

การเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2556

**DISSIMILAR MATERIALS JOINING BETWEEN
STAINLESS STEEL AND PLASTIC**

Vichan Verachaisonthon



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2013

การเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ฐาปนีย์ พังกรวิชญ์)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.รัตน บิริสุทติกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.ณรงค์ อัครพัฒนากุล)

กรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ สีวงศ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจันงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิทยุ วีรชัยสุนทร : การเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก
(DISSIMILAR MATERIALS JOINING BETWEEN STAINLESS STEEL AND
PLASTICS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.รัตน บริสุทธิกุล, 70 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาผลของแสงเลเซอร์และประเภทของพลาสติกที่มีต่อการเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก สำหรับการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร มาทำการเชื่อมกับ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนต หรือ อะคริลิก หนา 1 มิลลิเมตร ด้วยการเชื่อมด้วยเลเซอร์ชนิด YAG ในการทดลองผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็นสองชุด คือ 1) การทดลองเพื่อตรวจสอบผลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก ทำการทดลองโดยการกำหนดการวางชิ้นงานเชื่อมแบบซ้อนเกยสองแบบ คือ การวางชิ้นงานพลาสติกไว้ด้านบน และ การวางชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมไว้ด้านบน และ 2) เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบผลของประเภทของพลาสติกต่อการเชื่อมติด กระทำโดยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกสามชนิด จากผลการศึกษาทั้งสองชุดพบว่าแสงเลเซอร์ไม่มีผลโดยตรงต่อการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก แต่มีผลทางอ้อมกล่าวคือแสงเลเซอร์เป็นแหล่งความร้อนที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้จากการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกต่างชนิด พบว่าสมบัติทางกายภาพของพลาสติกมีผลต่อการเชื่อมติดและสมบัติของชิ้นงานเชื่อมอย่างมาก โดยมีรายละเอียดดังนี้ ก) พลาสติกที่มีจุดเดือดและช่วงห่างของความแตกต่างของจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำ เช่น อะคริลิก จะทำการเชื่อมติดกับเหล็กกล้าไร้สนิมยาก ข) พลาสติกที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะมีโอกาสที่ชิ้นงานเชื่อมจะไหม้ขณะทำการเชื่อมได้สูงกว่ายังผลให้สมบัติเชิงกลบริเวณรอยเชื่อมลดต่ำลงได้ และ ค) พลาสติกที่เกิด crazing ได้ เช่น พอลิคาร์บอเนต หลังการเชื่อมเมื่อทิ้งไว้สักระยะชิ้นงานเชื่อมจะเกิดการแตกหักเอง

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

VICHAN VERACHAISONTHON : DISSIMILAR MATERIALS JOINING
BETWEEN STAINLESS STEEL AND PLASTICS. THESIS ADVISOR :
RATTANA BORRISUTTHEKUL, Ph.D., 70 PP.

STAINLESS STEEL/PLASTICE/DISSIMILAR MATERIALS JOINT/LASER
WELDING/REACTION WELDING

The objectives of this study are to understand effects of laser and types of plastics on the joinability and the joint quality of stainless steel-plastic joints. In the experiment, stainless steel of 0.5 mm thick and polyethylene terephthalate, polycarbonate, and acrylic of 1 mm thick are the metal and plastics used for welding, respectively. The welding process used was the laser welding. The experiments were divided into two parts; 1) to investigate the effect of laser light on the joinability of stainless steel and plastic, which was carried out by welding of stainless steel and polyethylene terephthalate using two welding configurations (plastic as a top sheet of lap joint configuration, and stainless steel as a top sheet of lap joint configuration) and 2) to investigate the effect of types of plastics on the joinability and joint quality, which was done by joining stainless steel to three types of plastics. From the experimental results, it was found that laser light did not have a direct effect on the joinability of stainless steel and plastic. However, it has an indirect effect on the joinability of stainless steel and plastic. The indirect effect is that the laser light behaves as the heat source in promoting the reaction welding. Moreover, it could be found that the physical properties of the plastics have significant effects on the joinability and the mechanical properties of dissimilar materials joints. The effects of physical properties on the joinability and mechanical properties of dissimilar materials

joints can be summarized as follows; 1) plastic which has a very low boiling point and a narrow gap between melting point and boiling point gave difficulty in joining with stainless steel, 2) plastic having low boiling point is prone to degrade after welding than that of high boiling plastic (The higher the degree of degradation of plastics, the poorer the mechanical properties of joints.) , and 3) the joints between stainless steel and plastics that are prone to crazing showed the delayed cracking of joint specimen.



School of Metallurgical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ และ
กลุ่มบุคคลต่างๆ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งทางด้านวิชาการและทางด้าน
การดำเนินงานวิจัย

อาจารย์ ดร.รัตน บริสุทธิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และกรรมการอาจารย์
ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้โอกาสทางด้าน
การศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษาวิชาการและการวิจัย ช่วยแก้ปัญหาและเป็นกำลังหลักแก่
ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน
ให้คำแนะนำปรึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ เจ้าหน้าที่สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
เจ้าหน้าที่เครื่องมือและเทคโนโลยี (อาคารเครื่องมือ 1 และ 6) ที่อำนวยความสะดวกและให้
คำแนะนำงานวิจัยและวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือไม่ว่าจะเป็นขั้นตอน การ
เตรียมชิ้นงานทดสอบ และการทดสอบ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา
มารดา และผู้มีพระคุณ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูผู้วิจัยเป็นอย่างดี
ส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมีความอดทน มานะพยายามมาโดยตลอด

วิชาญ วีรชัยสุนทร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4.1 การทดลองชุดที่ 1 : แสงเลเซอร์กับการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก	5
1.4.2 การทดลองชุดที่ 2 : พลาสติกกับการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก	5
1.4.2.1 เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับพลาสติกจำนวนสาม ประเภทที่สมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน	5
1.4.2.2 เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับพลาสติกจำนวนสาม ประเภทที่สมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6 เอกสารอ้างอิง	7
2 ทบทวนวรรณกรรม	8
2.1 การเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2	พลาสติกกับการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์..... 11
2.3	การเชื่อมพลาสติกกับโลหะ..... 14
2.4	เอกสารอ้างอิง..... 15
3.	วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลองทั่วไป..... 17
3.1	วัสดุ..... 17
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์..... 18
3.2.1	เครื่องมือสำหรับเตรียมชิ้นงานเชื่อม..... 18
	ก) เครื่องตัดชิ้นงาน โลหะด้วยแรงเฉือน (ขนาดใหญ่)..... 18
	ข) เครื่องเลื่อยสายพาน..... 19
	ค) เครื่องตัดชิ้นงาน โลหะด้วยแรงเฉือนขนาดเล็ก..... 20
3.2.2	ชุดเครื่องเชื่อมเลเซอร์..... 21
	ก) ชุดกำเนิดแสงเลเซอร์..... 21
	ข) ชุดเคลื่อนที่ชิ้นงานและหัวเชื่อม..... 21
	ค) ชุดอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดแสงเลเซอร์และการเคลื่อนที่ชิ้นงาน..... 22
3.2.3	อุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นงานเชื่อม..... 23
	ก) เครื่องทดสอบแรงดึงเฉือน..... 23
	ข) กล้องถ่ายภาพกำลังขยายต่ำ..... 24
	ค) กล้องจุลทรรศน์แสงแบบสะท้อน..... 24
3.3	ขั้นตอนการทดลองทั่วไป..... 26
	ก) การเตรียมชิ้นงานนำโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304..... 27
	ข) การจัดวางชิ้นงานหลังจากเตรียมชิ้นงานเชื่อมเสร็จแล้ว..... 27
	ค) การเชื่อมชิ้นงาน..... 27
	ง) การทดสอบความแข็งแรงรอยเชื่อม..... 27
	จ) การตรวจสอบรอยเชื่อม..... 27
3.4	เอกสารอ้างอิง..... 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	แสงเลเซอร์กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก	29
4.1	บทนำ	29
4.2	วิธีการทดลอง	30
4.3	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	32
4.3.1	สภาวะการเชื่อมติด	32
4.3.2	ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมติด	33
4.3.3	ความสามารถในการรับแรงดึงเดือนของรอยเชื่อม	36
4.3.4	กลไกการเชื่อมติด	39
4.4	สรุปผลการทดลอง	40
4.5	เอกสารอ้างอิง	40
5	พลาสติกกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก	42
5.1	บทนำ	42
5.2	วิธีการทดลอง	42
5.3	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	44
5.3.1	ความสามารถในการเชื่อมติด	44
5.3.2	ลักษณะของชิ้นงาน	46
5.3.3	ความกว้างของรอยเชื่อม	48
5.3.4	ความสามารถในการรับแรงของรอยเชื่อม	49
	ก) 1 ชั่วโมงหลังการเชื่อม	49
	ข) 30 วันหลังการเชื่อม	51
5.4	สรุปผลการทดลอง	54
5.5	เอกสารอ้างอิง	55
6	บทสรุปการศึกษา	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	62
ประวัติผู้เขียน.....	74



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI SUS304.....	17
3.2	สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด304และพลาสติกชนิดต่างๆ.....	18
3.3	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมและพลาสติก.....	18
3.4	ข้อกำหนดแสงเลเซอร์.....	21
3.5	ข้อจำกัดของเลเซอร์และการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์.....	22
3.6	ข้อจำกัดของเครื่องทดสอบ.....	23
5.1	สมบัติทางกายภาพของพลาสติกต่างๆ และเหล็กกล้าไร้สนิม.....	43

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างผสมในอุตสาหกรรมต่างๆ.....	1
1.2	เทคนิคการเชื่อมของ katayama และคณะ (2008).....	4
2.1	ประเภทของวัสดุประเภทพอลิเมอร์).....	12
2.2	การดูดซับแสงเลเซอร์ของพลาสติกต่างๆ.....	12
2.3	เทคนิคการเชื่อมพลาสติกกับพลาสติกแบบสองทะเล.....	13
2.4	ผลของความร้อนในการเชื่อมต่อคุณภาพชิ้นงานเชื่อม.....	13
2.5	เทคนิคการยึดพลาสติกกับโลหะด้วยการยึดเกาะ ทางกล โดย Swearing และคณะ.....	14
3.1	สูตรเคมีของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนตและอะคริลิก.....	17
3.2	เครื่องตัดชิ้นงานโลหะด้วยแรงเฉือน (ขนาดใหญ่) ยี่ห้อ ESPE รุ่น CNTA 63A.....	19
3.3	เครื่องเลื่อยสายพานยี่ห้อ HACO รุ่น MINI 22014.....	20
3.4	เครื่องตัดชิ้นงานโลหะด้วยแรงเฉือน (ขนาดเล็ก)ยี่ห้อJAESPAรุ่นAS4.....	20
3.5	เครื่องเชื่อมเลเซอร์ยี่ห้อ HAN LASER รุ่น WF300.....	22
3.6	เครื่องทดสอบแรงดึง.....	23
3.7	กล้องถ่ายภาพกำลังขยายต่ำ.....	24
3.8	กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Olympus High Power Microscope รุ่น BX 51 พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพและเครื่องคอมพิวเตอร์.....	25
3.9	แผนภูมิลำดับขั้นตอนการทดลอง.....	26
4.1	การเปรียบเทียบพลังงานพันธะเคมีใน โมเลกุลพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท กับพลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ (คณะอนุกรรมการปรับปรุงหลัก สูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี เคมี1 พ.ศ. 2536).....	30
4.2	ลักษณะการจับวางชิ้นงาน.....	32

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท กรณีทีวางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนของการจับวาง ชิ้นงานแบบซ้อนเกย.....33
4.4	ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณี ทีวางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนของการจับวาง ชิ้นงานแบบซ้อนเกย.....34
4.5	ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณี ทีวางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบซ้อนเกย ณ ก) และข) กำลังขยายสูงขึ้นมองจากด้านของพลาสติก และด้านของเหล็กกล้าไร้สนิมค) ภาคตัดขวาง ชิ้นงานเชื่อมกำลังขยายสูง.....36
4.6	ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณี ทีวางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบ ซ้อนเกย ณ กำลังขยายสูงขึ้นมองจากด้านของ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท.....37
4.7	ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ณ สภาวะการเชื่อมต่างๆ.....38
4.8	ตัวอย่างลักษณะรอยแตกหักของชิ้นงานเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงเงื่อนไข.....38
4.9	กลไกการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมเนื่องจากการทดสอบแรงดึงเงื่อนไข.....39
4.10	กลไกการเชื่อมติด.....40
5.1	ลักษณะการจับวางชิ้นงานสำหรับการเชื่อม.....44
5.2	หน้าตัดการเชื่อมติดวัสดุต่างชนิดระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ.....45
5.3	ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ ณ ระยะโฟกัสในการเชื่อม 8 มิลลิเมตร ความเร็วในการเชื่อม.....45

สารบัญญรูป (ต่อ)

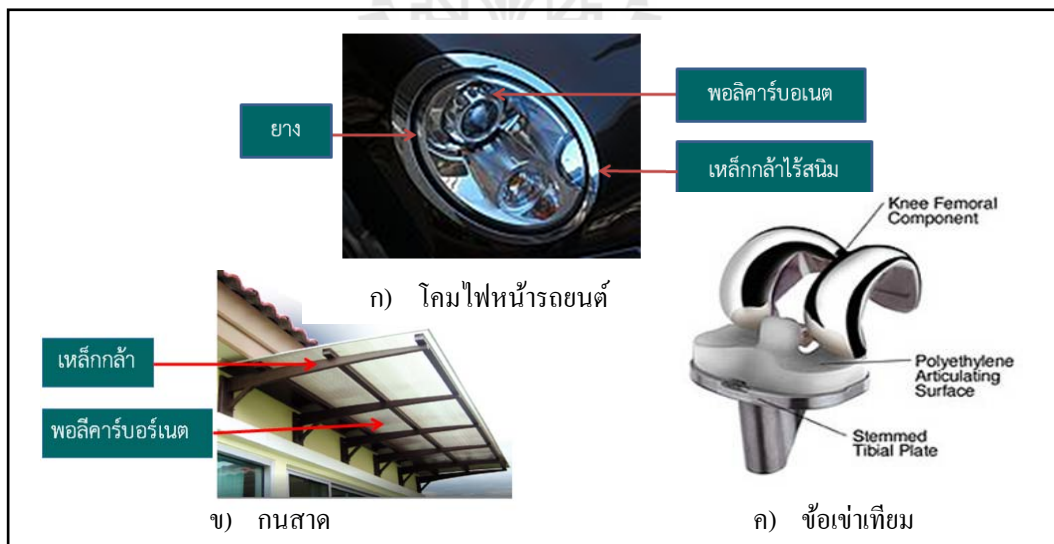
รูปที่		หน้า
5.4	ภาคตัดขวางชิ้นงานเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับ ก) พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ข) พอลิคาร์บอเนต ณ สภาวะ ที่ โฟกัส 8 มิลลิเมตร และความเร็ว ในการเชื่อม 12 มิลลิเมตร/วินาที.....	47
5.5	ภาคตัดขวางชิ้นงานเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกต่างๆ.....	47
5.6	ภาคตัดขวางชิ้นงานเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม กับอะคริลิก ณ สภาวะการเชื่อมที่ โฟกัส 8 มิลลิเมตร และความเร็วในการเชื่อม 12 มิลลิเมตร/วินาที.....	48
5.7	ความกว้างของรอยเชื่อมกับความเร็วและระยะ โฟกัสในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม กับก) พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และ ข) พอลิคาร์บอเนต.....	50
5.8	ความสามารถในการรับแรงของรอยเชื่อมกับความกว้างของรอยเชื่อม.....	50
5.9	ตัวอย่างรอยแตกหักที่พบในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท.....	51
5.10	ตัวอย่างรอยแตกหักที่พบในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนต.....	51
5.11	หน้าตัดความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท....	52
5.12	หน้าตัดความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท.....	53
5.13	ก) อิทธิพลของความกว้างรอยเชื่อมต่อความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม กับพอลิคาร์บอเนต ข) ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับ พอลิคาร์บอเนตหลังการทิ้งไว้ ค) ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตที่คงสภาพ 30 วัน ง) กลไกการแตกหัก เนื่องจากเคตซึ่งในชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตลักษณะ ของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณีที่ว่า พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบซ้อนเกย ณกำลังขยายสูงซึ่งมองจากด้านของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท.....	53
5.14	การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานที่แตกต่างกัน ของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงกับ 30 วัน ณ สภาวะการเชื่อมต่างๆ.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอากาศยาน อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เป็นต้น มีการนำวัสดุหลายประเภทมาประกอบเป็น โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 1.1 จากรูปที่ 1.1 ก แสดงองค์ประกอบของโคมไฟหน้ารถยนต์มินิคูเปอร์ที่มีการใช้พลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต เหล็กกล้าไร้สนิม และแผ่นยาง หรือ รูปที่ 1.1 ข ที่แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างกันสาดที่ทำจาก เหล็กกล้ากับพอลิคาร์บอเนต ยิ่งไปกว่านั้นใน โครงสร้างของอวัยวะเทียม เช่น ข้อเข่าเทียมก็ยังมี การใช้วัสดุหลายชนิดมาประกอบกันดังแสดงในรูปที่ 1.1 ค โครงสร้างที่ประดิษฐ์จากวัสดุหลากหลาย ชนิดเหล่านี้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในชื่อ โครงสร้างผสม (Hybrid structure)



รูปที่ 1.1 โครงสร้างผสมในอุตสาหกรรมต่างๆ ก) โคมไฟหน้ารถยนต์ (www.cepolina.com)

ข) กันสาด (www.siamwoodmall.com) ค) ข้อเข่าเทียม (www.pusate.exteen.com)

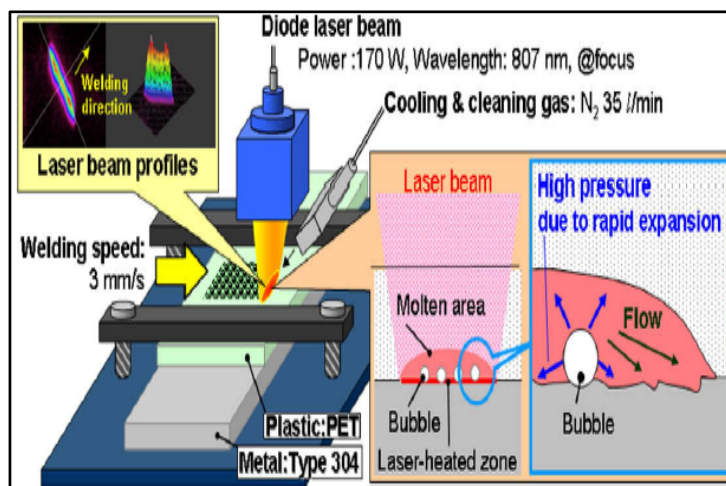
สำหรับมูลเหตุสำคัญที่ทำให้มีความต้องการใช้วัสดุหลายชนิดมาประกอบเป็นโครงสร้าง เนื่องจากการใช้วัสดุหลายชนิดทำให้ได้โครงสร้างมีสมบัติเชิงกลสมบัติทางกายภาพที่ดี มีน้ำหนักลดลง และสามารถเพิ่มศักยภาพการใช้งานได้หลากหลายมากขึ้นตามต้องการของผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่นในอุตสาหกรรมยานยนต์การนำวัสดุหลากหลายชนิดมาประกอบเป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง มักจะมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดน้ำหนักของโครงสร้างรถยนต์ ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มอุปกรณ์พิเศษต่างๆอันจะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นในขณะที่น้ำหนักโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงการลดน้ำหนักของยานยนต์ยังช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดมลพิษ ยิ่งกว่านั้นการลดน้ำหนักของรถยนต์ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของยานยนต์ เช่น ในกรณีของการลดน้ำหนักของตัวถังรถยนต์ ย่อมส่งผลให้อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น เบรก เกียร์ เครื่องยนต์ มีการสึกหรอลดลงเช่นกัน ทั้งนี้การลดน้ำหนักของรถยนต์ลง 100 กิโลกรัมนั้น สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้ ประมาณ 0.3-0.4 ลิตร ต่อ 100 กิโลเมตรของการขับขี่ (Woissetschlaeger, 2001)

นอกจากนี้การนำวัสดุหลายชนิดมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ ยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ให้มีสมบัติบางประการที่ไม่สามารถหาได้จากวัสดุชนิดเดียว เช่นถ้าต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่บริเวณหนึ่งในผลิตภัณฑ์ต้องการความแข็งแรงสูง มีการนำไฟฟ้าดีนั้นก็ควรเลือกใช้โลหะเป็นชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อต้องการให้บริเวณหนึ่งๆ ของผลิตภัณฑ์เดียวกันทนการขัดสี และทนการกัดกร่อน ก็ควรเลือกใช้เซรามิกทำชิ้นส่วนบริเวณเหล่านั้น เป็นต้น

