (ก) และ (ข) เกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) ทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 บริเวณขอบแนวเชื่อม และเกิดเม็ดโลหะที่ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ทางด้านเหล็กกล้าไรสนิม304 และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของ แนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ



รูปที่ 4.32 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูง ของรอยต่อ อยู่ที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้า ไร้สนิม304 และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงบริเวณแนว เชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิม304 ทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังรูปที่ 4.35 นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม

ขณะรูปที่ 4.33 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส ปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็ว เดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.33 มีลักษณะการแตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone และการพังทลาย ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที จะเกิดขึ้นบริเวณที่พบจุดบกพร่องซึ่งเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้มีค่า การดูดซับพลังงานที่ต่ำสอดคล้องกับรูปที่ 4.33 (ค)



รูปที่ 4.33 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.34 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส ปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่า ความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าความ กว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่า ลดลง เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกๆสภาวะความเร็ว เดินเชื่อมบริเวณแนวเชื่อม และรูปที่ 4.35 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการ ไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 และเหล็ก เหนียวหล่อ SC410 ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมีค่า บริเวณจุดทดสอบตำแหน่งที่-2 ซึ่งมีค่าความแข็งอยู่ 245 HV ขณะที่บริเวณอื่นมีลักษณะใกล้เคียงกัน ทุกๆระยะการทดสอบ







รูปที่ 4.36 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดิน แนวเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่แสดงความแข็งแรง กระแทก 295 J รูปที่ 4.36 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียว หล่อ SC410 แสดงในรูปที่ 4.36 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะ หลักเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้าใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศร สีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว การเกิดเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศ ทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือ พื้นที่ ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดร์ทของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดร์ทมี ทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังรูปที่ 4.36 (ข) และด้านซ้ายของรูป ที่ 4.36 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดร์ทละเอียดที่มีทิศทางลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้าย ของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของ เหล็กกล้าไร้สนิม304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและ สมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 นอกจากนั้นไม่พบ จุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่ตรวจสอบ

4.3 การเปรียบเทียบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

4.3.1 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม





รูปที่ 4.37 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น และความเร็วเดิน แนวเชื่อมลดลงบริเวณหลอมละลายของแนวเชื่อมจะมีความกว้าง และเกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) บริเวณขอบแนวเชื่อมทางด้านเหล็กเหนียวหล่อSC410 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./ นาที ดังรูปที่ 4.37 (ก) Shanping Lu and Etc. [28] ได้อธิบายไว้ว่า การเกิดผิวออกไซ์ที่ผิว(Oxide Layer) เมื่อ O₂ หรือ CO₂ เพิ่มมากกว่าปริมาณ 0.6 % จะเกิดชั้นออกไซด์ที่หนาและเป็นอุปสรรค์ใน การดูดซึมออกซิเจนลงในบริเวณหลอมละลายและยับยั้งการพาความร้อนทำให้เกิดแรงตึงผิวบริเวณ หลอมละลายและลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.37 (ค) และ ลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง



รูปที่ 4.38 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.38 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า บริเวณที่มีความแข็งแรง กระแทกสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้า ไร้สนิม304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีแนวโน้มค่าความ แข็งสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เช่นเดียวกันทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.41 ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่าเท่ากับ 279 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที ที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้ สนิม304

รูปที่ 4.39 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปก คลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดิน เชื่อม 200 และ 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.39 (ก) (ข) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone และมีลักษณะ เป็นเส้น (Fibrous) [27] ขณะที่การพังทลายความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที มีลักษณะการแตกหัก แบบเปราะ (Brittle Fracture) สังเกตได้บริเวณที่แตกหักแบบเปราะพื้นที่หน้าตัดมีความคงที่เท่า ขนาดชิ้นงานเดิมและรอยแตกไม่มีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous) หรือ Cup และ Cone บริเวณรอย แตกหักดังรูปที่ 4.39 (ค)



รูปที่ 4.39 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.40 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส ปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่า ความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อม เพิ่มขึ้น ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนว เชื่อม (P) มีค่าลดลง ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกๆสภาวะความเร็วเดินเชื่อมบริเวณแนว เชื่อม (B) มีค่าลดลง ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกๆสภาวะความเร็วเดินเชื่อมบริเวณแนว เชื่อม และรูปที่ 4.41 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่กระทบ ร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 และเหล็กเหนียวหล่อ SC410 ขณะที่บริเวณโลหะเดิมทั้งสองชนิดค่าความแข็งมีค่าต่ำกว่าโลหะเชื่อม ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมีค่าสูงใกล้เคียงกันทุกๆระยะการทดสอบ



