



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชั้นกาวบางต่อการเสียรูป
และการล้าของรอยเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ

THE EFFECT OF THIN ADHESIVE LAYER TO THE
DISTORTION AND FATIGUE OF RIVETED LAP JOINT

โดย อ.ดร. ชงชัย ฟองสมุทร และ คณะ

สิงหาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชั้นกาวบางต่อการเสียรูปและการล้าของรอยเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ
THE EFFECT OF THIN ADHESIVE LAYER TO THE DISTORTION
AND FATIGUE OF RIVETED LAP JOINT

คณะผู้วิจัย

สังกัด

อ. ดร. ชงชัย ฟองสมุทร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ. ตะวัน สุจริตกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Professor Carol A. Rubin

Mechanical Engineering Department, Vanderbilt
University, Nashville, Tennessee, USA

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัยในโครงการนี้ตลอดระยะเวลา 2 ปี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยนี้ ไม่ว่าจะเป็นการใช้พื้นที่เพื่อทำการวิจัย รวมทั้งสาธารณูปโภคต่างๆ

ขอขอบคุณ อ. ดร. เจริญยุทธ เดชวายุกุล อ. ดร. วิริยะ ทองเรือง อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ข้อเสนอแนะ และสนับสนุน เครื่องมือทดสอบในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านเครื่องมือทดสอบ

สุดท้าย ขอขอบคุณ ทุกๆ ท่านที่ยังเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำวิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
สารบัญ	ii
สารบัญรูป	iv
สารบัญตาราง	ix
บทคัดย่อ	1
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 ที่มาและเหตุผล	3
1.2 วัตถุประสงค์	4
บทที่ 2 การศึกษาข้อมูลงานที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กลุ่มที่ทำการศึกษารายต่อที่ใช้กาว	5
2.2 กลุ่มที่ทำการศึกษารายต่อที่ใช้หมุดย้ำ	8
2.3 กลุ่มที่ทำการศึกษารายต่อที่ใช้ทั้งหมุดย้ำและกาว	9
2.4 สรุป	
บทที่ 3 ขั้นตอนการทำการทดลองและการวิเคราะห์	11
3.1 ขั้นตอนการทำการทดลอง	11
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยการคำนวณทางคอมพิวเตอร์	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	29
4.1 ผลจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกาว	29
4.2 ผลจากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์	32
4.3 ผลจากการทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง	52
4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 5 วิจัยผลลัพธ์	59
บทที่ 6 สรุปผล	62
 Output จากโครงการ	 64
 ภาคผนวก	 65
ภาคผนวก ก. TALA method	66
ภาคผนวก ข. ตัวอย่าง ไฟล์ Input	68
 บรรณานุกรม	 77

สารบัญรูป

รูปที่		หน้าที่
รูปที่ 1.1	หมุดย้ำแบบหัวมาตรฐานทั้งสองข้าง	3
รูปที่ 3.1	ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกาวโดยรับแรงดึง	13
รูปที่ 3.2	ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกาวโดยรับแรงเฉือน	13
รูปที่ 3.3	ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างหมุดย้ำ 30.6 มิลลิเมตร	14
รูปที่ 3.4	ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างหมุดย้ำ 38.1 มิลลิเมตร	15
รูปที่ 3.5	ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างหมุดย้ำ 50.8 มิลลิเมตร	15
รูปที่ 3.6	ลักษณะการติดตั้ง Extensometer	18
รูปที่ 3.7	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อโดยรวม	20
รูปที่ 3.8	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	21
รูปที่ 3.9	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	21
รูปที่ 3.10	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	22
รูปที่ 3.11	ตำแหน่งสปริงอีลิเมนต์	22
รูปที่ 3.12	การเอียงของหมุดย้ำ	24
รูปที่ 3.13	ค่าระยะการเปิดของขอบรอยต่อ	25
รูปที่ 3.14	S-N Curve สำหรับ Al 7075-T6	27
รูปที่ 3.15	การประมาณอายุการใช้งาน	28
รูปที่ 4.1	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงดึงและกด กาวอีพ็อกซีเรซินคาร์บอนไฟเบอร์	29
รูปที่ 4.2	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงเฉือน กาวอีพ็อกซีเรซินคาร์บอนไฟเบอร์	30
รูปที่ 4.3	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงดึงและกด กาวอีพ็อกซีเรซินคาร์บอนไฟเบอร์	30
รูปที่ 4.4	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงเฉือน กาวอีพ็อกซีเรซินคาร์บอนไฟเบอร์	31

