บทที่ 4

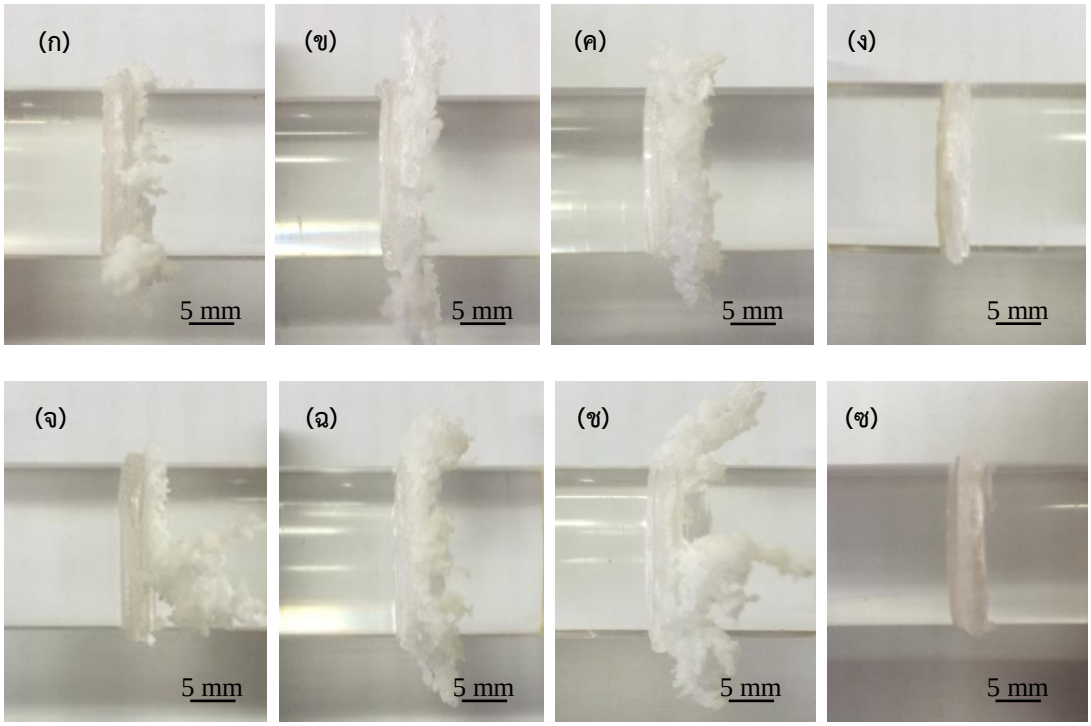
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการเชื่อมเสียดทานของอะคริลิคซึ่งเป็นวัสดุในกลุ่มโพลิเมอร์ พบว่าหลังจากทำการเชื่อมชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองในตัวแปรต่างๆ มีการยึดติดเข้าด้วยกัน ก่อนที่จะถูกนำไปตรวจสอบลักษณะของรอยต่อโดยใช้กล้องที่มีกำลังขยายต่ำๆ และนำไปทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป โดยสามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลของลักษณะทางกายภาพ

จากผลการเชื่อมเสียดทานของตัวแปรที่ความเร็วรอบ 600, 1000, 1400 และ 1800 รอบต่อนาที ของทั้งระยะกดอัดที่ 2.2 และ 3.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าชิ้นงานยึดติดเข้าด้วยกันได้ดี แต่ชิ้นงานหลังการเชื่อมจะเกิดครีบ (Flash) ที่เกิดขึ้น โดยครีบที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความร้อนระหว่างผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้นทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวเมื่อดันชิ้นงานเข้าไปส่งผลให้เกิดการไหลตัวของชิ้นงานออกมาด้านข้างแนวเชื่อมเรียกว่า ครีบ โดยที่ความเร็วหมุนเชื่อมสูงและแรงที่ใช้ในการกดสูง ส่งผลทำให้ความร้อนนำเข้าขณะเชื่อมมีปริมาณมาก ทำให้เนื้อเดิมของอะคริลิคเกิดการอ่อนตัวสูงทำให้มีโอกาสเกิดครีบได้ง่าย [10] และเกิดในปริมาณที่มาก