จากความต้องการดังกล่าว ในการประกอบผลิตภัณฑ์ที่ประกอบจากวัสดุต่างชนิด จึงจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาเทคนิควิธีการที่ทำให้วัสดุต่างชนิดเหล่านั้นยึดติดเข้าด้วยกัน ซึ่งในอดีตใช้วิธีการ ยึดติดชิ้นงานวัสดุต่างชนิดด้วยสกรูนอตเป็นวิธีการที่นิยม (West Conshohocken PA, 1981) แต่การยึดด้วยนอตและสกรูเหมาะสมกับกรณีที่ชิ้นงานต้องมีความหนาพอสมควรและเป็นวิธีที่ต้องมีเทคนิคในการตรวจสอบคุณภาพที่ดี มีต้นทุนค่อนข้างสูง และมีอัตราเร็วในการประกอบค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้การใช้นอตและสกรูแล้วยังมีการใช้กาวในการยึดติดชิ้นงานด้วยแต่การผลิตกาวมักก่อมลพิษ ดังนั้นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จึงมีความต้องการที่จะทำการเชื่อมวัสดุต่างชนิดมากกว่า ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำได้เร็วกว่าการขันสกรู มีการควบคุมคุณภาพง่ายกว่า และมีต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่นและปล่อยมลพิษน้อยกว่าแต่การเชื่อมวัสดุต่างชนิดให้ได้ชิ้นงานเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นยังมีข้อจำกัดของเทคโนโลยีการเชื่อมอย่างมากโดยเฉพาะเทคโนโลยีการเชื่อมโลหะกับพลาสติก หนึ่งในช่วง 10-15 ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมต่างๆความพยายามเชื่อมวัสดุต่างชนิดที่รูปทรงแผ่น ด้วยเหตุที่การใช้วัสดุแผ่นจะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ต่างๆเบาขึ้น และสมรรถนะสูงขึ้น ทำให้งานวิจัย

ต่างๆหรือในภาคอุตสาหกรรมจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิดรูปทรงแผ่นอย่างมาก ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการเชื่อมโลหะกับพลาสติกเฉพาะรูปทรงแผ่น

ในช่วง15 ปีที่ผ่านมาการพัฒนาการวิธีการเชื่อมวัสดุต่างชนิดมักจะใช้การเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ ดังตัวอย่างการเชื่อมเหล็กกล้ากับอลูมิเนียมผสม (Roberto Spina and Luigi Tricarico, 2010) ด้วยเหตุผลที่ว่า การเชื่อมต่อเลเซอร์นั้นมีความสามารถในการควบคุมความร้อนปริมาณมากจากลู่ชิ้นงานบริเวณแคบๆได้ดีมาก ทำให้เราสามารถมีการคาดการณ์ได้ว่าผลกระทบความร้อนต่องานเชื่อมมีขนาดเท่าไร และสามารถจำกัดบริเวณดังกล่าวได้ง่ายแม้ว่าเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยเลเซอร์จะควบคุมพลังงานลู่ชิ้นงานเชื่อมได้ดี แต่ด้วยสมบัติของโลหะกับพลาสติกต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง อาทิเช่น เหล็กกล้ามีจุดหลอมเหลวสูงมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิสลายตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ ทำให้การเชื่อมพลาสติกกับเหล็กกล้าด้วยการหลอมผสมแบบดั้งเดิมเป็นไปได้ไม่ได้เพราะจะทำให้วัสดุที่เป็นพลาสติกเกิดการไหม้จนหมด นอกจากนี้พันธะเคมี การเรียงตัวของอะตอม ของโลหะกับพลาสติกมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โดยโลหะมีการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบและอะตอมแต่ละอะตอมยึดเกาะกันด้วยพันธะโลหะ ขณะที่พลาสติกอะตอมเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบและอยู่กัน ในลักษณะโมเลกุลใหญ่ๆที่แต่ละ โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเท่านั้น ทำให้การเชื่อมต่อโดยการผสมกันของเนื้อของวัสดุทั้งสองจึงมีแนวโน้มที่จะเป็นไปได้ แต่เมื่อประมาณ 7 ปีก่อน คณะวิจัยของมหาวิทยาลัยโอซาก้า (Katayama and Kawahito, 2008) ได้ทำการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอทาเลทดังรูปที่ 1.2 จากการศึกษาพบว่าสามารถทำการเชื่อมติดวัสดุทั้งสองได้ด้วยการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์กับโลหะ แต่ความเข้าใจในอิทธิพลของแสงเลเซอร์ต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีผลต่อการเชื่อมติดระหว่างโลหะกับพลาสติก และผลของสมบัติของพลาสติกที่นำมาทำการเชื่อมกับโลหะยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นเพื่อให้มีความเข้าใจในอิทธิพลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติด และ ผลของสมบัติของพลาสติกที่นำมาทำการเชื่อมกับโลหะให้มากยิ่งขึ้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษานี้ขึ้น



รูปที่1.2 เทคนิคการเชื่อมของ (katayama et al, 2008)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

1.2.2 ศึกษาผลของความแตกต่างของสมบัติของพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การศึกษการเชื่อมพลาสติกกับโลหะยังเป็นเรื่องใหม่ในวงการวิชาการ กอปรกับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่บนแนวความเชื่อที่ว่าแสงเลเซอร์มีผลต่อโดยตรงการเกิดปฏิกิริยาของโลหะกับพลาสติกหลอมเหลว แต่จากการคำนวณด้านพลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ชี้ให้เห็นว่า แสงเลเซอร์ไม่น่าจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมติด นอกจากนี้พลาสติกแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมากทางด้านสมบัติทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิการสลายตัว การเกิดเคตซึ่ง ฯลฯ สมบัติเหล่านั้นก็น่าจะมีผลต่อการคุณภาพการเชื่อมติดไม่มากนักน้อย จากสมมุติฐานข้างต้นทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาวิจัยเพื่อยืนยันว่าแสงเลเซอร์ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาการเชื่อมติดของโลหะกับพลาสติก และศึกษาว่าสมบัติทางกายภาพของพลาสติกที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพรอยเชื่อมที่ได้หรือไม่อย่างไร

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การบรรลุวัตถุประสงค์ในการทดลองผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานในแต่ละอัน โดยรายละเอียดของระเบียบวิธีการทดลองในแต่ละชุดการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

1.4.1 การทดลองชุดที่ 1 : แสงเลเซอร์กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

การทดลองชุดที่หนึ่งออกแบบมาเพื่อตรวจสอบว่าแสงเลเซอร์ไม่มีผลทางตรงต่อการเชื่อมติดระหว่างโลหะกับพลาสติก จากวัตถุประสงค์ดังกล่าวผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร กับ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ในลักษณะการวางชิ้นงานแบบซ้อนเกย และฉายแสงเลเซอร์ประเภท YAG ในสองลักษณะ คือ 1) แสงเลเซอร์ถูกฉายไปยังด้านเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งแสงเลเซอร์ประเภท YAG ไม่สามารถทะลุผ่านได้ มีเพียงความร้อนเท่านั้นถูกส่งถ่ายผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมจากด้านบนถึงบริเวณรอยเชื่อมต่อ และ 2) แสงเลเซอร์ถูกฉายไปยังด้านพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทซึ่งแสงเลเซอร์สามารถทะลุไปยังบริเวณเกิดรอยเชื่อมติดได้เพราะพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทโปร่งแสงเลเซอร์ประเภท YAG โดยการวางชิ้นงานในลักษณะที่สองนี้ออกแบบมาเพื่อให้เลเซอร์มีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาการเชื่อมติด

1.4.2 การทดลองชุดที่ 2 : พลาสติกกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

การทดลองชุดที่ 2 ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจสอบผลของความแตกต่างของสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิดต่อคุณภาพรอยเชื่อมติดที่ได้ โดยการทดลองเพื่อตรวจสอบผลของความแตกต่างของสมบัติต่อการเชื่อมติด มีอยู่ด้วยกัน 2 ขั้นตอนหลัก คือ

1.4.2.1 เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับพลาสติกจำนวนสามประเภทที่สมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน คือ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนต และอะคริลิก โดยใช้กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ ที่ใช้กระแสไฟฟ้า 200 แอมแปร์ ใช้ระยะห่างโฟกัสและความเร็วในการเชื่อมที่ต่างกัน คือ ใช้ระยะโฟกัส 810 และ 12 มิลลิเมตร และความเร็วในการเชื่อม 810 และ 12 เมตรต่อวินาทีโดยวางชิ้นงานเชื่อมจะวางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนของแผ่นพลาสติก หลังทำการเชื่อมติดผู้วิจัยจะทำการทดสอบแรงดึงเหนือนกับชิ้นงานทดสอบหลังการเชื่อมภายใน 1 ชั่วโมง และทำการตรวจสอบรอยเชื่อมในระดับมหภาค และจุลภาคเพื่อหาขนาดบริเวณการเชื่อมติด การเกิดการไหม้ของพอลิเมอร์

1.4.2.2 เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับพลาสติกจำนวนสามประเภท ที่มีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน คือ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนต และอะคริลิก โดยใช้กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ ที่ใช้กระแสไฟฟ้า 200 แอมแปร์ ใช้ระยะโฟกัสและความเร็วในการเชื่อมที่ต่างกัน คือใช้ระยะห่างโฟกัส 810 และ 12 มิลลิเมตร และความเร็วในการเชื่อม 810 และ 12 เมตรต่อวินาที โดยวางชิ้นงานเชื่อมจะวางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนของแผ่นพลาสติก เช่นเดียวกับการทดลองแรก แต่ต่างกันที่หลังทำการเชื่อมดีดผู้วิจัยจะทำการทดสอบแรงดึงเหมือนกับชิ้นงานทดสอบหลังการเชื่อมภายหลังการเชื่อมไปแล้ว 30 วัน และขณะทำการรอกการตรวจสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมผู้วิจัยจะตรวจสอบรอยเชื่อมในระดับมหภาค และจุลภาคเพื่อหาขนาดบริเวณการเชื่อมติด การเกิดการไหม้ของพอลิเมอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

มีความเข้าใจในกลไกการเชื่อมติดด้วยปฏิกิริยาระหว่างพลาสติกกับโลหะมากขึ้น และยังเข้าใจถึงผลของสมบัติของพลาสติกต่อความสามารถในการเชื่อมติด และคุณภาพชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกต่างๆด้วย ซึ่งความเข้าใจดังกล่าวจะยังประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบพลาสติกสำหรับงานเชื่อมติดกับโลหะในอนาคต

1.6 เอกสารอ้างอิง

E Woisetschlaeger. (2001). **Materials for Future Automotive Body Structures**. p130.

<http://www.cepolina.com>. **Rover Mini Cooper front light**. Available :

<http://www.cepolina.com/photo/transport/car/Rover/2/Rover-Mini-Cooper-front-light.jpg>.

<http://www.pusate.exteen.com>. **ข้อเช่าเทียมนชนิดพิเศษ** Available :

<http://pusate.exteen.com/20090801/entry-6>.

<http://www.siamwoodmall.com>. **ระแนงกันสาด** Available :

http://www.siamwoodmall.com/images/column_1310553086/005.jpg.

Roberto Spina and Luigi Tricarico. (2010). Laser Welding of Aluminium-Steel Clad Materials for Naval Applications. **LASER WELDING**. pp. 79-106.

Seiji Katayama and YousukeKawahito (2008). YAG Laser Spot Welding of PET and Metallic Materials. **ScriptaMaterialia**. 59(12): 1247-1250 .

West Conshohocken PA. (1981). Joining of Composite Materials. **ASTM International**.



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

ด้วยการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกด้วยแสงเลเซอร์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานของการศึกษาก่อนผู้วิจัยจึงได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่มีผู้เคยทำวิจัยและเคยกล่าวถึงก่อนหน้านี้ อันจะทำให้ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยมีความผิดพลาดน้อยลง หรือสามารถรวบรวมเป็นองค์ความรู้ใหม่ โดยการทบทวนวรรณกรรมที่ผู้วิจัยดำเนินการประกอบไปด้วยการศึกษาพื้นฐานหลักการด้านการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ การศึกษาการเชื่อมพลาสติกด้วยแสงเลเซอร์ และสุดท้ายการศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิดต่างๆ และรายละเอียดของการทบทวนวรรณกรรมประกอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์

เลเซอร์(Laser) เป็นคำย่อของคำภาษาอังกฤษว่า “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” เป็นประดิษฐ์กรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 50-60 ปีก่อนที่มีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ปัจจุบันอย่างมาก เลเซอร์ถูกประดิษฐ์คิดค้นขึ้นภายใต้แนวคิดจากบทความของไอน์สไตน์ที่ตีพิมพ์ในชื่อ On the Quantum Theory of Radiation(A. Einstein, 1917)ในปี ค.ศ. 1960 โดย ทีโอดอร์ เฮชไมแมน (Theodor H.Maiman, 1960)สำหรับเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์เครื่องแรกที่พัฒนาโดย ทีโอดอร์ เฮชไมแมนนั้น ใช้ทับทิมเป็นตัวกลางในการผลิตแสงเลเซอร์สีแดงที่มีความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ 694.3 นาโนเมตร ภายหลังเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ดังกล่าวถูกให้ชื่อเรียกว่าเลเซอร์ทับทิม (ruby laser)

หลังจากการประดิษฐ์เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์เครื่องแรกขึ้นนานถึง 30 ปี มนุษย์อย่างเราถึงได้มีพัฒนาเครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่สามารถนำมาทำการเชื่อมวัสดุได้ (www.cmfgroup.com , 2014) และได้มีการค้นพบว่าการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ให้ข้อได้เปรียบเหนือกระบวนการเชื่อมในอดีต เช่น กระบวนการเชื่อมอาร์คและกระบวนการเชื่อมแก๊ส อย่างมากมาย ด้วยเหตุที่ว่า การเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์สามารถควบคุมปริมาณความร้อนลงสู่ชิ้นงานเชื่อมได้ดีกว่ากระบวนการเชื่อมทั้งสองส่งผลให้สามารถจำกัดอาณานิคมบริเวณที่ร้อนในชิ้นงานเชื่อมได้ดีมาก ทำให้สามารถประยุกต์ใช้กับการเชื่อมวัสดุต่างชนิดได้เป็นอย่างดีนอกจากนี้การเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ทำให้บริเวณหลอมเหลวเกิดขึ้นตัวอย่างรวดเร็วอำนวยให้เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ในเหล็กกล้าผสมต่ำมากเช่นกลุ่ม

Dual phase steel ต่างๆ ทำให้กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ถูกแนะนำให้เป็นกระบวนการเชื่อม DP800 DP 1000 เป็นต้น (Alex A. Konieczny, Dual Phase Steel Applications in Tailor-Welded Blank Technology, เอกสารประกอบการสัมมนาในงาน Great Design on Steel Seminar) ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราทำการสำรวจคุณสมบัติหลักของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างจากแสงธรรมชาติยังทำให้เราเห็นได้ชัดว่าการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์นั้นมีข้อเด่นกว่ากระบวนการเชื่อมในอดีตต่างๆอย่างไร สำหรับคุณสมบัติหลักของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างจากแสงธรรมชาตินั้นประกอบไปด้วย 3 ลักษณะเด่น คือ 1) แสงเลเซอร์เป็นที่มีลักษณะลำชัดเจนทำให้เมื่อลำแสงเลเซอร์เคลื่อนที่ไประยะที่ไกลมากๆ โดยมีการขยายของปลายลำแสงน้อยมากจากสมบัติข้อนี้ทำให้เราสามารถส่งถ่ายแสงเลเซอร์ไป ณ ที่ไกลจากแหล่งกำเนิดได้ง่ายยังผลให้กระบวนการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์มีความสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอัตโนมัติ 2) แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความตรงกันของหน้าคลื่น หรือ ที่เรียกว่า (Coherence light) ทำให้เราสามารถทำการบีบอัดลำแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดเล็กๆ ได้ดีกว่าแสงตามธรรมชาติ (ด้วยพวกเราเข้าใจกันว่าแสงที่ผ่านเลนส์ ณ จุดโฟกัสจะมีขนาดของลำแสงเท่ากับศูนย์กลางนั้นไม่เป็นความจริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นการบีบอัดแสงด้วยเลนส์ ณ จุดโฟกัสลำแสงจะมีขนาดเล็กที่สุดเท่านั้น) จากข้อดีของการเป็นแสงที่มีความเป็น Coherence อย่างมากทำให้เราสามารถกำหนดตำแหน่งการฉายแสงเลเซอร์ที่มีพลังงานมหาศาลลงสู่จุดเล็กๆ ได้ชิ้นงานเชื่อมจึงร้อนเฉพาะจุดได้ง่ายกว่าวิธีการอื่นๆ สุดท้าย 3) แสงเลเซอร์ปกติจะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวหรือที่เรียกว่า Monochromatic light ทำให้ง่ายต่อการควบคุมการดูดซับพลังงานแสงเลเซอร์ของวัสดุที่นำมาทำการเชื่อม จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้มีการประยุกต์ใช้แสงเลเซอร์มาทำการเชื่อมวัสดุที่ในอดีตไม่สามารถเชื่อมได้ เช่น การเชื่อมระหว่างพลาสติก การเชื่อมระหว่างวัสดุต่างชนิด เป็นต้น

จากข้อเด่นของแสงเลเซอร์ที่กล่าวมานั้นทำให้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้แสงเลเซอร์กับการเชื่อมอย่างกว้างขวางเช่นงานของ Y.S. Yang กับ S.H. Lee (Y.S. Yang, S.H. Lee, 1999) หรืองานของ G. Labeas กับ I. Diamantakos (G. Labeas, I. Diamantakos, 2013) ที่ศึกษาการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ในงานประกอบรถยนต์ กับ งานโครงสร้างต่างๆ ตามลำดับ แม้จะมีการศึกษาที่ประยุกต์การใช้แสงเลเซอร์ในการเชื่อมอย่างกว้างขวางและมากมายแต่งานวิจัยเหล่านั้นล้วนแล้วแต่ประยุกต์ใช้การเชื่อมเลเซอร์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์อยู่ด้วยกันเพียงแค่ 4 ประเภทหลักเท่านั้นถ้าแบ่งตามแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ คือ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่ทำความยาว 10600 นาโนเมตร YAG เลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 1060 นาโนเมตรกับ fiber เลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 1060-1960 นาโนเมตร และ Diode เลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 370-3500 นาโนเมตร

ด้วยการศึกษานี้เป็นการศึกษาการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ การรู้จักปัจจัยการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์จึงมีความสำคัญกับการวิจัยนี้ สำหรับปัจจัยการเชื่อมด้วยเลเซอร์ที่จะมีผลต่อคุณภาพชิ้นงานเชื่อมดีไม่ดื้อนั้น หลักประกอบไปด้วย 8 ปัจจัยดังต่อไปนี้ (ไม่นับรวมการจับชิ้นงาน)

1) ประเภทของเลเซอร์ที่เราประยุกต์ใช้กับงานเชื่อม จากข้อมูลในย่อหน้าที่แล้วเราจะพบว่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดคนละประเภทกันจะไม่เท่ากัน และจากการปฏิบัติของมนุษย์เป็นที่ทราบกันดีกว่าแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นไม่เท่ากันเมื่อตกกระทบวัสดุหนึ่งๆจะมีปฏิสัมพันธ์กับวัสดุไม่เหมือนกัน โดยปฏิสัมพันธ์ของแสงเลเซอร์กับวัสดุต่างๆ นั้นประกอบไปด้วย การสะท้อนกับ การดูดซับ และการปล่อยผ่าน โดยสมการแสดงการดูดซับแสงเลเซอร์เขียนได้เป็น

$$A = 1 - T - R \quad (\text{V. Mamuschkin, et. al., 2013})$$

เมื่อ A คือ สัดส่วนของพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัสดุดูดซับแสงเลเซอร์

R คือ สัดส่วนของพลังงานแสงเลเซอร์ที่สะท้อนเมื่อตกกระทบวัสดุ

T คือ สัดส่วนของพลังงานแสงเลเซอร์ที่ทะลุผ่านเนื้อวัสดุออกไป

โดยปกติโลหะส่วนใหญ่ค่า T เป็นศูนย์เพราะ โลหะไม่ยอมให้แสงเลเซอร์ส่องผ่าน และค่า A น้อยมากแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นแสงเลเซอร์สั้นลง แต่พลาสติกเช่นพอลิคาร์บอเนตค่า T สูงมากเมื่อฉายแสงเลเซอร์ประเภท YAG แต่จะ ค่า T จะใกล้ศูนย์เมื่อฉายแสงเลเซอร์ประเภทคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเป็นเช่นนี้การเปลี่ยนประเภทเลเซอร์มาทำการเชื่อมมีผลอย่างมากต่อการเชื่อมติดและคุณภาพของการเชื่อม

2) ประเภทของการปล่อยแสงเลเซอร์(แบบต่อเนื่อง หรือ ยิงมาเป็นช่วงๆ) ปกติการเชื่อมด้วยเลเซอร์ที่ยิงแบบต่อเนื่องจะให้ชิ้นงานเชื่อมที่มีคุณภาพที่ดีกว่า