รูปที่ 4.40 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.41 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.42 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.42 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดิน แนวเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่มีความแข็งแรงกระแทก 279 J สูง โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมี รูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดร์ทละเอียด โครงสร้างจุลภาคของ พื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้าง จุลภาคโลหะหลัก



4.3.2 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



รูปที่ 4.43 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำเกิดผิว ออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) บริเวณขอบแนวเชื่อมทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 ที่ความเร็วเดิน แนวเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.43 (ก) และ (ข) และบริเวณแนวเชื่อมรูปที่ 4.43 (ข) เกิดรอยต่อบนแนวเชื่อมดังแสดงเส้นประวงกลมสีแดงซึ่งรอยต่อบนแนวเชื่อมเกิดจากปัญหาการหยุด การทำงานของเครื่องเชื่อม ขณะที่ความเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 400 มม./นาที เกิดเม็ดโลหะบริเวณ ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 SUS 304 ดังรูปที่ 4.43 (ค)



รูปที่ 4.44 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.44 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งแรงกระแทกสูง ที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่าเท่ากับ 296 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที และแนวโน้มของค่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณ พื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีแนวโน้มค่าความแข็งสูงบริเวณพื้นที่ กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม304 ทุกความเร็วเดิน เชื่อมดังแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.45 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.45 (ก) (ข) (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone และมีลักษณะ เป็นเส้น (Fibrous) [27] ขณะที่การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม304 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งดังรูปที่ 4.47 ที่แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat

รูปที่ 4.46 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส ปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า โครงสร้างมหภาคมีความสมบูรณ์ไม่พบ จุดบกพร่อง (Defect) บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายดังรูปที่ 4.45 สังเกตจากการพังทลาย บริเวณพื้นที่หน้าตัดและจากนั้นทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมต่ำ



รูปที่ 4.46 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที



ผลจาการทดสอบค่าความแข็งที่กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมี ตำแหน่งตั้งแต่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อดังรูปที่ 4.47 พบว่าค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะ นั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับ พลังงานดังรูปที่ 4.45 กล่าวคือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 มีค่าความแข็งสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณ กึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเล้าไร้สนิม304



รูปที่ 4.48 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.48 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที มีค่าการดูดซับ พลังงานที่สูงในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 296 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้าน เหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดร์ท ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่ เป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะหลัก 4.3.3 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.49 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.49 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่า ความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง ขณะที่ความเร็วเดินแนว เชื่อมต่ำเกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) และมีเม็ดโลหะบริเวณขอบแนวเชื่อมทางด้านเหล็ก เหนียวหล่อ SC410 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.49 (ก) และที่ความเดินแนว เชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 300 และ 400 มม./นาที เกิดเม็ดโลหะบริเวณทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 ดังรูปที่ 4.49 (ข) และ (ค)



รูปที่ 4.50 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.51 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.50 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที พบว่า ค่าการดูดซับพลังงานมีค่าสูง ทางด้านบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม304 ทุก ้ความเร็วเดินแนวเชื่อม สอดคล้องกับโครงสร้างจุลภาครูปที่ 4.54 แสดงบริเวณหลอมเหลวได้สมบูรณ์ ้ดีกว่า ขณะที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของโลหะเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มีค่าการดูดซับพลังงานต่ำ เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างจุลภาคสังเกตเห็นเส้น ้ขอบแบ่งเขตระหว่างบริเวณแนวเชื่อมและโลหะเดิม และในการทดสอบนี้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูง ้ คือ ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที มี่ค่าเท่ากับ 296 J และมีค่าการดูดซับพลังงานแนวโน้ม ใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งการทดสอบ ขณะรูปที่ 4.51 แสดงลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 ้แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ้ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.51 (ก) (ข) (ค) มี ้ลักษณะการแตกหักแบบเหนี่ยว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้าย รูปทรง Cup และ Cone ดังรูปที่ 4.51 (ก) (ค) และมีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous) ดังรูปที่ 4.51 (ข) ขณะที่การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม304 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งดังรูปที่ 4.53 ที่แสดงค่าความ แข็งของแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนว เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม304 และเป็นสาเหตุของการเริ่มต้นการพังทลาย และผลจากการทดสอบค่า ความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที รูปที่ 4.53 ้แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่ ้ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 พบว่า ค่าความแข็ง ้บริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่า ้โลหะในการทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 มีค่าความแข็ง ้สูงซึ่งสอดกับกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.50 และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ ้กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียง ้บริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304





รูปที่ 4.53 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.54 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.54 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าการดูดซับ พลังงานสูง 296 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ด เกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดร์ทละเอียด โครงสร้างจุลภาค ของพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่า โครงสร้างจุลภาคโลหะหลักจึงส่งถึงค่าการดูดซับพลังงานที่สูง