อย่างไรก็ตามการไหลวนของเนื้ออะคริลิคบริเวณรอยเชื่อม ที่ถูกผลักออกมาเป็นครีบบริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อม ขึ้นอยู่กับความเร็วหมุนเชื่อม โดยที่ความเร็วหมุนเชื่อมต่ำกลับพบว่าครีบที่เกิดขึ้นหลังจากการเชื่อมเกิดขึ้นได้น้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก, จ) เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการหมุนเชื่อมและแรงกดส่งผลให้เกิดการเสียดทานน้อยลง แต่เมื่อเพิ่มความเร็วหมุนไปสู่ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 รอบต่อนาที กลับพบว่ามีลักษณะการเกิดครีบที่สมบูรณ์ โดยครีบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ค, ช) เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใหม่ ทำให้ลดสมบัติด้านความโปรงใสของอะคริลิคลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเดิมๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก, ข, ค, ง, จ, ฉ, ช, ซ) เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวทำให้เกิดความร้อนจากการเสียดทานที่สูงขึ้นและเกิดการอ่อนตัวบริเวณรอยเชื่อม ส่งผลให้เกิดครีบหลังจากการเชื่อมที่สูงขึ้นตามไปด้วย เป็นที่น่าสังเกตว่าครีบที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะสีขาวขุ่นแตกต่างจากลักษณะเดิมของอะคริลิคอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามความเร็วรอบที่สูงเกินไป ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที พบว่าชิ้นงานเกิดการหลอมละลายที่สูงมาก ส่งผลให้ครีบที่เกิดขึ้นหลอมตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ง, ซ) นอกจากนั้นการเกิดครีบที่สูงมากไม่ส่งผลดีต่อชิ้นงานเชื่อมมากนัก เพราะทำให้ชิ้นงานสั้นลงหลังจากการเชื่อม