สารบัญรูป (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
รูปที่ 4.18	การกระจายของความเค้น Von Mises ของรอยต่อ ในกรณีที่ไม่ทาการ ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	40
รูปที่ 4.19	การกระจายของความเค้นในแนวแกนของรอยต่อ ในกรณีที่ทำด้วย กาวอาร์ลไคท์สตีล ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 4.20	การกระจายของความเค้น Von Mises ของรอยต่อ ในกรณีที่ทำด้วย กาวอาร์ลไคท์สตีล ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 4.21	การกระจายของความเค้นในแนวแกนของรอยต่อ ในกรณีที่ทำด้วย กาวอาร์ลไคท์สแตนครัท ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.22	การกระจายของความเค้น Von Mises ของรอยต่อ ในกรณีที่ทำด้วย กาวอาร์ลไคท์สแตนครัท ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.23	ค่าความเค้นในแนวแกนรอบรูหมุดยึด สำหรับกรณีระยะห่าง ระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	43
รูปที่ 4.24	ค่าความเค้นในแนวแกนรอบรูหมุดยึด สำหรับกรณีระยะห่าง ระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.25	ค่าความเค้นในแนวแกนรอบรูหมุดยึด สำหรับกรณีระยะห่าง ระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.26	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่ไม่มีการทาการ สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	46
รูปที่ 4.27	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่ไม่มีการทาการ สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	46
รูปที่ 4.28	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่ไม่มีการทาการ สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	47
รูปที่ 4.29	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่มีการทาการอาร์ลไคท์สตีล สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึด เท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
รูปที่ 4.30	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้า ในกรณีของรอยต่อที่มีการทากาวอารัลไคท์สตีล สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	48
รูปที่ 4.31	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้า ในกรณีของรอยต่อที่มีการทากาวอารัลไคท์สตีล สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	48
รูปที่ 4.32	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้า ในกรณีของรอยต่อที่มีการทากาวอารัลไคท์สแตนดาร์ด สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	49
รูปที่ 4.33	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้า ในกรณีของรอยต่อที่มีการทากาวอารัลไคท์สแตนดาร์ด สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	49
รูปที่ 4.34	การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้า ในกรณีของรอยต่อที่มีการทากาวอารัลไคท์สแตนดาร์ด สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	50
รูปที่ 4.35	ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของความเค้นเทียบกับระยะห่างระหว่างหมุดย้า และ ประเภทของกาว	51
รูปที่ 4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยืดของรอยต่อสำหรับชิ้นงานระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	53
รูปที่ 4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยืดของรอยต่อสำหรับชิ้นงานระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	53
รูปที่ 4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยืดของรอยต่อสำหรับชิ้นงานระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	54
รูปที่ 4.39	ผังความเค้นและความเครียด กรณีระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	56
รูปที่ 4.40	ผังความเค้นและความเครียด กรณีระยะห่างระหว่างหมุดย้าเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
รูปที่ 4.41	ผังความเค้นและความเครียด กรณีระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	57
รูปที่ ก.1	การใช้สปริงอีลิเมนต์แทนชั้นกาว	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดของชิ้นงานตัวอย่าง	16
ตารางที่ 3.2	รายละเอียดของแบบจำลองทางระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	23
ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของกาว อารัลไดท์แสดนคาร์ท และ กาวอารัลไดท์สตีล	31
ตารางที่ 4.2	ผลของชั้นกาวต่อการเสียรูปของรอยต่อ	33
ตารางที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ที่สำคัญ เนื่องจากผลของชั้นกาว	33
ตารางที่ 4.4	ค่าความหนาแน่นของความเค้น (SCF) สำหรับรอยต่อแบบใช้หมุดย้ำ	51
ตารางที่ 4.5	ค่าแรงดึงสูงสุดสำหรับแต่ละชิ้นงานตัวอย่าง และแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย ในแต่ละกรณี	55
ตารางที่ 4.6	ค่าเปอร์เซ็นต์พิพลาครระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์ ทางคอมพิวเตอร์	58
ตารางที่ 5.1	ผลการประเมินอายุการใช้งานของชิ้นงานรอยต่อที่รับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 60 MPa	61

Abstract

Project Code: MRG4580042

PROJECT TITLE The effect of thin adhesive layer to the distortion and fatigue of riveted lap joint

Investigator: Thongchai Fongsamootr¹ Thawan Sucharitkul¹, and Carol Rubin²

¹ Department of Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Thailand 50200,

² Department of Mechanical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN 37202 USA,

E-Mail Address: thongchai@dome.eng.cmu.ac.th

Project Peroid: July 1st 2002 – Aug 31st 2004 (2 years and 2 months)

Introduction: Riveted lap joints are widely used to assemble complex structures, e.g. aircraft fuselages. In previous studies, it was showed that the stress concentration factor for single row riveted lap joints was found to be approximately 6.48. And the SCF was reduced to 5.12 when the thin sealant layer was applied to the interface surface of joints. Therefore, in this study, the effect of epoxy adhesive layers was been investigates. The adhesive stiffnesses were varied in FEA analyses to determine their affects on the joints. FEA results were compared with the experimental results to verify the results.

Methodology: 1 Testing for the adhesive properties. Two kinds of epoxy adhesive (Araldite “High performance” Standard Epoxy Adhesives and Araldite “High Strength” Epoxy Adhesives) were selected and tested. 2.FEM modeling. A 3-D finite element model of a single rivet row non-countersunk combined adhesive-riveted lap joint of riveted lap joints with and without adhesives was created. 3. Testing the adhesive riveted lap joints. Experiments were performed on combined adhesive-single row rivet lap joint test pieces with and without adhesives.

Results, Discussion and Conclusion: The results showed that the maximum tensile stress decreases with increases with adhesive stiffness. From the results, the SCFs increase when the adhesive stiffness is decreased. Decreases in SCFs may be caused by a reduction in bending stress due to the adhesive layer holding the panels close together. The end separation is the distance between the panels at the end of the overlap. When the end separation is small, the bending angle is small; this causes the bending stress to be small as well. With a stronger adhesive, (Alradite Standard) the end separation is very small and so is the minimum peak tensile stress. The agreement between the experimental results and the finite element analyses values provides validation for the finite element and TALA analyses. Finally, the results show that the SCFs were related to the fatigue life of the combined adhesive-riveted lap joints. If the SCFs were increased, the fatigue life of the joints was decreased.

Keywords: Riveted lap joints, Adhesive lap joints, FEM

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG4580042

ชื่อโครงการ: ผลของชั้นกาวบางต่อการเสียรูปและการล้าของรอยเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ

ชื่อนักวิจัย: ธงชัย ฟองสมุทร¹ ตะวัน สุจริตกุล¹ และ คาร์รัล รูปิน²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, Vanderbilt University, TN 37202 USA,

E-Mail Address: thongchai@dome.eng.cmu.ac.th

Project Period: 1 กรกฎาคม 2545 – 31 สิงหาคม 2547 (2 ปี 2 เดือน)

บทนำ: การเชื่อมต่อดัวยวิธีหมุดย้ำเป็นที่นิยมนำมาใช้แพร่หลายในการประกอบชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น ในงานประกอบเครื่องบิน ในงานก่อนหน้านี้นี้ ค่าความหนาแน่นของความเค้นสำหรับรอยต่อแบบใช้หมุดย้ำอยู่ที่ประมาณ 6.48 และ ค่าค่าความหนาแน่นของความเค้นลดลงเหลือ 5.12 เมื่อมีการทาดัวยสารอุดรอยรั่วบางที่บริเวณผิวสัมผัสทั้งหมด ดังนั้นในงานนี้ ผลของชั้นกาวอีพอกซี่บางจะถูกทำการศึกษา ค่าความแข็งแรงของกาวถูกเปลี่ยนและใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ทำการวิเคราะห์ผลของชั้นกาวต่อรอยต่อ ผลจากการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์จะถูกไปทำการทวนสอบกับผลที่ได้จากการทดลอง