3) กำลังแสงเลเซอร์เฉลี่ยต่อพื้นที่ เป็นปัจจัยสำคัญมากต่อคุณภาพการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์เพราะกำลังแสงเลเซอร์ต่อพื้นที่ที่เหมาะสมจะทำให้เราสามารถเปลี่ยนแปลงกลไกการถ่ายเทความร้อนขณะทำการเชื่อมได้

4) ความเร็วในการเชื่อมเป็นปัจจัยงานเชื่อมที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเชื่อม

5) ประเภทของก๊าซปกคลุม และอัตราการจ่ายก๊าซ

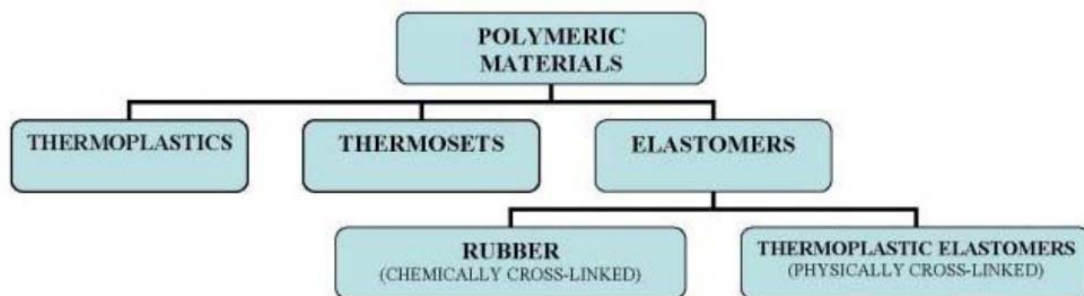
6) ระยะโฟกัส หรือระยะที่ผิวชิ้นงานที่แสงเลเซอร์ฉายลงห่างจากจุดโฟกัสเท่าไรเป็นตัวแปรงานเชื่อมที่มีความสัมพันธ์กับการกำหนดขนาดของลำแสงที่ตกกระทบชิ้นงาน เพื่อควบคุมกำลังแสงเลเซอร์เฉลี่ยต่อพื้นที่

7) กำลังของแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการเชื่อม เป็นค่าที่ผู้ทำการเชื่อมจะกำหนดจากเครื่องเชื่อม และเมื่อกำหนดระยะโฟกัสได้เราจะประมาณหาค่า กำลังแสงเลเซอร์เฉลี่ยต่อพื้นที่

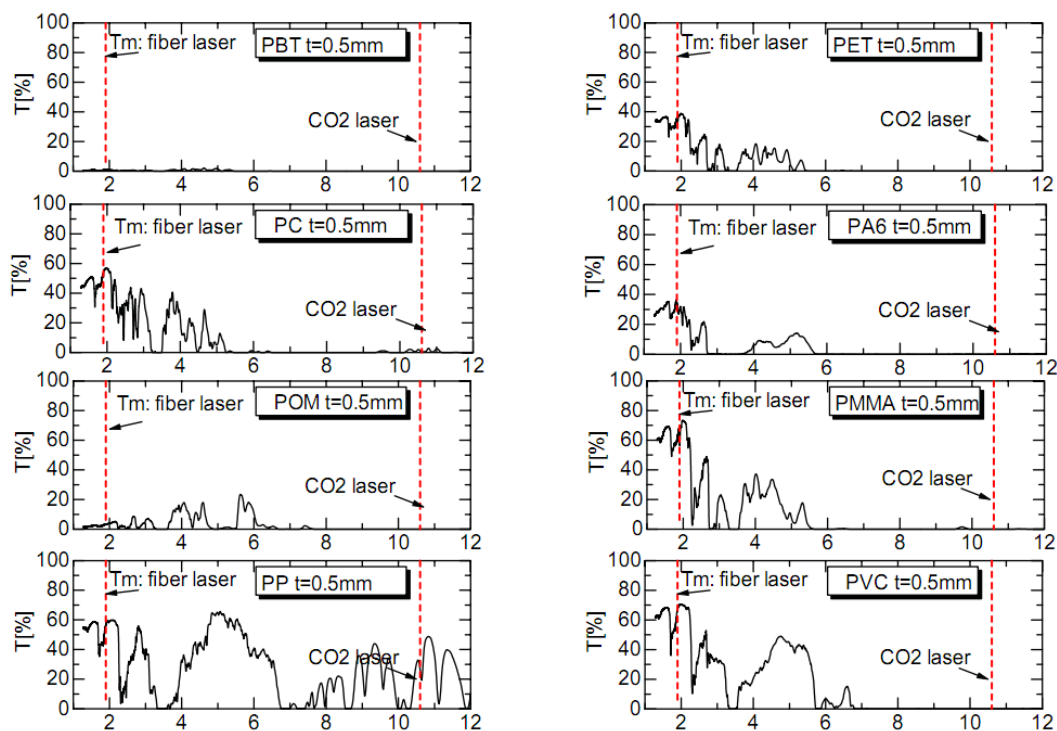
8) อองศาการเอียงหัวเชื่อม จะมีผลอย่างมากต่อการบิดเบี้ยวของลำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบผิวชิ้นงานเชื่อม ซึ่งไปมีผลโดยตรงต่อขนาดของแสงเลเซอร์ที่ฉายตกกระทบชิ้นงานเชื่อม

2.2 พลาสติกกับการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์

ปัจจุบันมีวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่ด้วยกันหลายพันชนิด (www.colss.net, 2014) วัสดุพอลิเมอร์เหล่านี้ถูกแบ่งได้เป็นกลุ่มจำนวน 3 กลุ่ม คือ เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตติงพลาสติก และ อีลาสโตเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยเทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัว โครงสร้างภายในเนื้อพลาสติกไม่เกิดการเสื่อมสภาพ เมื่อหยุดการให้ความร้อนกับพลาสติกเหล่านั้น และเมื่อพลาสติกเย็นลงจะกลับมาสภาพเดิมได้ถ้าความร้อนที่ให้ไม่สูงเกินไป สำหรับตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติกที่มีใช้ในอุตสาหกรรม เช่น Polyvinyl-chloride Polystyrene Polycarbonate Polypropylene Polyethyleneterephthalate Acrylic เป็นต้น ส่วนเทอร์โมเซตติงพลาสติกเป็นพลาสติกที่เมื่อทำการขึ้นรูปครั้งแรกจะใช้ความร้อน แต่การให้ความร้อนใหม่กลับไม่ทำให้เกิดการอ่อนตัวของพลาสติกแต่กลับทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ แม้เทอร์โมเซตติงพลาสติกจะไม่สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ด้วยความร้อนได้แต่เทอร์โมเซตติงพลาสติกมีลักษณะเด่น คือ มีความทนทานต่อความร้อน และภาวะแวดล้อมได้ดีมาก จึงทำให้เทอร์โมเซตติงพลาสติกได้รับความนิยมในงานเฉพาะ เช่น การผลิตไม้เทียม ฯลฯ ตัวอย่างของเทอร์โมเซตติงพลาสติก เช่น amino resin polyurethanes เป็นต้น ส่วนอีลาสโตเมอร์เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูงให้กับงานที่ต้องการการยืดหยุ่นเช่น ทำถุงมือยาง เป็นต้น ปกติไม่ค่อยต้องการการเชื่อมติดเพราะไม่ใช่งาน โครงสร้าง ดังนั้นวัสดุพอลิเมอร์ที่ต้องการเชื่อมติดหลักจึงมีเพียงแก่พลาสติก จากลักษณะพื้นฐานของพลาสติกทั้งสองที่กล่าวมาพร้อมกับแนวคิดของการเชื่อมติดที่ว่า การเชื่อมเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นงานตั้งแต่สองชิ้นติดกันด้วยความร้อน หรือความร้อนร่วมกับแรงทางกล จะพบว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกเท่านั้นที่สามารถทำการเชื่อมได้



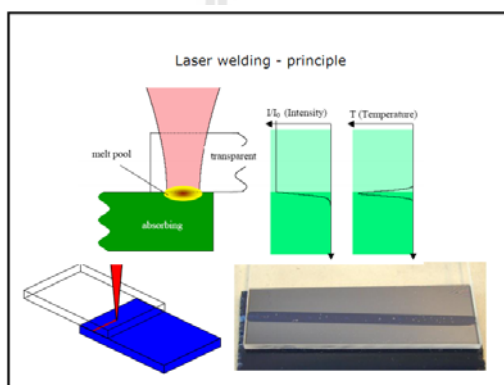
รูปที่ 2.1 ประเภทของวัสดุประเภทพอลิเมอร์ (www.eolss.net, 2014)



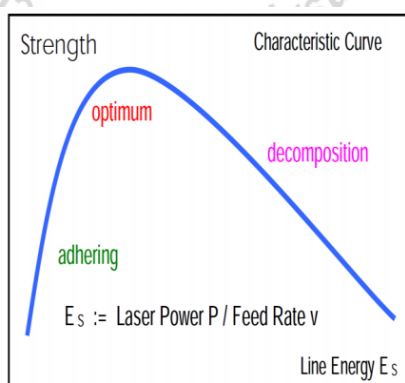
รูปที่ 2.2 การดูดซับแสงเลเซอร์ของพลาสติกต่างๆ (Yasuo Kurosaki, et.,al., 2010)

สำหรับการเชื่อมพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกให้ติดกันนั้นผู้เชื่อมจำเป็นต้องลดขนาดของอาณาบริเวณที่พลาสติกที่นำมาทำการเชื่อมเกิดการสลายตัวจากความร้อน กรอบกับพลาสติกมีค่าการนำความร้อนต่ำมากดังนั้นการให้ความร้อนจนทำให้พลาสติกตลอดความหนาหลอมเหลวผสมกันจะทำให้พลาสติกมีการสลายตัวอย่างรุนแรง ด้วยเหตุนี้เทคนิคการเชื่อมพลาสติกที่นิยมใช้คือ ต้องให้ความร้อนเฉพาะหน้าตัดที่จะทำการเชื่อม แต่การให้ความร้อนแบบนี้สามารถทำได้จาก

การเชื่อมประเภทเสียดสีเท่านั้นในอดีต แต่จากสมบัติของพลาสติกที่ส่วนใหญ่โปร่งแสงเลเซอร์ในช่วงอินฟราแดงแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้เราสามารถนำแสงเลเซอร์ไปถึงบริเวณรอยต่อของการเชื่อมได้โดยพลาสติกมีการดูดซับพลังงานความร้อนน้อยมาก แต่การจะทำให้บริเวณเชื่อมติดเกิดการดูดซับพลังงานแสงเลเซอร์นั้นเราจะใช้การเคลือบด้วยตัวดูดซับแสงเลเซอร์เช่นผงคาร์บอนที่ฉาบไว้บริเวณผิวรอยเชื่อมต่อแทน และเรียกเทคนิคการเชื่อมพลาสติกแบบนี้ว่า เทคนิคการเชื่อมพลาสติกกับพลาสติกแบบส่องทะลุดังแสดงในรูปที่ 2.3 แม้จะทำการเชื่อมพลาสติกกับพลาสติกด้วยวิธีการนี้ดีแต่การให้ความร้อนในการเชื่อมกับพลาสติกมากหรือน้อยเกินไปก็ทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพหรือเชื่อมไม่ติดรอยเชื่อมจะไม่แข็งแรงดังแสดงในรูปที่ 2.4 เช่นกัน



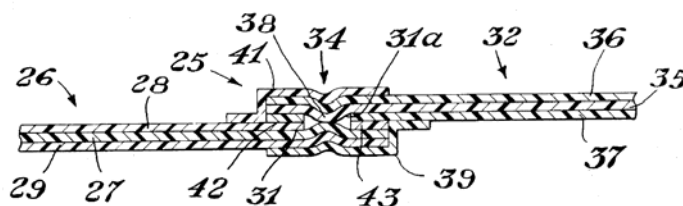
รูปที่ 2.3 เทคนิคการเชื่อมพลาสติกกับพลาสติกแบบส่องทะลุ (www.forcetechnology.com, 2014)



รูปที่ 2.4 ผลของความร้อนในการเชื่อมต่อคุณภาพชิ้นงานเชื่อม (www.forcetechnology.com, 2014)

2.3 การเชื่อมพลาสติกกับโลหะ

ในอดีตการเชื่อมโลหะกับพลาสติกในงาน โครงสร้างจะเลือกใช้วิธีการยึดกันทางกล (Mechanical Interlocking) เช่นงานของSwearing และคณะที่ทำการเชื่อมพลาสติกกับโลหะโดยใช้ การล็อกกันทางกลดังแสดงในรูปที่ 2.4 (Swearingen et al., 1972)



รูปที่ 2.5 เทคนิคการยึดพลาสติกกับโลหะด้วยการยึดเกาะทางกล โดยSwearing และคณะ(Swearingen et. al., 1972)

แต่ด้วยการค้นพบเทคนิคโดย Katayama และคณะ ซึ่งได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานการเชื่อม พลาสติกกับโลหะด้วยแสงเลเซอร์ เมื่อปี พ.ศ. 2551 (Seiji Katayama et.al., 2008) ซึ่งมีข้อเด่นกว่าการ ยึดติดทางกลมากทำให้จากวันนั้นจนถึงปัจจุบัน ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเชื่อมพลาสติก และโลหะอยู่หลายงานดังตัวอย่างมีรายละเอียดดังนี้

การเชื่อม PET กับ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ ประเภท diode โดยSeiji Katayama และคณะในปี2008 (Seiji Katayama et.al., 2008) ทำการเชื่อม ด้วยการวางชิ้นงานแบบซ้อนเกยให้ PET อยู่ด้านบน และ เหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านล่าง ขณะเชื่อม แสงเลเซอร์ ณ ความยาวคลื่นที่ใช้จะทะลุผ่านชิ้นงาน PET ฉายลงสู่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นหลักทำให้ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมร้อนมาก และความร้อนนั้นได้ถ่ายเทไปสู่แผ่น PET ที่อยู่ด้านบนทำให้ พลาสติกดังกล่าวเกิดการละลาย และเกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์(pyrolysis) ทำให้พอลิเมอร์กลาย เป็น โมโนเมอร์ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็กระเหิดได้ง่าย ยังผลให้หลังการเชื่อมจะพบฟองอากาศ ณ บริเวณรอยเชื่อม ผลการศึกษาดังกล่าว ยังพบว่าฟองก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ช่วย เพิ่มแรงดันให้กับพลาสติกที่หลอมเหลวให้เข้าไปสัมผัสกับออกไซด์ที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมได้ แนบแน่นยิ่งขึ้นยังผลให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรง

Grigor L. และคณะ (Grigor L. et.al.,2009) ในปี 2009 ทำการศึกษาการเชื่อม KaptonFN film กับ ไทเทเนียมแผ่นบาง และนำเสนอการใช้เทคนิคในการเชื่อมที่เรียกว่า Laser transparent technique ซึ่งใช้แผ่นกระจกปิดทับ KaptonFN ที่วางซ้อนอยู่กับไทเทเนียมแผ่นบาง เพื่อช่วยให้รอยเชื่อมระหว่าง KaptonFN film กับไทเทเนียมติดกันสนิทมากขึ้น เนื่องจากป้องกันการเปลี่ยนรูปเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนและเกิดการหดตัวแผ่นกระจกจะช่วยดันให้โลหะกับพลาสติกสามารถเชื่อมติดได้ นอกจากนี้ยังได้ใช้เทคนิค XPS ในการตรวจสอบพื้นผิวบริเวณรอยเชื่อมติดพบว่าการเชื่อมติดของ KaptonFN film กับ ไทเทเนียมแผ่นบาง เกิดจากการทำปฏิกิริยาของไทเทเนียมกับหมู่ฟลูออไรด์ของ KaptonFN ในชั้นงานพอลิเมอร์อีกด้วย

Y. Miyashita และคณะ (Y. Miyashita et.al.,2009) ในปี 2009 ได้ศึกษาการเชื่อมระดับไมโครของ PET และ PC กับ เหล็กกล้าไร้สนิม โดยใช้แสงเลเซอร์ชนิด Pulse-YAG laser ในการเชื่อม จากผลการศึกษาของ Y. Miyashita และคณะ พบการเกิดรูพรุนเช่นเดียวกับงานของ Katayama และคณะ และยังระบุเพิ่มเติมอีกว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นทำให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงมากขึ้น และ รอยเชื่อมระหว่าง PET กับเหล็กกล้าไร้สนิมมีความแข็งแรงมากกว่ารอยเชื่อมต่อของ PC กับเหล็กกล้าไร้สนิม

W. Tillmann และคณะ (W. Tillmann at.al.,2010) ในปี 2010 ได้ทำการเชื่อม PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) กับเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อศึกษาสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสม จากผลการศึกษา พบว่าความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม (เกิดจากการใช้ความเร็วและ กำลังแสงที่ไม่เหมาะสม) จะทำให้รอยเชื่อมที่ได้มีคุณภาพไม่ดี กล่าวคือ ถ้าให้ความร้อนน้อยเกินไป (ความเร็วในการเชื่อมมาก หรือ กำลังแสงเลเซอร์น้อยเกินไป) พลาสติกจะเป็ยกไปบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมไม่ดี แต่ถ้าให้ความร้อนมากเกินไป (ความเร็วในการเชื่อมน้อย หรือ กำลังแสงเลเซอร์มากเกินไป) พลาสติกจะเสื่อมสภาพรุนแรงจนทำให้พลาสติกเปราะรับแรงดึงไม่ดี ยิ่งไปกว่านั้น W. Tillmann และคณะ (W. Tillmann at.al.,2010) ยังอ้างว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นขณะเชื่อมในลักษณะเดียวกับการศึกษาของ Katayama และ คณะ ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม

แม้ว่างานวิจัยการเชื่อมโลหะกับพลาสติกยังมีออกมาอย่างมากในช่วงเจ็ดแปดปีที่ผ่านมาแต่ความเข้าใจในการเชื่อมโลหะกับพลาสติกยังมีอยู่น้อยมาก เช่น แสงเลเซอร์มีผลอย่างไรต่อการเชื่อมติด ปัจจัยการเชื่อมมีผลอย่างไรต่อการคุณภาพการเชื่อม พลาสติกที่แตกต่างกันมีผลต่อการเชื่อมกับโลหะหรือไม่ ฯลฯ นั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการวิจัยนี้ขึ้น

2.4 เอกสารอ้างอิง

A. Einstein, On the Quantum Theory of Radiation. (1960). *Physikalische Zeitschrift* :

63-77.

- Theodor H. Maiman, Stimulated Optical Radiation in Ruby. **Nature**. (187): 493–494.
- Mladen Sercer, Pero Raos. (2010). Joining of Plastics and Composites, **Welding Engineering and Technology**. pp. 1-31.
- Y.S. Yang, S.H. Lee. (1999). A study on the joining strength of laser spot welding for automotive application. **Journal of Materials Processing Technology**. pp. 151-156.
- G. Labeas, I. Diamantakos. (2013). Laser beam welding residual stresses of cracked T joints. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**. pp. 63-76.
- V. Mamuschkin, A. Roesner, M. Aden. (2013). Laser transmission welding of white thermoplastics with adapted wavelength. **Physics Procedia**. (41): 172-179.
- Yasuo Kurosaki, Kimitoshi Satoh. (2010). A fiber laser welding of Plastics Assisted by transparent solid heat sink to prevent the surface thermal damages. **Physics Procedia**. (5): 173-181.
- <http://www.forcetechnology.com>. **Laser welding of plastics weld compatibility investigati** Available : <http://www.forcetechnology.com/NR/rdonlyres/9F2C80AE-467F-49E4-B8C5-88C2E519F09E/5297/Laserweldingofplasticsweldcompatibilityinvestigati.pdf>. January 13, 2014.
- Swearingen et al. (1972). Joining of plastic/metal foil laminates Joining of plastic/metal foil laminatesus 3762028A Appl. **United States Patent** . No: 229,325.
- Seiji Katayama and Yousuke Kawahito (2008). YAG Laser Spot Welding of PET and Metallic Materials. **Scripta Materialia**. 59(12): 1247-1250 .
- G. L. Georgiev, T. Sultana, G. Auner, G. Newaz, R. J. Baid, R. Patwa, H. Herfurth. (2009). Laser bonding and characterization of Kapton and Teflon. **J Mater Sci**. (44): 882-888.
- W. Tillmann, A. Elrefaey, L. Wojarski. (2010). Toward Process optimization in Laser Welding of Metal to Polymer. **Mat.-wiss. u. Werkstofftech**. 41(10): 879-883.
- Y. Miyashita, M. Takahashi, M. Takemi, K. Oyama, Y. Motoh, H. Tanaka. (2009). Dissimilar Materials Micro Welding between Stainless Steel and Plastics by Using Pulse YAG Laser. **Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering**. Vol 3(2).