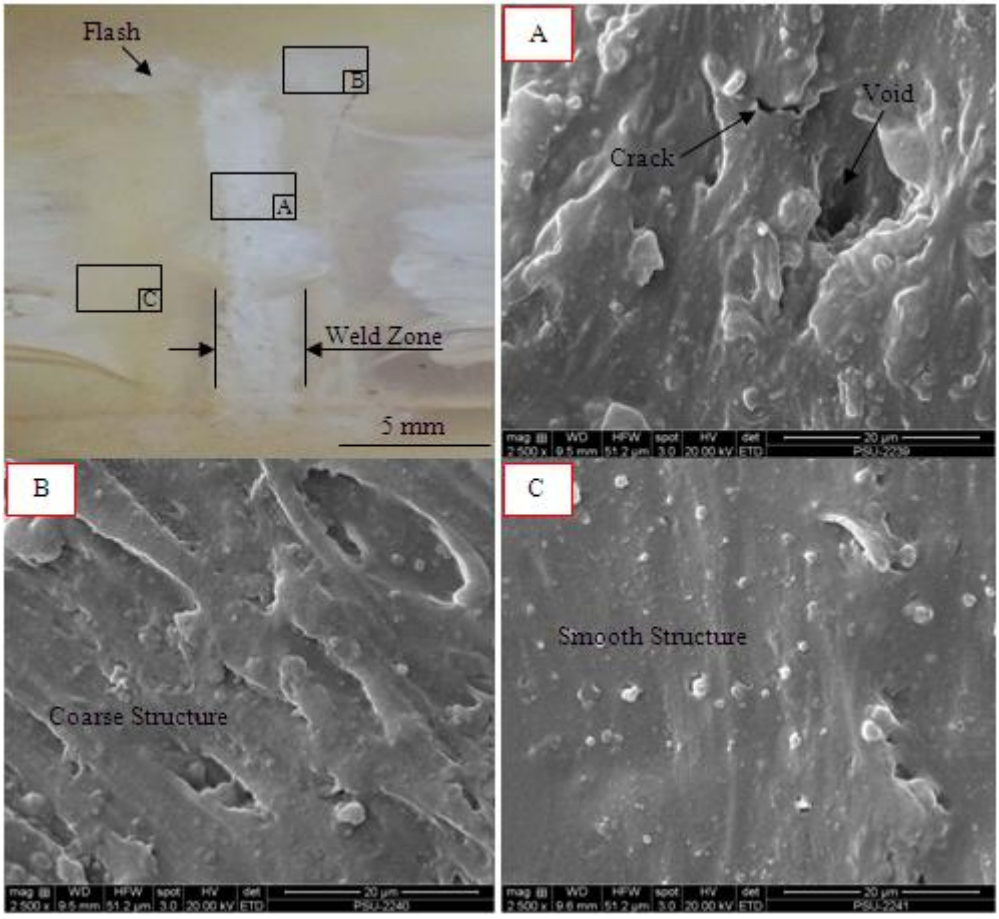


รูปที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทาน (ก) 600 (ข) 1000 (ค) 1400 (ง) 1800 รอบต่อนาที ของระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร และ (จ) 600 (ฉ) 1000 (ช) 1400 (ซ) 1800 รอบต่อนาที ของระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร

4.2 ลักษณะโครงสร้างมหภาคและจุลภาค

การเชื่อมเสียดทานของตัวแปรที่ความเร็วรอบ 600, 1000, 1400 และ 1800 รอบต่อนาที ของทั้งระยะกดอัดที่ 2.2 และ 3.2 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในระดับมหภาคและจุลภาคอย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่าบริเวณเนื้อเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างชัดเจน เป็นผลมาจากความร้อนระหว่างผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้นที่เสียดทานระหว่างกัน ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวและเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (Plastic deformations) โครงสร้างภายในบริเวณเนื้อเชื่อมเกิดการขาดระหว่างโซ่โมเลกุลเล็กๆ ที่ยึดเกาะกันของวัสดุโพลิเมอร์ โซ่โมเลกุลเหล่านี้ถูกทำลายจากการหมุนและแรงทางกลจากการเสียดทานจนเสียหาย [11] จากโครงสร้างแบบราบเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (c) ไปเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะที่หยาบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (b) ซึ่งนำไปสู่การลดสมบัติด้านความโปร่งใส โซ่โมเลกุลที่ถูกทำลายบริเวณเนื้อเชื่อมมีการเรียงตัวกันใหม่อย่างหลวมๆ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีลักษณะสีขาวขุ่น อย่างไรก็ตามยังพบว่าบริเวณเนื้อเชื่อมเกิดช่องว่างของอากาศจากการแทรกตัวของอากาศและความชื้นในระหว่างการเชื่อม ซึ่งส่งผลให้อากาศที่แทรกตัวเข้าไปไม่สามารถออกมาได้ทันหลังชิ้นงานเชื่อมเกิดการเย็นตัว นำไปสู่การโดนกักไว้ภายในจนเป็นช่องว่างของอากาศ ที่ส่งผลที่แย่ต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม โดยเฉพาะสมบัติทางด้านแรงดึงที่ส่งผลอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (a) นอกจากนั้นยังพบว่าเกิดรอยแตกเล็กมากบริเวณเนื้อเชื่อมเนื่องมาจากการเกิดการกระแทกของผิวหน้ารอยต่อชิ้นงานทั้งสองชิ้นในระหว่างการเชื่อม อีกทั้งวัสดุอะคริลิคเป็นวัสดุโพลิเมอร์ในกลุ่มวัสดุเปราะ ซึ่งมี