วิธีทดสอบ 1. ทดสอบคุณสมบัติของกาว กาวอีพอกซี่สองชนิด (อารัลไดท์สเตนคาร์ท และ อารัลไดท์สตีล) ถูกเลือกในการทดสอบนี้ 2. แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ แบบจำลอง 3 มิติ ของรอยต่อใช้หมุดย้ำ แบบหัวธรรมดารวมกับชั้นกาวจะถูกสร้างขึ้น 3. ทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง การทดสอบจะทำการทดสอบชิ้นงานทดสอบที่ประกอบด้วยหมุดย้ำกับ มีชั้นกาว และ ไม่มีชั้นกาว

ผลการทดสอบ วิเคราะห์ผล และสรุปผล จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความแข็งแรงของชั้นกาว ผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความแข็งแรงของกาวลดลง การลดลงของค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นอาจเกิดจากการลดลงของความเค้นดัด เนื่องจากแผ่นแนบติดกันมากขึ้น ดูจากระยะเปิดที่ขอบ เมื่อระยะเปิดที่ขอบมีน้อยมุมบิดก็น้อยลง ทำให้ค่าความเค้นดัดน้อยลง และเมื่อมีการเพิ่มความแข็งแรงของชั้นกาว (อารัลไดท์สเตนคาร์ท) ระยะเปิดที่ขอบน้อยลง ทำให้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด ผลการเปรียบเทียบแสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบและจากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ สุดท้ายผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นมีค่าสัมพันธ์กับอายุการใช้งานของรอยต่อ โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นมีค่าสูงขึ้น อายุการใช้งานก็จะลดลง

Keywords: Riveted lap joints, Adhesive lap joints, FEM

บทที่ 1

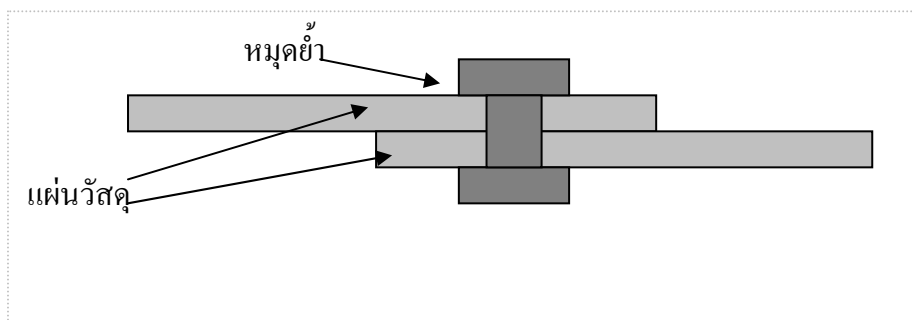
บทนำ

INTRODUCTION

1.1 ที่มาและเหตุผล

ในการประกอบชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้หมุดย៉านนั้นเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับ และ ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายมานานจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างเครื่องบิน และ อื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามการประกอบชิ้นส่วนด้วยหมุดย៉านนั้นยังคงมีข้อเสียอยู่บางประการ เช่น ประการแรก การประกอบด้วยหมุดย៉านเป็นการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้การกระจายตัวของความเค้นเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ และ ประการที่สอง การประกอบด้วยหมุดย៉านจำเป็นต้องมีการเจาะรูเพื่อใช้สำหรับยิงหมุดย៉าน และการที่มีรูในชิ้นงานจะส่งผลทำให้เกิดความหนาแน่นของความเค้น (Stress Concentration) สูงที่บริเวณรูหมุดย៉าน จากการศึกษาที่ผ่านมา Iyer [1] แสดงให้เห็นว่าบริเวณรูหมุดจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้น (Stress Concentration Factor, SCF) สำหรับในกรณีที่ใช้หมุดย៉านแบบหัวมาตรฐาน (Standard rivet head, Non-Countersunk Rivet Head) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และระยะห่างระหว่างหมุดย៉านเท่ากับ 15.3 มิลลิเมตร อยู่สูงถึงประมาณ 6.48 หมายความว่าชิ้นงานจะต้องรับค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ณ บริเวณรูหมุดย៉านสูงกว่าค่าความเค้นที่กระทำกับชิ้นงานถึง 6.48 เท่า

Fongsamootr [2] ได้ทำการศึกษาผลของการทาสารอุดกันรั่ว (Sealant) ในบริเวณผิวสัมผัสทั้งหมด ต่อพฤติกรรมการเสียรูปของรอยต่อโดยใช้หมุดย៉าน จุดประสงค์เบื้องต้นในการทาสารอุดรอยรั่วนี้เพื่อป้องกันความชื้นที่จะมากระทบต่อชิ้นส่วนของโครงสร้าง จากงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าผลของการทาสารอุดรอยรั่วนี้ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ค่าความหนาแน่นของความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยต่อนั้นลดลงเหลือเพียง 5.12



รูปที่ 1.1 หมุดย៉านแบบหัวมาตรฐานทั้งสองข้าง

เนื่องจากสารอุดรอยร้าวที่ใช้ในงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถจัดได้ว่าเป็นกาวลักษณะหนึ่งที่เรียกว่าเป็น Elastomer Adhesive ได้ โดยที่กาวประเภทนี้จะมีค่าโมดูลัสค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกาวประเภทอื่น ๆ Elastomer Adhesive จะมีค่าโมดูลัสอยู่ที่ประมาณ 1 MPa ในขณะที่กาวประเภท Epoxy Adhesives จะมีค่า โมดูลัสอยู่ที่ประมาณ 1 GPa จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงนำไปสู่แนวความคิดที่ว่า ถ้าหากมีการทาากาวที่มีลักษณะเป็น Epoxy Adhesive ระหว่างผิวสัมผัสของรอยต่อทั้งหมดของชิ้นงานแทนสารอุดกันร้าว ชิ้นงานนั้นจะมีผลต่อชิ้นงานนั้น ๆ อย่างไรบ้าง จะมีผลต่อพฤติกรรมการเสียรูปร่างของชิ้นงานอย่างไร และจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของค่าความเค้นมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการศึกษาผลของชิ้นกาวที่มีลักษณะเป็น Epoxy Adhesive ที่มีต่อพฤติกรรมการเสียรูปของชิ้นงานรอยต่อ โดยในการวิเคราะห์จะต้องทำการเปลี่ยนค่าคุณสมบัติเชิงกลของกาวที่ใช้ เพื่อทำการศึกษาว่ากาวชนิดใดเหมาะสมในการทาชิ้นงาน เนื่องจากถ้ามีการใช้กาวที่มีความแข็งแรงมากเกินไปก็จะเปรียบเสมือนว่าไปทำให้ค่าความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ภายในรูปหมุดย้าลดลงตามไปด้วย เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของกาวที่เหมาะสมในการใช้ทาชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันไม่ทำให้ค่าความยืดหยุ่นระหว่างผิวสัมผัสนั้นลดลงมาก