บทที่ 3

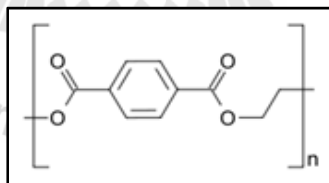
วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลองทั่วไป

3.1 วัสดุ

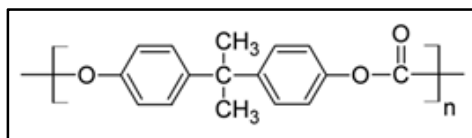
ด้วยการศึกษานี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบไปด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI SUS304ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.1 และพลาสติกจำนวนสามชนิดคือพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนต และอะคริลิกที่มีสูตรเคมีอย่างย่อดังรูปที่ 3.1 โดยสมบัติทางกายภาพและทางกลของทั้งเหล็กกล้าไร้สนิมและพลาสติกทั้งสามชนิดแสดงในตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI SUS304

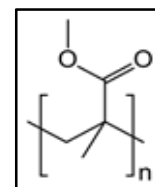
ธาตุผสม	คาร์บอน	แมงกานีส	ซิลิกอน	ฟอสฟอรัส	โครเมียม	นิกเกิล
ร้อยละ	0.05	1.27	0.412	0.031	1.81	9.13



พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท^[1]



พอลิคาร์บอเนต^[1]



อะคริลิก^[1]

รูปที่ 3.1 สูตรเคมีของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนตและอะคริลิก

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 และพลาสติกชนิดต่างๆ

วัสดุ	ความหนาแน่น (g/cm ³)	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	อุณหภูมิสภาพแก้วเหลว (°C)	ค่าการนำไฟฟ้า (W/m/K)	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน (10 ⁻⁷ /K)	เคตซิ่ง
พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท	1.38 ^[1]	250 ^[1]	350 ^[1]	67-80 ^[1]	0.15-0.24 ^[1]	70 ^[1]	No ^[5]
พอลีคาร์บอเนต	1.2-1.22 ^[2]	147 ^[2]	>310 ^[2]	150 ^[2]	0.19-0.22 ^[2]	65-70 ^[2]	Serious ^[5]
อะคริลิก	1.18 ^[3]	160 ^[3]	200 ^[3]	82-102 ^[3]	0.17-0.19 ^[3]	70-77 ^[3]	Serious ^[5]
เหล็กกล้าไร้สนิม SuS304	8.00 ^[4]	1,400-1,450 ^[4]	-	-	16.2 ^[4]	172 ^[4]	-

ตารางที่ 3.3 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมและพลาสติก

วัสดุ	ความแข็งแรง (MPa)
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304	556
พอลีคาร์บอเนต	54
พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท	51
อะคริลิก	36

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ด้วยเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาล้วนแล้วแต่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องใช้ เครื่องมือต่างชนิดที่มีหลักการทำงานและวิธีการต่างกันอาจส่งผลให้ผลการทดลองแตกต่างกันได้ จากการตระหนักถึงผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงให้รายละเอียดของเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาดังมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมชิ้นงานเชื่อมใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานเชื่อมให้ได้ขนาดตามที่ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดไว้ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเชื่อมแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก) เครื่องตัดชิ้นงานโลหะด้วยแรงเฉือน (ขนาดใหญ่) ยี่ห้อ ESPE รุ่น CNTA 63A สามารถตัดชิ้นงานโลหะด้านกลไกการตัดเฉือนที่มีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตรและความกว้างไม่เกิน 10 ฟุต แสดงในรูปที่ 3.2 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดแบ่งชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด

SUS304 แผ่นที่ความกว้าง4 ฟุตความยาว8 ฟุต และความหนา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาดตามขนาดความกว้างของชิ้นงาน20มิลลิเมตร ในแนวรีด



รูปที่ 3.2 เครื่องตัดชิ้นงานโลหะด้วยแรงเฉือน (ขนาดพหุ) ยี่ห้อ ESPE รุ่น CNTA 63A

ข) เครื่องเลื่อยสายพานยี่ห้อHACO รุ่น MINI 22014 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับตัดแบ่งวัสดุแผ่นพลาสติกที่มีขนาด ความกว้าง 1 ฟุต ความยาว 0.5 ฟุต หนา 1 มิลลิเมตรให้ได้เล็กลงตามขนาดของความยาวชิ้นงานสำหรับเชื่อมจริงที่มีขนาดความยาว 75 มิลลิเมตร ความกว้าง 20 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตรเนื่องการตัดด้วยเลื่อยสายพานอาจทำให้เกิดความร้อนที่ชิ้นงานจำนวนมากดังนั้นขณะทำการตัดผู้วิจัยจึงระวังไม่ให้ชิ้นงานพลาสติกร้อนเกินไปเนื่องจากการขัดและโดยมีการหยุดคิดร่วมกับการใช้ลมเป่าช่วยระบายความร้อน



รูปที่ 3.3 เครื่องเลื่อยสายพานยี่ห้อ HACO รุ่น MINI 22014

ค) เครื่องตัดชิ้นงาน โลหะด้วยแรงเหวี่ยงขนาดเล็กยี่ห้อJAESPAรุ่นAS4ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับตัดแบ่งเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด SUS304 ที่ผ่านการตัดจากเครื่องตัดเฉือนขนาดใหญ่ให้มีขนาดเท่ากับ ความยาว 75 ความกว้าง 20 ความหนา 0.5 มิลลิเมตรเพื่อนำมาเป็นชิ้นงานเชื่อม



รูปที่ 3.4 เครื่องตัดชิ้นงาน โลหะด้วยแรงเหวี่ยง (ขนาดเล็ก)ยี่ห้อJAESPAรุ่นAS4

3.2.2 ชุดเครื่องเชื่อมเลเซอร์ยี่ห้อ HAN LASER รุ่น WF300 ใช้เป็นเครื่องเชื่อมชิ้นงานวัสดุต่างชนิดในการศึกษานี้ โดยเครื่องเชื่อมเลเซอร์นี้เป็นเครื่องเชื่อมเลเซอร์ที่ปล่อยแสงเลเซอร์ประเภท YAG ที่มีความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ 1.06 ไมโครเมตรและมีกำลังแสงเลเซอร์เฉลี่ยสูงสุดที่ 300W ปล่อยกระแสออกมาเป็นช่วง โดยในหนึ่งช่วงจะปล่อยกระแสที่มีกำลังสูงสุดได้ไม่เกิน 6KW โดยในชุดเลเซอร์มีอุปกรณ์ย่อยๆ ประกอบไปด้วย

ก) ชุดกำเนิดแสงเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วย YAG LAMP แท่ง YAG กระจกสะท้อนแสงเลเซอร์ สายใยแก้วนำแสงระบบหล่อเย็นและแหล่งจ่ายไฟ โดยชุดเลเซอร์ดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีข้อกำหนดการกำเนิดแสงเลเซอร์ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อกำหนดแสงเลเซอร์

Model Type	WF300
Laser	YAG
Wavelength	1064 nm
Max. output laser power	300 W
Peak power	6 KW
Max. pulse energy	60J/10ms
pulsewidth	0.1-50ms
Repetition rate	1-200 Hz
Number of pulse shape	50
Number of fibers	Max. 4 heads

ข) ชุดเคลื่อนที่ชิ้นงานและหัวเชื่อมพร้อมอุปกรณ์จ่ายแก๊สตัวใหญ่ เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เคลื่อนหัวเชื่อมในแนวแกน z ที่มีอุปกรณ์จ่ายแก๊สผ่านหัวเชื่อมและเคลื่อนที่ชิ้นงานในแนวแกน x และ y หรือหมุนรอบแกน โดยข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ชิ้นงานและลักษณะของหัวเชื่อมที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อกำหนดของเลเซอร์และการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

ข้อกำหนดแสงเลเซอร์และการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์	ลักษณะความสามารถ
หัวเชื่อมมีชุดอุปกรณ์รวมแสงที่เหมาะสมกับการเชื่อมแสงเลเซอร์มีขนาดเล็กกว่า	0.5 มิลลิเมตรที่ระยะโฟกัสของระบบรวมแสง
อุปกรณ์จับหัวเชื่อมต้องสามารถเคลื่อนที่ได้ร่วมกันอย่างน้อย	4แกน (x,y, z และrotation)
การควบคุมการเคลื่อนที่ของโต๊ะเชื่อมและหัวเชื่อมใช้ระบบ	PLC
โต๊ะเชื่อมต้องควบคุมการเคลื่อนที่ได้แม่นยำได้ถึง	± 0.006 มิลลิเมตร
โต๊ะเชื่อมมีช่วงในการเคลื่อนที่ไม่น้อยกว่า	กว้าง300 ยาว300 มิลลิเมตร
มีคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ในการสั่งงานการเคลื่อนที่และเปิดปิดแสงเลเซอร์	โปรแกรมการสั่งงานและการเปิด ปิดของแสงเลเซอร์



รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมเลเซอร์ยี่ห้อ HAN LASER รุ่น WF300

ค) ชุดอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดแสงเลเซอร์และการเคลื่อนที่ซึ่งงานเป็นชุดควบคุมการทำงานแสงเลเซอร์โดยมีการสั่งงานโดยโปรแกรมที่ชุดคอมพิวเตอร์และพร้อมอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของแสงเลเซอร์ดังในรูปที่แสดง 3.5

3.2.3 อุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะชิ้นงานเชื่อมและทดสอบแรงดึงเหนือน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก) เครื่องทดสอบแรงดึงเหนือน ขนาด 100kN ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5582 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับในการทดสอบหาค่าแรงดึงเหนือนสูงสุดของชิ้นงานเชื่อม เพื่อประเมินว่าการเชื่อมวัสดุระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 กับพลาสติก ดังกล่าวเกิดขึ้นจริงหรือไม่ โดยข้อจำกัดการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงเหนือนแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อจำกัดของเครื่องทดสอบ

ข้อพิกัดของเครื่องทดสอบแรงดึงเหนือน	ขอบเขตที่ทำ
สามารถทดสอบแรงดึงได้สูงสุด	100 KN
สามารถทดสอบระยะยึดตัวได้สูงสุด	1,000 มิลลิเมตร
โปรแกรมการทดสอบและคำนวณค่าต่างๆของการทดสอบแรงดึงโดยใช้คอมพิวเตอร์สั่งการทำงาน	โปรแกรมสั่งงาน
สามารถจับชิ้นงานที่มีความหนาได้สูงสุด	5 มิลลิเมตร
อัตราการเคลื่อนที่หัวดึงชิ้นงาน	0.5 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง

ข) กล้องถ่ายภาพกำลังขยายต่ำยี่ห้อ Leica รุ่น EZ4D เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับในการถ่ายภาพชิ้นงานหลังการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 และพลาสติกทั้งสามชนิดแล้ว เพื่อดูลักษณะของบริเวณเชื่อมตักของชิ้นงานเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับพลาสติก และหาขนาดของรอยเชื่อมตัก



รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพกำลังขยายต่ำ

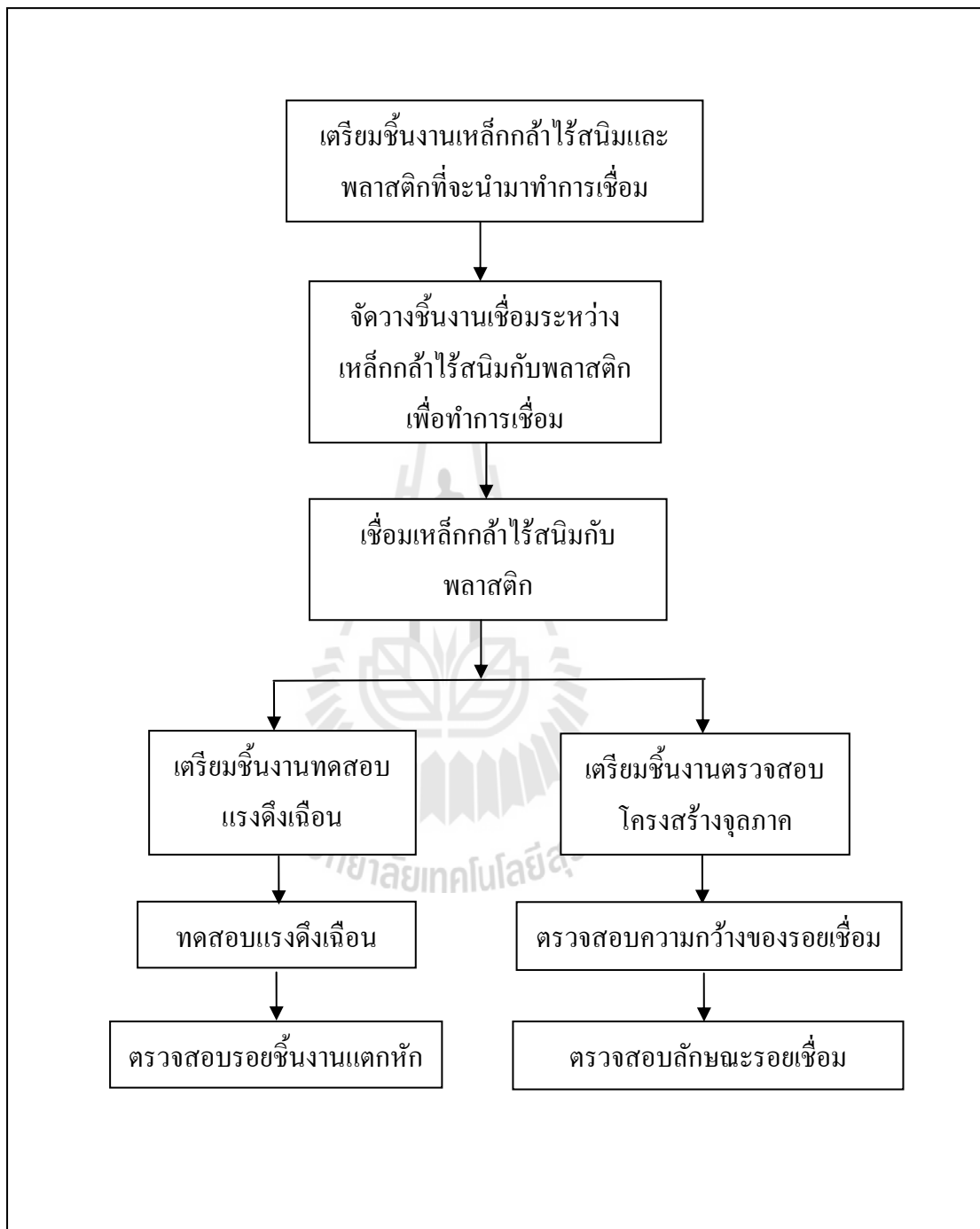
ค) กล้องจุลทรรศน์แสงแบบสะท้อนยี่ห้อ Olympus High Power Microscope รุ่น BX ดังแสดงรูปที่ 3.8 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับในการถ่ายภาพตัดขวางของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และพลาสติก เพื่อดูลักษณะการเชื่อมตักว่าเป็นการเชื่อมตักทางกลหรือการเชื่อมตักเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 และพลาสติก



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Olympus High Power Microscope รุ่น BX 51 พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพและเครื่องคอมพิวเตอร์



3.3 ขั้นตอนการทดลองทั่วไป



รูปที่ 3.9 แผนภูมิลำดับขั้นตอนการทดลอง

เพื่อให้การอธิบายการทดลองในบทถัดไปของวิทยานิพนธ์นี้มีความกระชับ ผู้วิจัยใคร่ขออธิบายวิธีการทดลองทั่วไปอย่างละเอียด ณ ที่นี้โดยขั้นตอนการทดลองทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.10 และมีรายละเอียดดังนี้

ก) การเตรียมชิ้นงานนำโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ทำการตัดเป็นชิ้นงานตามขนาดที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ใน การทดลองโดยใช้เครื่องมือเครื่องตัดโลหะแผ่นด้วยแรงเฉือน (ขนาดใหญ่) ที่มีขีดความสามารถตัดชิ้นงานด้านกลไกการตัดเฉือนความหนาสูงสุด 5 มิลลิเมตรเพื่อให้ได้ขนาดตามขนาดความกว้างของชิ้นงาน 20 มิลลิเมตรเสร็จแล้วนำชิ้นงานโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ที่ได้มาทำการตัดย่อยอีกเพื่อให้ได้ขนาด 20×75 มิลลิเมตรด้วยเครื่องตัดแรงเฉือนขนาดเล็กหลังจากนั้นผู้วิจัยนำพลาสติกขนาด 1 ฟุต ยาว 0.5 ฟุต ตัดเป็นชิ้นงานทดสอบขนาด 75×20 มิลลิเมตรที่จะใช้เป็นเชื่อมโดยใช้เครื่องเลื่อยสายพารานเมอได้ชิ้นงานเชื่อมทั้งสองแล้วก่อนการจับวางชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 มาเช็ดทำความสะอาดผิวด้วยแอลกอฮอล์และทำการลอกฟิล์มพลาสติกที่ติดอยู่บนพลาสติกออก การทำความสะอาดเหล็กกล้าไร้สนิมและการลอกฟิล์มพลาสติกออกจะกระทำก่อนการจับวางเท่านั้นเป็นการเสร็จสิ้นสำหรับการเตรียมชิ้นงานเชื่อม

ข) การจัดวางชิ้นงานหลังจากเตรียมชิ้นงานเชื่อมเสร็จแล้ว ผู้วิจัยนำชิ้นงานนั้นมาทำการจัดวางโดยใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเชื่อมที่สร้างขึ้นมาใช้กับงานเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 กับพลาสติก ในการจับชิ้นงานที่ผู้วิจัยทำการยึดโดยมีชุดแผ่นยึดถูกยึดด้วยสกรูยึดเพื่อให้ผิวของชิ้นงานแนบกันสนิท โดยลักษณะการจับยึดชิ้นงานกับการทดลองที่ออกแบบหลังจากนั้นผู้วิจัยทำการยึดชิ้นงานเชื่อมเสร็จแล้วได้นำอุปกรณ์ที่ยึดชิ้นงานมาทำการยึดกับฐานโต๊ะของเครื่องเชื่อมเลเซอร์

ค) การเชื่อมชิ้นงาน หลังการวางอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่มีชิ้นงานเชื่อมติดอยู่บนโต๊ะแล้วผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมด้วยการฉายแสงเลเซอร์ลงบนชิ้นงาน โดยหัวเชื่อมไม่มีการเอียงท่ามุมแนวแรงโน้มถ่วงโลก

ง) การทดสอบความแข็งแรงรอยเชื่อม ผู้วิจัยหลังจากเชื่อมทำการทดสอบแรงดึงเฉือนของชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเฉือนขนาด 100kN ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5528 เพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงดึงเฉือน หลังจากนั้นผู้วิจัยจะได้นำผลของค่าความสามารถแรงดึงเฉือนสูงสุดมาวิเคราะห์ร่วมกับชุดการทดลองต่างๆ

จ) การตรวจสอบรอยเชื่อมผู้วิจัยนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้มาทำการตัดภาคตัดขวางขัดชิ้นงาน หลังการขัดผิวชิ้นงานผู้วิจัยได้นำมาตรวจสอบรอยเชื่อม โดยใช้กล้องถ่ายภาพกำลังขยายสูงเพื่อตรวจสอบบริเวณเชื่อมติด นอกจากนี้ก่อนการตัดชิ้นงานผู้วิจัยได้ใช้กล้องถ่ายภาพด้วยกล้อง

กำลังขยายต่ำสำรวจลักษณะของบริเวณเชื่อมต่อนี้ว่ามีลักษณะใดและหาขนาดของความกว้างของบริเวณเชื่อมต่อนี้ด้วย

3.4 เอกสารอ้างอิง

- วิริยะ ทองเรือง. วิศวกรรมพอลิเมอร์.(2554). Deformation dilatometer : (Polymer Engineering) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- Aristech Acrylics LLC. **Stress Crazing On Acrylic Surfaces And Its Causes. 1-3.**
- E. G. Rukhlya., L. M. Yarysheva., A. L. Volynskii., and N. F. Bakeev.(2009). The Effect of Strain Rate on Solvent Crazing of Poly (ethylene terephthalate) in Solutions of Poly (ethylene oxide) of Various Molecular Masses1. pp. 614-61
- <http://www.azom.com>. **Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)**. Available : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=965>.
- <http://www.nakhamwit.ac.th>. **พอลิเมอร์**. Available : http://www.nakhamwit.ac.th/pingpong_web/Polymer.htm
- Ronal G.Kander,Chair.,EdmundG.Henneke., Noman Dowling., Brian J.Love., SurotThangjitham. (2000). **Characterization of crazing properties of polycarbonate. 13.**