ความเสี่ยงที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักได้ง่าย อย่างไรก็ตามบริเวณแนวเชื่อมเป็นบริเวณที่รับอิทธิพลจากความร้อนมากที่สุด จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ในขณะที่บริเวณอื่นๆ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเพราะไม่ได้รับความร้อนในระหว่างการเชื่อม ความร้อนในระหว่างการเชื่อมจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อม [12] และเช่นกันการเกิดความร้อนที่แตกต่างกันส่งผลมาจากตัวแปรในการทดลองที่แตกต่างกันตามไปด้วย

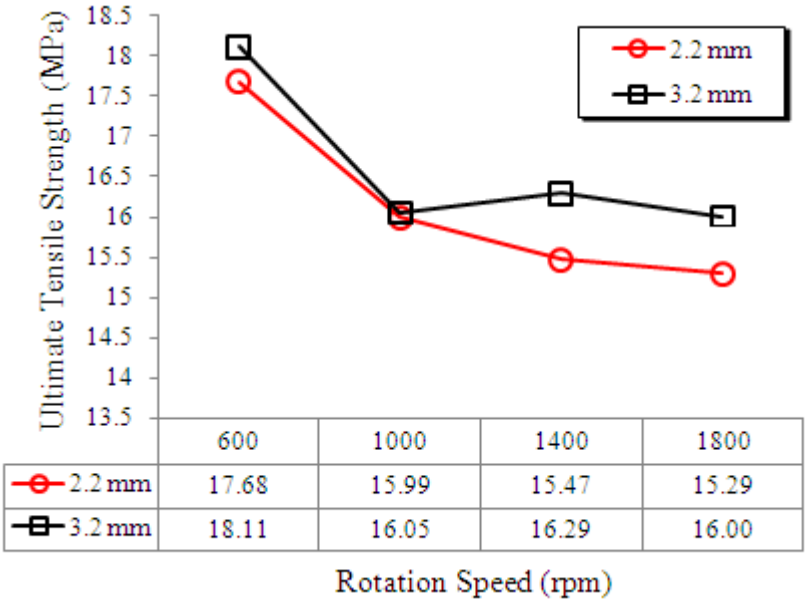


รูปที่ 4.2 โครงสร้างมหภาคและจุลภาคที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร

4.3 ค่าความแข็งแรงดึง

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.3 เป็นผลการทดสอบความแข็งแรงดึง จะพบว่าที่บริเวณแนวเชื่อมของวัสดุอะคริลิคจะมีความแข็งแรงดึงที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อเดิมของอะคริลิค ซึ่งค่าความแข็งแรงดึงของเนื้อเดิมของอะคริลิค อยู่ที่ 78 MPa โดยที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที จะให้ค่าความแข็งแรงดึงจะมีสูงสุด อยู่ที่ 18.11 MPa เนื่องจากที่ความเร็วหมุนเชื่อมต่ำๆ ความร้อนจากการเสียดทานที่จะทำให้เนื้ออะคริลิคบริเวณรอยเชื่อมมีการอ่อนตัวลงมีอุณภูมิน้อย ทำให้ไม่สามารถให้อาการเข้าไปแทรกตัวได้ [11] ซึ่งนำไปสู่การเกิดช่องว่างอากาศ (Air Bubble) คล้ายๆ กัน การเชื่อมแต่ความเร็วหมุนเชื่อมสูงเกินไปทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง เนื่องจากความเร็วรอบที่สูงมากเกินทำให้เกิดความร้อนในขณะเชื่อมที่สูง นำไปสู่การเกิดช่องว่างอากาศ