อีกวัตถุประสงค์หนึ่งในการทำการศึกษานี้คือต้องการศึกษาเพื่อการพัฒนาชิ้นงานอุปกรณ์ต่างที่ใช้การประกอบด้วยหมุดย้า ให้มีการใช้จำนวนหมุดย้าลดลง เนื่องจากการลดลงของหมุดย้าจะเป็นการลดลงของน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้าง และทำให้โครงสร้างที่ได้ทั้งหมดมีน้ำหนักน้อยลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาว่าชิ้นกาวที่ทาลงในชิ้นงานนั้นจะทำให้สามารถลดจำนวนหมุดย้าลงได้เท่าไร จึงจะทำให้ชิ้นงานรอยต่อดังกล่าวสามารถรับแรงกระทำได้เท่าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาข้อดีและข้อเสียจากการที่ทาชิ้นกาวบาง ๆ ระหว่างผิวสัมผัสทั้งหมดของบริเวณรอยต่อต่อการเสียรูปของชิ้นงานที่ต่อเชื่อมด้วยหมุดย้า และเพื่อศึกษาผลของการทาากาวต่อค่าความคงทนต่อการล้าของชิ้นงาน เพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของกาวที่เหมาะสมในการใช้ทาชิ้นงานเพื่อเพิ่มความแข็งแรงเพื่อใช้ในการพัฒนาชิ้นงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการต่อเชื่อมด้วยหมุดย้าให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น และเพื่อเป็นการลดจำนวนตัวหมุดย้าในการประกอบชิ้นงาน

บทที่ 2

การศึกษาข้อมูลงานที่เกี่ยวข้อง

LITERATURES REVIEW

จากการทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ได้มีการทำมาก่อนหน้านี้ พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอยู่มากมาย โดยที่สามารถแบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดได้ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- 2.1. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้กาว (Adhesive Lap Joints)
- 2.2. กลุ่มที่ทำการวิจัยที่ศึกษารอยต่อที่ใช้หมุดยึด (Riveted Lap Joints)
- 2.3. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้ทั้งหมุดยึด และ กาว (Adhesive Riveted Lap Joints)

2.1. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้กาว (Adhesive Lap Joints)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามิงงานวิจัยมากมายที่ทำการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้กาวโดยใช้วิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์ และวิธีทางระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยที่การวิเคราะห์นั้นเริ่มจาก

M. Goland, E. Reissner [3] ได้ทำการการศึกษาข้อต่อชิ้นงานที่สร้างขึ้นด้วยสารยึดติด โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้น ณ บริเวณขอบของข้อต่อและ ความเค้นในข้อต่อ อันเนื่องมาจากการใส่แรงภายนอก โดยที่มีเงื่อนไขในการศึกษาอยู่สองแบบ คือ (1) ศึกษาโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของกาวที่มีต่อข้อต่อ โดยพิจารณาว่ากาวแข็งแรงมาก (2) ศึกษาโดยคำนึงถึงผลกระทบของกาวที่มีต่อข้อต่อ โดยทั้งสองกรณีนี้ผลลัพธ์ที่ได้คือสมการของ Shearing Stress และ Normal Stress ที่เกิดขึ้นในสารยึดติด เนื่องจากการวิเคราะห์นี้มีข้อจำกัดอยู่มาก หลังจากนั้นได้มีผลงานวิจัยต่อเนื่องตามมามากมายเพื่อแก้ไขข้อจำกัดนั้น ๆ เช่น

R. W. Cornell [4] ได้เสนอวิธีที่ได้ปรับปรุงจากวิธีของ Goland ในการคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยต่อ โดยทำการสมมติว่าแผ่นทั้งสองประพติดตัวเหมือนการกับคาน และชั้นของกาวก็ประพติดตัวเหมือนกับสปริง ในขณะที่ F. Dalale, F. Erdogan และ M. N. Aydinoglu [5] ได้ทำการพิจารณาโครงสร้างของรอยต่อที่ใช้กาวโดยใช้หลักการของระนาบความเครียด โดยที่สมมติว่าความหนาของแผ่นที่นำมาต่อกันนั้นมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ทาากาว ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้สามารถให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และ Chien-Chang Lin และ Yee-Shown Lin [6] ได้ทำการเสนอการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยต่อ

J. Pascal, E. Darque-Ceretti, E. Felder และ A. Pouchelon [7] ได้ทำการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้กาวโดยที่กาวเป็นลักษณะของ Rubber-like adhesive ที่มีค่า young's Modulus อยู่ที่ประมาณ 1 MPa โดยที่ทำการวิเคราะห์ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในการวิเคราะห์ รอยต่อ โดยที่ได้ทำการใส่แรงกระทำต่อ

ขึ้นงาน เพื่อให้เกิดแต่แรงเฉือนเพียงอย่างเดียว โดยที่ P.C. Pandey, H. Shankaragouda, and Arbind Kr. Singh [8] ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในลักษณะ non-linear สำหรับรอยต่อที่ใช้กาว และทำการหาค่าความแข็งแรงของรอยต่อที่ใช้กาว โดยได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อ

จากทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้กาว กับวัสดุที่นำมาต่อกันนั้นเป็นวัสดุเดียวกัน หลังจากนั้นก็มีกรวิเคราะห์ในส่วนของการรอยต่อที่ใช้กาวสำหรับวัสดุที่ไม่เหมือนกัน ดังต่อไปนี้