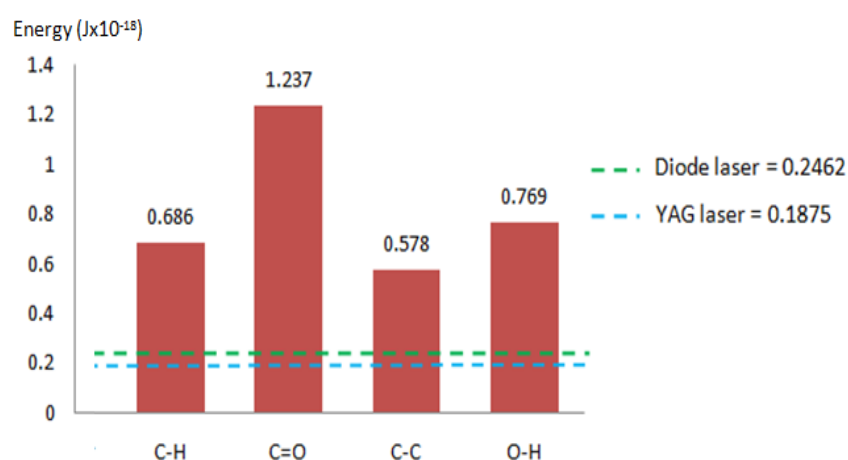
บทที่ 4

แสงเลเซอร์กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

4.1 บทนำ

ในยุคปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆต้องการที่จะผลิต โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา ดังนั้นผู้ผลิต โครงสร้างเหล่านั้นจำเป็นต้องนำเอาวัสดุที่มีน้ำหนักเบาโดยเฉพาะพลาสติกมาทำเป็นชิ้นส่วน ร่วมกับวัสดุโครงสร้างเดิม หรือ เหล็กกล้า ทำให้เมื่อทำการประกอบชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุต่างชนิด ผู้ผลิตเหล่านั้นจึงต้องการเทคโนโลยีการเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและพลาสติกชนิด ต่างๆ ในอดีตการเชื่อมวัสดุระหว่างเหล็กกล้าและพลาสติกชนิดต่างๆนั้นถูกเชื่อว่าเป็นไปไม่ได้ เพราะสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าและพลาสติกมีความแตกต่างกันอย่างมากอาทิเช่น จุด หลอมเหลวของเหล็กกล้าสูงมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิหลายตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ ทำให้การ เชื่อมพลาสติกกับเหล็กกล้าด้วยการหลอมผสมแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการเชื่อมโลหะเป็นไปไม่ได้กับ การเชื่อมเหล็กกล้า และพลาสติกเพราะจะทำให้พลาสติกเกิดการไหม้จนหมด เป็นต้นยิ่งไปกว่านั้น สมบัติทางเคมีของทั้งเหล็กกล้าและพลาสติกก็ต่างกันสุดขั้ว ดังจะเห็นได้จากพันธะทางเคมีที่ยึด อะตอมของโลหะต่างๆในเหล็กกล้าเข้าด้วยกันเป็นพันธะ โลหะซึ่งอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่ได้ อิสระในโครงผลึก แต่ในพลาสติกพันธะเคมีที่ยึดเหนี่ยวอะตอมของคาร์บอน ไฮโดรเจน และอื่นๆ เข้าด้วยกันนั้นเป็นพันธะ โควาเลนต์ซึ่งอิเล็กตรอน ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระจะถูก กำหนดให้อยู่ระหว่างสองอะตอมที่เกิดพันธะทางเคมีกัน แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีงานวิจัยของ คณะวิจัยจากมหาวิทยาลัยโอซาก้าได้ทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม และ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ได้สำเร็จ (Seiji Katayama et.,al., 2008) และในเอกสารดังกล่าวได้ระบุว่า การเชื่อมติระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิมน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโครเมียมออกไซด์ที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม และพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทและปฏิกิริยาเคมีนั้นถูกกระตุ้นให้เกิดโดยแสงเลเซอร์ ทำให้งานวิจัย ในระยะหลังได้กำหนดการเชื่อมที่มีชื่อเทคนิคว่า Transmission laser welding technique มา ทำการศึกษาเช่นงานวิจัยของ Sultana และคณะ (Sultana G.Let.,al, 2009), M. Wahbaaและคณะ (M. Wahbaaet.,al, 2011) และ T. Xiao Wang และคณะ (T. Xiao Wang et.,al, 2012) เป็นต้นแต่จากการ คำนวณพลังงานพันธะของอะตอมในโครงสร้างพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทโดยใช้ข้อมูลจากการ (คณะอนุกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี เคมี1 พ.ศ. 2536)เปรียบเทียบกับ

พลังงานของโฟตอนของแสงเลเซอร์พบว่าพลังงานพันธะเคมีของอะตอมต่างๆในพอลิเอทิลีน เทอพาทาเลทสูงกว่าพลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ประเภท YAG และ Diode อย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อพลังงานทั้งสองไม่ตรงกันการที่พลังงานแสงเลเซอร์จะไปช่วยทำลายพันธะเคมีเดิมแล้วก่อให้เกิดพันธะเคมีใหม่จึงเป็นไปได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเชื่อว่าแสงเลเซอร์ไม่น่าจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก และได้ดำเนินการศึกษาวิจัยนี้ขึ้นด้วยวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

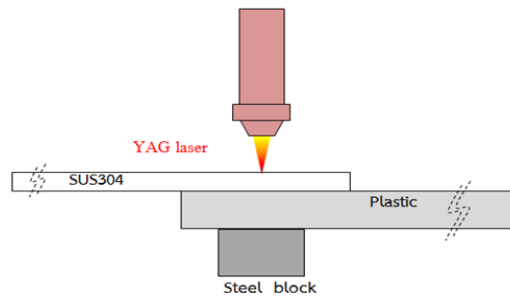


รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบพลังงานพันธะเคมีในโมเลกุลพอลิเอทิลีน เทอพาทาเลท กับพลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ (คณะอนุกรรมการปรับปรุง หลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี เคมี1 พ.ศ. 2536)

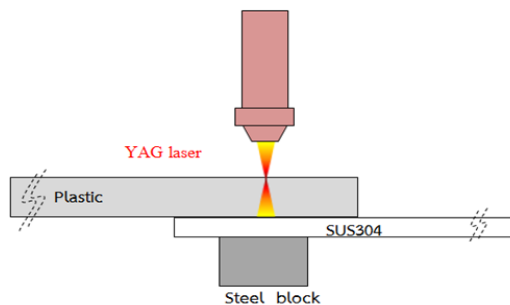
4.2 วิธีทำการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ต้องการศึกษาผลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก ผู้วิจัยจึงได้เลือกวัสดุสำหรับการศึกษาประกอบไปด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304หนา 0.5 มิลลิเมตร และพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เทอพาทาเลทหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่โปร่งแสงเลเซอร์ช่วงแสงเลเซอร์ YAG (Seiji Katayama et.,Al., 2008) โดยขนาดของชิ้นงานเชื่อม คือ 75x20 มิลลิเมตร หลังการเตรียมชิ้นงานแล้วเสร็จผู้วิจัยได้จับชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม และพลาสติกแบบซ้อนเกย และแบ่งการวางชิ้นงานแบบซ้อนเกยเป็นสองลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.2 เพื่อศึกษาผลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติด โดยการจับชิ้นงานเชื่อมตามรูปที่ 4.2ก ให้ชื่อว่าเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบน และรูปที่ 4.2ข ให้ชื่อว่า

พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบน เหตุที่ผู้วิจัยจัดวางชิ้นงานเชื่อมในลักษณะนี้เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นวัสดุที่บดแสงเลเซอร์ YAG ดังนั้นถ้าทำการวางแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมไว้ด้านบนของการเชื่อมแก๊สเลเซอร์ YAG จะไม่สามารถส่องตรงไปที่บริเวณรอยเชื่อมติดได้ (โดยบริเวณรอยเชื่อมติด คือ บริเวณรอยต่อของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท) แต่ถ้าวางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไว้ด้านบนของการเชื่อมแก๊สเลเซอร์ YAG จะสามารถส่องผ่านไปถึงบริเวณรอยเชื่อมติดได้ จากการจับชิ้นงานแบบนี้ถ้าผู้วิจัยสามารถทำการเชื่อมติดทั้งสองวิธีการแสดงว่าแสงเลเซอร์ไม่น่าจะมีผลโดยตรงต่อการเชื่อมติดแต่ น่าจะเป็นปัจจัยอื่นๆ หลังจากจับชิ้นงานเชื่อมแล้วเสร็จผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมชิ้นงาน โดยในการเชื่อมผู้วิจัยได้เลือกใช้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ YAG lamp ที่ 200 แอมแปร์ที่ power ratio 60% สำหรับการผลิตแสงเลเซอร์ และได้ปรับตัวแปรงานเชื่อมสองตัวแปร คือ ความเร็วของการเคลื่อนที่หัวเชื่อม หรือที่เรียกว่าความเร็วในการเชื่อม (Velocity) ที่ 8-10 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะห่างของโฟกัสกับผิวชิ้นงานที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ ที่เรียกว่าระยะโฟกัส (Focal position) 6-10-14 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการเชื่อมอาร์กอนแก๊สถูกใช้ในการปกคลุมรอยเชื่อมในอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที หลังจากผู้วิจัยเชื่อมชิ้นงานเรียบร้อยแล้วชิ้นงานเชื่อมที่ได้จะถูกนำมาตรวจสอบลักษณะการเชื่อมติดด้วยตาเปล่า และตัดชิ้นงานภาคตัดขวางทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100-1200 และตามด้วยการขัดมันเพื่อตรวจสอบบริเวณเชื่อมติดว่าไม่ได้ติดด้วยการเกาะกันทางกล (Mechanical Interlocking) สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงเหนือนของชิ้นงานเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท โดยการทดสอบแรงดึงเหนือนจะกระทำด้วยเครื่อง Universal testing machine ของ บริษัท Intron รุ่น 5582 ความเร็วที่ใช้ในการยึดชิ้นงานอยู่ที่ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที หลังการทดสอบผู้วิจัยทำการเก็บผลความสามารถในการรับแรงดึงเหนือน (Load resistance) และลักษณะรอยแตกหักของชิ้นงานเชื่อม



ก) เหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบน



ข) พลาสติกอยู่ด้านบน

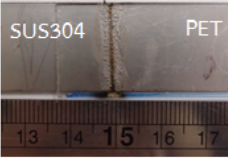
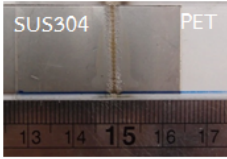
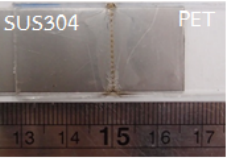
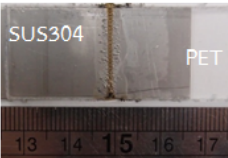
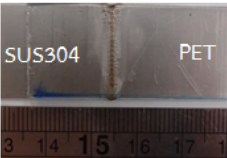
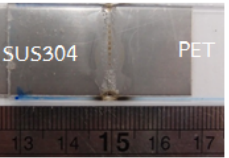
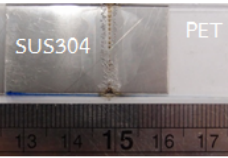
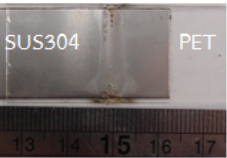

รูปที่ 4.2 ลักษณะการจับวางชิ้นงาน

4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.3.1 สถานะการเชื่อมติด

หลังการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทด้วยเทคนิคการจับชิ้นงานทั้งสองลักษณะภายใต้สถานะการเชื่อม คือ เลือกใช้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ YAG lamp ที่ 200 แอมแปร์ที่ power ratio 60% สำหรับการผลิตแสงเลเซอร์ และได้ปรับตัวแปรงานเชื่อมสองตัวแปร คือ ความเร็วของการเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่ 8 10 12 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะห่างของไฟกัสกับผิวชิ้นงานที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ (Focal position) 61014 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการเชื่อมอาร์กอน แก๊สถูกใช้ในการปกคลุมรอยเชื่อมในอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที พบว่าเราสามารถทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมให้ติดกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทได้ทั้งสองกรณี โดยลักษณะของชิ้นงานเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทเมื่อมองจากด้านที่พลาสติกอยู่ด้านบนกรณีการเชื่อมที่เหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบน และพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จากผลการเชื่อมติดดังกล่าวบ่งชี้ว่าแสงเลเซอร์ไม่ควรจะมีผลโดยตรงต่อการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท อย่างไรก็ตามเราก็คงไม่ทราบว่าการ

เชื่อมติดกรณีที่วางเหล็กกล้าไร้สนิมด้านบนเกิดจากการเกาะกันทางกลหรือไม่ประการใดดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาลักษณะของรอยเชื่อมในลำดับถัดไป

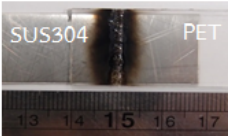
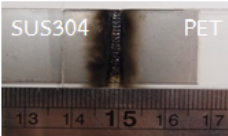
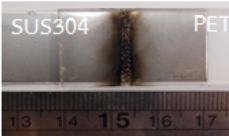


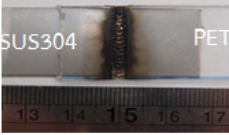



	ความเร็ว 8 mm/s	ความเร็ว 10 mm/s	ความเร็ว 12 mm/s
ระยะไฟกัส 6 mm			
ระยะไฟกัส 10 mm			
ระยะไฟกัส 14 mm			

รูปที่ 4.3 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณี
ที่วางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบซ้อนเกย

4.3.2 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมติด

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท กาลังขยายสูง และภาคตัดขวางของชิ้นงานเชื่อมกรณีเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบน จากรูปที่ 4.5-ก ซึ่งเป็นรูปชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทมองด้านพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทพบว่ารอยเชื่อมติดมีทั้งหมดสามบริเวณ คือ บริเวณที่เกิดการไหม้ บริเวณที่เกิดฟองก๊าซ และบริเวณเชื่อมติดที่ไม่พบฟองก๊าซ เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานเชื่อม ณ สภาวะต่างๆ ในรูปที่ 4.3 จะพบว่าบริเวณที่เกิดรอยไหม้จะกว้างขึ้นเมื่อความเร็วในการเชื่อมลดลงและระยะไฟกัสน้อยลงโดยผลของตัวแปรงานเชื่อมต่อคุณภาพชิ้นงานในลักษณะดังกล่าวนี้ W. Tillmann และคณะ (W. Tillmann, et., al., 2010) ก็พบเช่นเดียวกัน สำหรับเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อความเร็วในการเชื่อมที่น้อยลงทำให้ความร้อนลงสู่ชิ้นงานมากขึ้นทำให้บริเวณที่พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทมีบริเวณมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดหรือจุดเกิดการไหม้ก็กว้างขึ้นชิ้นงานเชื่อมจึงไหม้มากขึ้น และเมื่อระยะ

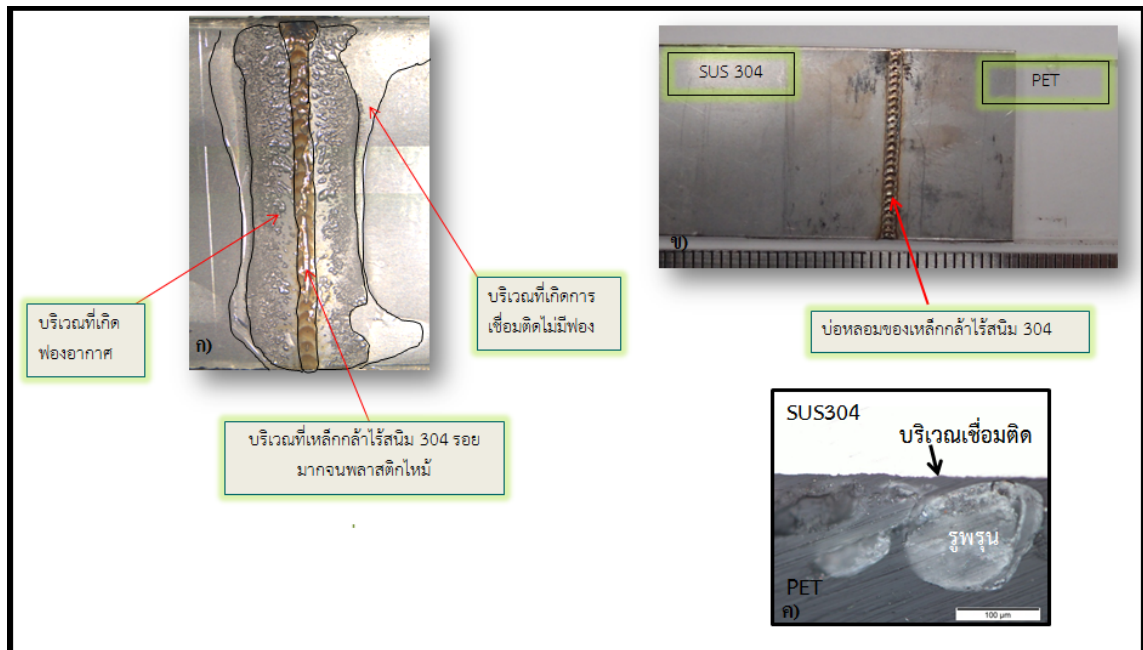
โฟกัสน้อยลงทำให้ความเข้มข้นความร้อนลงสู่จุดเล็กๆสูงขึ้นจึงเกิดการไหม้รุนแรงบริเวณเชื่อมเมื่อให้ความร้อนเท่ากัน (ความเร็วในการเชื่อมเดียวกัน) นอกจากนี้ในรูปที่ 4.5-ข เมื่อตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมจากการมองชิ้นงานด้านเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมด้านที่แสงเลเซอร์ตกกระทบเกิดการหลอมละลาย แต่ด้วยความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อมไม่มากพอทำให้ไม่เกิดการหลอมทะลุของเหล็กกล้าไร้สนิมดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.5-ก จึงทำให้ไม่เกิดการไหม้รุนแรงของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท นอกจากนี้จากรูปที่ 4.5-ค แสดงภาคตัดขวางรอยเชื่อมพบรูพรุนซึ่งบ่งชี้ว่าอุณหภูมิของเนื้อพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ณ บริเวณรอยต่อ สูงกว่าจุดเดือดของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท แต่เป็นบริเวณไม่ลึกมากเมื่อเทียบกับความหนาของชิ้นงานพลาสติก และยิ่งไปกว่านั้นจากรูปที่ 4.5-ค เราไม่พบการเสียรูปของผิวเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณเชื่อมติดแม้กำลังขยายจะสูงมากแล้วก็ตามจึงทำให้เชื่อได้ว่าชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทติดกันเพราะการเกิดปฏิกิริยาของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไม่ใช่เกิดจากการเกาะกันทางกลและกลไกที่ทำให้เกิดการเชื่อมติดน่าจะถูกกระตุ้นจากความร้อนจากแสงเลเซอร์มากกว่าแสงเลเซอร์ไปมีบทบาทกับการเชื่อมติดดังที่ Katayama และคณะกล่าวไว้ (Seiji Katayama et., al., 2008)

	ความเร็ว 8 mm/s	ความเร็ว 10 mm/s	ความเร็ว 12 mm/s
ระยะโฟกัส 6 mm			
ระยะโฟกัส 10 mm			
ระยะโฟกัส 14 mm			

รูปที่ 4.4 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบซ้อนกัน

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท กำลังขยายสูง ของชิ้นงานเชื่อมกรณีพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบน จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่า ชิ้นงานเชื่อมเกิดการไหม้อย่างรุนแรง เนื่องจากด้วยความเร็วในการเชื่อม กำลังแสงเลเซอร์ และ ระยะเวลาโฟกัสที่ทำให้ทำให้แสงเลเซอร์ที่ทะลุลงสู่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการหลอมละลายทำให้อุณหภูมิบริเวณรอยเชื่อมต่อสูงเกินจุดหลอมเหลวของเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งสูงกว่าจุดเดือดของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอย่างมากจึงทำให้เกิดการไหม้อย่างรุนแรงดังที่พบ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าทำการตรวจสอบลักษณะการไหม้ของชิ้นงานเชื่อมกรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนในสภาวะการเชื่อมต่างๆ เราจะเห็นได้ว่าการไหม้จะลดลงเช่นเดียวกับการเชื่อมที่วางเหล็กกล้าไร้สนิมไว้ด้านบน กล่าวคือ การไหม้ของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทจะลดลงเมื่อความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้น และระยะโฟกัสมากขึ้นเนื่องจากการตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมภาคตัดขวางกรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไว้ด้านบนนั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากชิ้นงานเชื่อมเกิดการแตกหักขณะขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานจึงไม่สามารถนำมาแสดงได้

จากผลการตรวจสอบลักษณะชิ้นงานเชื่อมอย่างละเอียด พบว่าแสงเลเซอร์ไม่น่าจะมีผลต่อปฏิกิริยาการเชื่อมติด แต่ความร้อนจากแสงเลเซอร์น่าจะมีผลต่อปฏิกิริยาการเชื่อมติด โดยกลไกการเชื่อมติดผู้วิจัยจะดำเนินการอธิบายในหัวข้อถัดไปหลังการอธิบายผลการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.5 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณีที่วางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบซ้อนกัน (ก) และ (ข) กำลังขยายสูงขึ้นมองจากด้านของพลาสติก และด้านของเหล็กกล้าไร้สนิม (ค) ภาควัดขวางชิ้นงานเชื่อมกำลังขยายสูง