ได้ง่าย อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานแรงดึงของทุกตัวแปรการทดลองไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากทุกตัวแปรจากการทดลองเกิดช่องว่างอากาศในระหว่างการเชื่อม ซึ่งช่องว่างอากาศเหล่านี้จะไปลดสมบัติทางกลทางด้านแรงดึงของแนวเชื่อมให้น้อยลง ซึ่งส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดในการยึดติดลดน้อยลง ทำให้แรงดึงที่ได้น้อยตามไปด้วย โดยตัวแปรที่ความเร็วรอบ 1000, 1400, 1800 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร มีค่าความต้านทานแรงดึง 15.99, 15.47 และ 15.29 MPa ตามลำดับ ในขณะที่เพิ่มระยะกดอัดเป็น 3.2 มิลลิเมตร พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร โดยที่ความเร็วรอบ 1000, 1400, 1800 รอบต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึง 16.05, 16.29 และ 16.00 MPa ตามลำดับ



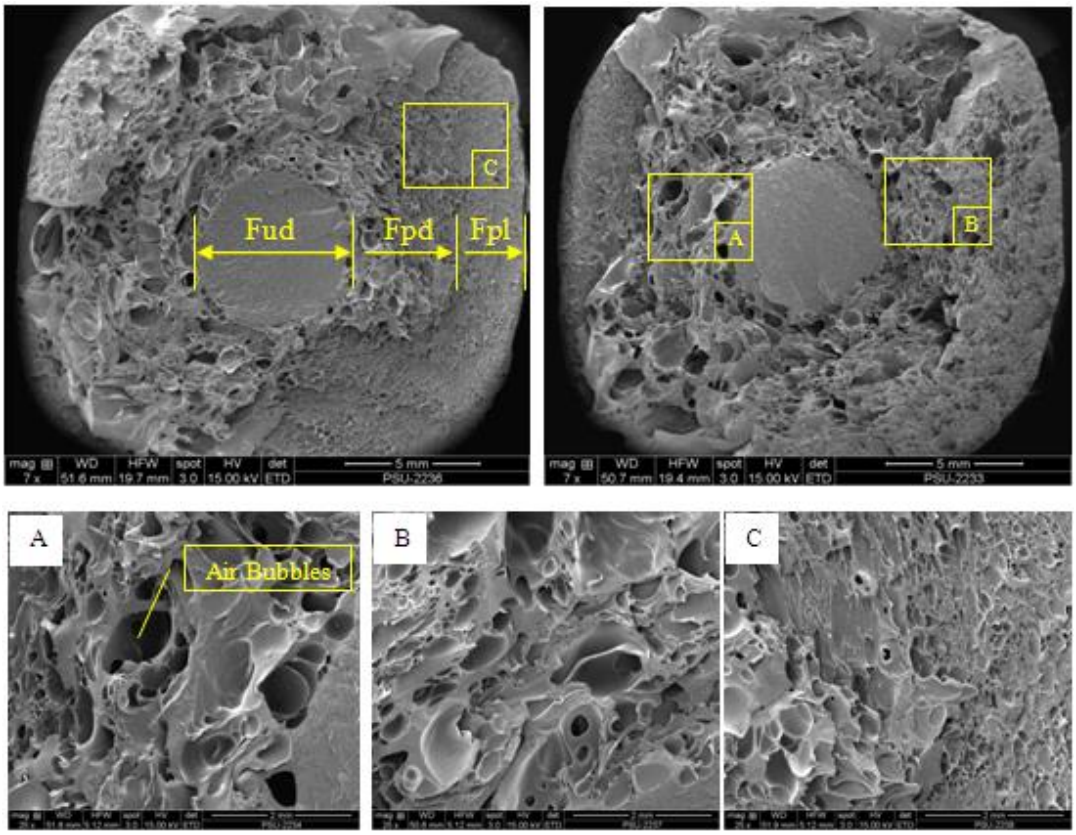
	600	1000	1400	1800
2.2 mm	17.68	15.99	15.47	15.29
3.2 mm	18.11	16.05	16.29	16.00

รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม

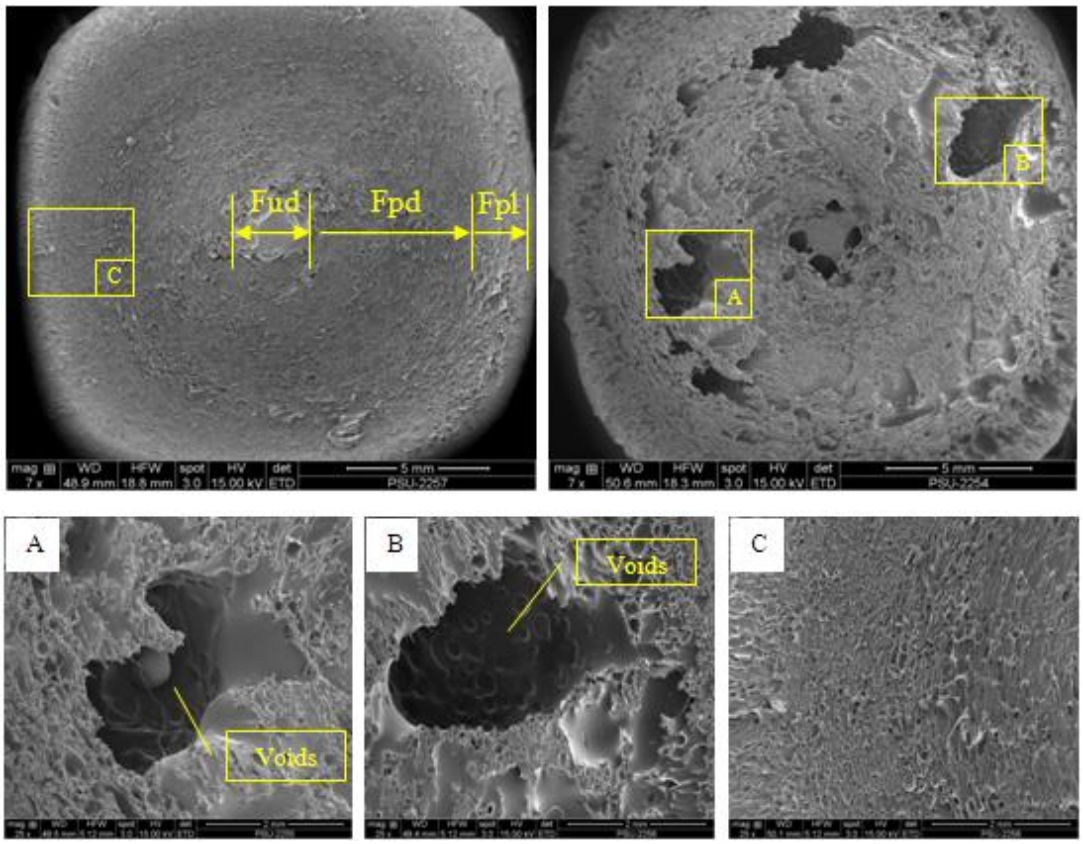
4.4 ผิวรอยแตกหักของแนวเชื่อม

จากผลการเชื่อมเสียดทานอะคริลิคเมื่อนำผิวรอยแตกหักจากการดึงมาวิเคราะห์ เราสามารถแบ่งบริเวณต่างๆ ได้ 3 ลักษณะ คือ (1) บริเวณตรงกลางชิ้นงาน (central zone; Fud) เป็นบริเวณที่เกิดการสึกหรอของรอยเชื่อมจากการกระแทก เพราะบริเวณนี้จะเกิดความร้อนจากการเสียดทานน้อยที่สุด (2) บริเวณพ่วงต่อจากกึ่งกลาง (peripheral zone; Fpl) บริเวณนี้เกิดความร้อนจากการเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงานได้ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการแลกเนื้อกันของทั้งสองชิ้นงาน “plasticized pile-up” เนื้อที่มีการแลกกันแสดงให้เห็นถึงการยึดติดของชิ้นงานเข้าด้วยกัน การเกิดช่วงเสียดรูปแบบพลาสติกจะเกิดขึ้นได้ง่ายในบริเวณนี้ (3) บริเวณส่วนกลาง (middle section; Fpd) บริเวณนี้จะเกิดการเสียดทานบริเวณผิวมากกว่าบริเวณอื่นๆ ทำให้เกิดความร้อนในระหว่างการเชื่อมสูงที่สุด [12] ทำให้เกิดการแลกเนื้อของวัสดุแบบสลับเนื้อ โดยจากรูปที่ 4.4 แสดงผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าบริเวณตรงกลางชิ้นงาน (Fud) จะมีพื้นที่กว้างกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากความเร็วรอบที่ต่ำทำให้ความร้อนในการเชื่อมต่ำไปด้วยส่งผลให้ Fud มีบริเวณที่กว้าง ในทางตรงกันข้างเมื่อเพิ่มความเร็วรอบไปสู่ 1800 รอบ