Toshiyuki Sawa, Katsuhiro Temma, Tohru Nishigaya และ Hirohisa Ishikawa [9] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของ ค่า young modulus ratio และค่า poisson ratio ของ adherend และ กาว, ค่า stiffness และค่าความหนาของกาวและลักษณะของการกระจายของแรงภายนอกที่มีต่อการกระจายตัวของ stress รวมถึงตำแหน่งของ stress singularity ในบริเวณผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend ในข้อต่อแบบกาวเป็นแบบ butt joint (ข้อต่อแบบชน) ของ dissimilar adherends ที่รับ tensile load จากภายนอกโดยคิดเสมือนว่า adherend และกาวเป็นวัสดุสามชนิดมาสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี two dimensional ของ Elasticity ในการวิเคราะห์ควบคู่ไปกับวิเคราะห์ทาง Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและทางวิธี Finite Element มีความสอดคล้องกันโดยพบว่าตำแหน่งของ stress singularity จะเกิดบริเวณขอบของผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend

Z. J. Wu, A. Romeijn และ J. Wardenier [10] ทำการปรับปรุงสมการที่ใช้อธิบาย Stress ที่เกิดขึ้นในกาวของข้อต่อแบบกาวของ Goland และ Reissner และสร้างสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อต่อแบบกาวที่ใช้ในการยึด adherend ที่มีความยาวและความหนาต่างกัน

Jiemin Liu, Toshiyuki Sawa และ Hiroshi Toratani [11] ศึกษาผลกระทบของ Young's modulus ratio (E_1/E_3), thickness ratio (h_1/h_3) และ length ratio (l_1/l_3) ที่มีต่อการกระจายตัวของ stress ในข้อต่อแบบกาวของ dissimilar adherends รับ bending moment จากภายนอก โดยคิดเสมือนว่า adherend และกาวเป็นวัสดุสามชนิดมาสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี plain strain ของ Elasticity ในการวิเคราะห์ควบคู่ไปกับวิเคราะห์ทาง Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและทางวิธี finite element มีความสอดคล้องกันคือ stress component ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) จะเพิ่มขึ้นตามค่า Young's modulus ratio (E_1/E_3), thickness ratio (h_1/h_3) ส่วนค่า length ratio (l_1/l_3) จะส่งผลกระทบต่อค่า stress ที่เกิดขึ้นในข้อต่อน้อยมาก และผลลัพธ์ที่ได้นี้สามารถตรวจสอบได้จากค่าที่วัดจากการทดลอง

Jiemin Liu และ Toshiyuki Sawa [12] ศึกษาผลกระทบของ Young's modulus ratio ระหว่าง dissimilar adherends, ratio of adherend thicknesses และ ratio of band length to the haft of lab length ที่มีต่อการกระจายตัวของ stress ในข้อต่อแบบกาวที่เป็นแบบ Single lab band joint ของ dissimilar

adherends ณ บริเวณผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend ที่รับ bending moment จากภายนอก โดยคิดเสมือนว่า adherend และกาวเป็นวัสดุสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี plain strain ของ Elasticity ในการวิเคราะห์ความเค้นไปกับการวิเคราะห์โดยใช้ Elasto-plastic Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี, วิธี finite element และ ค่าที่วัดได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือ component $(\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$ และ maximum principle stress (σ_1) จะมีค่ามากขึ้นที่บริเวณขอบของผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend และจะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ค่า Young's modulus มีค่าน้อยลง ค่า normalized singular stress (σ_1/p) จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของค่า ratio of adherend thicknesses $(h_4/h_2)^2$ และพบว่าเมื่อค่า ratio of band length to the haft of lab length มีค่ามากกว่า 0.5 stress singularity ของข้อต่อจะเกิดที่บริเวณของกาวเหมือนกับกรณีข้อต่อแบบการธรรมดาที่ทาการตลอดข้อต่อ

Toshiyuki Sawa, Jiemin Liu, Katsuyuki Nakano และ Junnya Tanaka [13] ศึกษาผลกระทบของ Young's modulus ratio ระหว่าง dissimilar adherends, ความหนาของ adherend, ความยาวของ adherend และ ความหนาของ adhesive ที่มีต่อการกระจายตัวของ stress ในข้อต่อแบบกาวของ dissimilar adherends ณ บริเวณผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend รับ tensile load จากภายนอก โดยคิดเสมือนว่า adherend และกาวเป็นวัสดุสามเหลี่ยมสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี plain stress ของ Elasticity ในการวิเคราะห์ความเค้นไปกับวิธีทาง Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี, วิธี finite element และ ค่าที่วัดได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือ singular stress จะเกิดขึ้นบริเวณขอบของผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend โดย singular stress จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ค่า Young's modulus และความหนาของ adherend มีค่าน้อยลงและ singular stress ใน adherend จะเพิ่มขึ้นในกรณีที่ความยาวของ adherend ลดลงและในกรณีที่อัตราส่วนความหนาของกาวต่อความหนาของ adherend, (h_2/h_1) มีค่าน้อยๆ singular stress จะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วน (h_2/h_1) ลดลงแต่ในกรณีที่อัตราส่วน (h_2/h_1) มีค่ามากขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่ง singular stress จะลดลงถ้าอัตราส่วน (h_2/h_1) ลดลง

Michihiro Takiguchi และ Fusahito Yoshida [14] พบว่าในกรรมวิธีสร้างข้อต่อระหว่างวัสดุค้ำยันนั้นในขั้นตอนสุดท้ายต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่า press-form จากขั้นตอนนี้ในข้อต่อที่เป็นแบบ V-bending จะทำให้เกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนใน adhesive layer เป็นผลทำให้ชิ้นงานเกิดลักษณะที่เรียกว่า “gull-wing” จึงได้ทำการศึกษาเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยทำการศึกษาแยกออกเป็นสองแบบคือ ศึกษาจากการทดลองและศึกษาจากการวิเคราะห์จาก model ที่สร้างตามทฤษฎี thin plate การศึกษาจาก model นั้นจะแยกออกเป็นสองส่วนคือ สำหรับแผ่นโลหะใช้หลักการของ Kirchhoff-Love hypothesis และสำหรับ adhesive layer ใช้หลักการของ Mindlin โดยจากการศึกษาทั้งสองแบบได้ผลที่สอดคล้องกัน คือ ในระหว่างกระบวนการ press-form การเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือน (shear strain, γ_s) จะเกิดรวดเร็ว