4.3.3 ความสามารถในการรับแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อม

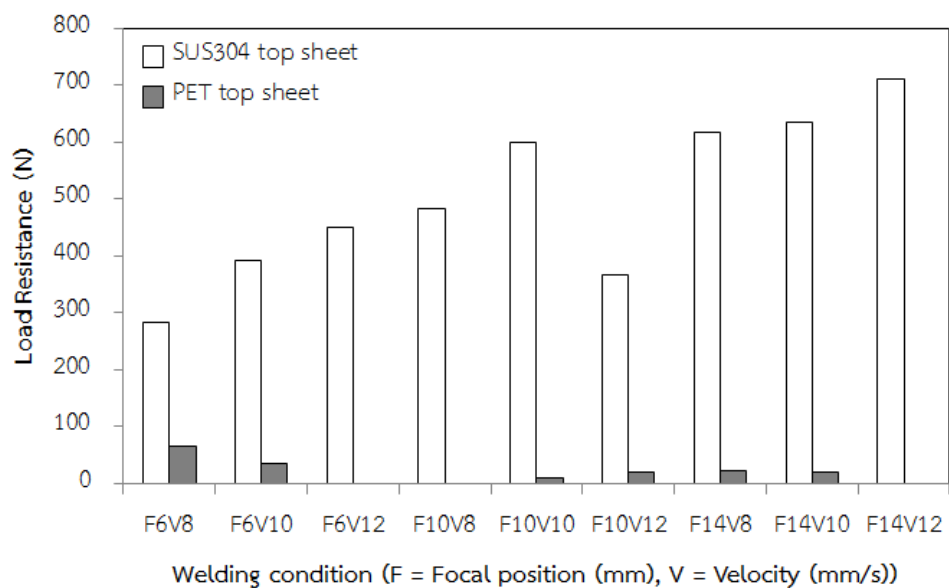
หลังจากการเชื่อมเพื่อยืนยันว่ารอยเชื่อมติดมีความสามารถในการรับแรงดึงได้จริง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลททั้งสองกรณี ได้ผลความสามารถในการรับแรงดึงแสดงในรูปที่ 4.7 จากรูปที่ 4.7 เราจะพบว่าทุกสภาวะการเชื่อมที่ผู้วิจัยศึกษาความสามารถในการรับแรงดึงเฉือนของชิ้นงานเชื่อมกรณีที่วางเหล็กกล้าไร้สนิมไว้ด้านบนจะสูงกว่ากรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไว้ด้านบนที่เป็นเช่นนี้ เพราะกรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไว้ด้านบนของการซ้อนกันนั้นพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทเกิดการไหม้ หรือเสื่อมสภาพอย่างรุนแรงกว่าการวางเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนทำให้ความแข็งแรงของรอยเชื่อมจึงต่ำลงอย่างมาก ดังจะเห็นได้ชัดเจนจากลักษณะของชิ้นงานเชื่อมกรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนการแตกหักที่พบจะเกิดขึ้น ณ บริเวณ รอยเชื่อมต่อประภาเดียว ผิดกับกรณีการจับวางชิ้นงานที่เหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนที่รอยแตกหักมีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ คือ เกิดการแตกหัก ณ บริเวณรอยเชื่อมติด และแตกหัก ณ ชิ้นงานพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทหนึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวเราอาจจะอนุมานได้ว่าถ้าเราทำการเพิ่มความเร็วในการเชื่อม ลด

กำลังของแสงเลเซอร์ลง หรือเพิ่มระยะโฟกัสให้มากขึ้นเราน่าจะได้ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทที่ดีขึ้น ในกรณีการวางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบน



รูปที่ 4.6 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณีที่วางพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทอยู่ด้านบนของการจับวางชิ้นงานแบบซ้อนกัน
ณ กำลังขยายสูงขึ้นไปมองจากด้านของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท

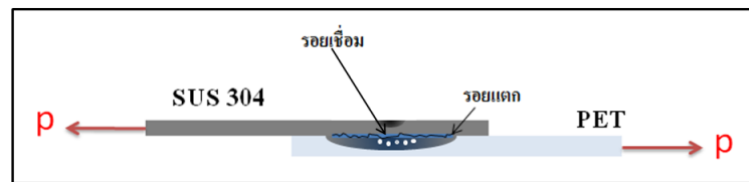
นอกจากนี้จากลักษณะการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมที่พบเราสามารถอธิบายกลไกการแตกหักทั้งสองประการดังแสดงในรูปที่ 4.9 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ กรณีที่ชิ้นงานเกิดการแตกหัก ณ บริเวณรอยเชื่อมตักน่าจะเกิดได้จากสองกรณี คือ ความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานยังไม่เพียงพอต่อการเชื่อมตักที่แข็งแรง หรือ ความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อมมากเกินไปทำให้รอยเชื่อมเสื่อมสภาพมากเกินไปความแข็งแรงของรอยเชื่อมจึงต่ำลงเมื่อทำการดึงชิ้นงานจึงแตกหัก ณ บริเวณรอยเชื่อม ในขณะที่เมื่อปริมาณความร้อนเหมาะสมทำให้รอยเชื่อมมีความสามารถในการรับแรงได้สูงกว่าพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการหลอมเหลวบางส่วนชิ้นงานจึงแตกหัก ณ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทในลักษณะแบบเปราะ



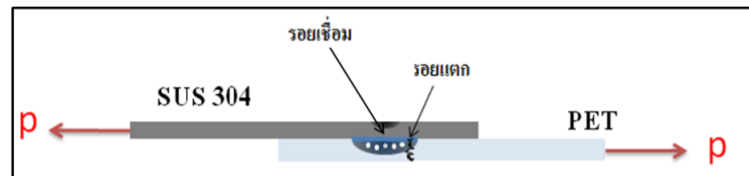
รูปที่ 4.7 ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ณ สภาวะการเชื่อมต่างๆ



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างลักษณะรอยแตกหักของชิ้นงานเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงเนื่อง



ก) กรณีรอยแตกผ่านบริเวณเชื่อมติด

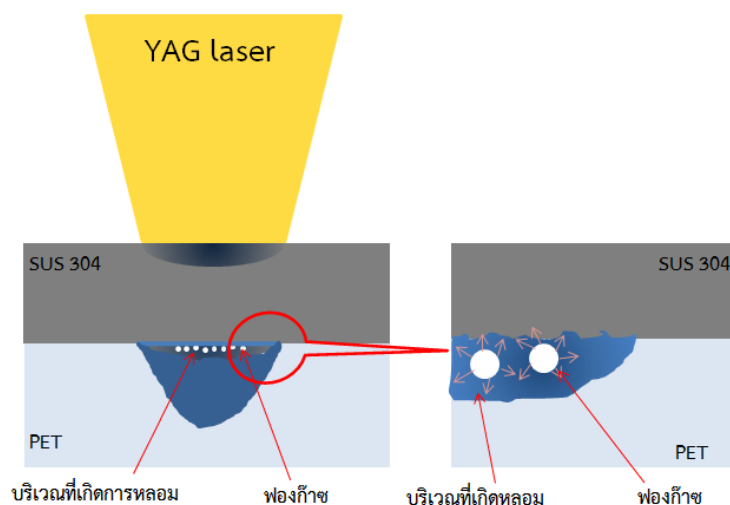


ข) กรณีรอยแตกผ่านพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท

รูปที่ 4.9 กลไกการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมเนื่องจากการทดสอบแรงดึงเฉือน

4.3.4 กลไกการเชื่อมติด

จากผลการทดลองข้างต้นทำให้เราสามารถสรุปได้ว่าแสงเลเซอร์ไม่มีผลต่อการเชื่อมติดแน่นอนเพราะรอยเชื่อมที่ได้จากการวางเหล็กกล้าไร้สนิมไว้ด้านบนมีความแข็งแรงสูงเทียบได้กับการวางชิ้นงานพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไว้ด้านบนขณะเชื่อม และด้วยกลไกการเชื่อมติดที่ Katayama และคณะ (Seiji Katayama et., al., 2008) นำเสนอ นั้นมีแสงเลเซอร์มาเกี่ยวข้อง เพื่อให้กลไกการเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทกรณีเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านบนมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยใคร่ขอนำเสนอกลไกใหม่ซึ่งปรับปรุงจากงานของ Katayama และคณะ (Seiji Katayama et., al., 2008) ดังรูปที่ 4.10 จากรูปที่ 4.10 กลไกการเชื่อมติดมีแนวโน้มจะเกิดจากการที่พลังงานจากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบผิวเหล็กกล้าไร้สนิมเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและความร้อนได้กระจายตัวไปที่พลาสติกทำให้พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทเกิดการหลอมเหลวและสลายตัวเกิดเป็นฟองซึ่งฟองดังกล่าวจะไปดันพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทบริเวณบ่อหลอมของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทให้สัมผัสกับผิวเหล็กกล้าไร้สนิมและช่วยเอื้อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทที่นำมาทำการเชื่อม



รูปที่ 4.10 กลไกการเชื่อมติด

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าเลเซอร์ไม่มีผลโดยตรงในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างผิวเหล็กกล้าไร้สนิมและบ่อหลอมของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทในระหว่างการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทแต่มีผลทางอ้อมในการทำให้การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทสามารถเชื่อมติดกันได้ โดยผลทางอ้อมของแสงเลเซอร์คือแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมร้อนขึ้น และความร้อนนี้เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท

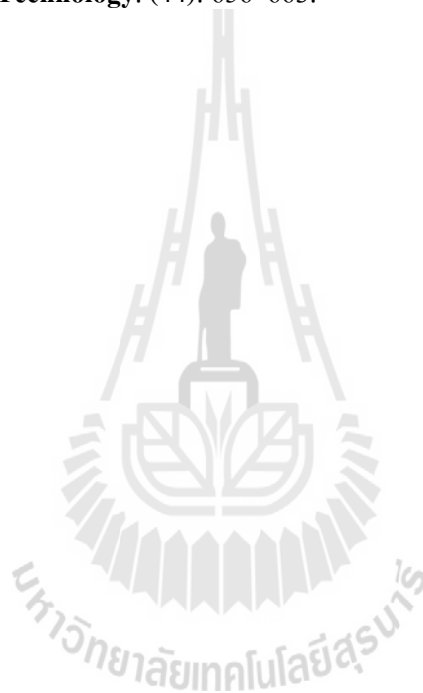
4.5 เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี เคมี1 พ.ศ. 2536 หน้า 97

M. Wahbaa, S. Katayama. (2011). Laser direct joining of AZ91D thixomolded Mg alloy and amorphous polyethylene terephthalate. **Journal of Materials Processing Technology**. (211): 1166–1174.

T. Sultana G.L. Georgie, R.J. Bairda, G.W. Aune, G. Newaz, R. Patwa, H.J. Herfurth. (2009). Study of two different thin film coating methods in transmission laser micro-joining of thin Ti-film coated glass and polyimide for biomedical applications. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**2. pp. 237-242.

- Seiji Katayama and YousukeKawahito (2008). YAG Laser Spot Welding of PET and Metallic Materials. **ScriptaMaterialia**. 59(12): 1247-1250 .
- W. Tillmann, A.Elrefaey, L. Wojarski. (2010). Toward Process optimization in Laser Welding of Metal to Polymer. **Mat.-wiss. u.Werkstofftech**. 41(10): 879-883.
- Xiao Wang, XinhuaSong, MinfengJiang, PinLi, YangHu, KaiWang, HuixiaLiu. (2112). Modeling and optimization of laser transmission joining process between PET and 316 Lstainless steel using response surface methodology. **Optics &LaserTechnology**. (44): 656–663.



บทที่ 5

พลาสติกกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

5.1 บทนำ

ปัจจุบันผู้ผลิตยานยนต์ อาคาร บ้านเรือน เครื่องมือทางการแพทย์ มีความพยายามเลือกใช้วัสดุที่มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ประกอบไปด้วยวัสดุหลายชนิด เมื่อผู้ผลิตประกอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเข้าด้วยกันจึงต้องการเทคโนโลยีการเชื่อมต่อ หนึ่งในเทคโนโลยีการเชื่อมต่อที่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องการอย่างมากในปัจจุบัน คือ การเชื่อมต่อระหว่างโลหะ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม อลูมิเนียมผสม หรือไทเทเนียมผสม ฯลฯ กับพลาสติกประเภทต่างๆ เช่น เทฟลอน-เอฟอีพี (Teflon-FEP) พอลิเอทิลีนเทอทาเลท (Polyethylene terephthalate) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) หรือ อะครีริก (Acrylic) ฯลฯ (Seiji Katayama et., al., 2008, Grigor L. Georgiev et., al., 2009. Xiao Wang et., al., 2010, Furat I. Hussein et., al., 2013) แต่จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ เหล่านี้ยังมีรายงานถึงผลของประเภทของพลาสติกที่ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันต่อการเชื่อมติดระหว่างโลหะกับพลาสติกอยู่น้อย จะมีเพียงแค่การศึกษาของ A. Roesner และคณะที่ศึกษาถึงความคงสภาพของรอยเชื่อมโลหะกับพอลิคาร์บอเนตหลังผ่านการทดสอบการกัดกร่อนซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวระบุว่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมโลหะกับพอลิคาร์บอเนตลดลงเนื่องจากการเกิด micro-crazing (A. Roesner et., al., 2013) ทำให้การพัฒนาพลาสติกเพื่องานเชื่อมจึงมีข้อจำกัด ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำความเข้าใจถึงผลของสมบัติทางกายภาพของพลาสติกต่างๆ ที่มีต่อการเชื่อมติดวัสดุต่างชนิดระหว่างโลหะกับพลาสติก

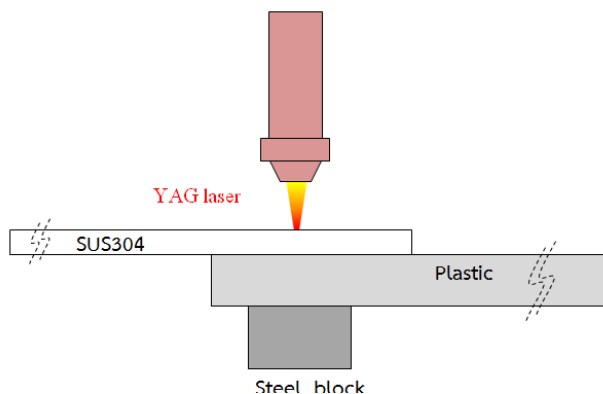
5.2 วิธีการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ดังกล่าวผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิมความหนา 0.5 มิลลิเมตร และพลาสติกแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร จำนวนสามประเภท คือ พอลิเอทิลีนเทอทาเลท พอลิคาร์บอเนต และ อะครีริก ที่มีสมบัติทางกายภาพของพลาสติกแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 5.1 สำหรับขั้นตอนการทดลองเริ่มจากผู้วิจัยได้ตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดมี 75x20 มิลลิเมตร หลังจากนั้นได้ทำความสะอาดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยการเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ นำเหล็กกล้าไร้

สนิมมาวางซ้อนอยู่กับพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 5.1 ทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกด้วยแสงเลเซอร์ประเภท YAG ด้วยเครื่องเชื่อมรุ่น Han's Laser WF300 โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ 200A ที่ power ratio ที่ 60% กำหนดระยะห่างโฟกัส 8 10 และ 12 มิลลิเมตร ความเร็วในการเชื่อมที่ 810 และ 12 มิลลิเมตรต่อวินาทีตามลำดับ ขณะทำการเชื่อมผู้วิจัยให้อาร์กอนก๊าซปกคลุมรอยเชื่อมด้วยอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาทีหลังจากทำการเชื่อมแล้วเสร็จผู้วิจัยได้นำชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกที่ทำการเชื่อมติด มาตรวจสอบระดับมหภาคของชิ้นงานเชื่อมวัดความกว้างของการเชื่อมติด และ ทำการทดสอบแรงดึงเบื้องต้น สำหรับการทดสอบแรงดึงเบื้องต้นนี้ผู้วิจัยได้แบ่งการทดสอบแรงดึงเบื้องต้นเป็นสองลักษณะ คือ ทำการทดสอบแรงดึงเบื้องต้นหลังการเชื่อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงของบริษัท Instron รุ่น 5582 ด้วยความเร็วในการดึง 0.5 มิลลิเมตรต่อนาทีและทิ้งชิ้นงานเชื่อมไว้เป็นเวลา 30 วัน ในบรรยากาศปกติ เมื่อครบ 30 วันแล้วทำการทดสอบแรงดึงเบื้องต้น ชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงของบริษัท Instron รุ่น 5582 หนึ่งการตรวจสอบแรงดึงเบื้องต้นของชิ้นงานที่เก็บไว้ 30 วันนี้จะทดสอบเฉพาะชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลีคาร์บอเนตเท่านั้นเนื่องจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับอะคริลิกนั้นทำได้ยากและเกิดขึ้นสภาวะเดียวซึ่งจะกล่าวเหตุผลต่อไปในผลการทดลอง หลังการทดสอบแรงดึงเบื้องต้นชิ้นงานเชื่อมชิ้นงานเชื่อมที่แตกหักจะถูกตรวจสอบลักษณะการแตกด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 5.1 สมบัติทางกายภาพของพลาสติกต่างๆ และเหล็กกล้าไร้สนิม

วัสดุ	ความหนาแน่น (g/cm ³)	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	อุณหภูมิสภาพแก้วเหลว (°C)	ค่าการนำไฟฟ้า (W/m/K)	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน (10 ⁻⁷ /K)	เคตซึ่ง
พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท	1.38 ^[1]	250 ^[1]	350 ^[1]	67-80 ^[1]	0.15-0.24 ^[1]	70 ^[1]	No ^[5]
พอลีคาร์บอเนต	1.2-1.22 ^[2]	147 ^[2]	>310 ^[2]	150 ^[2]	0.19-0.22 ^[2]	65-70 ^[2]	Serious ^[5]
อะคริลิก	1.18 ^[3]	160 ^[3]	200 ^[3]	82-102 ^[3]	0.17-0.19 ^[3]	70-77 ^[3]	Serious ^[5]
เหล็กกล้าไร้สนิม SuS304	8.00 ^[4]	1,400-1,450 ^[4]	-	-	16.2 ^[4]	172 ^[4]	-



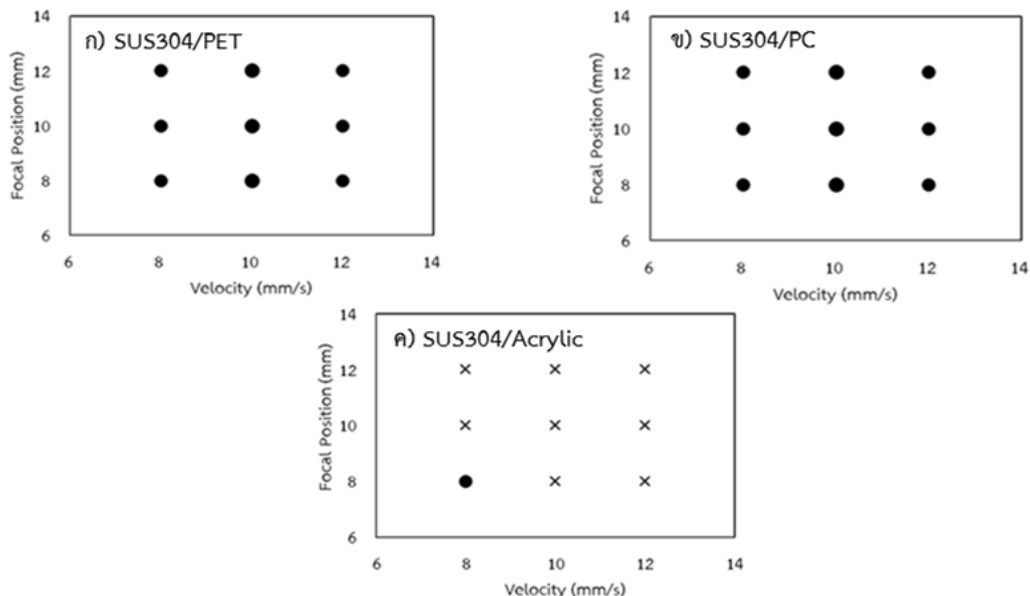
รูปที่ 5.1 ลักษณะการจับวางชิ้นงานสำหรับการเชื่อม

5.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาผลของสมบัติของพลาสติกที่มีต่อความสามารถในการเชื่อมติด และคุณภาพการเชื่อมติด ได้ผลการศึกษาดังมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ความสามารถในการเชื่อมติด

รูปที่ 5.2 แสดงหน้าตัดสถานะการเชื่อมติดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ จากรูปที่ 5.2-กและ 5.2-ข จะเห็นได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถเชื่อมติดกับ พอลิเอทิลีน เทอพาทาเลท และพอลิคาร์บอเนต ได้ทุกสถานะการเชื่อมที่ใช้ในการศึกษา ขณะที่การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับอะครีลิกกับเกิดขึ้นได้ยากและ เกิดการเชื่อมติดเฉพาะสถานะการเชื่อมที่ระยะ โฟกัส 8 มิลลิเมตร และ ความเร็วในการเชื่อม 8 มิลลิเมตรต่อวินาทีเท่านั้นจากผลหน้าตัดการเชื่อมติดดังกล่าวถ้านำสมบัติของพลาสติกทั้งสามมาเทียบกันจะพบว่าทั้ง พอลิเอทิลีน เทอพาทาเลท และพอลิคาร์บอเนต มีจุดเดือดสูงกว่า อะครีลิกอย่างมาก และช่วงห่างของจุดหลอมเหลวกับจุดเดือดของพอลิเอทิลีน เทอพาทาเลท และพอลิคาร์บอเนต ก็กว้างมากเมื่อเทียบกับ จุดเดือดของอะครีลิกที่ต่ำมาก และ ช่วงห่างของจุดหลอมเหลวกับจุดเดือดของอะครีลิกก็แคบมากทำให้อะครีลิกเกิดการระเหยเป็นไอได้ง่ายกว่าและมีจำนวนมากว่าการเชื่อมพลาสติกอื่นๆ และเมื่อก๊าซเกิดขึ้นได้จำนวนมากการกักก๊าซไว้ในรอยเชื่อมในรูปแบบของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีน เทอพาทาเลท และกับพอลิคาร์บอเนตจึงเป็นไปได้ยากยังผลให้การเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับอะครีลิกเกิดขึ้นได้ยาก และเพื่อยืนยันคำอธิบายดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมดังมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.2 หน้าต่างการเชื่อมตีควัดวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ

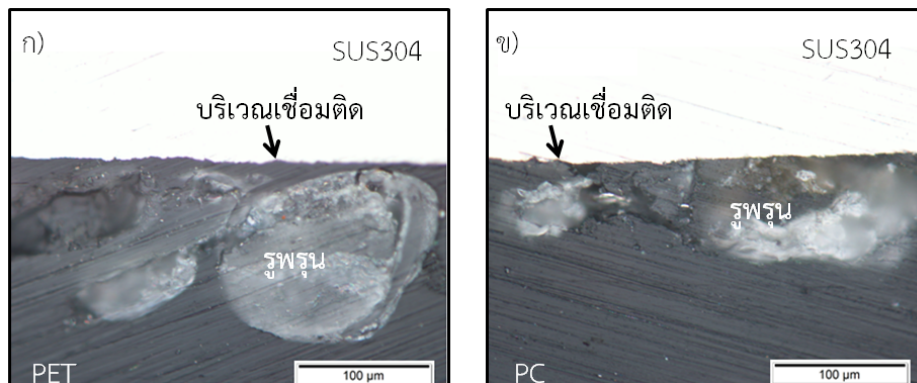
Velocity Joint	8 mm/s	10 mm/s	12 mm/s
SUS304/PET	ก-1 ฟองแก๊ส 	ก-2 ฟองแก๊ส 	ก-3 ฟองแก๊ส
SUS304/PC	ข-1 ฟองแก๊ส 	ข-2 ฟองแก๊ส 	ข-3 ฟองแก๊ส
SUS304/Acrylic	ค-1 ฟองแก๊ส 		

รูปที่ 5.3 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ ณ ระยะโฟกัสในการเชื่อม 8 มิลลิเมตร ความเร็วในการเชื่อมต่างๆ

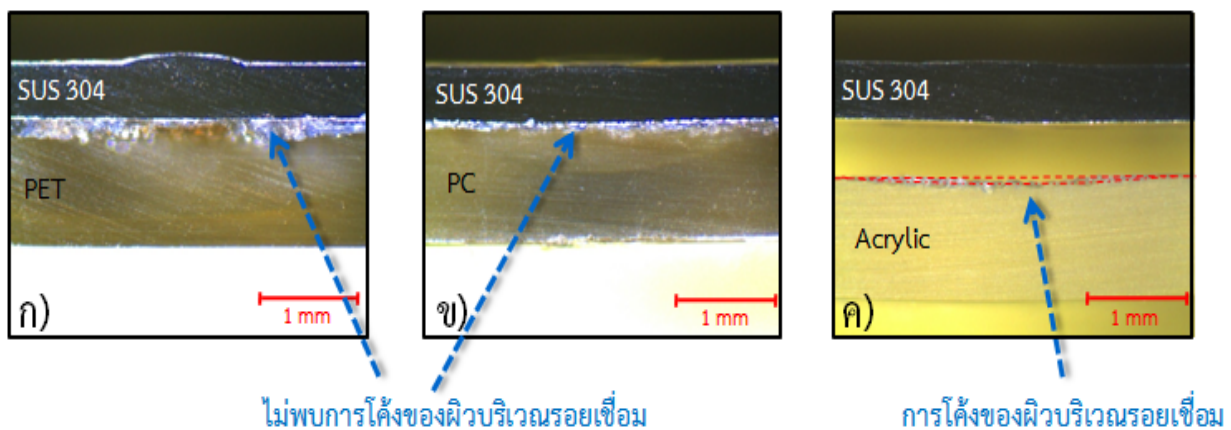
5.3.2 ลักษณะของชิ้นงานเชื่อม

รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าบริเวณรอยเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตในด้านของพลาสติกจะพบฟองแก๊สจำนวนมาก และฟองแก๊สเหล่านั้นไม่ได้เปิดดังแสดงในรูปที่ 5.4 สันนิษฐานได้ว่าเกิดจากการที่ความร้อนจากแสงเลเซอร์ทำให้แผ่นเหล็กกล้าร้อนเกินจุดเดือด หรืออุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกทำให้พลาสติกเกิดการกลายเป็นไอ แต่เนื่องจากการที่มีพลาสติกหลอมเหลวอยู่ข้างล่าง และไอของพลาสติกที่สลายตัวเกาะที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นส่วนใหญ่ทำให้หลังการเชื่อมจึงรูพรุนก๊าซอยู่ และรูพรุนก๊าซเหล่านั้นมีหน้าที่ขดเชยการหดตัวของพลาสติกที่เกิดขึ้นยังผลให้พลาสติกหลอมเหลวกับเหล็กกล้าไร้สนิมจึงมีเวลาพอที่จะเกิดปฏิกิริยากันได้รอยเชื่อมในที่สุด ในอีกด้านหนึ่งรอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมกับอะคริลิกกลับพบฟองแก๊สที่เกิดจากการสลายตัวของอะคริลิกเฉพาะชิ้นงานที่สามารถเชื่อมติด และฟองที่พบมีขนาดเล็กมากดังแสดงในรูปที่ 5.3 แต่เมื่อทำการเชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมที่ใช้พลังงานในการเชื่อมสูงขึ้นกลับพบการยุบตัวของแผ่นอะคริลิกแทนดังแสดงในรูปที่ 5.5-ค เมื่อเทียบการรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และพอลิคาร์บอนเนตที่ไม่มีการยุบตัวดังแสดงในรูปที่ 5.5-ก และ 5.5-ข ซึ่งผู้วิจัยคาดการณ์สาเหตุที่เกิดขึ้นนี้ว่าอะคริลิกเกิดการสลายตัวจำนวนมากเมื่อเทียบกับพลาสติกทั้งสองก่อนหน้าอันเนื่องจากอุณหภูมิการสลายตัวของอะคริลิกต่ำมากเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ใช้ในการทดลองอีกสองชนิด เมื่อเกิดไอจำนวนมากจึงทำให้ไอดังกล่าวสามารถผลัดกันออกจากบริเวณรอยเชื่อมต่อของชิ้นงานเชื่อมขณะเชื่อมได้ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียเนื้อของอะคริลิกจำนวนมากบริเวณรอยเชื่อมด้านอะคริลิกจึงเกิดการยุบตัวลงและเราก็พบหลักฐานว่าอะคริลิกเกิดการกลายเป็นไอดังแสดงในรูปที่ 5.6 จากลักษณะการรอยเชื่อมดังกล่าวที่พบในสองกรณีของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกทั้งสามชนิด เราสามารถสรุปได้ว่าการยุบตัวของพลาสติกมีผลอย่างมากต่อความสามารถในการเชื่อมติดของพลาสติกกับโลหะและการยุบตัวดังกล่าวจะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของพลาสติกที่นำมาทำการเชื่อมอย่างมากดังเช่นที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้

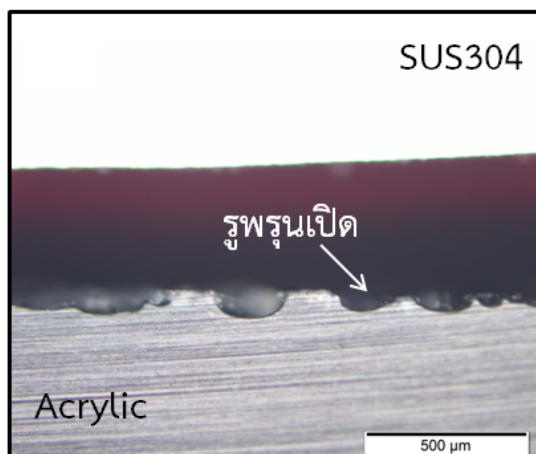
นอกจากนี้จากการตรวจสอบลักษณะรอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และ เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนต ณ สภาวะการเชื่อมเดียวกันรอยเชื่อมเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตจะมีการไหม้มากกว่าที่เป็นเช่นนี้เพราะพอลิคาร์บอนเนตมจุดเดือดต่ำกว่าพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และการไหม้ของพลาสติก ณ บริเวณรอยเชื่อมติดนี้มีผลต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานเชื่อมซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.4 ภาคตัดขวางชิ้นงานเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับ
 ก) พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ข) พอลิคาร์บอเนต ฉ. สภาวะการเชื่อมที่
 โฟกัส 8 มิลลิเมตร และความเร็วในการเชื่อม 12 มิลลิเมตร/วินาที



รูปที่ 5.5 ภาคตัดขวางชิ้นงานเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกต่างๆ



รูปที่ 5.6 ภาคตัดขวางชิ้นงานเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม
กับอะคริลิก ณ สถานะการเชื่อมที่ โฟกัส 8 มิลลิเมตร และ
ความเร็วในการเชื่อม 12 มิลลิเมตร/วินาที

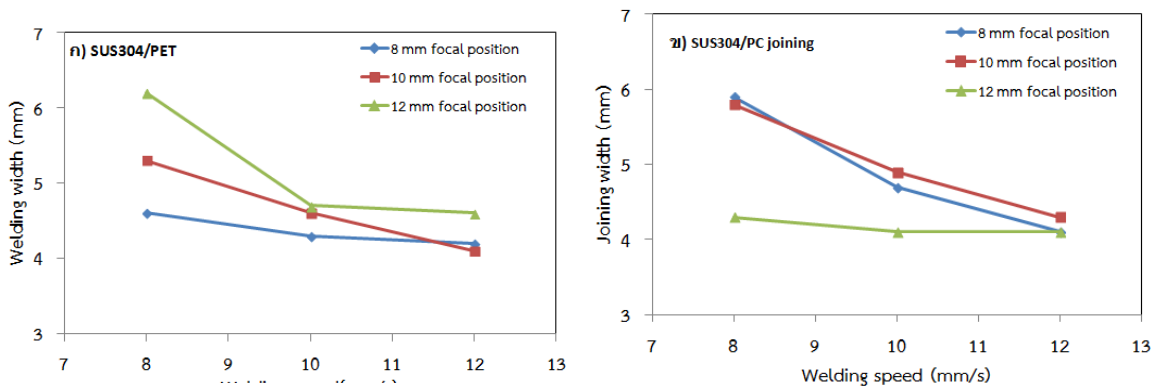
5.3.3 ความกว้างของรอยเชื่อม

นอกจากนี้จากตรวจสอบความกว้างของรอยเชื่อมในกรณีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และกับพอลิคาร์บอนเนต ดังผลการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 5.7 จากรูปจะพบว่าความกว้างรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และกับพอลิคาร์บอนเนตจะมีขนาดกว้างขึ้นเมื่อความเร็วในการเชื่อมน้อยลง และในกรณีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทระยะห่างของโฟกัสกับผิวชิ้นงานยิ่งมากขึ้นทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมมีแนวโน้มกว้างมากขึ้น ในขณะที่ความกว้างของรอยเชื่อมติดของเหล็กกล้าไร้สนิมกับมีแนวโน้มแคบลงเมื่อระยะห่างโฟกัสกับผิวชิ้นงานสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจากผลทางความร้อนที่ไหลลงสู่พลาสติกกล่าวคือ เมื่อความร้อนลงสู่ชิ้นงานมากขึ้น (กรณีการเชื่อมด้วยความเร็วในการเชื่อมต่ำๆ) จะทำให้บริเวณที่พลาสติกมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกกว้างขึ้น จึงทำให้ได้รอยเชื่อมที่กว้างขึ้น นอกจากนี้เมื่อขนาดของพื้นที่ที่แสงเลเซอร์ที่ลงสู่ชิ้นงานไม่เท่ากัน (ระยะห่างของโฟกัสกับผิวชิ้นงานไม่เท่ากัน) การกระจายความร้อนบนผิวชิ้นงาน ณ รอยต่อของพลาสติกกับโลหะไม่เหมือน และกoppelกับอุณหภูมิการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอของพลาสติกแต่ละชนิดไม่เท่ากันจึงทำให้ความกว้างบริเวณดังกล่าวมีแปลงเปลี่ยนไปไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนดังที่พบเมื่อทำการเปรียบเทียบผลของระยะโฟกัสในสองกรณีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก

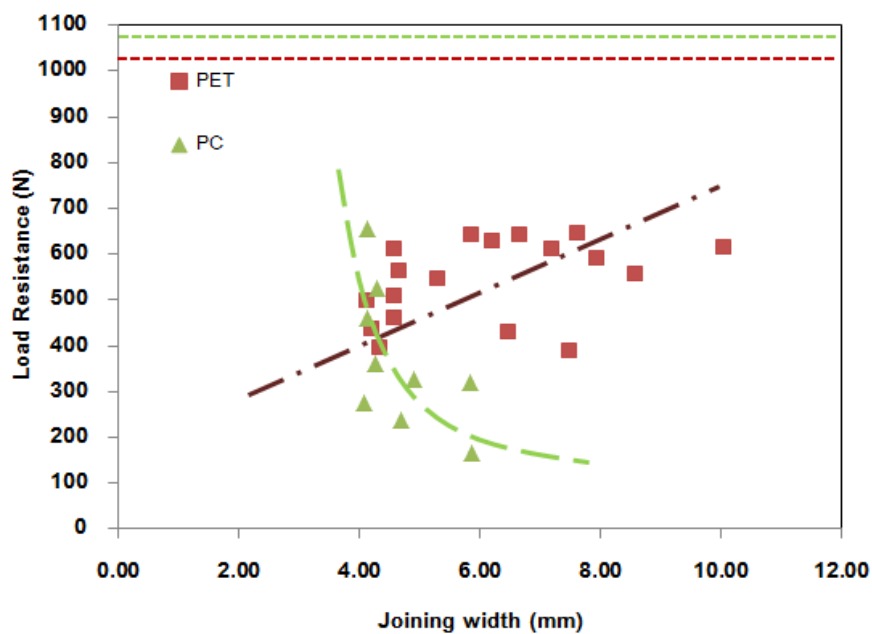
5.3.4 ความสามารถในการรับแรงของรอยเชื่อม

ก) 1 ชั่วโมงหลังการเชื่อม

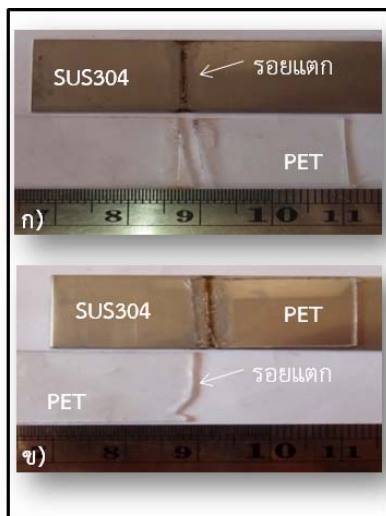
รูปที่ 5.8 แสดงผลการทดสอบแรงดึงเดือนของชิ้นงานเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และกับพอลิคาร์บอเนตเทียบกับความกว้างของรอยเชื่อมหลังการเชื่อมทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงจากรูปจะเห็นได้ว่าในกรณีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานเชื่อมเพิ่มขึ้นตามความกว้างของรอยเชื่อมเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความกว้างของรอยเชื่อมที่เพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งบ่งชี้ว่าความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อมลดลงเล็กน้อยเมื่อความกว้างของรอยเชื่อมมากขึ้น สำหรับกรณีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตกลับพบว่าความสามารถในการรับแรงลดลงอย่างมากเมื่อความกว้างของรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้นแสดงว่าความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อมลดลงอย่างมาก เหตุที่ความแข็งแรงของรอยเชื่อมลดลงน่าจะเกิดจากการสภาวะที่รอยเชื่อมกว้างมากขึ้นจะเกิดในกรณีที่ความร้อนที่ลงสูงชิ้นงานเชื่อมมีปริมาณมาก เมื่อความร้อนลงสู่ชิ้นงานมากขึ้นทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพในปริมาณที่สูงขึ้น และยังเห็นได้ชัดเจนเมื่อพลาสติกมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำเช่นในกรณีการเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตเมื่อเทียบกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ซึ่งเราสามารถเหตุได้จากรอยแตกหักของชิ้นงานเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงเดือนที่ เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทมีการแตกหักสองกรณี คือ การแตกหัก ณ บริเวณรอยเชื่อมที่เกิดเมื่อสภาวะการเชื่อมให้ความร้อนน้อย และการแตกหักที่พลาสติกแบบเปราะเกิดกับชิ้นงานเชื่อมที่ได้จากสภาวะการเชื่อมที่ให้ความร้อนลงสู่ชิ้นงานมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.9 แต่ในกรณีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตนั้นมีการแตกหักแบบเดียวดังรูปที่ 5.10 ที่รอยแตกหักเกิดที่รอยเชื่อมต่อที่มีการไหม้เล็กน้อย ซึ่งสาเหตุของการไหม้มีเล็กน้อย ณ สภาวะการเชื่อมเดียวกันนี้น่าจะได้รับอิทธิพลจากสมบัติทางกายภาพของพลาสติก โดยเฉพาะจุดเดือดของพลาสติก



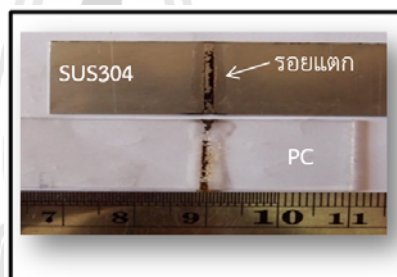
รูปที่ 5.7 ความกว้างของรอยเชื่อมกับความเร็วและระยะโฟกัสในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับก) พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และ ข) พอลิคาร์บอเนต



รูปที่ 5.8 ความสามารถในการรับแรงของรอยเชื่อมกับความกว้างของรอยเชื่อม



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างรอยแตกหักที่พบในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท

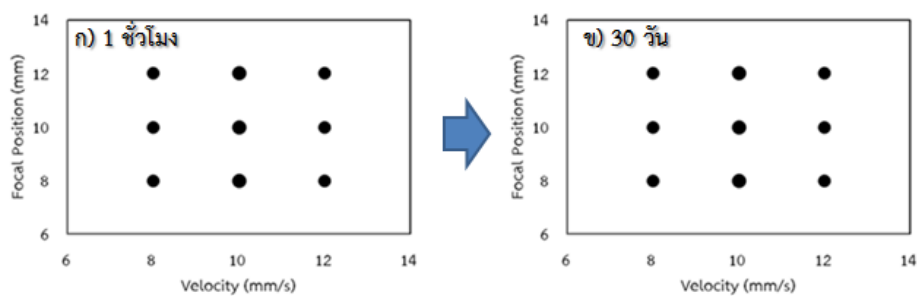


รูปที่ 5.10 ตัวอย่างรอยแตกหักที่พบในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนต

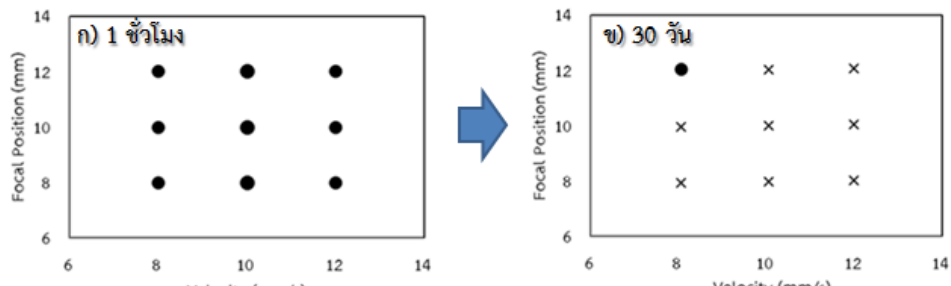
ข) 30 วันหลังการเชื่อม

เพื่อทำการทดสอบความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกสองชนิด คือ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท แล พอลิคาร์บอนเนต ผู้วิจัยได้ทดลองทิ้งชิ้นงานเชื่อมไว้เป็นเวลา 30 วันก่อนการนำมาทำการทดสอบแรงดึงเดือนอีกครั้ง จากการทดลองผู้วิจัยพบว่าชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทหลังทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วันชิ้นงานเชื่อมยังไม่มีรอยแตกหักเองดังแสดงในรูปที่ 5.11 แต่ในทางกลับการชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตกลับพบการแตกหักของชิ้นงานเองหลังการทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 5.12 และลักษณะการแตกหักแสดงดังรูปที่ 5.13-ก นอกจากนี้เมื่อผู้วิจัยนำชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทเมื่อทิ้งไว้ 30 วันแล้วทดสอบแรงดึงเดือน และทำการเปรียบเทียบ