ต่อนาที ส่งผลให้ Fud มีบริเวณที่แคบลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์บริเวณต่างๆ ของชิ้นงานผิวรอยแตกหักจากการดึงพบว่ามีช่องว่างอากาศ (Air Bubble) กระจายทั่วทั้งผิวรอยขาดของชิ้นงาน ซึ่งช่องว่างอากาศเหล่านี้ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงของชิ้นงานโดยตรง ผิวรอยแตกหักจากการดึงที่มีช่องว่างอากาศมากจะนำไปสู่ความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่ต่ำ ในทางตรงกันข้ามผิวรอยแตกหักจากการดึงที่มีช่องว่างอากาศน้อยนำไปสู่ความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่สูง



รูปที่ 4.4 ลักษณะผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร



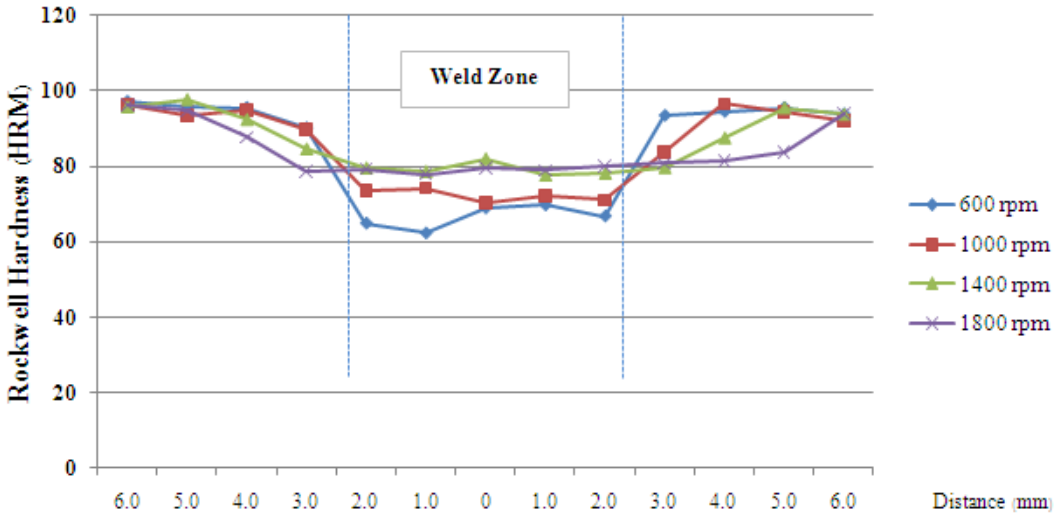
รูปที่ 4.5 ลักษณะผิวรอยแตกหักของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร

เป็นที่น่าสังเกตว่าความเร็วรอบที่สูงจะมีช่องว่างอากาศขนาดใหญ่กว่าที่ความเร็วรอบในการหมุนต่ำๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (a, b) เนื่องจากความเร็วรอบสูงทำให้อะคริลิคเกิดช่วงการเสียรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ที่สูง [12] ทำให้อากาศแทรกตัวเข้าไปง่ายกว่าความเร็วรอบต่ำ เมื่อเนื้อเชื่อมเย็นตัวอากาศเหล่านั้นออกมาไม่ทัน จึงถูกกักไว้ภายในเนื้อเชื่อมจนเป็นช่องว่างอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (a, b) ที่แสดงลักษณะของช่องว่างอากาศ อย่างไรก็ตามปริมาณการไหลของเนื้ออะคริลิคบริเวณแนวเชื่อมจะเกิดการไหลตัวในทิศทางเดียวกับการกมุนของชิ้นงานในขั้นตอนของการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (c) สุดท้ายการศึกษาการเชื่อมเสียดทานอะคริลิคเป็นที่น่าสนใจอย่างสูง ชิ้นงานมีการยึดติดกัน หลังการเชื่อมเสียดทานอะคริลิคแสดงให้เห็นว่าช่องว่างอากาศเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงาน ซึ่งมาตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อม อย่างไรก็ตามการนำไปประยุกต์ใช้งานควรมีการคำนึงลักษณะของงานและสมบัติทางกลด้วยเช่นกัน

4.5 ความแข็งของแนวเชื่อม

การทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการเชื่อมจะทดสอบทั้งหมด 13 ตำแหน่ง ระยะห่างระหว่างตำแหน่งอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ให้จุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม อยู่ในตำแหน่งที่ศูนย์ โดยจากการทดลองแสดงผลในรูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานของวัสดุอะคริลิค ที่ความเร็วรอบ 600, 1000, 1400 และ 1800 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร จะพบว่าที่ความเร็วหมุนเชื่อมสูงขึ้นค่าความแข็งที่บริเวณแนวเชื่อมจะยิ่งสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความร้อนจากการเสียดทานที่สูงขึ้นทำให้เนื้ออะคริลิคมีการอ่อนตัวได้ดี หลังจากการเย็นตัวทำให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบบริเวณเนื้อเชื่อมกับเนื้อเดิมของอะคริลิค พบว่าเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งน้อยกว่าเนื้อเดิม โดยที่ความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที ระยะกด

อัด 3.2 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งชิ้นงานเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 88.66 HRM แต่ยังมีค่าน้อยกว่าเนื้อเดิมของอะคริลิค ที่มีความแข็งอยู่ที่ 98 HRM โดยเฉพาะบริเวณเนื้อเชื่อมที่ได้หลังจากการทดลอง



รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งของแนวเชื่อม ที่ระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานของวัสดุอะคริลิค ที่ความเร็วรอบ 600, 1000, 1400 และ 1800 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร คล้ายๆ กัน พบว่าบริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งน้อยกว่าเนื้อเดิมของอะคริลิค และน้อยกว่าที่ระยะกดอัด 3.2 มิลลิเมตร อีกด้วย เนื่องมาจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของโมเลกุลเล็กๆ ที่เป็นสายโซ่ที่ถูกทำลาย อีกทั้งระยะกดอัดที่น้อยส่งผลต่อความหนาแน่นของเนื้อวัสดุบริเวณแนวเชื่อม โดยที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งชิ้นงานเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 53.15 HRM อย่างไรก็ตามค่าความแข็งที่ต่ำจนเป็นที่น่าสังเกตในบริเวณแนวเชื่อมมาจากช่องว่างของอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมด้วยเช่นกัน เนื่องจากช่องว่างอากาศส่งผลให้บริเวณแนวเชื่อมเกิดความหนาแน่นที่ต่ำของเนื้อวัสดุ ถึงแม้ว่าค่าความแข็งของชิ้นงานอะคริลิคที่ผ่านการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานจะมีค่าน้อยกว่าเนื้อเดิมของอะคริลิคอยู่มาก แต่ก็ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานแต่ละลักษณะของการใช้งาน

รูปที่ 4.7 ค่าความแข็งของแนวเชื่อม ที่ระยะกดอัด 2.2 มิลลิเมตร