มากที่สุดในช่วงสภาวะของการให้ load ในช่วงสุดท้ายที่เรียกว่า “die bending” ดังนั้นในการสร้างข้อต่อระหว่างวัสดุด้วยกาวที่เป็นแบบ V-bending นั้นแรงที่ใช้ควรอยู่ในช่วงที่เรียกว่า “air bending” เพื่อลดการเสียรูปจากแรงเฉือนที่เรียกว่า “gull-wing”

Elena David และ A. Lazer [15] ศึกษาข้อต่อแบบกาวของวัสดุสองชนิดระหว่าง aluminum และ polytetrafluoroethylene (PTFE) โดยที่ผิวส่วนที่เป็นข้อต่อของ PTFE จะถูกเคลือบด้วยแผ่น sodium metal บาง ๆ สุ่มาเสมอจากนั้นทำการทดสอบ fatigue, internal-pressure leakage, internal-underpressure leakage, thermal shock, leakage after thermal shock, tensile และ bent ตามมาตรฐานของ ASTM A 380-72, ASTM A 488-75, DIN 51227, DIN 53504, DIN 50123, ASTM A 654-76, ASTM D-897, ISO 1167 โดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าข้อต่อนี้มีความแข็งแรงที่ high vacuum (1.33×10^{-9} mbar) ทนทานต่อการรับ thermal shock และมีช่วงอุณหภูมิการทำงานจะอยู่ระหว่าง -195.5 ถึง 270 °C

2.2. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้หมุดย้ำ (Riveted Lap Joints)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสำหรับรอยต่อที่เป็นการต่อด้วยหมุดย้ำ ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดค่าความแข็งแรงของรอยต่อก็คือ ค่าอัตราความหนาแน่นของความเค้น (Stress Concentration Factor: SCF) จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีทั้งที่ได้ทำการศึกษาโดยการทำการทดสอบจริง (Experimental) โดยการการคำนวณเชิงตัวเลข (Mathematic Models) และ โดยการใช้วิธีระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) กับชิ้นงานตัวอย่างรอยต่อด้วยหมุดย้ำ

John C. Ekvall [16] ได้พัฒนาแบบจำลองทางระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ สำหรับรอยต่อแบบหมุดย้ำ 4 แถว โดยใช้ bar อีลิเมนต์ แบบจำลองสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของความเค้นของรอยต่อได้เท่ากับ 4.7 โดยที่แรงที่ถ่ายทอดระหว่างแถวสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 30%

G. Husheng, G. Haicheng และ Z. Huijiu [17] ได้ศึกษาผลของขนาดการไถลของรอยต่อ ที่มีต่อคุณสมบัติการเกิด fretting fatigue และได้ทำการทดลอง fretting fatigue กับชิ้นงานจริงภายใต้รับแรงดึงด้วยขนาดของความเค้นต่ำสุด และสูงสุดเท่ากับ 0.1 ผลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของขนาดการไถล จะทำให้ความลึกของการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น และการเสียหายเนื่องจากการสึกกร่อนร้ายแรงขึ้น

C. Fung และ J. Smart [18] ได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อใช้วิเคราะห์ รอยต่อแบบหมุดย้ำ ด้วยโปรแกรม ABAQUS หมุดย้ำแบบ Countersunk และ Snap ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลของแรงกด และแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส สัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นที่บริเวณขอบของรูหมุดย้ำจะอยู่ที่ประมาณ 10 และ 7 สำหรับกรณีของหมุดย้ำแบบ Countersunk และ Snap ตามลำดับ

K. Shivakumar และ J. Newman [19] ได้คำนวณสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้น สำหรับรูหมุดย้ำแบบทรงกรบอก และ Countersunk สามารถคำนวณได้ว่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นเมื่อรับโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 3.75 และ 1.75 ตามลำดับ

K. Iyer, G. Hahn, P. Bastias และ C. Rubin [1] ได้พัฒนาแบบจำลองทางระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ 2 มิติ และ 3 มิติ สำหรับรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม โดยใช้หมุดยึดเหล็ก โดยใช้โปรแกรม ABAQUS โดยทำการคำนวณเพื่อหาค่า หมุดเฉียงของหมุดยึด ค่าความเค้นอัดที่เกิดขึ้น และ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้น และ C. Dechwayukul [20] ทำการศึกษาการถ่ายทอดแรงในรอยต่อแบบหมุดยึด สำหรับกรณีของหมุดยึดแบบ Countersunk และ Non-Countersunk แรงที่ผิวสัมผัสต่างๆ ค่าแรงที่ตั้งฉากระหว่างชิ้นงานด้านล่าง ถูกทำการศึกษา

2.3. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้ทั้งหมุดยึด และ กาว (Adhesive Riveted Lap Joints)

J. Mann, R. Pell, R. Jones และ M. Heller [21] ได้ทำการศึกษาของการเกิดรอยแตกในชิ้นส่วนของโครงสร้างเครื่องบิน ผิวของรูหมุดยึดทาด้วยกาวเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตของรอยแตกสามารถลดลงได้ประมาณ 50% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ทากาว

M. Imanaka [22] ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะความเค้นสำหรับกรณีของรอยต่อแบบหมุดยึดและกาว การทดสอบการล้าทำบนชิ้นงานที่ทากาวและหมุดยึด ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าความคงทนต่อการล้าของรอยต่อแบบใช้กาวสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มหมุดยึด

J. Liu และ T. Sawa [23] ได้ทำการการศึกษาโดยการจำลองแบบและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม finite element analyses โดยที่ทำการวิเคราะห์รอยต่อที่เชื่อมด้วยหมุดยึดและทากาว บริเวณผิวหน้าสัมผัสของรอยต่อ แต่ไม่ได้ทำในส่วนของรูหมุดยึด โดยมีโมเมนต์คดกระทำต่อรอยต่อ จากผลการวิเคราะห์พบว่าการทากาวลงบนรอยต่อทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อสูงขึ้น แต่การวิเคราะห์นี้คำนึงถึงแค่มีโมเมนต์คดจากภายนอกกระทำเท่านั้น ในแง่ของความเป็นจริงแรงจะทำในลักษณะของการดึง โดยที่ทิศทางของแรงจะไม่อยู่บนแนวเส้นแรงเดียวกัน และจะทำให้เกิดโมเมนต์คดขึ้น และสุดท้ายชิ้นงานจะรับแรงลักษณะผสม คือระหว่างแรงดึงและโมเมนต์คด