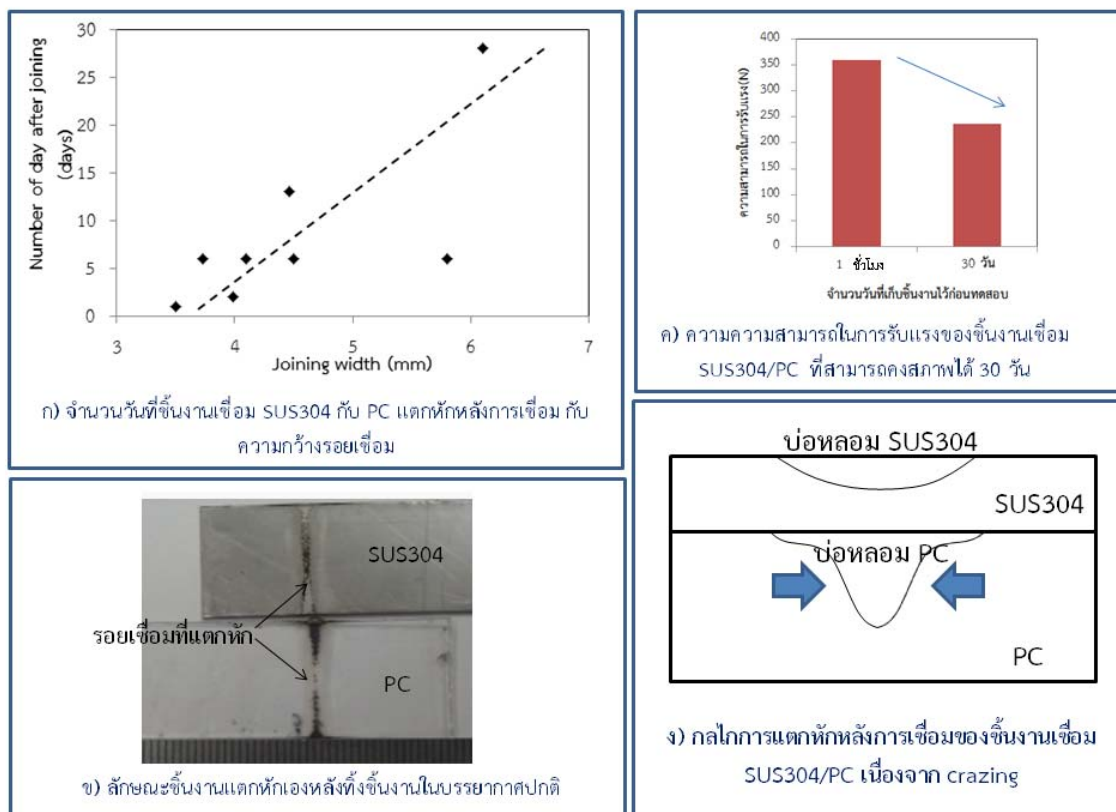
ความสามารถในการรับแรงดึงเดือนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท ในสภาวะการเชื่อมเดียวกันพบว่าความสามารถในการรับแรงดึงเดือนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 5.14 ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราทำการทดสอบแรงดึงเดือนกับชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตที่ยังคงสภาพได้ 30 วัน เราจะพบว่าความสามารถในการรับแรงดึงเดือนของชิ้นงานลดลงเกือบครึ่งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 5.13-ค และเมื่อนำจำนวนวันที่ชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตที่เกิดการแตกหักมาเปรียบเทียบกับความกว้างรอยเชื่อมพบว่ารอยเชื่อมที่กว้างอายุของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตมีมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.12-ก จากผลการทดลองดังกล่าวที่ชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตเกิดการแตกหักหลังการเชื่อมผู้วิจัยสันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากการที่พอลิคาร์บอนเนตมีพฤติกรรมที่เกิดการเคาะซิง หรือการคลายตัวหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนทำให้เกิดความเครียดขึ้นที่รอยเชื่อมเมื่อทิ้งชิ้นงานเชื่อมไว้สักระยะ และเมื่อความเครียดสูงเกินค่าที่ชิ้นงานรับได้ชิ้นงานจึงเกิดการแตกหัก สำหรับสาเหตุมีอายุของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตนั้นขึ้นกับความกว้างของรอยเชื่อมผู้วิจัยคาดการณ์ว่าน่าจะเป็นผลของบริเวณกระทบร้อนของพลาสติกมีความสำคัญต่อความเครียดที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.13-ง



รูปที่ 5.11 หน้าต่างความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท

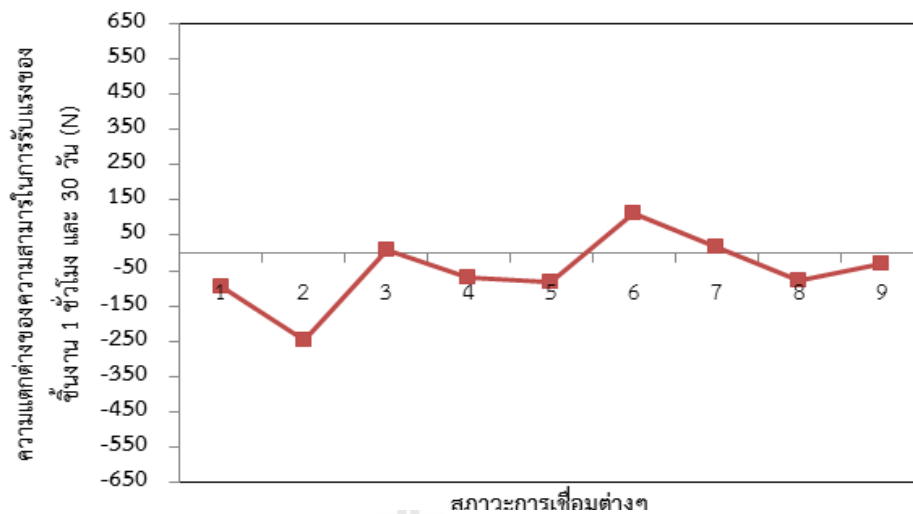


รูปที่ 5.12 หน้าต่างความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนต



รูปที่ 5.13 ก) อิทธิพลของความกว้างรอยเชื่อมต่อความคงทนของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนต

ข) ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตหลังการตั้งไว้ ค) ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนตที่คงสภาพ 30 วัน ง) กลไกการแตกหักเนื่องจากเกิดช่องในชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอนเนต



รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานที่แตกต่างกันของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลททิ้งไว้ 1 ชั่วโมงกับ 30 วัน ณ สภาวะการเชื่อมต่างๆ

5.4 สรุปผลการทดลอง

จากการเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 กับพลาสติก 3 ชนิดคือ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนต และ อะคริลิก โดยใช้สภาวะในการเชื่อมแตกต่างกัน ทำให้เราได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

- 1) การยุบตัวของชิ้นงานพลาสติกที่เกิดขณะทำการเชื่อมอันเนื่องจากการกลายเป็นไอของพลาสติกส่งผลต่อการเชื่อมติดของพลาสติกกับเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมาก ถ้าไอที่เกิดขึ้นไม่มากและยังเกาะอยู่ที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม จะช่วยให้การเชื่อมติดเกิดได้ง่าย เช่นในการเชื่อม พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และพอลิคาร์บอเนต กับเหล็กกล้าไร้สนิม แต่ถ้าไอเกิดขึ้นมากและสามารถหนีออกจากบริเวณเชื่อมได้ทำให้ชิ้นงานยุบตัวการเชื่อมติดจะดำเนินไปอย่างยากลำบากดังเช่นการเชื่อมอะคริลิกกับเหล็กกล้าไร้สนิม โดยการยุบตัวของพลาสติกนี้น่าจะได้อิทธิพลจากจุดเดือดและระยะห่างของจุดหลอมเหลวและจุดเดือดอย่างมาก
- 2) จุดเดือดมีผลต่อการเสื่อมสภาพของพลาสติกอย่างมาก โดยพลาสติกที่มีจุดเดือดต่ำเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าพลาสติกที่มีจุดเดือดสูง และการเสื่อมสภาพของพลาสติกนี้มีผลต่อสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมติดอย่างมาก

3) สมบัติการเกิดเคตซึ่งมีผลต่อการแตกหักหลังการเชื่อมติดของชิ้นงานเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญดังจะเห็นได้จากกรณีที่ชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตซึ่งเป็นพลาสติกที่เกิดเคตซึ่งได้เกิดการแตกหักหลังการเชื่อมติดเป็นเวลาต่างๆ และระยะเวลาการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมน่าจะขึ้นกับขนาดของบริเวณกระทบร้อนในชิ้นงานพลาสติก

5.5 เอกสารอ้างอิง

- A. Roesner, A. Olowinsky, A. Gillner.(2013). Long term stability of laser joined plastic metal parts. **Physics Procedia** (41): 169 – 171
- Furat I. Hussein, E. Akman, B. Genc Oztoprak, M. Gunes, O. Gundogdu, E. Kacar, K. I. Hajim, A. Demir. (2013). Evaluation of PMMA joining to stainless steel 304 using pulsed Nd:YAG laser. **Optics & Laser Technology** (49): 143–152.
- Grigor L. Georgiev, Ronald J. Baird, Erik F. McCullen, Golam Newaz, Gregory Auner, Rahul Patwa, Hans Herfurth. (2009). Chemical bond formation during laser bonding of Teflon1 FEP and titanium. **Applied Surface Science**. (V)255: 7078-7083
- Seiji Katayama and Yousuke Kawahito (2008). YAG Laser Spot Welding of PET and Metallic Materials. **Scripta Materialia**. 59(12): 1247-1250 .
- Xiao Wang, Pin Li, Zhenkai Xu, Xinhua Song, Huixia Liu. (2010). Laser transmission joint between PET and titanium for biomedical application. **Journal of Materials Processing Technology**. V(210): 1767-1771.

บทที่ 6

บทสรุปการศึกษา

ปัจจุบันโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ล้วนแล้วแต่เป็นโครงสร้างผสม หรือ โครงสร้างที่ทำจากวัสดุหลายชนิด จึงทำให้ปัจจุบันมีความต้องการเทคโนโลยีการเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิด โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะกับพลาสติกรูปทรงแผ่น จากการศึกษาการศึกษาต่างๆ ก่อนหน้าพบว่า อิทธิพลของแสงเลเซอร์ต่อการเชื่อมติด และอิทธิพลของสมบัติของพลาสติกต่อการเชื่อมติดและคุณภาพชิ้นงานเชื่อมยังไม่ค่อยเป็นที่เข้าใจมากนัก ดังนั้นการศึกษานี้จึงพยายามศึกษาเพื่อตอบข้อสงสัยดังกล่าว และจากการศึกษาได้สรุปผลการศึกษาได้มีรายละเอียดดังนี้

1) เลเซอร์ไม่มีผลโดยตรงในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างผิวเหล็กกล้าไร้สนิมและบ่อหลอมของพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทในระหว่างการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทแต่มีผลทางอ้อมในการทำให้การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลทสามารถเชื่อมติดกันได้ โดยผลทางอ้อมของแสงเลเซอร์คือ แสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมร้อนขึ้น และความร้อนนี้เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท

2) จากการศึกษาวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 กับพลาสติกสามชนิดคือ พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท พอลิคาร์บอเนต และ อะคริลิก โดยใช้สภาวะในการเชื่อมแตกต่างกัน ทำให้เราได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

ก) การยุบตัวของชิ้นงานพลาสติกที่เกิดขณะทำการเชื่อมอันเนื่องจากการกลายเป็นไอของพลาสติกส่งผลต่อการเชื่อมติดของพลาสติกกับเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมาก ถ้าไอที่เกิดขึ้นไม่มากและยังเกาะอยู่ที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม จะช่วยให้การเชื่อมติดเกิดได้ง่าย เช่นในการเชื่อม พอลิเอทิลีนเทอพาทาเลท และพอลิคาร์บอเนต กับเหล็กกล้าไร้สนิม แต่ถ้าไอเกิดขึ้นมากและสามารถหนีออกจากบริเวณเชื่อมได้ทำให้ชิ้นงานยุบตัวการเชื่อมติดจะดำเนินไปอย่างยากลำบากดังเช่นการเชื่อมอะคริลิกกับเหล็กกล้าไร้สนิม โดยการยุบตัวของพลาสติกนี้น่าจะได้อิทธิพลจากจุดเดือดและระยะห่างของจุดหลอมเหลวและจุดเดือดอย่างมาก

ข) จุดเดือคมผลต่อการเสื่อมสภาพของพลาสติกอย่างมาก โดยพลาสติกที่มีจุดเดือดต่ำเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าพลาสติกที่มีจุดเดือดสูง และการเสื่อมสภาพของพลาสติกนี้มีผลต่อสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมติดอย่างมาก

ค) สมบัติการเกิดเคตซึ่งมีผลต่อการแตกหักหลังการเชื่อมติดของชิ้นงานเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญดังจะเห็นได้จากการที่ชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับพอลิคาร์บอเนตซึ่งเป็นพลาสติกที่เกิดเคตซึ่งได้เกิดการแตกหักหลังการเชื่อมติดเป็นเวลาต่างๆ และระยะเวลาการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมน่าจะขึ้นกับขนาดของบริเวณกระทบร้อนในชิ้นงานพลาสติก



รายการอ้างอิง

- คณะอนุกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี เคมี1 พ.ศ. 2536 หน้า 97
- วิริยะ ทองเรือง., วิศวกรรมพอลิเมอร์.(2554) Deformation dilatometer : (Polymer Engineering) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- A. Einstein, On the Quantum Theory of Radiation. (1960). **Physikalische Zeitschrift** : 63-77.
- Aristech Acrylics LLC. **Stress Crazing On Acrylic Surfaces And Its Causes. 1-3.**
- A. Roesner, A. Olowinsky, A. Gillner.(2013). Long term stability of laser joined plastic metal parts. **Physics Procedia** (41): 169 – 171
- E. G. Rukhlya., L. M. Yarysheva., A. L. Volynskii., and N. F. Bakeev.(2009). The Effect of Strain Rate on Solvent Crazing of Poly (ethylene terephthalate) in Solutions of Poly (ethylene oxide) of Various Molecular Masses1. pp. 614-616
- E Woisetschlaeger. (2001). **Materials for Future Automotive Body Structures.** pp. 130.
- Furat I. Hussein, E. Akman, B. Genc Oztoprak, M. Gunes, O. Gundogdu, E. Kacar, K. I. Hajim, A. Demir. (2013). Evaluation of PMMA joining to stainless steel 304 using pulsed Nd:YAG laser. **Optics & Laser Technology** (49): 143–152.
- G. Labeas, I. Diamantakos. (2013). Laser beam welding residual stresses of cracked T joints. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics.** pp. 63-76.
- G. L. Georgiev, T. Sultana, G. Auner, G. Newaz, R. J. Baird, R. Patwa, H. Herfurth. (2009). Laser bonding and characterization of Kapton and Teflon. **J Mater Sci.** (44): 882-888.
- Grigor L. Georgiev, Ronald J. Baird, Erik F. McCullen, Golam Newaz, Gregory Auner, Rahul Patwa, Hans Herfurth. (2009). Chemical bond formation during laser bonding of Teflon FEP and titanium. **Applied Surface Science.** (V)255: 7078-7083

- <http://www.azom.com>. **Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)**. Available :
<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=965>.
- <http://www.cepolina.com>. **Rover Mini Cooper front light** . Available :
<http://www.cepolina.com/photo/transport/car/Rover/2/Rover-Mini-Cooper-front-light.jpg>.
- <http://www.eolss.net> . **sample chapters** . Available : <http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-171-07-00.pdf>. January 13, 2014.
- <http://www.forcetechnology.com>. **Laser welding of plastics weld compatibility investigati** Available : <http://www.forcetechnology.com/NR/rdonlyres/9F2C80AE-467F-49E4-B8C5-88C2E519F09E/5297/Laserweldingofplasticsweldcompatibilityinvestigati.pdf>. January 13, 2014.
- <http://www.nakhamwit.ac.th>. **พอลิเมอร์** Available :
http://www.nakhamwit.ac.th/pingpong_web/Polymer.htm.
- <http://www.pusate.exteen.com>. **ข้อเข้าเทียบชนิดพิเศษ** Available :
<http://pusate.exteen.com/20090801/entry-6>.
- <http://www.siamwoodmall.com>. **ระแนงกันแดด** Available :
http://www.siamwoodmall.com/images/column_1310553086/005.jpg.
- M. Wahbaa, S. Katayama. (2011). Laser direct joining of AZ91D thixomolded Mg alloy and amorphous polyethylene terephthalate. **Journal of Materials Processing Technology**. (211): 1166–1174.
- Mladen Sercer, Pero Raos. (2010). Joining of Plastics and Composites, **Welding Engineering and Technology**. pp. 1-31.
- Roberto Spina and Luigi Tricarico. (2010). Laser Welding of Aluminium-Steel Clad Materials for Naval Applications. **LASER WELDING**. pp. 79-106.
- Ronal G.Kander,Chair.,EdmundG.Henneke., Noman Dowling., Brian J.Love., SurofThangjitham. (2000). **Characterization of crazing properties of polycarbonate**. 13.
- Seiji Katayama and YousukeKawahito (2008). YAG Laser Spot Welding of PET and Metallic Materials. **ScriptaMaterialia**. 59(12): 1247-1250 .

- Swearingen et al. (1972). Joining of plastic/metal foil laminates. *Joining of plastic/metal foil laminates* US 3762028A. **United States Patent** . No: 229,325.
- Theodor H. Maiman, Stimulated Optical Radiation in Ruby. **Nature**. (187): 493–494.
- T. Sultana G.L. Georgie, R.J. Bairda, G.W. Aune, G. Newaz, R. Patwa, H.J. Herfurth. (2009). Study of two different thin film coating methods in transmission laser micro-joining of thin Ti-film coated glass and polyimide for biomedical applications. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials** 2. pp. 237-242.
- V. Mamuschkin, A. Roesner, M. Aden. (2013). Laser transmission welding of white thermoplastics with adapted wavelength. **Physics Procedia**. (41): 172-179.
- West Conshohocken PA. (1981). Joining of Composite Materials. **ASTM International**
- W. Tillmann, A. Elrefaey, L. Wojarski. (2010). Toward Process optimization in Laser Welding of Metal to Polymer. **Mat.-wiss. u. Werkstofftech**. 41(10): 879-883.
- Xiao Wang, Pin Li, Zhenkai Xu, Xinhua Song, Huixia Liu. (2010). Laser transmission joint between PET and titanium for biomedical application. **Journal of Materials Processing Technology**. V(210): 1767-1771.
- Xiao Wang, Xinhua Song, Minfeng Jiang, Pin Li, Yang Hu, Kai Wang, Huixia Liu. (2012). Modeling and optimization of laser transmission joining process between PET and 316 L stainless steel using response surface methodology. **Optics & Laser Technology**. (44): 656–663.
- Y.S. Yang, S.H. Lee. (1999). A study on the joining strength of laser spot welding for automotive application. **Journal of Materials Processing Technology**. pp. 151-156.
- Yasuo Kurosaki, Kimitoshi Satoh. (2010). A fiber laser welding of Plastics Assisted by transparent solid heat sink to prevent the surface thermal damages. **Physics Procedia**. (5): 173-181.
- Y. Miyashita, M. Takahashi, M. Takemi, K. Oyama, Y. Motoh, H. Tanaka. (2009). Dissimilar Materials Micro Welding between Stainless Steel and Plastics by Using Pulse YAG Laser. **Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering**. Vol 3(2).

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

วิชาญ วีรชัยสุนทร รัตน์ บริสุทธิกุล. (2556).การเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 (CST-561). วันที่ 16-18 ตุลาคม 2556. มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย.

วิชาญ วีรชัยสุนทร ชานนท์ นุนนท์ รัตน์ บริสุทธิกุล. (2556).การเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ ด้วยแสงเลเซอร์.การประชุมวิชาการทางโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. ตุลาคม 2556. จังหวัดกระบี่ ประเทศไทย.



ประวัติผู้เขียน

นายวิชาญ วีรชัยสุนทร เกิดวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดนครราชสีมา บิดาชื่อ นาย ชั่วอู๋ แซ่เตี๋ย มารดาชื่อนางสุน แซ่เตี๋ย สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมจากโรงเรียนชุมชนหะวัน วิทยาคาร จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2524 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนปัทมรังษีประชานิรมิต จังหวัดนครราชสีมา และจบการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง ในปีการศึกษา 2532 จากวิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2546 และในปีการศึกษา 2551 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระหว่างการศึกษาได้ทำงานใน ตำแหน่งหัวหน้ากลุ่มงานวิศวกรรมโลหการและกระบวนการผลิตในศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ปัจจุบัน) และได้มีบทความตีพิมพ์เผยแพร่จากบทความวิจัย “การเชื่อมวัสดุต่างชนิด ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติก ” ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 และ “การเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับพลาสติกชนิดต่างๆ ด้วยแสงเลเซอร์” ในการประชุมวิชาการทางโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7