T. Fongsamootr [2] ได้ทำการศึกษาโดยการทดสอบกันรื้อบาง ๆ ลงไประหว่างผิวสัมผัสของรอยต่อทั้งหมด และบริเวณหมุดยึดและรู โดยที่รอยต่อนี้เป็นการจำลองรอยต่อจริงของเครื่องบิน และมีการใช้สารอุดกันรื้อทาบบริเวณรอยต่อทั้งหมด จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยการดึงชิ้นงานเพื่อวัดค่าความแข็งแรงและการเสียรูปของรอยต่อ จากนั้นนำชิ้นงานไปวัดค่าความคงทนต่อการล้า จากผลการวิจัยพบว่าการทาสารอุดกันรื้อนี้ช่วยให้ชิ้นงานนั้นมีความคงทนขึ้นในระดับหนึ่ง เนื่องจากพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นที่บริเวณรอยต่อที่ใช้หมุดยึดแบบหัวมาตรฐานทั้งสองข้างลดลงจาก 6.48 ไปเป็น 5.43 ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีค่าความคงทนสูงขึ้นตามไปด้วย

2.4. สรุป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดทั้ง 3 กลุ่ม จะเห็นว่างานวิจัยที่พูดถึงรอยต่อที่ใช้ทั้งหมุดย้ำและชั้นกาวนั้น ยังมีน้อย โดยที่งานวิจัยหนึ่งเป็นการศึกษากรณีที่เป็นการใส่เฉพาะโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียวกับรอยต่อที่ใช้หมุดย้ำและกาว พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อนั้นสูงขึ้นกว่าการใช้เพียงแค่หมุดย้ำเพียงอย่างเดียวจะพบว่าได้มีการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้หมุดย้ำและกาว แต่ในขณะที่บางงานมีการวิเคราะห์แต่ในกรณีที่มีโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ความเป็นจริงชิ้นงานจะรับแรงในลักษณะของแรงดึงและโมเมนต์ดัดพร้อมๆ กัน งานต่อมามีการวิเคราะห์ในลักษณะการรับแรงตามจริงคือมีทั้งโมเมนต์ดัดและแรงดึง แต่ในการวิเคราะห์นั้นและทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้จะทำเฉพาะชั้นกาวที่เป็นลักษณะ Elastomer เท่านั้น และในส่วนของชั้นกาวที่แข็งแรงขึ้นเป็นการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) เท่านั้น และสนใจเฉพาะการลดลงของความเค้นเท่านั้นโดยที่ไม่ได้สนใจถึงการยืดหยุ่นของรอยต่อ โดยที่คาดว่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ และอาจทำให้การแตกของรอยต่อเลื่อนไปยังจุดอื่น สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงการใช้ชั้นกาวที่มีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชั้นกาวที่เป็นลักษณะ Elastomer Adhesive ถึงประมาณ 1000 เท่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อที่ทั้งหมุดย้ำและกาว โดยที่กาวเป็นประเภทที่มีความแข็งแรงสูง และใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

บทที่ 3

ขั้นตอนการทำการทดลองและการวิเคราะห์

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL PROCEDURES

ในขั้นตอนการทำการทดลองและการวิเคราะห์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนในการทำการทดลอง และ ขั้นตอนในการทำการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ โดยที่สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้ คือ

3.1. ขั้นตอนการทำการทดลอง (Experimental Procedures)

3.1.1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

- 3.1.1.1 การศึกษาเพื่อเลือกประเภทของกาวที่จะนำมาใช้ในการศึกษา
- 3.1.1.2 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกาว
- 3.1.1.3 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง

3.1.2. การทดสอบ

- 3.1.2.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกาว
- 3.1.2.2 การทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง

3.2. ขั้นตอนการทำการวิเคราะห์โดยการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computational Analyses Procedures)

- 3.2.1. การออกแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธี FEA-TALA
- 3.2.2. การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1. ขั้นตอนการทำการทดลอง (Experimental Procedures)

3.1.1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.1.1.1 การศึกษาเพื่อเลือกประเภทของกาวที่จะนำมาใช้ในการศึกษา

ในการทำการศึกษานี้จะเน้นที่ตัวอย่างของกาวที่มีใช้อยู่ในท้องตลาด จากการสำรวจพบว่ากาวที่มีอยู่ในท้องตลาดนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น กาวที่เป็นลักษณะเหมือนสารอุดรอยร้าว (Sealant) เช่น Silicone กาวที่เป็นลักษณะของ Acrylic Adhesives และ กาวที่เป็นลักษณะของ Epoxy Adhesives เนื่องจากในการศึกษานี้ต้องการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ประกอบด้วยกาวมีค่าความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้กาวชนิดที่เป็น

Epoxy Adhesives มาใช้ในการทำการทดสอบ โดยที่กาวชนิด Epoxy Adhesive นี้ที่พบในท้องตลาดนั้นยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ (1) แห้งเร็ว (Rapid Dry) และ (2) แห้งช้า โดยที่พวกแห้งเร็วจะใช้เวลาในการแข็งตัว เพียงแค่ประมาณ 4 – 5 นาที เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการการแข็งตัวของกาวอย่างรวดเร็ว เพื่อต้องการใช้งานอย่างทันทีหลังจากทาการเรียบร้อยแล้ว ในขณะที่พวกแห้งช้าจะใช้เวลาในการแข็งตัวประมาณ 90 นาที ข้อดีของกาวประเภทหลังก็คือทำให้มีเวลาในการขยับ จัดชิ้นงานให้ได้ตามแบบก่อนที่จะปล่อยให้แห้ง แต่ก็มีข้อเสียเปรียบก็คือจำเป็นต้องมียึดจับชิ้นงานให้ติดตลอดเวลา ไม่เช่นนั้นอาจทำให้ชิ้นงานที่ได้ผลิตผลไปจากที่ตั้งไว้

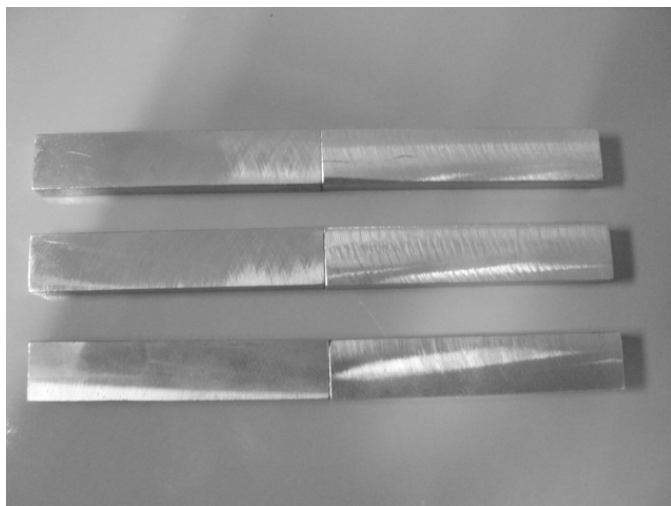
โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กาว Epoxy ชนิดแห้งช้า สำหรับการวิเคราะห์และ ทดสอบ เนื่องจากการประกอบชิ้นงานต้องการเวลาในการประกอบนาน โดยที่ถ้าใช้กาวประเภทแห้งเร็ว อาจจะทำให้การประกอบชิ้นงานด้วยอย่างนั้นไม่ได้ตามแบบที่ได้วางไว้ กาวที่ถูกเลือกมาใช้ในการศึกษานี้มี 2 ชนิด ดังนี้คือ

- **Araldite “High Strength” Steel Epoxy Adhesives**
(อารัลไดท์สตีล)
- **Araldite “High performance” Standard Epoxy Adhesives**
(อารัลไดท์แอสตันดาร์ด)

3.1.1.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกาว

หลังจากได้ทำการเลือกชนิดของกาวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลของกาวทั้งสองชนิด ได้แก่ คุณสมบัติในการรับแรงดึง คุณสมบัติในการรับแรงกด และ คุณสมบัติในการรับแรงเฉือน โดยที่คุณสมบัติเชิงกลทั้งสามจะถูกใช้ในการป้อนเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยที่ค่าที่ต้องการคือความสัมพันธ์ระหว่าง แรง และการเสียรูปของกาวชนิดนั้น ๆ

- สำหรับการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของกาวในการรับแรงดึง จะทำการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบบนรอยต่อที่เป็นลักษณะ Butt Joints ดังรูปที่ 3.1 โดยที่ชิ้นงานจะประกอบด้วยแท่งเหล็ก 2 แท่งนำมาต่อกันด้วยกาวชนิดนั้น ๆ เพื่อที่นำไปทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3.1 ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบการรับแรงดึง

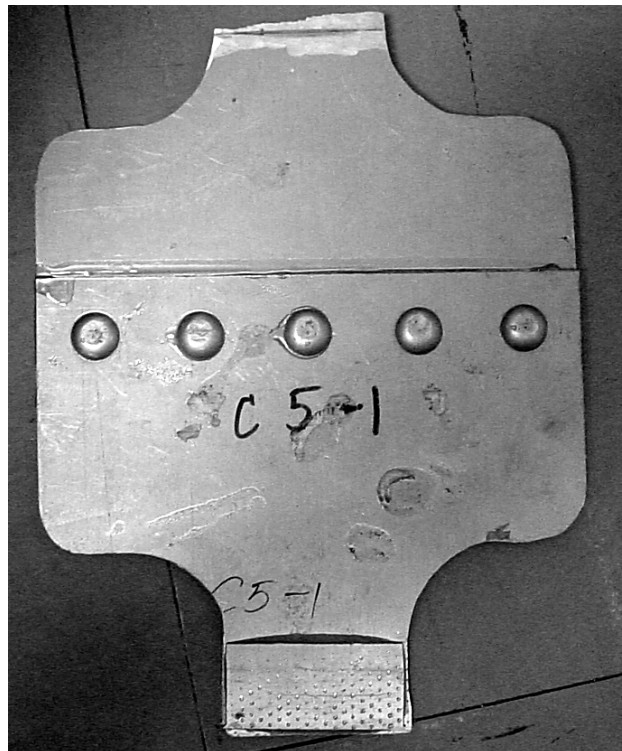
- สำหรับการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของกาวในการรับแรงกด จะทำการทดสอบโดยทำการออกแรงกดลงบนชิ้นกาว กาวจะถูกนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่น จากนั้นจะถูกนำมาทดสอบด้วยหัวกดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.27 มม.
- สำหรับการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของกาวในการรับแรงเฉือน จะใช้วิธีการทดสอบโดยให้แรงดึงกับชิ้นงานที่เป็นลักษณะ Lap Joint ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบการรับแรงเฉือน

3.1.1.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง

ในการสร้างชิ้นงานทดสอบตัวอย่างที่จะใช้ในการทำการทดสอบ จะทำการตัดชิ้นงานและประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถึง รูปที่ 3.5 สำหรับ ระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6, 38.1 และ 50.8 มิลลิเมตร โดยที่ชิ้นงานตัวอย่างประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียม (Al 7075-T6) หนา 1.53 mm สองแผ่นประกบกันโดยที่มีระยะทับซ้อนเท่ากับ 30.6 mm ถูกเชื่อมต่อกับหมุดย้ำ หมุดย้ำทำจากอลูมิเนียมชนิด (Al 2117-T4) ขนาด 0.635 mm เป็นหัวแบบ Standard (Non-Countersunk) โดยที่จะมีเปลี่ยนระยะห่างของหมุดย้ำ และ ชนิดของกาว ตามแบบของแต่ละชิ้นงานตัวอย่าง ดังมีรายละเอียดต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1 ทั้งนี้เพื่อใช้ในการทำการศึกษาผลของระยะห่างของหมุดย้ำ และ ผลของคุณสมบัติของกาว ที่มีต่อพฤติกรรมกลการเสียรูปของรอยต่อ



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างระหว่างหมุดย้ำ 30.6 มิลลิเมตร